RÉGION Nouvelle-Aquitaine

PRÉVOIR POUR AGIR N°2

Comité Scientifique Régional AcclimaTerra
sous la direction de ***Hervé Le Treut***

ANTICIPER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

EN NOUVELLE-AQUITAINE

POUR AGIR
DANS LES TERRITOIRES

ACCLIMATERRA
COMITÉ SCIENTIFIQUE RÉGIONAL SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Comité Scientifique Régional AcclimaTerra
sous la direction de ***Hervé Le Treut***

ANTICIPER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

EN NOUVELLE-AQUITAINE

POUR AGIR
DANS LES TERRITOIRES

Préface

En 2013, sur demande de la Région Aquitaine, le rapport *« Prévoir pour agir, les impacts du changement climatique en Aquitaine »*, ouvrage scientifique transversal inédit, avait rencontré un réel succès. L'ouvrage avait été dirigé par Hervé Le Treut, climatologue de renom membre du GIEC et de l'Académie des Sciences.

Fort d'un tel diagnostic en Aquitaine, j'ai évidemment souhaité prolonger l'effort après la mise en place de la Nouvelle-Aquitaine, issue de la réforme territoriale de 2015. Ainsi, ce sont plus de 240 chercheurs qui ont à nouveau uni leurs forces pour produire en 2016-2017 ce deuxième tome, élargi à la fois à davantage de thématiques et à l'ensemble du territoire de la Nouvelle-Aquitaine. Ce nouvel ouvrage, intitulé *« Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine - Pour agir dans les territoires »* est celui que vous tenez entre vos mains.

Hervé Le Treut a bien voulu reprendre du service pour que nous disposions d'un état des lieux régional unique en matière de changement climatique, prenant en compte toutes les conséquences naturelles et socio-économiques de la dégradation de notre environnement. Je le remercie, ainsi que tous les chercheurs qui ont participé à ce rapport essentiel pour appréhender notre approche de la transition écologique et énergétique.

Car l'heure est grave. En mars 2018, une étude publiée par le Muséum d'Histoire Naturelle et le CNRS a démontré que 30 % des espèces d'oiseaux des champs auront disparu dans 15 ans. C'est demain !

Hélas, les oiseaux suivent les mêmes tendances que les abeilles et les insectes, rompant la chaîne de la biodiversité. Dans ces conditions, qui pourrait nier cette sixième extinction de masse qui nous menace ?

C'est pourquoi la Nouvelle-Aquitaine s'est dotée d'objectifs si ambitieux en matière de transition énergétique et écologique. La Région s'est notamment fixée des objectifs ambitieux et concrets à l'horizon 2020, visant une réduction de 30 % des émissions de gaz à effet de serre et une réduction de 30 % des consommations d'énergie, mais aussi de porter à 32 % la part des énergies renouvelables. C'est pourquoi nous avons engagé la sortie des pesticides avec les acteurs économiques.

Et c'est pourquoi, donc, nous avions initié ce rapport à l'échelle de la grande région, poursuivant le travail précurseur qui avait été engagé à l'époque de l'Aquitaine, déjà. Ainsi, les chercheurs ont dressé un diagnostic clair et implacable. À nous, élus de la Région, d'en tirer les conséquences dans nos politiques publiques et de maintenir nos ambitions, et de se donner véritablement les moyens d'y parvenir – à l'échelle de toute la Nouvelle-Aquitaine.

Alain ROUSSET

Président du Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine

Avant-propos

Ce rapport sur le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine constitue, un peu moins de 5 ans après, une suite au rapport sur « le changement climatique en Aquitaine » paru en 2013 – également diffusé par la Région Aquitaine sous le titre *« Prévoir pour Agir »*. Au total plus de 370 personnes auront été impliquées dans la rédaction de l'un ou l'autre de ces rapports, et mon premier souci est de les remercier toutes : cette mobilisation collective importante, la variété des disciplines scientifiques impliquées dans la réflexion que portent ces deux volumes, la fidélité à un travail qui s'inscrit dans la durée, qui a demandé du temps et des efforts, font le caractère unique de cette démarche.

Ce deuxième rapport complète le premier. Il ne l'efface pas. Mais il s'inscrit dans un contexte qui a changé : à l'Aquitaine a succédé la Nouvelle-Aquitaine. Cette extension territoriale amène d'abord des paysages nouveaux : une zone littorale qui a presque doublé, des marais aménagés par l'homme, des paysages de moyenne montagne qui n'ont pas d'équivalent dans les Pyrénées, une agriculture différente… Elle amène aussi des Universités nouvelles, des lieux de médiation scientifique, des compétences différentes. Il a fallu se réorganiser : c'est ainsi qu'est né le Comité AcclimaTerra, le comité scientifique qui a porté ce travail. Sollicités après consultation des présidents d'Université, ses membres ont permis de créer un espace de diversité à la fois disciplinaire et géographique, à la mesure de la diversité des enjeux du changement climatique sur ce large territoire.

Des remerciements appuyés doivent aussi aller au Conseil Régional, en premier lieu à son Président, Alain Rousset, qui a suivi tout ce travail de manière personnelle avec beaucoup d'attention, mais aussi à Françoise Coutant, vice-présidente en charge du climat et de la transition énergétique, Anna Wachowiak, Directrice générale adjointe du pôle développement économique et environnemental, à Béatrice Chassaing, directrice de l'énergie et du climat, Bénédicte Hamon, chargée de mission de l'énergie et du climat, Damien Léonard, conseiller technique au cabinet du Président, Anne-Laure Dupin, responsable de la communication développement durable.

Le Conseil Régional a été à l'initiative de ce travail, il l'a soutenu dans la durée avec efficacité, il a su faire preuve d'écoute, créer les liens entre services (Recherche, Communication). Il a su aussi, et nous lui en sommes tous reconnaissants, respecter de manière totale l'indépendance d'AcclimaTerra. Ce rapport est en conséquence un rapport de chercheurs, écrit avec des mots de chercheurs, des chercheurs et des mots qui viennent d'horizons souvent différents. Le but de l'ouvrage n'est pas de recommander des décisions, mais d'aider dans leur choix ceux qui ont la responsabilité de la décision : les élus et les citoyens qui votent et se mobilisent. Il s'agit aussi de les alerter sur des enjeux importants. Tous les rédacteurs ont donc fait un effort pour adapter au mieux leurs textes à des lecteurs qui ont d'autres formations et d'autres compétences, mais ils l'ont fait en s'efforçant de ne pas en trahir le contenu

Nous avons essayé en effet de respecter un équilibre délicat. Le problème du changement climatique aujourd'hui n'est plus de savoir s'il s'agit d'un risque réel, mais de savoir définir et engager des actions pertinentes dans un contexte marqué par la complexité d'enjeux qui sont souvent contradictoires. Ignorer cette complexité c'est souvent se résoudre à l'inefficacité. Mais il ne faut pas non plus en faire le paravent de l'inaction. C'est pourquoi nous avons essayé de rendre possibles plusieurs niveaux de lecture de ce document, pour que chacun puisse s'y orienter au mieux de ses intérêts.

Nous avons aussi conscience que le rapport ne jouera son rôle que s'il est relayé par un effort actif de médiation. Il faut certainement trouver des dispositifs de communication plus continus qui ne limitent pas les échanges à une périodicité de 5 ans entre deux rapports. L'équipe AcclimaTerra s'y prépare et elle accueillera aussi toutes les suggestions sur son site : acclimaterra.fr. Si cette dynamique se met en place, elle annulera à terme la nécessité d'un troisième rapport sous le format des deux premiers : ce serait un peu paradoxalement une marque de succès !

Hervé Le Treut
Directeur de l'ISPL, Paris
Professeur à Sorbonne Université et École Polytechnique
Membre de l'Académie des Sciences

Sommaire

Introduction 8

La Nouvelle-Aquitaine 10
Territoire 12
Économie 14
Villes et population 16
Eaux continentales 18
Littoral 20
Patrimoine naturel 22
Agriculture-élevage 24
Consommation d'énergie 26
Production d'énergie renouvelable 27
Émissions de gaz à effet de serre 28
Puits de carbone 30

1 • Climat global, climat local : quelle dépendance ? 33

D'un rapport à l'autre : un contexte en évolution 36
Que peut-on dire des changements climatiques récents ? 39
Que peut-on dire des spécificités régionales des changements climatiques futurs ? 42
De la météo au climat : coexistence des variabilités naturelles et forcées 45
Conclusion : comment appréhender l'adaptation aux changements locaux 49

2 • Une mémoire pour une meilleure adaptation au changement climatique ? 51

Introduction 54
Les passeurs de mémoire 56
Les « monstruosités du temps » ou l'éternel recommencement 59
Retours d'expériences et outils de résilience 63
Conclusion 66

3 • Les instruments juridiques de l'adaptation au changement climatique 69

Introduction 72
L'approche territoriale de l'adaptation au changement climatique 73
La transformation des activités économiques 82
La protection des populations des risques climatiques 89
Conclusion 94

4 • Santé environnementale 97

Introduction 100
Le changement climatique et la santé : les constats en Nouvelle-Aquitaine 101
Le climat, un déterminant de santé révélateur de vulnérabilités dans la population 107
La santé environnementale : un nouveau paradigme 111
La santé environnementale : pour un renouvellement de la décision indéniablement liée à l'éthique et au sens 113
La santé, un levier pour impulser des changements 115
Conclusion 119

5 • Qualité des milieux naturels . . 121

Introduction 124
L'eau 125
L'air 135
Le sol 143
Conclusion 148

6 • Disponibilité de l'eau et changement climatique 151

Introduction 154
La disponibilité des eaux superficielles . . 156
Eaux souterraines en région Nouvelle-Aquitaine 162
Pour une gouvernance de l'eau face au changement climatique 168

7 • L'énergie régionale et la transition énergétique 177

Introduction 180
Les consommations d'énergie en Nouvelle-Aquitaine 182
Les énergies produites en Nouvelle-Aquitaine 187
Conclusion 198

8 • Les ressources exploitées par la pêche et la conchyliculture . . 201

Ressources exploitées par la pêche professionnelle 204
Ressources exploitées par la conchyliculture 217
Conclusion 222

9 • Nouvelles forêts et nouvelles attentes ? 225

Introduction 228
Changement climatique et composition actuelle et future des forêts de la Nouvelle-Aquitaine 230

Acteurs et politiques face aux changements climatiques en forêt . . 242
Conclusion 246

10 • Quelle agriculture demain en Nouvelle-Aquitaine ? 249

Le contexte de l'agriculture de la région Nouvelle-Aquitaine 253
Les impacts du changement climatique sur les ressources mobilisées par l'activité agricole et son environnement 257
Les impacts sur les fonctions de production et les stratégies d'adaptation par filière 262
Adaptation au changement climatique et atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole : peut-on concilier les deux objectifs ? 274
Conclusion 278

11 • Territoires urbains et enjeux climatiques 281

Introduction 284
Impacts du changement climatique en milieu urbain 285
Enjeux de la métropolisation tenant à la morphologie des villes et à l'étalement urbain 289
Vers un urbanisme résilient et à faibles émissions 296
Les politiques climatiques territorialisées et leurs instruments 301

12 • Modifications physiques du littoral 305

Introduction 308
Les principaux forçages et leur évolution dans le cadre du changement climatique 311
Les différents environnements littoraux 315
L'aléa érosion dans la Nouvelle-Aquitaine 318
L'aléa submersion marine dans la Nouvelle-Aquitaine 322
Adaptation 326
Conclusion 329

13 • Zones humides : des écosystèmes riches mais menacés 331

Définition 334
Fonctions et services rendus par les zones humides 336
Typologie des zones humides de la région Nouvelle-Aquitaine 340
Les zones humides et le réchauffement climatique 353
Perspectives 360

14 • Massifs montagneux 363

LES PYRÉNÉES 367
Le climat du passé 368
Changements climatiques depuis 1950 et projections 371
Réponses des organismes et des écosystèmes 374
Changement climatique et transformations territoriales 377
Des projets partagés d'atténuation et d'adaptation 382
Perspectives 386

LE MASSIF CENTRAL 387
Moyennes altitudes et faibles densités . . 388
Évolution paysagère au filtre des relations homme/climat 389
Les zones humides de tête de versant : un refuge pour certaines espèces sensibles à la température de leur environnement . 390
Quelle forêt pour demain ? 392
Du défi d'adaptation au territoire d'expérimentation 393
Conclusion 394

15 • Participation locale et appropriation citoyenne 397

Introduction 400
Participation des citoyens à la conception des politiques et sensibilisation au changement climatique 403
Participation des citoyens à la mise en œuvre de projets aux différentes échelles territoriales 407
Conclusion 413

Conclusion 414

Glossaire 422

Acronymes 428

Références bibliographiques 430

Membres d'AcclimaTerra 478

Contributeurs et relecteurs 482

Une nouveauté de ce rapport est l'identification de chaque chapitre par une pastille verte. Les icônes situées dans le texte indiquent un ou plusieurs chapitres en lien avec le sujet traité, permettant de l'aborder sous différents angles.

Introduction

Le succès remarquable de la diplomatie française lors de la COP21, se concluant fin 2015 par des « accords de Paris » qui ont été ratifiés moins d'un an plus tard, a très largement changé la perception des enjeux en matière d'environnement. Le diagnostic de la communauté scientifique sur le rôle des activités humaines dans les changements climatiques, présents et à venir, y a été accepté par l'ensemble des gouvernements de la planète, unanimes en cette occasion, et les débats associés se sont par la suite très largement déplacés depuis le domaine de l'alerte vers celui des actions nécessaires.

C'est donc une nouvelle étape qui se met en place, où les débats sur l'existence même d'un changement climatique, sont remplacés par des débats sur le « comment faire ? » De ce point les perspectives restent difficiles. Les émissions de gaz à effet de serre continuent de croître, les gaz s'accumulent dans l'atmosphère où ils continuent d'agir pour réchauffer la planète, sans que l'on dispose aujourd'hui de technologies pour aller les reprendre. Nous engageons ainsi le futur pour des décennies ou des siècles, en créant une forme de dette environnementale. Qu'il s'agisse de calculs d'ordre de grandeur, ou des modèles détaillés qui ont été développés dans la communauté scientifique, tout indique que pour pouvoir à la fois payer cette dette, et stabiliser le climat à des niveaux de températures raisonnables (réchauffement limité à 1,5 degrés ou 2 degrés par rapport à la période préindustrielle), il faudrait avant la fin de ce siècle supprimer complètement les émissions de gaz à effet de serre partout sur la planète, et même essayer de reprendre massivement du CO_2 à l'atmosphère – c'est-à-dire mettre en place ce que l'on appelle souvent des « émissions négatives » et que l'on ne sait pour le moment pas faire à grande échelle.

L'ampleur de la tâche est colossale : les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) représentent à la fois 80 % de notre production d'énergie à l'échelle mondiale, contre à peine plus de 1 % pour le solaire et l'éolien réunis, et ils sont aussi responsables de la plus grande part de l'effet de serre dû aux activités humaines - le chiffre précis dépend un peu des échéances que l'on considère, mais là aussi un chiffre de 80 % est souvent évoqué. La transition énergétique nécessaire est donc colossale. La COP21 a mis en place un mécanisme de contributions des États à la décroissance des gaz à effet de serre d'ici 2030. Ces contributions nationales, qui seront révisées à la hausse tous les 5 ans, sont déterminées de manière indépendante par chaque pays. Le bilan que l'on peut faire aujourd'hui montre que ces engagements, même s'ils sont tenus par tous, seront insuffisants d'un facteur 2 au moins pour éviter des changements climatiques importants (dépassant la barre des 2 °C de réchauffement par rapport à la période préindustrielle, qui est l'objectif minimal des accords de Paris).

Dans ce contexte le regard que l'on peut porter sur le changement climatique à l'échelle d'une région comme la Nouvelle-Aquitaine est fondamental à plusieurs titres.

Le chemin devant nous est étroit. Il implique une part inévitable de changements climatiques dont il faudra anticiper les impacts, en sachant que l'anticipation de ces aléas se heurte à une part d'incertitudes, qui définissent un espace de risque climatique aux frontières incertaines. Par ailleurs des situations vont inévitablement se multiplier qui obligeront à arbitrer des priorités entre risques climatiques, risques socio-économiques, facteurs de dégradation à très longue durée des sols, de l'eau ou de l'air, ou encore dégradation d'un patrimoine irremplaçable : le patrimoine naturel.

À cet égard, la région doit constituer non seulement un espace d'action, mais aussi un espace de réflexion, de débat et d'éducation citoyenne face aux problèmes complexes de la transition environnementale. Pour reprendre un propos du Pr. Gil, directeur de l'Espace de Réflexion Éthique Poitou-Charentes : « Plus l'incertitude est grande et plus le processus décisionnel doit être débattu publiquement. Le plus inacceptable n'est pas que le décideur se trompe alors qu'il fait face à l'incertain, mais que sa démarche décisionnelle ne soit ni transparente, ni cohérente, ni explicite ». La manière d'organiser le débat public est fondamentale.

C'est pourquoi ce nouveau rapport AcclimaTerra, plus encore que le précédent, donne une large place aux sciences humaines, en s'ouvrant à des domaines jusqu'ici inexplorés : droit de l'environnement, sciences politiques, histoire…

Bien sûr, en mettant l'Homme au centre des motivations de ce nouvel ouvrage, il vient un moment, où l'on sort du domaine de ce qui peut être débattu de manière objective par la science, et où l'on rentre dans le domaine des valeurs. Ce livre, écrit par des chercheurs académiques de disciplines différences, s'est efforcé d'atteindre cette frontière, mais aussi de ne pas la dépasser et il espère avoir fourni ainsi les bases d'un débat citoyen qui, lui, doit se développer bien au-delà.

Coordination : **Valérie Barbier**

LA NOUVELLE-AQUITAINE :

12 DÉPARTEMENTS

LA + VASTE RÉGION DE FRANCE

84 000 km²

5,9 MILLIONS d'habitants

1/3 TERRITOIRE RÉGIONAL BOISÉ

1e RÉGION **FRANÇAISE** & **EUROPÉENNE**
pour la valeur de sa **PRODUCTION AGRICOLE**

2e **RÉGION MÉTROPOLITAINE** (hors Île-de-France)
en termes de production de richesse

PIB **159,8 MILLIARDS D'EUROS**

1 738
MASSES D'EAU
DE SURFACE

116
MASSES D'EAU
SOUTERRAINE

720 km
DE CÔTES

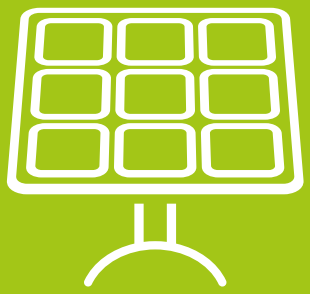
1,1 **MILLIONS D'ha**
surfaces toujours
EN HERBE

9,3 %
DU TERRITOIRE **ARTIFICIALISÉ**

+ de 52 000 ha
DE SURFACES **PROTÉGÉES**
par voie réglementaire

182 719 GWh
CONSOMMÉS

51 684 Kt CO_2e



36 529 GWh
DE PRODUCTION
D'ÉNERGIE
RENOUVELABLE

TERRITOIRE

La Nouvelle-Aquitaine est la plus vaste région de France. Elle couvre 84 000 km², soit 15 % du territoire. Elle est aussi parmi les plus étendues en Europe.

Elle compte 25 grandes aires urbaines, avec 1 métropole de plus de 750 000 habitants (Bordeaux), et 9 communautés d'agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Le territoire bénéficie d'infrastructures de communication importantes. C'est une région de transit entre le bassin parisien et la péninsule ibérique mais également ouverte vers l'Est de la France et le midi toulousain.

C'est une région qui offre une grande diversité de paysages.

Son territoire est particulièrement marqué par l'importance de l'eau :

- de nombreuses rivières, lacs, et étangs ;
- la vaste étendue de sa façade ouverte sur l'Atlantique : 720 km de côtes (sableuses, rocheuses) entre La Rochelle et Hendaye ;
- 2 grandes îles d'Oléron et Ré en Charente-Maritime ;
- 3 estuaires, celui de la Charente, celui de l'Adour et celui de la Gironde (le plus grand d'Europe) ;
- des zones humides qui dessinent des paysages singuliers : mares, marais salants, barthes…

Il est également marqué par de grandes étendues de forêts, qui en font la surface forestière la plus grande de France métropolitaine.

À l'Est, **les plateaux du massif central** culminent avec le plateau de Millevaches (977 m). Au Sud, **les chaînons des Pyrénées** (Pic du midi d'Ossau, 2 884 m) **offrent un paysage de montagne.**

Le reste des grands ensembles paysagers témoigne de l'importance de l'agriculture en région. Par son assolement diversifié, elle contribue à la diversité des paysages : **paysages de grandes cultures** (blé, maïs, oléoprotéagineux) dans les plaines ouvertes, **de polyculture/élevage** dans des paysages de bocages, et **de vignes** autour de Bordeaux et Cognac.

Agriculture et forêts occupent 84 % de l'espace régional.

La diversité de ces espaces de nature et de culture est source d'une grande richesse faunistique et floristique, d'une biodiversité tout autant ordinaire que remarquable.

DES PAYSAGES SINGULIERS

Mares de la réserve naturelle du Pinail © Dpt Vienne.

Tourbière du Longeyroux (Meymac, Corrèze) © CEN Limousin.

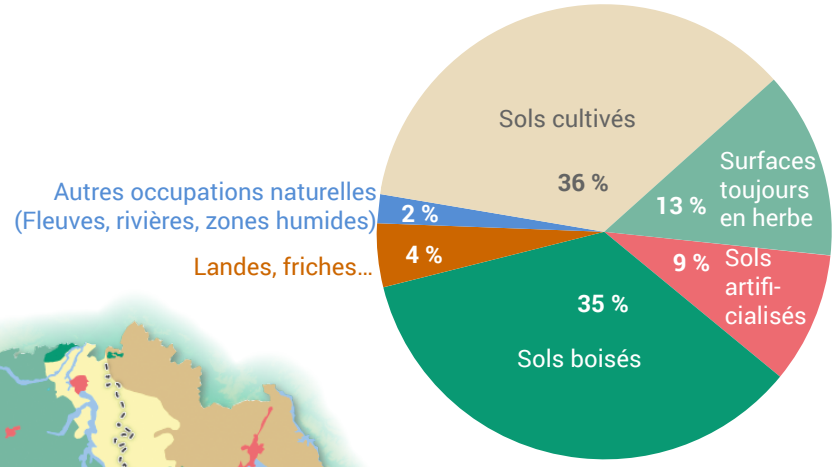
Barthes de Rivière-Saas-et-Gourby © S.Laurent (Dpt Landes).

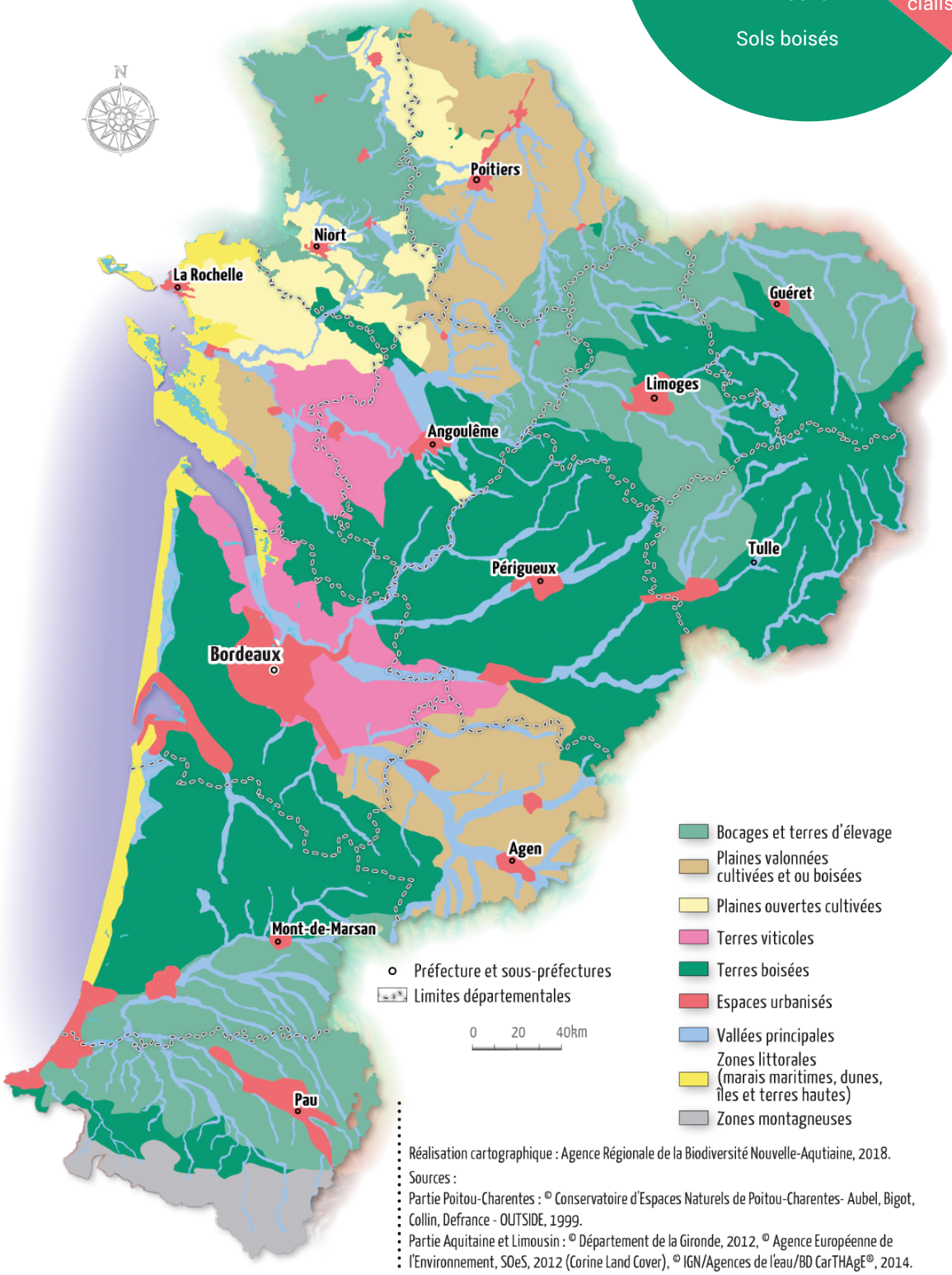
Marais salant de l'Île de Ré © Écomusée du marais salant (Charente-Maritime).

La hêtraie du Ciron © Syndicat Mixte du bassin versant (Gironde).

GRANDS ENSEMBLES PAYSAGERS

OCCUPATION DU SOL (ANNÉE 2014)





Réalisation cartographique : Agence Régionale de la Biodiversité Nouvelle-Aquitaine, 2018.

Sources :

Partie Poitou-Charentes : © Conservatoire d'Espaces Naturels de Poitou-Charentes- Aubel, Bigot, Collin, Defrance - OUTSIDE, 1999.

Partie Aquitaine et Limousin : © Département de la Gironde, 2012, © Agence Européenne de l'Environnement, SOeS, 2012 (Corine Land Cover), © IGN/Agences de l'eau/BD CarTHAgE®, 2014.

ÉCONOMIE

Avec **159,8 milliards d'euros**, la région Nouvelle-Aquitaine se place en seconde position des régions hors Île-de-France en termes de production de richesse. Elle participe pour 7,7 % au PIB national.

Avec un nombre total de **2,3 millions d'emplois**, dont 28 % en Gironde, elle représente 8,8 % de l'emploi en France métropolitaine.

L'économie régionale se caractérise par une très forte spécificité agricole. Le secteur agricole est le premier d'Europe avec plus de 11 milliards d'euros en valeur de production annuelle (15 % du chiffre d'affaires national). Il représente 4,1 % de la valeur ajoutée totale et 5 % de l'emploi.

Le secteur tertiaire est prépondérant avec près de 76 % de la valeur ajoutée totale et de l'emploi. L'emploi public est prégnant avec une part importante de la fonction publique hospitalière et de la fonction publique territoriale.

Mais les services marchands restent le secteur dominant. Dans ce cadre, le tourisme constitue une activité économique considérable : 8 % du PIB régional, 12 milliards d'euros de recettes annuelles, 103 000 emplois, 27 millions de touristes chaque année (2e région d'accueil des Français et 5e des touristes étrangers).

Le secteur de l'industrie contribue moins que la France de province à la valeur ajoutée (13,8 % / 16,2 %). Il totalise 12 % de l'emploi et est dominé par l'industrie agroalimentaire, développée sur l'ensemble du territoire.

DES SPÉCIFICITÉS TERRITORIALES

AGRICULTURE

Sources : Agreste - Insee.

- Les grandes cultures céréalières oléoprotéagineuses sont très présentes dans la Vienne, les Charentes, en Gironde et dans les Landes.
- L'élevage bovin et ovin est dominant dans la Creuse, la Corrèze, la Haute-Vienne, mais on le retrouve aussi dans les Pyrénées-Atlantiques, la Dordogne et les Deux-Sèvres. De grandes exploitations produisent sous label rouge (Bœuf qualité limousine, la parthenaise…) ou ont des Appellations d'Origine Protégées (Basco-Béarnaise…).
- Autour de Bordeaux et de Cognac se déploient des ensembles viticoles.
- Le reste du territoire agricole présente une agriculture plus diversifiée (polyculture - polyculture/élevage) avec des productions emblématiques (foie gras de canard du Sud-ouest, Ossau-Iraty du Pays basque, pruneaux d'Agen, noix du Périgord, melons charentais, chabichou du Poitou…).
- La culture bio est très présente dans le Lot-et-Garonne (grandes cultures, légumes et fruits), en Dordogne (surface toujours en herbe, légumes et fruits), en Haute-Vienne (cultures fourragères).
- La conchyliculture est une activité essentielle du littoral. Le département de Charente-Maritime est le premier département français producteur de coquillages (zones de la baie de l'Aiguillon, de Marennes-Oléron).
- La présence de grands massifs forestiers a permis le développement de la filière bois dans les Landes, en Dordogne et en Garonne.

INDUSTRIE

Source : Insee.

- Les équipements électriques, électroniques, informatiques sont bien implantés en Charente et en Haute-Vienne (Leroy-Somer, Schneider Electric, Legrand…), ainsi que les secteurs des produits de luxe (Hermès, Repetto…) ; les matériels de transport en Charente-Maritime et dans les Pyrénées-Atlantiques (Turboméca, Alstom…) ; les industries manufacturières (dans le nord de la Vienne) ; les activités militaires dans l'ex-région Aquitaine.

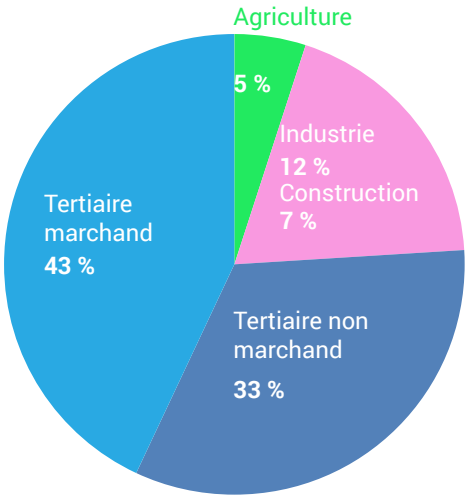
TERTIAIRE MARCHAND

Source : Pôle emploi.

- Les services marchands tiennent une place importante en termes d'emplois. Outre les services aux personnes (développement de la *silver economy* dans la Creuse), ils sont particulièrement liés au tourisme dans la Vienne (Futuroscope), en Charente-Maritime (La Rochelle, les îles de Ré et d'Oléron en particulier), dans les Pyrénées-Atlantiques (tourisme de montagne) et en Gironde (nombreuses stations balnéaires, Bordeaux en tête des meilleures destinations au monde).
- Ils sont également très présents dans les Deux-Sèvres du fait de la présence historique des sièges nationaux de grandes mutuelles (MAIF, MACIF).

RÉPARTITION DES EMPLOIS PAR SECTEURS D'ACTIVITÉ (ANNÉE 2014)

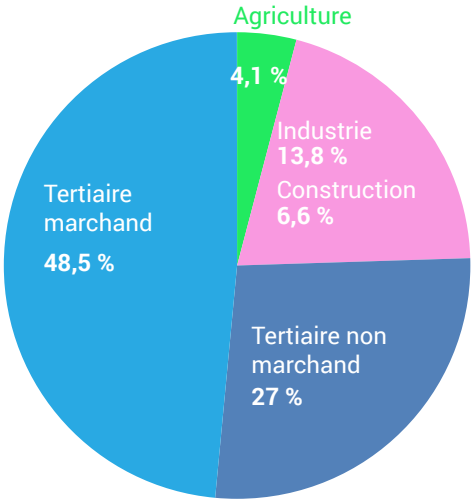
Source : Pôle emploi.



Agriculture : 114 146
Industrie : 281 993
Construction : 159 732
Tertiaire marchand : 999 035
Tertiaire non marchand : 774 153
TOTAL : 2, 3 MILLIONS D'EMPLOIS

VALEUR AJOUTÉE PAR SECTEURS D'ACTIVITÉ (ANNÉE 2014 - RÉSULTATS SEMI-DÉFINITIFS)

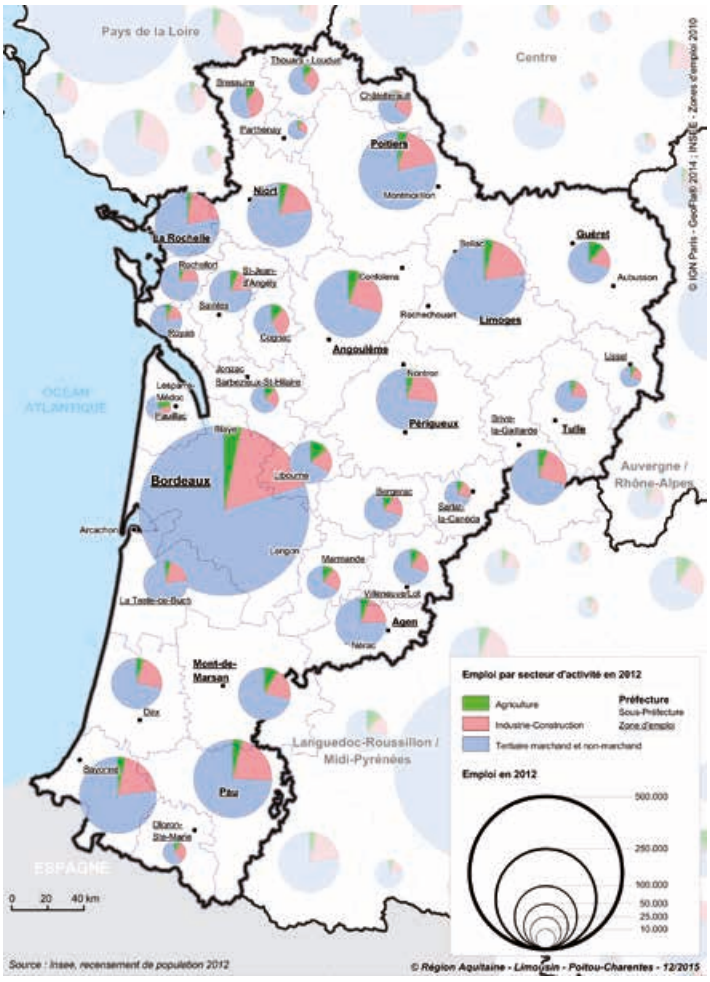
Source : Insee.



Agriculture : 5 905 millions d'euros
Industrie : 19 732
Construction : 9 391
Tertiaire marchand : 38 652
Tertiaire non marchand : 69 385
TOTAL VA : 143 MILLIARDS D'EUROS ENVIRON

EMPLOIS PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ

en 2012 par zone d'emploi



DES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES

Conchyliculture © A. Ribreau (ARB NA).

Céréaliculture © A. Ribreau (ARB NA).

Élevage © Communauté de communes Vienne et Gartempe.

VILLES ET POPULATION

La région Nouvelle-Aquitaine compte 5,9 millions d'habitants au 1er janvier 2016. Elle est la 4e région la plus peuplée des 13 régions françaises.
Entre 2009 et 2014, elle a gagné plus de 170 000 habitants, soit une augmentation annuelle moyenne de 0,6 %. Ce dynamisme repose sur un solde migratoire positif car le solde naturel reste bas.

La croissance de sa population est particulièrement marquée en périphérie des grandes agglomérations, sur le littoral et le long des grands corridors fluviaux et vallées où se concentrent les activités économiques.

Plus des 2/3 de la population vivent dans une grande aire urbaine (1 habitant sur 5 dans l'aire urbaine de Bordeaux).

La population des grandes aires urbaines augmente, pour 61 % par densification et par 31 % par extension territoriale. On assiste en effet à une progression de leur surface. La population s'installe plus loin des centres urbains afin de profiter d'un meilleur cadre de vie, mais aussi parce que les logements et les terrains y sont moins chers. Ces choix entraînent l'augmentation du parc de véhicules et une amplification des déplacements domicile-travail, les emplois restant concentrés dans les pôles urbains.

Si les tendances démographiques actuelles se poursuivent, **la Nouvelle-Aquitaine gagnerait près d'un million d'habitants au cours des 30 prochaines années** et compterait 6 700 000 habitants en 2040. Sa progression démographique serait alors de 5 points supérieure à celle de la France métropolitaine (17 % contre 12 % sur la période).

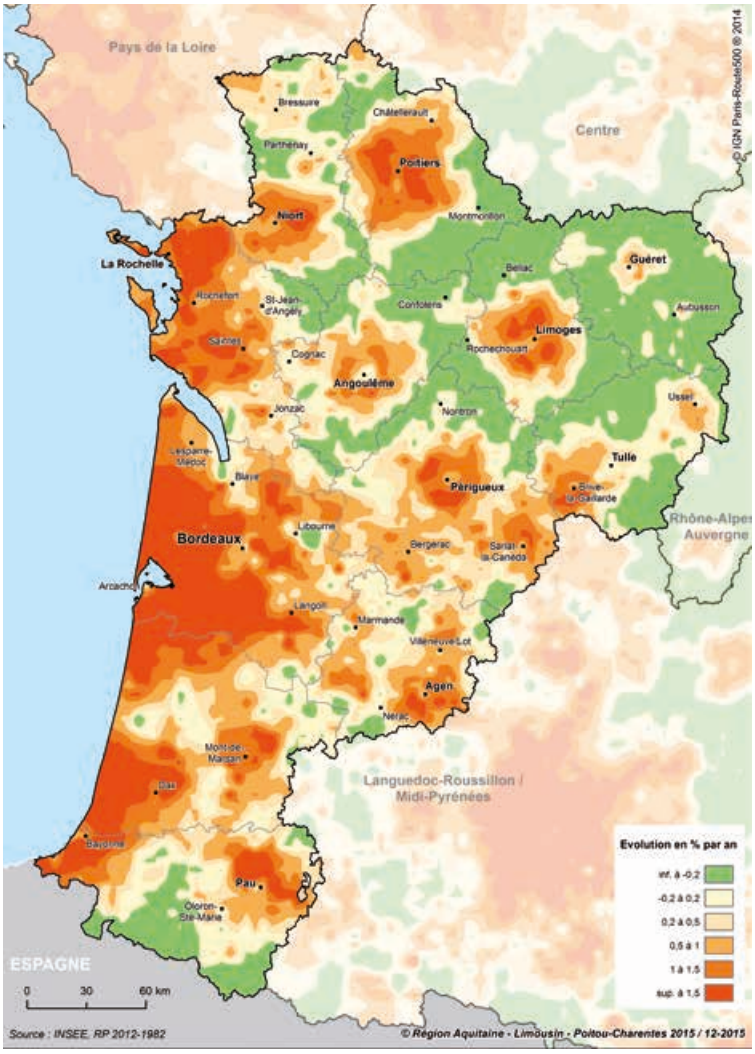
Le phénomène d'étalement urbain implique une artificialisation des sols.

Il est lié, entre autres, au succès de la maison individuelle, phénomène consommateur d'espace pour le bâti mais également d'espaces associés : pelouses, jardins, voiries, parking, infrastructures de transport, centres commerciaux…

Les émissions de gaz à effet de serre par la population sont essentiellement énergétiques. Elles proviennent de l'habitat (chauffage, production d'eau chaude, climatisation) et du transport (besoin de se déplacer) sans oublier le traitement des déchets.

DENSITÉ *(source : Insee)*	Avec une superficie d'1/7e du territoire français, elle est une des régions les moins denses (70 hab./km²).
ARTIFICIALISATION *(source : Agreste - Enquête Teruti-Lucas)*	Les sols à vocation agricole sont les plus affectés par l'urbanisation. Les transferts de surfaces entre 2006 et 2014 montrent que les surfaces artificialisées progressent (+84 422 ha) au détriment des sols naturels (-4 799 ha) mais surtout des sols agricoles (-79 623 ha).
	9,3 % du territoire est artificialisé en 2014 (+ 12 % entre 2006 et 2014).
CONSTRUCTIONS NEUVES *(source : DREAL)*	Entre 2008 et 2015, la part des constructions neuves pour 1 000 habitants s'élève à 51 %. Elle est supérieure de 17 points au niveau France de province (34 %). Le marché de la construction neuve est soutenu par le dynamisme démographique mais aussi par l'importance des résidences secondaires. Le littoral est un des espaces les plus attractifs du territoire français.
DÉPLACEMENTS DOMICILE/ TRAVAIL *(sources : Eider - « a'urba »)*	Près de 2,38 millions d'actifs occupés se déplacent chaque jour en Nouvelle-Aquitaine.
	Plus de 63 % d'entre eux travaillent dans une autre commune que celle où ils habitent.
	Plus de 80 % des actifs de la région empruntent une voiture pour se rendre sur leur lieu de travail, seulement 5 % prennent les transports en commun.
PARC AUTOMOBILE *(source : Eider)*	Entre 1992 et 2015, le nombre de voitures particulières et commerciales, qui représentent la majorité du parc de véhicules, a fortement augmenté pour atteindre plus de 3 millions (+ 23,5 %).
	En 2012, 34 % des ménages ont deux voitures et 6 % ont trois voitures ou plus. Personne n'avait 3 voitures ou plus en 1999.

ÉVOLUTION DE LA POPULATION ENTRE 1982 ET 2012



AIRES URBAINES *(les plus importantes)*	POPULATION 2013 *(Nombre d'habitants)*
Bordeaux	1 178 335
Bayonne	291 443
Limoges	283 050
Poitiers	257 233
Pau	241 394
La Rochelle	207 263

Extension pavillonnaire © Département de la Vienne.

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- Extension des agglomérations, distances domicile-travail de plus en plus longues en périphérie des aires urbaines, augmentation du parc automobile
  → Augmentation des émissions de gaz à effet de serre, toutes choses égales par ailleurs (puissance des voitures, cherté des voitures moins polluantes, faible utilisation des transports en commun).
- Forte pression immobilière, diminution des surfaces pour la production agricole, artificialisation de sols de bonne qualité (à forte réserve utile) accentuant la problématique eau.
- Artificialisation des sols végétalisés, déstockage de carbone contribuant au réchauffement climatique.
- Dynamique de construction, plus forte consommation d'énergie possible (chauffage/climatisation)
  → Augmentation des émissions de GES, sauf développement de bâtiments « bas carbone ». Importance de diversifier le mix énergétique et de développer les énergies renouvelables.
- Augmentation de la population en ville, îlots de chaleur, problème de l'adaptation à une température moyenne plus élevée (ou à de fortes chaleurs l'été).

→ Ces différents phénomènes peuvent s'accentuer avec l'augmentation prévue de la population. Impacts sur la santé : problèmes respiratoires, allergies...

- Actions des territoires en termes d'organisation et d'occupation des territoires dans une optique d'atténuation des émissions de GES, de gouvernance des collectivités locales, de rapports entre les citoyens et leur cité.

EAUX CONTINENTALES

Le réseau hydrographique de la région est dense et diversifié : fleuves, rivières et petits chevelus (têtes de bassin et ruisseaux). **Il totalise près de 74 000 km de cours d'eau.** Les principaux bassins versants sont ceux de la Loire, de la Charente, de la Dordogne, de l'Adour et de la Garonne. **Il est complété par d'autres paysages d'eau,** les zones humides : marais, étangs, tourbières, landes humides, saligues, barthes…

Les eaux souterraines sont également importantes. Différents types de nappes se juxtaposent : des nappes profondes généralement captives, que l'on retrouve à différentes profondeurs, et au-dessus, des nappes superficielles, principalement libres, souvent en relation avec les rivières. Seuls le nord des Deux-Sèvres et l'ex-région Limousin ont très peu de nappes souterraines. La disponibilité de la ressource est donc, ici plus qu'ailleurs, très dépendante d'apport pluviométrique régulier.

Ces eaux de surface et souterraines sont classées en masse d'eau, volumes d'eau qui présentent une certaine homogénéité du point de vue des caractéristiques naturelles et des pressions exercées par les activités humaines. Elles servent d'unité d'évaluation de la qualité des eaux (état écologique, chimique ou quantitatif). 1 738 masses d'eau de surface et 116 masses d'eau souterraines ont été répertoriées en Nouvelle-Aquitaine.

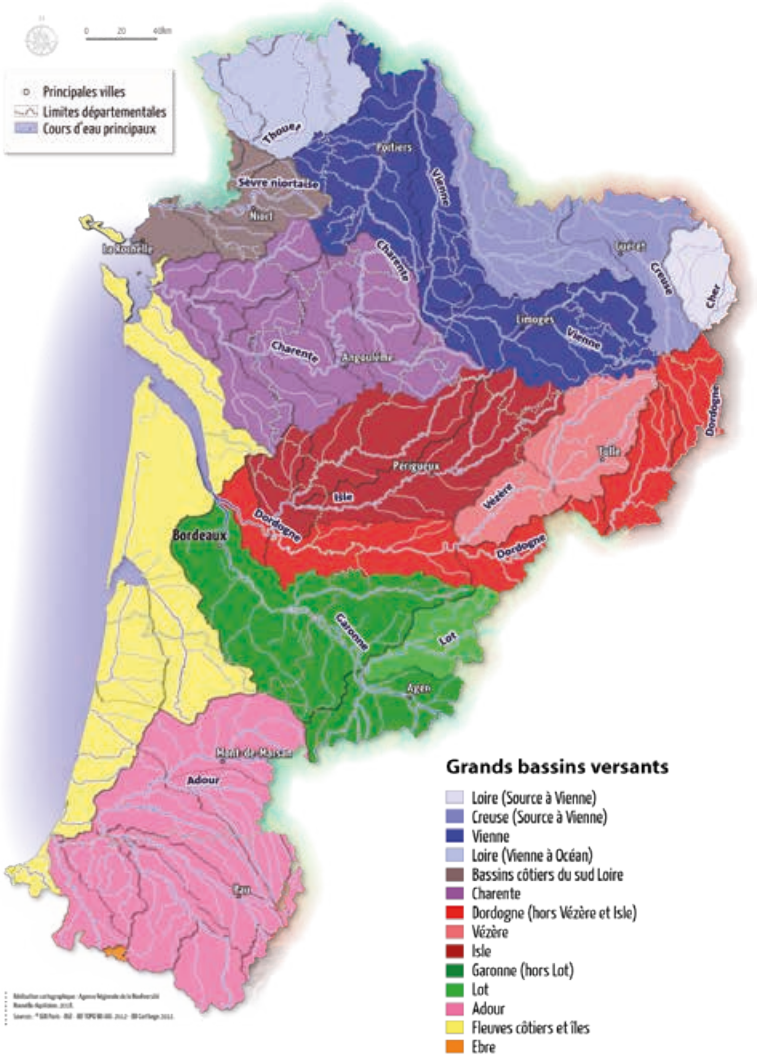
Ces eaux sont très fortement sollicitées pour différents usages, particulièrement en été, au moment où elles sont déjà naturellement à leur niveau le plus bas (consommation d'eau potable plus importante liée au tourisme, irrigation, refroidissement des centrales). Ce contexte estival entraîne des situations de tension sur la ressource entre les différents usages (domestique, agricole, industriel, énergétique) et la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques.

Couhé (Vienne) - Assec de la Dive du Sud.
© A. Ribreau (ARB NA).

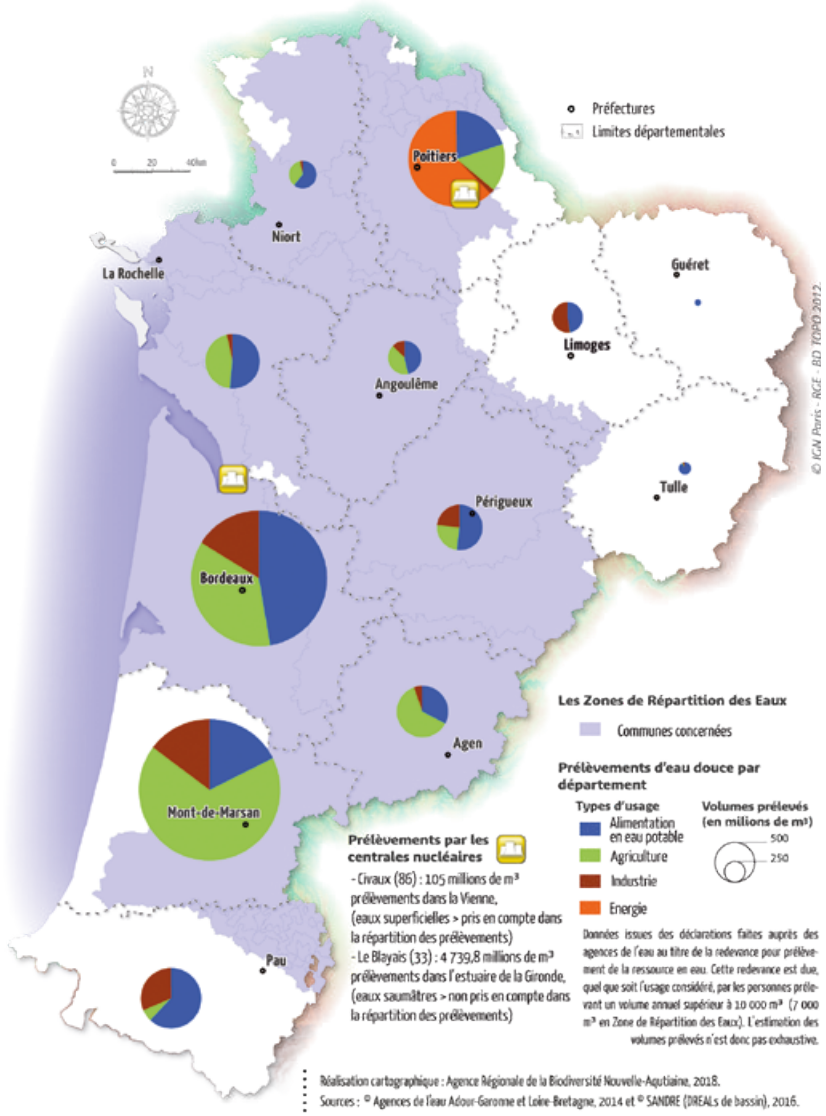
Une très grande partie du territoire est classée en Zone de Répartition des Eaux, zone dans laquelle l'importance de la sollicitation quantitative de la ressource entraîne un déséquilibre, autre qu'exceptionnel, entre ressources et besoins. Ce classement témoigne des difficultés récurrentes de disponibilité de la ressource rencontrées en région.

En parallèle, **les cours d'eau, ou masses d'eau de rivières, rencontrent des problèmes de pollution.** Plus de la moitié n'est pas en bon état écologique. Certaines masses d'eau souterraines ont, quant à elles, des problèmes de concentration en nitrates et en pesticides.

LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET LES GRANDS BASSINS VERSANTS



ZONE DE RÉPARTITION DES EAUX ET PRÉLÈVEMENTS PAR USAGE EN 2014



DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- Baisse des débits naturels des rivières. Étiages plus précoces, plus sévères et plus longs. Baisse de la recharge des nappes. Accentuation des conflits d'usage de l'eau. Conséquences sur le prix de l'eau.
- Augmentation de la température des eaux superficielles, continentales et marines. Accentuation des problèmes de pollution des eaux : conséquences pour la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (incidences sur la santé).
- Disparition de certaines zones humides.
- Répercussions de ces effets négatifs (quantitatif et qualitatif) sur les écosystèmes.
- Répercussions économiques de ces effets négatifs sur les activités de pêche et de conchyliculture.

→ Impacts très dépendants et à mettre en perspective avec les évolutions de la démographie, du contexte économique, des politiques de gestion de l'eau sur le secteur agricole.

La Dordogne - © Association des Sites Touristiques de Domme.

LITTORAL

Les cultures marines et la pêche occupent une place importante dans l'identité et l'économie de la région.

La production d'huîtres se fait dans les deux grands bassins de Marennes-Oléron et d'Arcachon ; la production de moules essentiellement dans la baie de l'Aiguillon. La production globale de coquillages est estimée en 2015 à un peu plus de 71 000 tonnes (dont 53 138 tonnes d'huîtres et 17 119 tonnes de moules) pour une valeur d'environ 300 millions d'euros. **La production conchylicole de la façade Sud-Atlantique représente environ 40 % de la production totale nationale,** Marennes-Oléron étant le premier bassin conchylicole en Europe. Malgré d'importants problèmes sanitaires ces dernières années, la Charente-Maritime reste le premier département français producteur de coquillages, avec le tiers de la production française d'huîtres.

La pêche professionnelle est représentée par un pôle d'activités important de navires hauturiers pour la pêche au large sur le port de Saint-Jean-de-Luz, et par une pêche côtière d'espèces à forte valeur ajoutée (bars, sols, dorades…) sur les ports de l'île d'Oléron, d'Arcachon, La Rochelle et Royan. En 2015, la filière comptait 529 navires en activité. La production totale de la façade Sud-Atlantique s'est élevée à près de 21 000 tonnes débarquées pour un chiffre d'affaires de près de 95 millions d'euros. Saint-Jean-de-Luz et Oléron sont les halles à marée les plus importantes. Elles concentrent les 3/4 des quantités vendues (les 2/3 de la valeur des ventes). La production de pêche représente environ 12 % de l'apport en tonnes de la production nationale et 15 % du chiffre d'affaires national.

La façade atlantique est un espace attractif qui accueille de plus en plus de résidents (voir focus "Villes et population"). La densité de population sur les communes concernées a été estimée en 2010 à 255 hab./km^2 sur la façade de l'ex-région Poitou-Charentes et à 104 hab./km^2 sur la façade de l'ex-Aquitaine (respectivement +17 % et +14 % entre 1999 et 2010). La croissance de la population, jusqu'en 2040, serait estimée à +25,6 % dans les départements littoraux ex-aquitains (+ 34 % dans les Landes) et à + 24,3 % en Charente-Maritime.

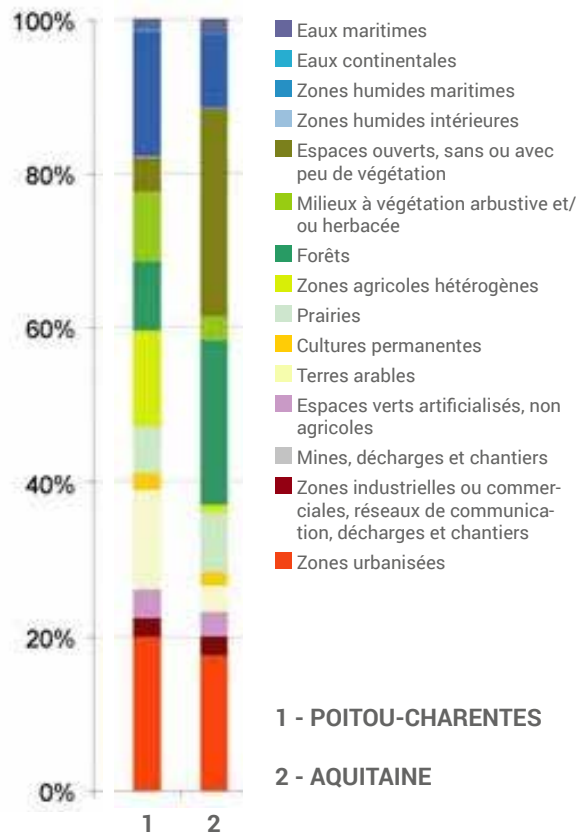
Les touristes sont également très nombreux et les capacités d'hébergement touristique sont fortes. Les communes de la façade Sud-Atlantique affichent le taux de fonction touristique le plus important, avec 230 lits pour 100 habitants en 2013. 12 communes comptent plus de 1 000 lits pour 100 habitants, avec un maximum de 2 200 lits (Les Mathes en Charente-Maritime).

Les zones urbanisées occupent plus de 20 % des espaces situés à moins de 500 mètres des côtes. Les milieux naturels, zones humides et surfaces en eau occupent plus de la moitié du bord de mer. Ces territoires sont particulièrement vulnérables face aux risques naturels (tempêtes, inondations, submersions marines, érosion).

Bateaux de pêche, La Cotinière.
© Région Nouvelle-Aquitaine Sophie Cousin.

OCCUPATION DU SOL À MOINS DE 500 M DE LA MER PAR FAÇADE EN 2006

Source : onml.



PRODUCTION ET FLOTTE DE PÊCHE

Sources : Insee, DIRM - 2012

ENJEUX SITUÉS DANS LES ZONES BASSES

Définition : les zones basses sont les territoires de bord de mer dont l'altitude est inférieure au niveau atteint par la mer lors de conditions extrêmes (vent, tempête, houle…).

Nombre de bâtiments	**54 678**
Linéaire d'infrastructures de transport	**3 365 km**
Surface de sites d'intérêt écologique	**98 419 ha**

Source : Perherin C., Roche A., Trmal C., Pons F. et al. 2014.

Tempête Andréa sur le front de mer de Saint-Jean des Sables. © Frédéric Le Lan (Communauté d'Agglomération de La Rochelle).

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- Plusieurs observations côté océan : hausse des températures des eaux de surfaces, modification de la circulation océanique, augmentation du niveau de la mer et du régime des houles, acidification des eaux…
- Aggravation des aléas côtiers : érosion et recul du trait de côte, submersions des côtes basses (définitives ou temporaires), avancée dunaire dans les terres, intrusions salines dans les nappes souterraines d'eau douce du bord de mer.
  → Impacts sur la population, les bâtiments, les infrastructures, à proximité immédiate des rivages, là où les aléas d'origine marine sont localisés (érosion, submersion).
  → Impacts environnementaux : sur la biodiversité marine et sur les milieux naturels (forêts, dunes, landes, zones humides…) qui couvrent une grande surface des terres situées le long des côtes en recul du fait de l'érosion marine → Disparition de ces espaces naturels avec dommages écologiques importants.
  → Impacts économiques : les impacts sur la biodiversité ont des conséquences lourdes sur l'exploitation des ressources de la mer, diminution de la productivité et de la rentabilité pour les secteurs de la pêche et de la conchyliculture.
- Importance des lois, des plans, des schémas de protection qui concernent le littoral. Importance de l'adaptation aux aléas possibles.

PATRIMOINE NATUREL

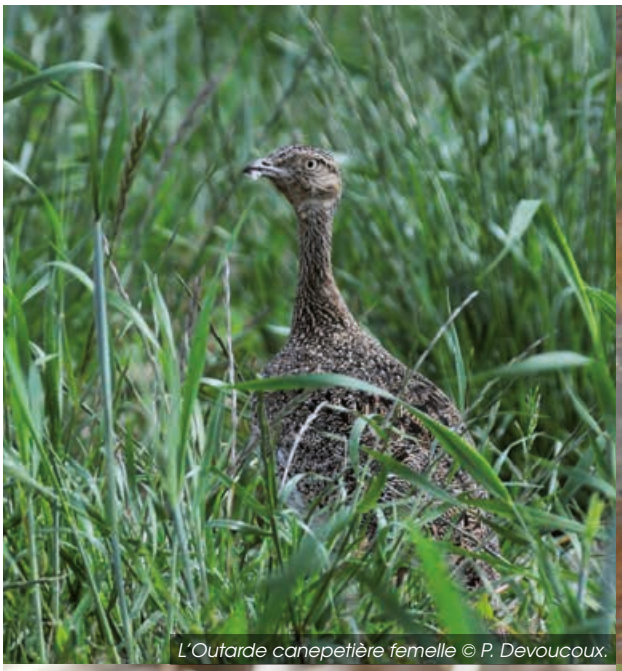
La région possède une grande variété de milieux naturels ou semi-naturels : marais, forêts, bocages, plaines céréalières, pelouses sèches… Or, depuis les années cinquante, de multiples pressions d'origine humaine ont contribué à l'amenuisement et au morcellement de ces habitats. Aussi assiste t-on à une perte importante de biodiversité. **De nombreux espaces naturels sont aujourd'hui protégés.**

ESPACES PROTÉGÉS ET ZONES D'INVENTAIRES

PROTECTION RÉGLEMENTAIRE	SURFACE		% DU TERRITOIRE TERRESTRE RÉGIONAL
1 Parc Naturel National (PNN)	14 917 ha (zone cœur)	52 141 hectares de surfaces protégées par voie réglementaire	0,54 % du territoire protégé
21 Réserves Naturelles Nationales (RNN)	14 862 ha		
9 Réserves Naturelles Régionales (RNR)	576 ha		
73 Arrêtés préfectoraux de Protection de Biotope	16 807 ha		
1 Réserves Naturelles de Chasse et de Faune Sauvage Nationale	2 071 ha		
3 Réserves Biologiques	2 908 ha		
MAÎTRISE FONCIÈRE			
Sites des Conservatoires d'Espaces Naturels (CEN)	347 sites couvrant 39 477 ha		
Sites des Conservatoires du littoral (CdL)	70 sites couvrant 14 314 ha		12,1 % de la surface nationale métropolitaine acquise
PROTECTION CONTRACTUELLE			
Nationale ou Régionale — Parcs Naturels Régionaux (PNR)	4 parcs couvrant 921 211 ha		4 parcs sur 49 présents en France métropolitaine + 1 parc en projet (PNR du Médoc)
Nationale ou Régionale — Parcs Naturels Marins (PNM)	2 parcs couvrant 595 074 ha		2 parcs sur 6 présents en France métropolitaine
Européenne (Natura 2000) — Zones de Protection Spéciales (ZPS) - Directive « Oiseaux »	56 sites (513 244 ha terrestres et 1 172 674 ha maritimes)		13,4 % de la superficie terrestre régionale
Européenne (Natura 2000) — Zones Spéciales de Conservation (ZSC) - Directive « Habitats »	231 sites (621 597 ha terrestres et 614 765 ha maritimes)		36,8 % des zones Natura 2000 de France métropolitaine
Internationales — Sites RAMSAR (Zones humides)	3 sites couvrant 10 679 ha		3 sites sur 33 présents en France
Internationales — 1 Réserve de Biosphère (Unesco)	Bassin de la Dordogne (18 126 km² en région)		1 réserve sur 12 présentes en France métropolitaine
ZONES D'INVENTAIRES			
Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	1,63 million d'hectares en milieu terrestre		19,3 % de son territoire régional
Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)	52 ZICO couvrant 441 518 ha en milieu terrestre et 67 809 ha en milieu maritime		5 % de son territoire terrestre

Précisions sur les données et le traitement réalisé par l'ORE : les superficies terrestres et marines renseignées ici pour la Nouvelle-Aquitaine correspondent aux emprises terrestres et marines des sites calculées par SIG après croisement avec les limites administratives issues de la BD-TOPO IGN 2015. L'extension marine a été attribuée par région en prolongement des limites terrestres, avec une part d'arbitraire.

DES ESPÈCES REMARQUABLES


L'Outarde canepetière femelle © P. Devoucoux.

Le Desman des Pyrénées © Y. Bielle – Parc national des Pyrénées.

La Leucorrhine à gros thorax © P. Gourdain.

L'Ophrys jaune © A.-H. Paradis & R. Poncet.

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- La biodiversité est vulnérable au changement climatique : modification des habitats/disparition possibles d'espèces endémiques
  → Importance de protéger la biodiversité et en particulier la biodiversité remarquable.
- Les facteurs climatiques et hydrologiques influent sur la répartition des espèces.
- Introduction possible de nouvelles espèces exotiques envahissantes.
- Nécessité de protéger les écosystèmes car ils rendent de nombreux services à l'homme : ressources productives (nourriture, eau, bois…), régulation (climat, eau…), espaces récréatifs, intérêts esthétiques ou scientifiques…

AGRICULTURE-ÉLEVAGE

L'économie régionale se caractérise par une très forte spécificité agricole. En 2015, près de 77 000 exploitations agricoles mettent en valeur 4,2 millions d'hectares de surface agricole utile (environ 15 % de la SAU nationale et 50 % de la surface régionale).

- 25 % des exploitations de la région ont une orientation « grandes cultures ». Les céréales occupent 1,3 millions d'hectares, soit près d'1/3 de la SAU régionale.
- 15 % des exploitations ont une orientation viticole. Les produits issus de la vigne s'étendent sur plus de 215 000 ha (dont 61 % en Appellation d'Origine Protégée). Ils représentent 1/3 de la production agricole en valeur.
- L'élevage concerne le plus grand nombre d'exploitations (54 %). C'est l'activité principale pour près des 3/4. Les autres ont une orientation polyculture-élevage. La production animale (brute ou transformée) représente un peu plus de 1/4 de la production agricole en valeur.

On assiste à une forte croissance de l'agriculture biologique (+ 335 % des surfaces certifiées bio entre 2000 et 2015), mais la part de la surface agricole utile cultivée en bio ou en conversion reste faible (4,2 % en 2015). La Nouvelle-Aquitaine regroupe 12 % des surfaces certifiées bio cultivées en France. Ce secteur est particulièrement dynamique dans le centre de la région (Lot-et-Garonne, Gironde, Dordogne, Haute-Vienne).

Les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole proviennent essentiellement de l'élevage et de l'épandage des engrais azotés minéraux et organiques. L'apport moyen d'éléments fertilisants azotés depuis le début des années 1990 est de 79 kg par hectare de surface fertilisable (22 kg/ha en ex-Limousin - plus de 100 kg/ha dans les 2 autres ex-régions - 88 kg/ha en France métropolitaine).

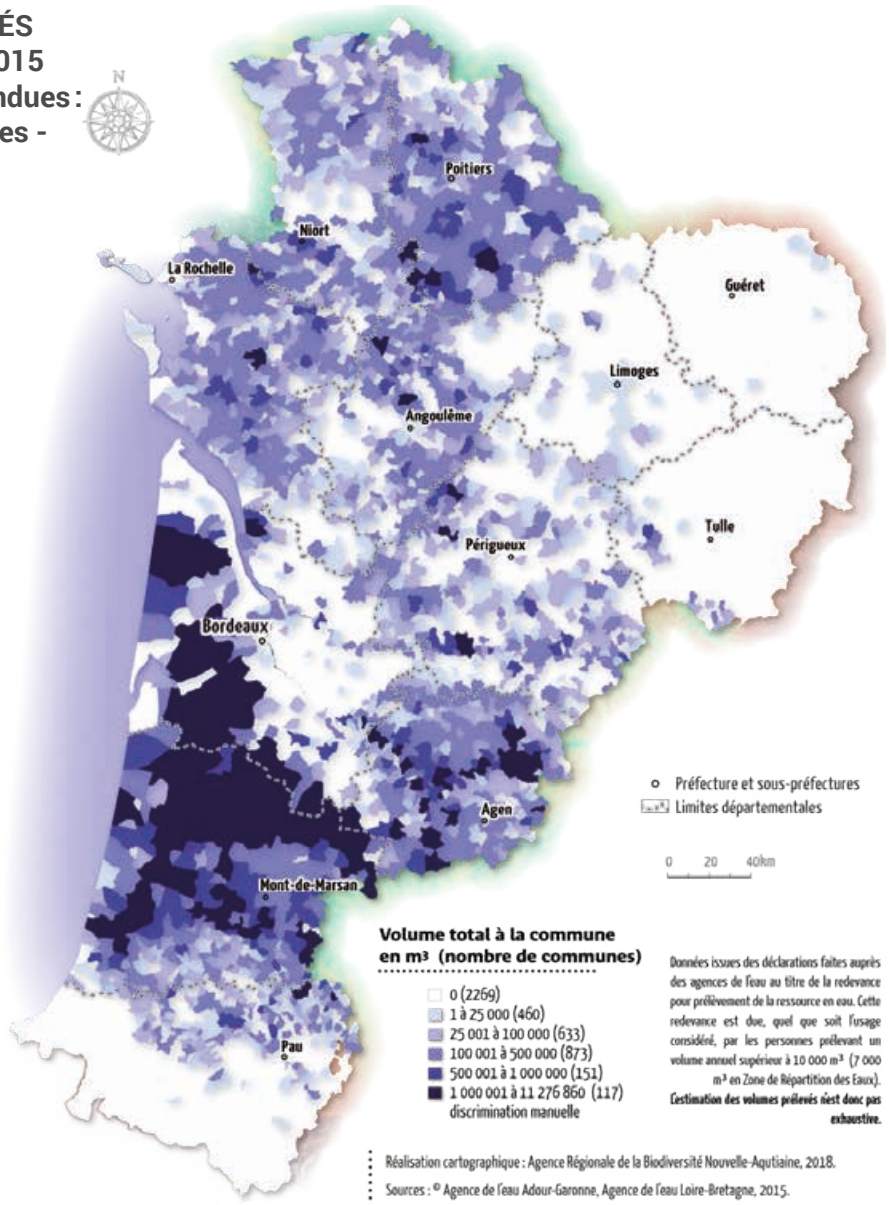
La pression exercée par l'irrigation peut également être importante car elle intervient souvent au moment où la ressource est à son plus bas niveau, qu'elle peut s'étaler sur une période de plus en plus longue et qu'il y a eu déficit pluviométrique en période hivernale ou printanière. Elle peut entraîner des conflits avec les autres usages de l'eau.

PLACE DE LA NOUVELLE-AQUITAINE DANS LA FRANCE ET EN EUROPE

FRANCE	1re région pour la surface agricole utilisée (15 % de la SAU nationale)	4,2 millions d'hectares en 2015 (source : Agreste)
	1re région sous Signes d'Identification de la Qualité et de l'Origine (SIQO)	210 produits régionaux détenant un signe SIQO en 2016 (source : INAO)
	1re région pour la part du cheptel de vaches et de brebis allaitantes	environ respectivement 885 000 et 313 000 têtes en 2010 (source : Agreste - DRAAF)
EUROPE (Source : Agra Presse d'après Eurostat janvier 2016)	1re région agricole en Europe	11 milliards d'euros en valeur de production annuelle en 2015
	3e région pour la surface agricole	derrière la région de Castil-la-y -Leon et l'Andalousie
	1re région pour la surface en maïs	1/2 millions d'hectares
	1er vignoble en valeur et 3e vignoble en surface	derrière la région Castilla-La-Mancha et la région Occitanie
	4e région pour les surfaces en maïs	derrière les 2 Castilles
	2e région pour la production de tournesol	derrière l'Andalousie

Vignes © Région Nouvelle-Aquitaine.

VOLUMES D'EAU PRÉLEVÉS POUR L'IRRIGATION EN 2015 (toutes ressources confondues : superficielles - souterraines - retenues)



DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- L'ensemble des facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement de l'agriculture est amené à se modifier (élévation de la température, modification des régimes pluviométriques…) avec de nombreuses conséquences :
  → sur la qualité des sols : modification de la fertilité (érosion hydrique, dysfonctionnement des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore, déficit hydrique),
  → sur l'activité : modification de la productivité des cultures, de l'occupation des sols - anticipation des dates de floraison - apparition de nouvelles maladies et de nouveaux ravageurs… avec les impacts économiques associés,
  → sur la biodiversité : modification de la biodiversité des écosystèmes agricoles et du sol.

- Des bilans hydrique et hydrologique déficitaires (périodes de sécheresse) : → impacts sur la production végétale en l'absence d'irrigation
  → impacts sur la filière élevage - accentuation de la problématique de gestion de la ressource en eau, tant en quantité qu'en qualité.

- Nécessité de réduire les émissions de GES du secteur agricole/élevage : réduire le recours aux intrants (fertilisants azotés), développer les surfaces en agriculture biologique ou raisonnée, restaurer les pâturages/concevoir des fermes d'élevage à énergie positive (consommer moins d'électricité, développer la méthanisation).

- Importance de la mise en place de mesures ou d'aides financières européennes ou nationales.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE

La consommation d'énergie finale de la région Nouvelle-Aquitaine atteint 182 719 GWh en 2015, soit 10,6 % de la consommation nationale.

Les secteurs du transport (déplacement de particuliers, marchandises) et du bâtiment (résidentiel et tertiaire) sont ceux dont la consommation énergétique est la plus importante : 138 211 GWh à eux deux, soit plus de 76 % de la consommation énergétique régionale (78 % pour la France).

Le secteur du transport utilise quasi exclusivement des produits pétroliers, alors que le résidentiel/tertiaire dispose d'un mix énergétique plus diversifié, mais avec une dominante de consommation électrique.

Le secteur de l'industrie représente 19 % des consommations, l'agriculture et la pêche 5 %. Ce dernier secteur représente 19 % des consommations de l'agriculture française, une importance logique puisque la Nouvelle-Aquitaine est la première région agricole de France (Voir Focus Agriculture/Élevage).

En 2005, la consommation d'énergie finale était de 194 589 GWh contre 182 719 GWh en 2015, soit un léger recul observé entre les deux dates.

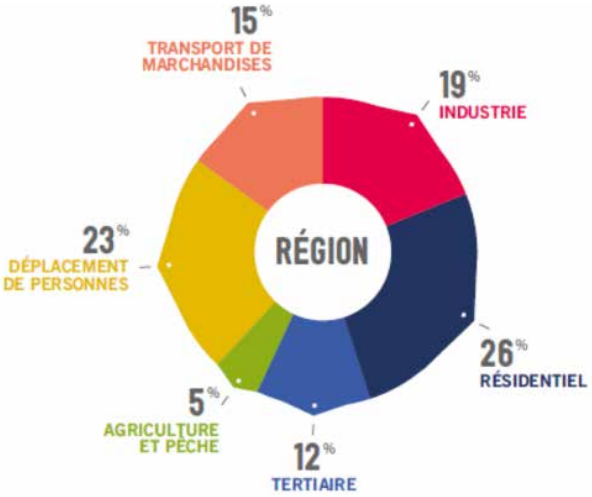
Cette consommation est très dépendante des conditions climatiques pour ce qui concerne les secteurs résidentiels/tertiaire pour lesquels la consommation d'énergie est essentiellement destinée au chauffage de locaux. À climat de référence, la consommation d'énergie dans ces secteurs a diminué entre 2005 et 2015, malgré l'accroissement du parc des bâtiments et la diffusion de nouveaux besoins à forte consommation (micro-informatique, climatisation).

En revanche, le secteur transport, et tout particulièrement les déplacements des particuliers, voit ses consommations augmenter depuis 2005, conséquence de l'augmentation de la population, de celle des distances parcourues annuellement (notamment les trajets domicile/travail) et du fort taux d'équipement automobile des ménages (Voir Focus Villes et population).

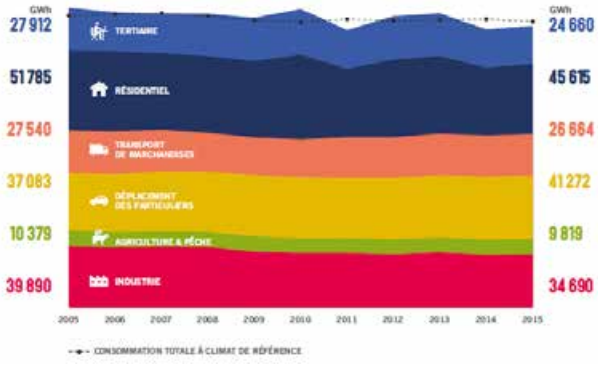
Les autres secteurs voient également leurs consommations énergétiques diminuer ; le secteur industriel étant celui pour lequel cette baisse est la plus marquée (baisse de l'activité industrielle, efficacité énergétique).

Source : Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat en Nouvelle-Aquitaine (AREC).

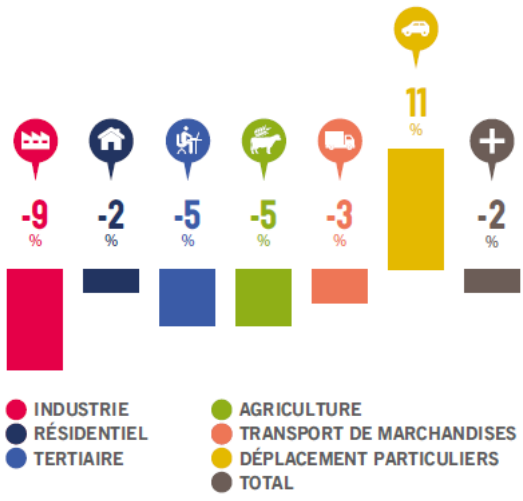
CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR EN 2015



ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR ENTRE 2005 ET 2015



TAUX D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR ENTRE 2005 ET 2015



PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

La production réelle d'énergie d'origine renouvelable est estimée à 35 949 GWh en 2015. Elle correspond à 20 % de l'énergie finale totale consommée sur la région cette même année (moyenne nationale estimée provisoirement à 14,9 %).

- Cette production est majoritairement destinée à des usages thermiques (68 % en 2015 contre 82 % en 2005).
- La production d'électricité d'origine renouvelable est en progression (21 % du mix régional de production énergétique renouvelable contre 16 % en 2005).
- Le poids de la filière des biocarburants, qui était encore inexistante en 2005, atteint 11 % de la production régionale en 2015.

La production d'origine renouvelable thermique couvre 33 % de la consommation d'énergie ; celle d'origine électrique 20 % de la consommation d'énergie. En revanche, la production de biocarburant ne représente que 6 % de la consommation énergétique du secteur transport (mobilité des particuliers, transport de marchandises).

La production d'énergie renouvelable est en progression depuis dix ans et le mix énergétique s'est diversifié : en 2005, 82 % de la production régionale provient de la production de chaleur à partir de bois énergie et des sous-produits du bois. Le poids de cette filière n'est plus que de 61 % en 2015, du fait du développement d'autres filières telles que les biocarburants, les pompes à chaleur, et le photovoltaïque.

Parc photovoltaïque de Cestas (Gironde) - le plus grand d'Europe © Gimball Production.

COMPARAISON PRODUCTION NORMALISÉE D'ÉNERGIE D'ORIGINE RENOUVELABLE/CONSOMMATION FINALE D'ÉNERGIE (2015)

PRODUCTION EnR normalisée	**36 529 GWH**
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE	**182 719 GWH**

MISE EN REGARD DE LA PRODUCTION RÉGIONALE NORMALISÉE D'ORIGINE RENOUVELABLE AVEC LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE (2015)

Source : Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat en Nouvelle-Aquitaine (AREC).

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- La consommation d'énergie finale autre que renouvelable (charbon, pétrole, gaz) est source d'émissions de gaz à effet de serre (notamment de gaz carbonique)
  → Objectif de diminution d'émissions des GES : nécessité de mettre en œuvre directives et lois et de mettre en place plans et programmes.
- Pour une diminution de l'émission des GES : importance de diminuer la consommation d'énergie finale (gagner en efficacité énergétique
  → Moindre utilisation des énergies fossiles en faveur des énergies renouvelables - développement d'une économie circulaire).
- Importance de promouvoir les énergies renouvelables, notamment la valorisation du bois-énergie.

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) en Nouvelle-Aquitaine sont estimées à 51 684 kt CO_2e pour l'année 2015.

Le principal gaz à effet de serre émis est le dioxyde de carbone CO_2 (71 % des émissions). Les autres gaz, principalement le méthane CH_4, le protoxyde d'azote N_2O et les gaz fluorés interviennent dans une moindre mesure (respectivement 15 %, 9 % et 5 %).

Les 2/3 des émissions sont liés à l'activité productive et économique de la région : agriculture, industrie, transport de marchandises, activités tertiaires, traitement des déchets. Le reste des émissions est lié aux ménages : résidentiel, déplacements. Le secteur des transports est le plus fort émetteur (37 % des émissions), quasi exclusivement des émissions d'origine énergétique qui ont augmenté entre 1990 et 2015 (poids du trafic). Le poids du secteur agricole (27 %) se justifie quant à lui par d'importantes émissions d'origine non énergétique (fertilisation des sols cultivés, fermentation entérique). Ces dernières sont en recul du fait de la baisse du cheptel des ruminants et d'une moindre utilisation d'engrais azotés. Les secteurs résidentiels/tertiaire sont de forts émetteurs (augmentation des surfaces construites).

Les émissions d'origine énergétique (CO_2 en très grande majorité) **sont en progression** depuis 1990, plus particulièrement dans les secteurs du transport et du bâtiment (résidentiel/tertiaire). Inversement, les émissions non énergétiques sont orientées à la baisse : il s'agit principalement des émissions de méthane et de protoxyde d'azote dans l'agriculture et dans le traitement des déchets. On constate également la hausse des émissions de gaz fluorés, tout particulièrement dans le secteur tertiaire, pour lequel les émissions de ce type de gaz ont augmenté de 280 % sur la période 1990-2015 (usage de la climatisation). Le poids des gaz fluorés dans les émissions régionales de GES, qui n'était que de 1 % en 1990, atteint les 5 % en 2015.

Quartier d'immeubles d'habitation à Poitiers.
© B. Régnery (ARB NA).

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- Les émissions de gaz à effet de serre par les activités humaines sont à l'origine du changement climatique
  → Nécessité de diminuer ces émissions au risque de conséquences graves.
- Nécessité de mettre en place des stratégies d'atténuation et/ou d'adaptation.
- Importance de la mise en place d'instruments juridiques et de planification pour l'utilisation du territoire (gestion de l'espace), pour la surveillance des émissions des secteurs économiques, pour la protection et la gestion des milieux naturels…
- Existence de liens étroits entre changement climatique et pollution atmosphérique ainsi que des liens avec la santé.

Notes :

** Pour permettre de comparer entre eux les différents gaz, on utilise la notion de « Pouvoir de Réchauffement Global » ou « Potentiel de Réchauffement Global » (PRG). Cette notion est l'unité de mesure de l'effet de serre d'un GES sur le réchauffement climatique par rapport à celui du CO_2 (PRG du CO_2 = 1) sur une période de 100 ans. La connaissance du PRG de chaque GES permet de rapporter les émissions de tous les GES à une unité commune : l'équivalent carbone. L'unité utilisée est la tonne équivalente CO_2 (t CO_2e) ou les milliers de tonnes équivalent CO_2 (kt CO_2e).*

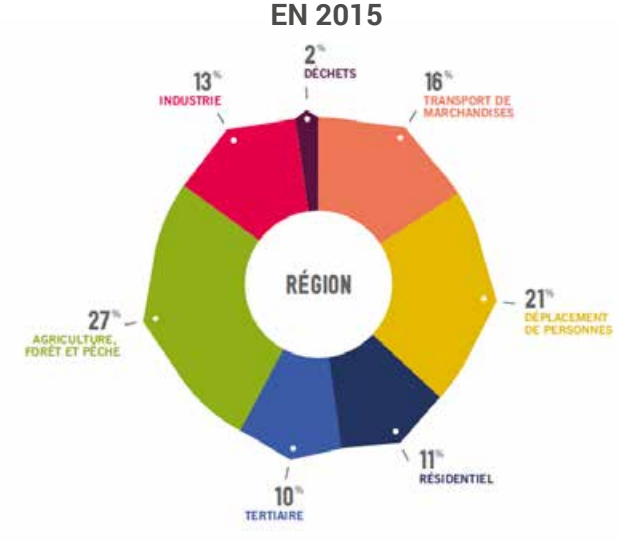
** Les émissions des industries de l'énergie ne sont pas prises en compte dans un secteur spécifique mais sont intégrées aux énergies consommées sur le territoire. Ainsi, l'électricité consommée prend en compte les émissions de GES nécessaires à sa production.*

** Les émissions sont données hors secteur dit Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt (Hors UTCF), c'est-à-dire sans tenir compte des puits de carbone.*

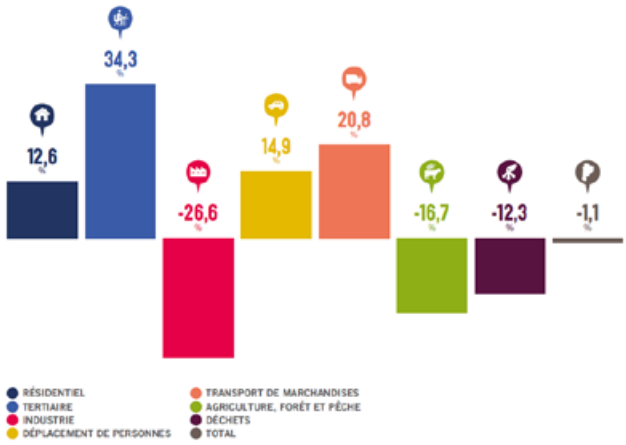
** L'analyse de ces résultats doit se faire avec précaution : le changement climatique étant un problème global, l'origine géographique des émissions importe peu. Ainsi, si la baisse des émissions d'un secteur est liée à un transfert de ses activités hors du territoire d'étude (production industrielle par exemple), cela ne constitue pas un progrès.*

De même, il serait intéressant et nécessaire de tenir compte des émissions liées à l'ensemble des biens et services consommés, y compris celles qui interviennent hors du territoire régional (empreinte carbone).

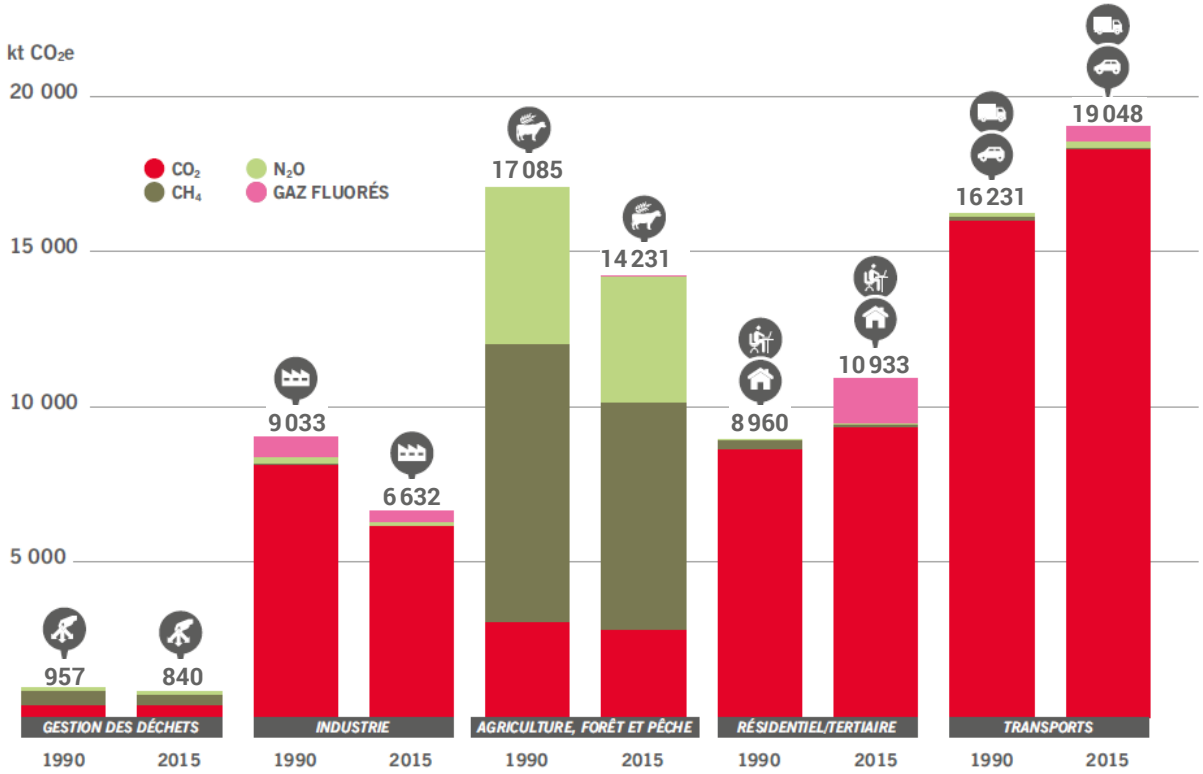
ÉMISSIONS DE GES PAR SECTEUR EN 2015



ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS SECTORIELLES DE GES ENTRE 1990 ET 2015



ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE GES PAR SECTEUR ET PAR GAZ (ENTRE 1990 ET 2015)



Source : Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat en Nouvelle-Aquitaine (AREC).

Trafic routier en agglomération de La Rochelle © Frédéric Le Lan (Communauté d'Agglomération de La Rochelle).

PUITS DE CARBONE

Avec plus de 2,8 millions d'hectares, la Nouvelle-Aquitaine est la région qui dispose du massif forestier le plus vaste de France.

Il couvre 1/3 du territoire régional (17 % de la surface boisée nationale) dont 10 % de forêts publiques.

On y retrouve une grande diversité d'essences et de peuplements, avec une prédominance des feuillus (chêne, châtaignier et hêtre) qui constituent 62 % de la surface ; le reste étant des résineux (pin maritime, sapin, douglas).

Le massif le plus important, celui des Landes de Gascogne, couvre plus d'1 millions d'hectares. C'est le plus grand massif cultivé d'Europe.

La presque totalité des surfaces est dédiée à la production qui représente en moyenne chaque année près de 10 millions de m^3 de bois (plus du quart de la production nationale). La plus grande région forestière de France en surface est donc aussi celle où les récoltes de bois sont les plus importantes en volume. À noter qu'en 2016, la part de la surface forestière certifiée PEFC (définissant des règles de gestion durable de la forêt) est de 49 % (38 % en France).

Ces forêts de production alimentent une filière de transformation importante et diversifiée (industrie du papier et du carton, fabrication de meubles, secteur de la construction…). Le chiffre d'affaires dégagé par les entreprises de la filière forêt-bois avoisine les quelque 10 milliards d'euros (1er rang des régions françaises) dont 1,6 milliard d'euros de chiffre d'affaires à l'export (2e rang des régions exportatrices).

Outre leur importance économique, les forêts offrent un atout environnemental majeur. Les arbres absorbent du dioxyde de carbone par la photosynthèse et le stockent dans le bois et les racines, mais aussi dans le bois mort et le sol.

Les prairies constituent, au même titre que les forêts, des puits de carbone importants à l'échelle du territoire puisqu'elles captent plus de carbone qu'elles n'en restituent, et peuvent stocker davantage de carbone que les terres arables.

Ces espaces toujours en herbe (prairies permanentes) au sein des petites régions agricoles (dont la STH représente au moins 20 % de la surface agricole utile) sont très présents au nord-est de la région (dans la Creuse et en Corrèze) ainsi que dans le sud de la région (Pyrénées Atlantiques), soit logiquement dans les zones d'élevage.

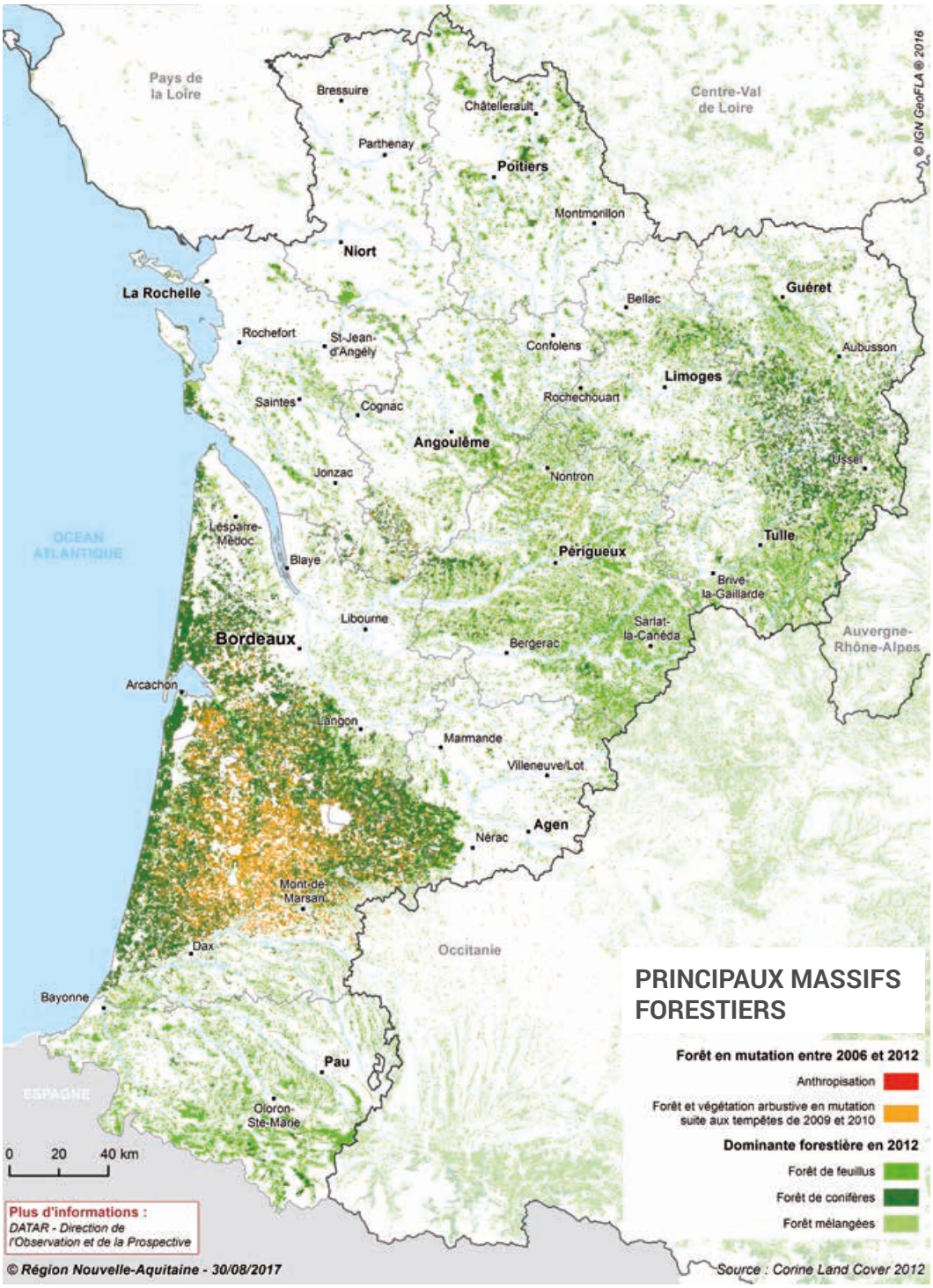
Les surfaces toujours en herbe (STH) de la région représentent 1 103 093 hectares en 2010. La part de cette surface dans la surface agricole utile (SAU) est de 27,3 % et a diminué depuis 2000 (- 6,5 %).

DÉPARTEMENTS	SURFACE FORESTIÈRE	TAUX DE BOISEMENT
Landes	568 Mha	61 %
Gironde	494 Mha	49 %
Dordogne	407 Mha	44 %
Corrèze	251 Mha	43 %
Pyrénées-Atlantiques	238 Mha	31 %
Creuse	164 Mha	29 %
Haute-Vienne	158 Mha	28 %
Lot-et-Garonne	129 Mha	24 %
Charente	131 Mha	22 %
Vienne	127 Mha	18 %
Charente-Maritime	111 Mha	16 %
Deux-Sèvres	50 Mha	8 %
NOUVELLE-AQUITAINE	**2828 MHA**	**33 %**

Source : Inventaire forestier national, 2009-2013.

DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE :

- Importance de garder les surfaces boisées et les espaces de prairies permanentes, de développer l'agroforesterie, la plantation de haies : captage et stockage de carbone plus élevés avec ces modes d'occupation du sol
  → Protection et augmentation des surfaces de ces puits de carbone comme piste dans la limitation de l'effet de serre.
- Importance du maintien des forêts et des prairies parce qu'elles offrent de nombreux services écosystémiques autres que celui du stockage du carbone : celui de l'épuration de l'eau par exemple, dans un contexte où les problématiques « qualité » de l'eau risquent de s'accentuer.
- Forêts affectées par le réchauffement sous de nombreux aspects : croissance, santé, régénération, biodiversité, risques économiques…
- Accroissement des risques naturels sur les espaces forestiers et les espaces voisins : risques d'incendies en particulier ou amplification des conséquences des prélèvements météorologiques extrêmes.



L'océan, un autre puits de carbone Baie de l'Aiguillon © F. Montigny (ARB NA).

Climat global, climat local : quelle dépendance ?

Shutterstock © Maxim Khytra

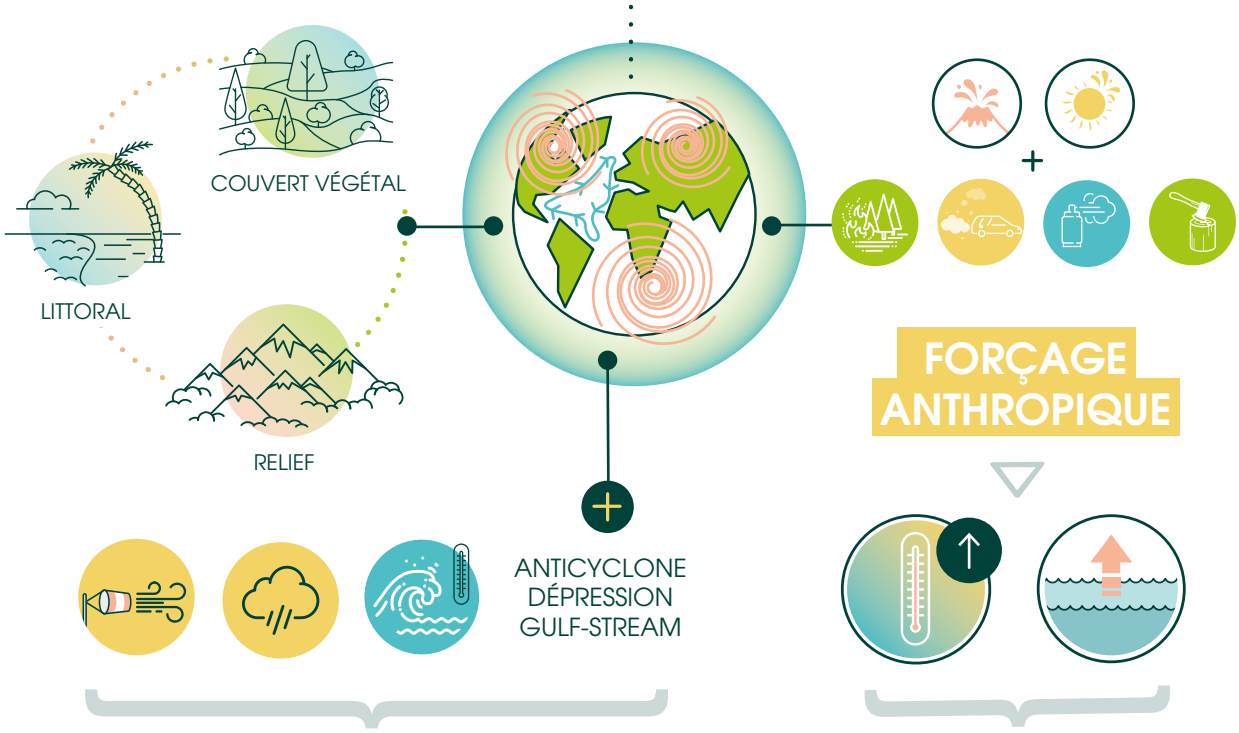
Coordination : **Hervé Le Treut**

Rédacteurs : **Christophe Cassou, Hervé Le Treut, Serge Planton, Aurélien Ribes, Robert Vautard**

Contributeurs : **Laurent Li**

Le climat de la région Nouvelle-Aquitaine dépend très largement du climat global de la planète Terre. Cette dépendance s'exprime via des processus très différents. Le réchauffement de la planète dépend pour l'essentiel de gaz à effet de serre à longue durée de vie atmosphérique, émis par les activités humaines, qui sont continuellement brassés et mélangés à l'échelle de la planète. La dynamique de l'atmosphère et de l'océan s'exprime aussi à toutes les échelles de temps et d'espace : elle peut avoir une composante chaotique, elle est parfois organisée par des structures telles que l'Anticyclone des Açores, la Dépression d'Islande, ou, en mode océanique, le Gulf Stream, mais elle possède aussi des particularités locales fortes liées au relief, au littoral, au couvert végétal… Dans ces conditions la prise de décision dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques régionaux doit s'appréhender en faisant la part de situations très diverses. Certaines évolutions sont prévisibles, au moins qualitativement (réchauffement et ses conséquences directes, relèvement du niveau de la mer…), mais d'autres (tempêtes, inondations…) sont impossibles à anticiper de manière précise, et la part qu'y prennent les activités humaines est difficile à établir. Les notions de risque, de vulnérabilité, de projection dans le futur sont donc essentielles pour asseoir des choix environnementaux à l'échelle régionale.

CLIMAT GLOBAL DE L'ENSEMBLE DE LA PLANÈTE



MÉTÉO IMPOSSIBLE À ANTICIPER

AU-DELÀ DE 10 JOURS

ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES PRÉVISIBLES

LES LEVIERS DE L'ADAPTATION TERRITORIALE :

1 D'UN RAPPORT À L'AUTRE : UN CONTEXTE EN ÉVOLUTION

Le climat d'une région s'inscrit toujours dans le cadre beaucoup plus large du climat global de l'ensemble de la planète, en particulier dans les régions tempérées où il dépend d'anticyclones et de dépressions de plusieurs milliers de kilomètres qui font le tour de la planète en quelques jours ou quelques semaines. Le climat régional s'inscrit aussi dans une évolution très lente, qui a vu nos ancêtres, à l'échelle des siècles et des millénaires, s'adapter à des changements climatiques parfois très marqués, et façonner peu à peu le paysage qui est devenu le nôtre. C'est pourquoi le rapport de 2013 sur le changement climatique en Aquitaine **[1]** (écrit en grande partie en 2012) s'ouvrait sur deux chapitres consacrés respectivement à une vision globale et planétaire du climat, et à son évolution à long terme, à l'échelle des siècles et des millénaires. Quatre ou cinq ans après, ces chapitres gardent leur pertinence, particulièrement celui que Francis Grousset avait coordonné sur l'histoire du climat Aquitain. Il n'est donc pas question ici de les répéter, mais seulement de les compléter.

Plusieurs éléments ont changé en 4 ou 5 ans et tous ne jouent pas un rôle de même importance.

Tout d'abord, ce rapport s'intéresse au « climat » de la région Nouvelle-Aquitaine : il ne s'agit pas de météorologie mais bien d'une approche statistique du temps qu'il fait à l'échelle d'une ou plusieurs décennies. Ainsi défini, le climat de la Nouvelle-Aquitaine – et cela était déjà vrai pour l'Aquitaine dans le rapport précédent – s'inscrit dans un paysage météorologique marqué par de grands acteurs : l'anticyclone des Açores, et la dépression d'Islande en particulier. Il existe aussi un paysage océanographique, marqué par des régimes de courants complexes, (même si l'on ne retient généralement que le plus célèbre, le Gulf Stream), et par des régimes de vagues et de houles qui peuvent traverser l'Atlantique. Tous ces grands acteurs sont soumis à des fluctuations, que l'on qualifie parfois de « naturelles » ou « intrinsèques » pour dire qu'elles sont indépendantes des activités humaines. Ces fluctuations sont impossibles à prévoir de manière précise au-delà d'une échéance de quelques jours, et elles ont un impact considérable à l'échelle de la région. La position et l'intensité de l'anticyclone des Açores, par exemple, ont un impact majeur sur la distribution des températures, des vents ou des précipitations en Nouvelle-Aquitaine. Quand on parle de climat, on cherche à caractériser les modalités principales qui guident ces changements : des oscillations régulières ou irrégulières, des configurations géographiques favorites, des récurrences d'événements extrêmes tels que des tempêtes. Notre connaissance de ces processus évolue régulièrement sous deux effets : le rôle de la nature qui nous propose continuellement des situations nouvelles à comprendre et à analyser, et celui de la recherche, qui permet de mieux documenter cette variabilité naturelle, d'en faire une description statistique plus précise. Cela réclame un travail d'analyse conduit grâce aux super-ordinateurs de grands centres météorologiques, comme le Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme de Reading (Royaume-Uni), comme Météo-France, et conduits aussi dans un grand nombre d'Instituts et d'universités associés, comme l'Institut Pierre-Simon Laplace en France. Il faut aussi citer le travail des historiens, qui permet de mieux diagnostiquer ce qui s'est passé avant que les mesures quantitatives deviennent plus fiables et plus nombreuses.

Par ailleurs le climat global de la planète constitue l'étape intermédiaire qui détermine comment une région comme la Nouvelle-Aquitaine peut être sensible au « changement » climatique, c'est-à-dire aux conditions nouvelles et rapidement évolutives apportées par les activités humaines. Parmi les gaz à effet de serre qui sont émis de manière directe par les activités humaines, ceux qui jouent un rôle majeur sont ceux qui restent très longtemps dans l'atmosphère, où ils s'accumulent pendant des durées de plusieurs décennies ou siècles. Ils sont alors mélangés par les mouvements de l'atmosphère à l'échelle de la planète. L'augmentation régulière des gaz à effet de serre sur notre région provient ainsi pour 1,5 % environ des émissions françaises, et pour les 98,5 % restant des émissions de tous les autres pays du monde. S'agissant donc de ces gaz à effet de serre liés aux activités humaines, la manière dont la Nouvelle-Aquitaine « s'auto-pollue » est donc presque négligeable. Bien sûr, il faut faire attention en disant cela, qui peut paraître extrêmement démotivant vis-à-vis de toute action locale. D'abord, il faut bien se rendre compte d'une contrepartie : les gaz à effet de serre de la Nouvelle-Aquitaine, s'ils ont un effet limité sur le territoire régional, agissent par contre sur toute la planète. Ce diagnostic devient très différent, presque opposé, quand on parle de pollution urbaine et de santé : les gaz et poussières toxiques, qui sont souvent émis en même temps que les gaz à effet de serre restent confinés dans un domaine géographique beaucoup plus proche de leur émission. Il s'agit là du résultat de leur caractère chimiquement très actif, qui les transforme en quelques jours (pour les gaz toxiques), ou de leur sédimentation rapide (pour les poussières). Cette pollution locale peut être aussi renforcée par la présence de vagues de chaleurs.

La situation est donc ambivalente : la responsabilité des activités régionales sur la modification de notre environnement est très importante ; mais, si l'on se focalise plus exclusivement sur les manifestations du réchauffement climatique à l'échelle régionale – ce qui est le propos essentiel de cet ouvrage – la Nouvelle-Aquitaine n'a pas en main toutes les clefs du problème : le réchauffement qu'elle subit dépend surtout de gaz émis à l'extérieur du territoire régional. Ce constat reste d'ailleurs vrai si l'on considère la situation au niveau de la France, voire même de l'Europe. Le mécanisme de réchauffement lui-même est largement indirect, lié au mouvement de masses d'air qui viennent de régions éloignées, du Sahara ou de l'Arctique parfois. Ces masses d'air portent la trace du réchauffement en cours parce qu'elles sont désormais statistiquement plus chaudes (ou moins froides s'agissant de l'air d'origine polaire) qu'elles ne l'étaient autrefois.

Ces constats manifestent l'importance de la participation de la Nouvelle-Aquitaine aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre qui sont déterminés à un niveau national et européen : il s'agit d'une solidarité indispensable. Mais dans le choix des actions qui permettront de satisfaire ces exigences, la Nouvelle-Aquitaine peut choisir des actions qui auront un bénéfice local, contribuant favorablement à l'économie régionale ou à d'autres problématiques environnementales importantes pour la Nouvelle-Aquitaine : pollutions ou risques de pollution diminués, préservation des ressources naturelles et de la biodiversité…

Évaluer les conséquences de ces changements réclame aujourd'hui deux types d'études scientifiques. D'abord des études tournées vers le passé récent. En effet le réchauffement lié au gaz à effet de serre est progressivement devenu identifiable, depuis les années 1990. Mais ce diagnostic, très précieux, ne suffit pas à anticiper ce qui peut se passer de manière précise sur un territoire, car les changements liés aux activités humaines se superposent de manière complexe aux variations qui sont indépendantes des activités humaines. Pouvoir (autant que possible, car cela ne sera jamais complètement possible) attribuer une cause aux changements observés est une nécessité pour dimensionner au mieux les politiques à venir en matière d'adaptation au changement climatique. Pour envisager le futur de manière la plus quantitative possible, pour documenter au mieux la vulnérabilité de la région aux différentes manifestations du changement climatique, il faut d'abord anticiper ce qui peut se passer à grande échelle, et, pour cela, des études utilisant un ensemble large de modèles globaux ou continentaux sont nécessaires. La comparaison des résultats provenant d'une quarantaine de modèles développés dans une vingtaine d'instituts ou laboratoires partout dans le monde (parmi ceux-ci : ceux provenant de Météo-France et de l'IPSL), permet de cerner ce que l'on sait prédire avec quasi-certitude et ce qui reste encore incertain. Pour pouvoir être comparés les uns aux autres, les modèles suivent des protocoles communs, qui s'appuient sur l'action du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) et du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC), tous deux placés sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale (ONU), du Comité International des Union Scientifiques (CIUS) et de l'UNESCO.

En 2012, quand le premier rapport sur le changement climatique en Aquitaine **[1]** était élaboré, seuls étaient disponibles des travaux utilisant les 6 scénarios d'émission future de gaz à effet de serre établis par le GIEC une quinzaine d'années auparavant (Special Report on Emission Scenarios **[2]**). Ces scenarios étaient le résultat d'un travail prospectif très important portant sur l'évolution de facteurs variés : démographie, ressources énergétiques, économie, capacité de financement, gouvernance… Ils montraient déjà que le chemin vers un climat global qui se serait stabilisé en fin de siècle en dessous d'un niveau de réchauffement de 2 °C (par rapport à une référence préindustrielle), était très étroit. En 2013/2014, dans son 5e rapport d'évaluation **[3]**, le GIEC a proposé des chemins d'émissions différents, conçus pour permettre d'atteindre des objectifs spécifiques – et donc celui des 2 °C de réchauffement. Ces scénarios sont souvent appelés par le joli nom de RCP : « Représentative Concentration Pathway ». Leur objectif a été de raisonner de manière inverse. Au lieu de se demander *« voici les gaz à effet de serre que l'on risque d'émettre, quelle seront les conséquences »,* la démarche a été : *« voici le type de conséquences que l'on voudrait éviter, quels sont les scénarios possibles d'émission de gaz à effet de serre »* **ENCADRÉ 1**.

ENCADRÉ 1 : LES SCÉNARIOS DU RAPPORT DU GIEC 2013-2014 : LES RCP (REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS).

Déterminer un niveau maximal d'émissions de gaz à effet de serre qui soit souhaitable n'est pas facile : cela dépend bien sûr des critères que l'on s'impose. Dans le Spécial Report on Emission Scenarios **[2]**, l'accent a été mis sur la détermination des émissions futures les plus probables, en s'appuyant sur des études prospectives dans des domaines variés. Le rapport donnait ainsi pour un ensemble de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone ou CO_2, méthane, protoxyde d'azote, chlorofluorocarbures) 6 scénarios d'émissions envisageables, dépendant de facteurs démographiques, socio-économiques, énergétiques… Dans chaque cas le scénario correspondait à un récit cohérent liant ces différents paramètres. Ces émissions servaient d'entrée à des modèles physico-chimiques du climat. Dans le rapport du GIEC 2001 **[4]**, les réchauffements globaux à la surface de la Terre, estimés par les différents modèles et pour les différents scénarios par rapport à la période préindustrielle, se situaient dans une fourchette large allant d'un peu moins de 2 degrés à un peu plus de 6 degrés. Le seul des 6 scénarios permettant à quelques modèles d'anticiper un réchauffement inférieur à 2 °C en 2100 est de fait déjà dépassé aujourd'hui. Et aucun de ces scénarios ne permettait de stabilisation des températures en 2100. Rester stabiliser sous les 2 °C de réchauffement réclamait déjà en 2001 de prendre des mesures politiques dédiées.

Le GIEC a donc proposé une démarche inverse : établir des scénarios d'émissions associés à des changements climatiques cibles. A priori, on aurait pu caractériser ces changements par des températures cibles. Mais comme le lien entre émissions et température varie fortement d'un modèle à l'autre, le choix a été fait de viser plutôt un forçage radiatif cible, c'est-à-dire un niveau cible de déséquilibre radiatif de la planète résultant de l'introduction des gaz à effet de serre. Ce processus strictement radiatif, qui se mesure en Watts par mètres carrés (Wm^{-2}), est bien mieux maîtrisé par les modèles qui divergent beaucoup moins sur son ampleur. Il se situe aussi au début de la chaîne des processus qui conditionnent le réchauffement. On a donc choisi des « chemins d'émissions représentatifs » conduisant respectivement, en 2100, à des forçages de 2.6 Wm^{-2}, 4.5 Wm^{-2}, 6 Wm^{-2}, ou 8.5 Wm^{-2} (Ils ont pris le nom dans la littérature associée de RCP2.6, RCP4.5, RCP6 et RCP8.5). Deux types de recherches peuvent alors se développer en parallèle :

1. étudier le contexte socio-économique et les décisions politiques qui peuvent rendre ces trajectoires possibles – et au besoin proposer des trajectoires équivalentes où l'on fait les efforts nécessaires plus tôt ou plus tard,
2. estimer en utilisant un ensemble cohérent de modèles ce que peut être l'impact de ces émissions sur le climat.

Il est ainsi possible d'évaluer des scénarios qui sont souhaitables, mais pas nécessairement très probables.

Les résultats de cette approche renforcent l'importance et la difficulté de ce qui est en jeu. Les émissions maximales qui permettent de stabiliser le réchauffement à un niveau de 2 degrés ou deviennent de plus en plus difficiles avec les émissions de gaz à effet de serre et celles-ci ont continué à un rythme accéléré au cours des deux dernières décennies, engageant chaque fois plus le futur. Il faudrait désormais réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 à 70 % en 2050. Bien sûr, il s'agit là d'une fourchette large, qui témoigne d'une difficulté persistante à quantifier précisément le lien entre émissions de gaz à effet de serre et réchauffement. Cette difficulté provient de facteurs difficiles à maîtriser dans les modèles (la physique des nuages, celle des aérosols), mais elle affecte surtout le calendrier des actions à engager, plutôt que leur nature. La plupart des modèles montrent que pour se stabiliser sous les 2 degrés, il faudra passer avant la fin du siècle par une phase « 0-émission », et beaucoup de modèles montrent même qu'il faudrait faire plus : être en capacité de reprendre du CO_2 à l'atmosphère, ce que l'on appelle des émissions négatives, et que l'on ne sait pas faire à grande échelle pour le moment.

Un autre événement majeur qui s'est produit durant les dernières années est bien sûr la tenue de la COP21. Elle s'est conclue par des Accords de Paris qui reprennent de manière complète le diagnostic de la science climatique, et proposent même d'abaisser l'objectif de réchauffement bien en dessous des 2 °C. Ces accords de Paris ont aussi été accompagnés de propositions des États pour contenir l'évolution du climat. Les analyses réalisées pendant et après la COP **[5]** **[6]** montrent que ces propositions, dans leur état actuel, sont non négligeables mais très insuffisantes (d'un facteur 2 au moins) pour pouvoir rester sous le seuil de 2 °C. Le rapport précédent **[1]** s'était construit sur l'ambition de montrer ce que deviendrait l'Aquitaine dans un cadre de réchauffement maîtrisé, et dans un cadre où le réchauffement dépasserait largement l'objectif de 2 °C. Quatre ou cinq après, il apparaît nécessaire, dans les études à venir, de laisser une place encore plus large à cette deuxième hypothèse si l'on veut vraiment protéger la Nouvelle-Aquitaine.

Enfin, l'expression des risques climatiques à l'échelle régionale, ne peut pas non plus ignorer la complexité des interactions entre variabilité naturelle (ou intrinsèque, ou interne - en tout cas, sans lien avec les activités humaines) et variabilité forcée – et nous y consacrons un paragraphe à la fin de ce chapitre.

2 QUE PEUT-ON DIRE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES RÉCENTS ?

Les observations de température disponibles depuis la fin du XIXe siècle indiquent que le climat de la Nouvelle-Aquitaine s'est déjà réchauffé d'environ +1,4 °C (+1,0 °C à +1,8 °C) au cours de la période 1959-2016 (**Figure 1**). Sur une période plus longue, par exemple 1900-2016, l'estimation n'est guère différente (+0,1 °C à +0,2 °C de réchauffement supplémentaire), car l'essentiel du réchauffement s'est produit au cours des dernières décennies, principalement depuis les années 1980. Ce chiffre est nettement supérieur aux fluctuations attendues sous l'effet de la variabilité naturelle du climat. Le réchauffement est plus marqué au printemps et en été qu'en automne et hiver **[7]**. Il est en outre relativement uniforme sur la région, et très proche du réchauffement observé en moyenne sur la France. On peut remarquer que cette valeur de +1,4 °C est sensiblement plus forte que le réchauffement observé en moyenne planétaire depuis le début du XXe siècle (environ +1 °C), ce qui est cohérent avec notre compréhension du phénomène et les anticipations pour le futur. L'objectif, mentionné dans l'accord de Paris, d'un réchauffement plafonné à +1,5 °C en moyenne planétaire, ne serait donc pas atteignable s'il était limité à la seule Nouvelle-Aquitaine.

Depuis 1958, en revanche, les cumuls annuels et saisonniers de précipitations ne montrent pas d'évolution significative (**Figure 2**), ce qui est dû à la fois à la plus grande variabilité naturelle de la pluie, et au fait que cette variable est moins directement impactée par l'accroissement de l'effet de serre. Pourtant, d'autres variables liées au cycle de l'eau montrent déjà des signes d'évolution, comme l'humidité du sol (en lien avec l'augmentation des températures, et donc de l'évaporation). De nombreux travaux visent à décrire l'évolution d'événements météorologiques dits « extrêmes », comme les vagues de chaleur ou de froid, sécheresses, tempêtes, épisodes de fortes précipitations, etc., du fait du fort impact que ces événements ont sur nos sociétés. De ce point de vue, les résultats obtenus à l'échelle de la France sur l'augmentation observée des périodes de canicules et la diminution des épisodes de froids sont applicables à la Nouvelle-Aquitaine (et cohérents avec le réchauffement moyen). Autre fait marquant, la tendance à l'augmentation de l'étendue des sécheresses agricoles à l'échelle du pays (dues à la diminution de la quantité d'eau dans le sol superficiel) se vérifie aussi pour la région de la Nouvelle-Aquitaine (accroissement de 6 à 7 % depuis 1959 ; **Figure 3**). Les observations passées n'indiquent pas d'évolution claire pour les autres types d'événements extrêmes.

La question du rôle de l'Homme dans ces changements a fait l'objet de multiples travaux. Si l'on ne dispose pas d'étude formelle d'attribution à l'échelle de la région, les résultats obtenus sur des domaines plus grands indiquent clairement la prépondérance de l'influence humaine dans ce réchauffement. Il est également établi qu'outre l'émission de gaz à effet de serre (GES), d'autres activités humaines ont impacté le climat du dernier siècle. C'est notamment le cas des émissions anthropiques d'aérosols. On appelle aérosols des particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère qui tendent à réfléchir et absorber une partie du rayonnement solaire. Elles ont ainsi en partie masqué le réchauffement induit par les gaz à effet de serre, mais leur durée de vie étant beaucoup plus courte, cet effet masquant devrait s'atténuer dans le futur.

Enfin, de nombreuses études cherchent désormais à quantifier le rôle de l'influence humaine sur l'occurrence d'événements extrêmes particuliers. On pourra citer par exemple la canicule de l'été 2003, ou la succession de tempêtes de l'hiver 2013-2014 à l'origine d'une forte érosion sur les côtes de la Nouvelle-Aquitaine **[8]**.

L'Homme n'est jamais l'unique cause de ces événements, car la variabilité naturelle du climat contribue toujours, et souvent de façon prépondérante, à leur intensité. Il n'est pas non plus responsable de leur survenue en un lieu ou à une date particulière. En revanche, la probabilité d'occurrence de ces événements a pu évoluer sous l'effet des perturbations anthropiques.

Il a par exemple été estimé que la probabilité d'une canicule comparable à celle de l'été 2003 avait plus que doublé par rapport à celle d'un climat non modifié par les activités humaines. La probabilité qu'un événement comparable survienne aujourd'hui serait ainsi nettement supérieure à ce qu'elle était en 2003. Il n'a par contre pas pu être démontré qu'un effet anthropique ait pu influencer la circulation atmosphérique de l'hiver 2013-2014, et donc la répétition des tempêtes qui ont généré de fortes houles sur les côtes de la région.

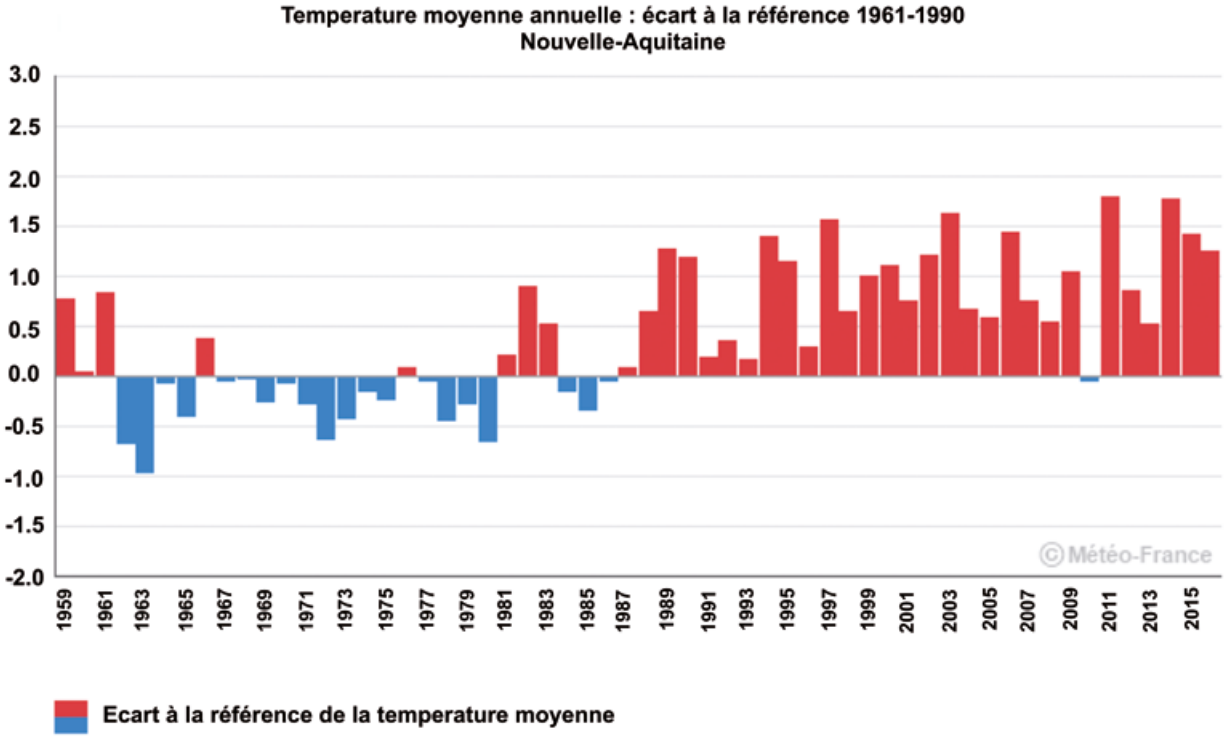


Figure 1 : *Évolution de la température moyenne annuelle sur la Nouvelle-Aquitaine au cours de la période 1959-2016. La série représente les écarts par rapport à une valeur de référence calculée comme la moyenne 1961-1990 (qui est de 12,05 degrés Celsius). Calcul réalisé à partir de séries de données homogénéisées de Météo France.*

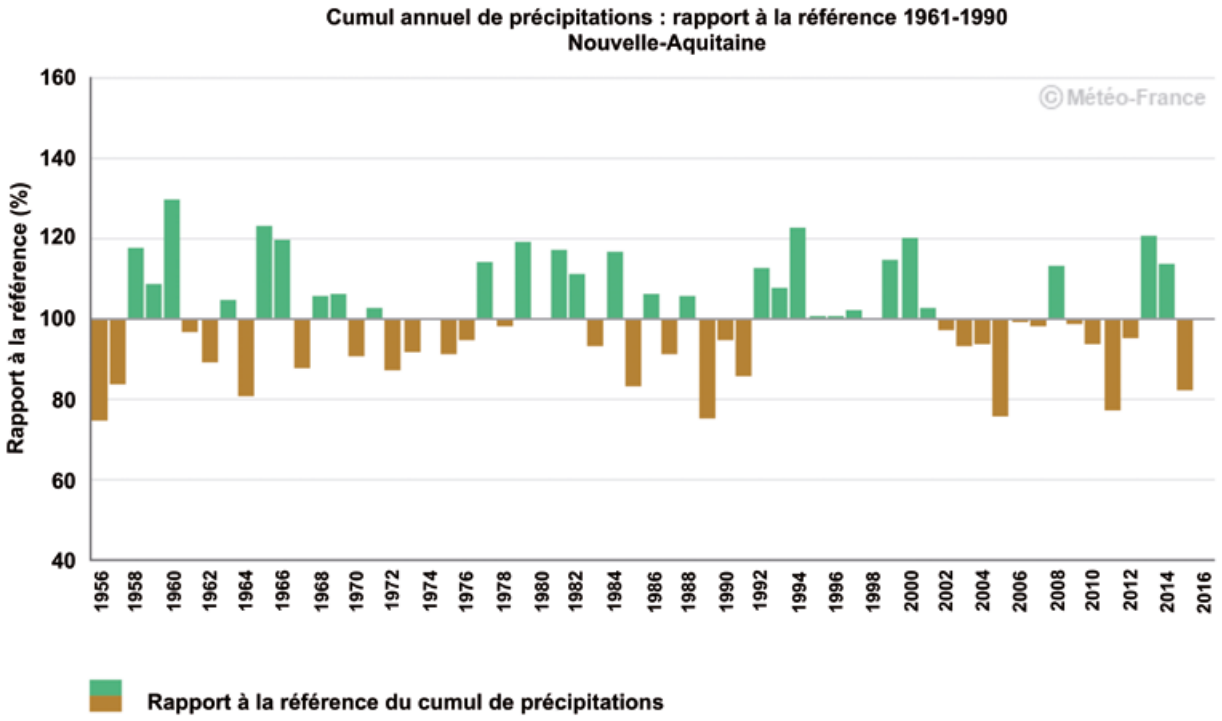


Figure 2 : *Évolution des cumuls annuels de précipitation, en moyenne sur la Nouvelle-Aquitaine, au cours de la période 1959-2016. La série représente les écarts par rapport à une valeur de référence calculée comme la moyenne 1961-1990 (qui est de 956 millimètres par an). Calcul réalisé à partir de séries de données homogénéisées de Météo France.*

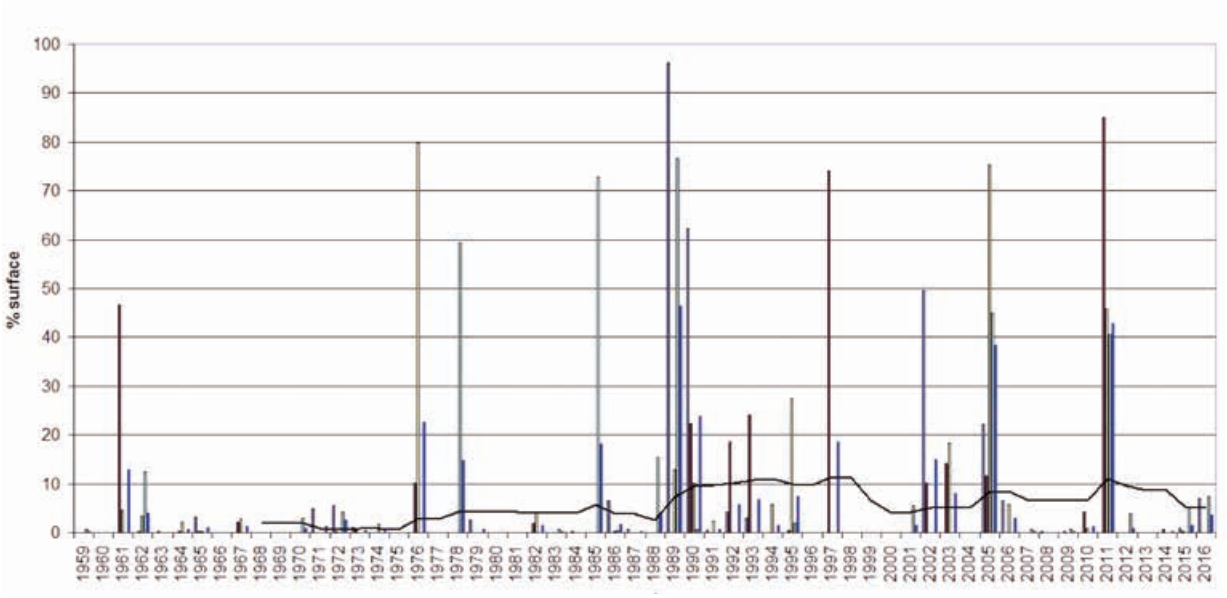


Figure 3 : *Évolution du pourcentage de la surface de la Nouvelle-Aquitaine où l'on a observé des conditions de sécheresse agricole au cours de la période 1959-2016. L'hiver correspond à la couleur violette, le printemps au mauve, l'été au jaune et l'automne au bleu. Le trait noir représente l'évolution de la moyenne par période de 10 ans. Source : Météo-France.*

3 QUE PEUT-ON DIRE DES SPÉCIFICITÉS RÉGIONALES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FUTURS ?

Imaginons qu'à l'horizon 2100 nous parvenions à stabiliser le climat à un réchauffement planétaire de 2 degrés par rapport à l'ère préindustrielle. C'est un des scénarios les plus optimistes, même si les accords de Paris proposent de contenir le réchauffement dans des limites encore plus strictes. Comment faire le lien avec des changements, de température, de vents, de précipitations sur la région Nouvelle-Aquitaine ?

Les modèles climatiques globaux peuvent nous aider mais ils ne suffisent pas. Si l'on considère un ensemble de simulations utilisant ces modèles, que l'on isole la période pour laquelle ces simulations montrent un réchauffement de 2 degrés, il est alors possible d'étudier statistiquement les conséquences météorologiques d'un réchauffement global sur une vaste région du monde, à l'échelle d'un continent, l'Europe par exemple. Mais les modèles globaux ne permettent pas de simuler finement la météorologie dans une région de la taille de la Nouvelle-Aquitaine, parce qu'ils ne prennent pas en compte des spécificités régionales essentielles : le trait de côte, le couvert végétal, les reliefs… La résolution des modèles globaux est trop lâche et nous avons besoin de « faire un zoom » via l'utilisation d'un autre modèle, qui simule de manière plus fine une zone géographique donnée avec ses caractéristiques propres. Ce modèle plus précis est contraint aux limites de la zone qu'il simule, par les résultats du modèle global et on parle ainsi de « régionalisation des simulations climatiques ».

Grâce à cette technique, il est possible de mieux simuler les écoulements atmosphériques près des Pyrénées : par exemple les vents comme l'Autan ou la Tramontane, dont la direction et l'intensité sont dues en partie aux reliefs, ou encore des événements de type Galerne qui touchent périodiquement le grand Sud-Ouest et qui peuvent avoir des impacts importants. C'est ce qui a été effectué dans un projet associant plusieurs dizaines d'instituts de recherche européens, le projet IMPACT2C (voir par exemple l'atlas ***www.atlas.impact2c.eu***). Ce projet a permis de montrer que pour un changement de 2 degrés à l'échelle globale, le sud de l'Europe subirait un réchauffement plus important, de près de 2,5 degrés, plus particulièrement en été. Cette conclusion est valable pour la Nouvelle-Aquitaine.

La **Figure 4** montre le réchauffement par rapport à l'ère préindustrielle (1850 environ) pour les saisons d'été et d'hiver sur l'Europe, c'est-à-dire sur le domaine de simulation du modèle régional. En Nouvelle-Aquitaine, on s'attend à un réchauffement de l'ordre de 2,5 degrés (environ 1,5 degrés par rapport à la fin du xx^{e} siècle) pour les deux saisons. Les précipitations changeraient peu en hiver mais s'affaibliraient légèrement en été, accentuant le risque de sécheresse agricole déjà amplifié par l'augmentation des températures. Même si les résultats représentés dans cette figure correspondent au scénario RCP2.6, qui limite l'augmentation des températures moyennes à 2 degrés environ, ils indiquent une augmentation des extrêmes chauds. Celle-ci pourrait être du même ordre de grandeur que celle que l'on observerait avec un scénario d'émissions plus pessimiste. C'est ce qu'illustre la comparaison des nombres de jours chauds dans les simulations RCP2.6 et RCP4.5 sur la **Figure 5** (qui se rapporte à l'ancienne région Aquitaine). Une première conclusion importante est donc que même avec un scénario sobre en émissions, compatible avec un réchauffement planétaire de 2 degrés par rapport à l'ère industrielle, des mesures d'adaptation devront être prises pour prendre en compte les évolutions climatiques inévitables comme celles des extrêmes chauds et des sécheresses agricoles.

Que se passerait-il si les émissions de gaz à effet de serre ne se révéleraient pas compatibles avec l'objectif des 2 degrés de réchauffement global ? Parmi une multitude de scénarios d'émission possibles, le GIEC en a considéré deux qui sont représentatifs de deux stades différents d'un réchauffement mal maîtrisé.

Le RCP4.5, déjà évoqué au paragraphe précédent, consiste à stabiliser les concentrations en CO_2 à la fin de ce siècle, et le RCP8.5 qui s'apparente à un scénario du « laisser-faire » car il correspond à l'absence de politique climatique de réduction volontaire des émissions de gaz à effet de serre. Le scénario RCP8.5 revient à prolonger la courbe de croissance des émissions de CO_2 au rythme le plus élevé de ces dernières années.

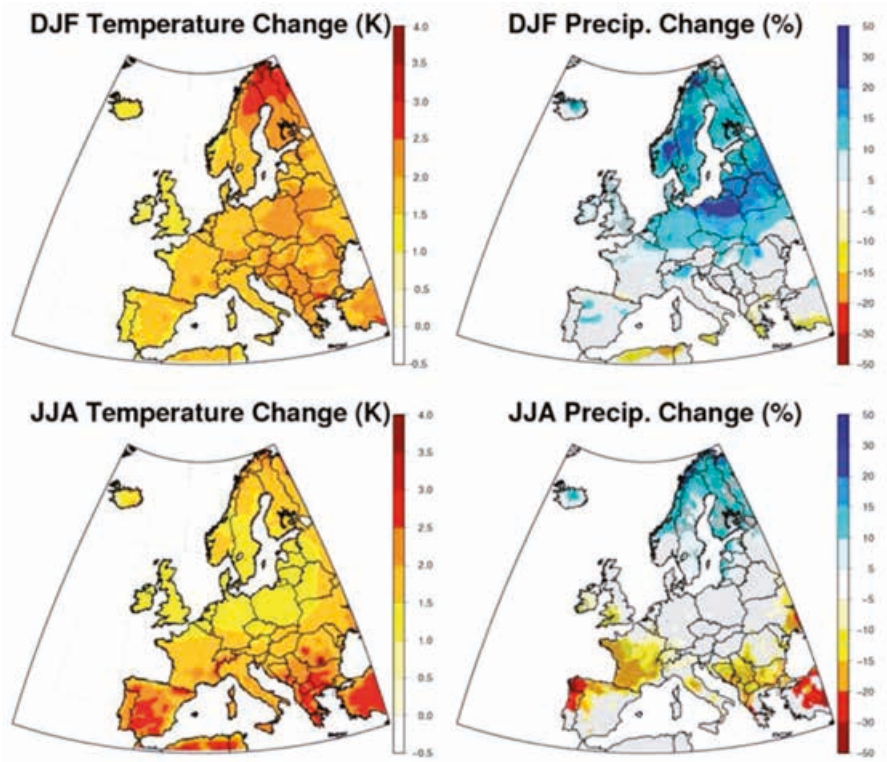


Figure 4 : *Changement climatique en Europe, pour un climat global 2 degrés plus chaud qu'à l'ère préindustrielle. À gauche sont représentés les changements de température (°C) et à droite les changements de précipitation (%). Les figures montrent la saison d'hiver en haut et d'été en bas (9).*

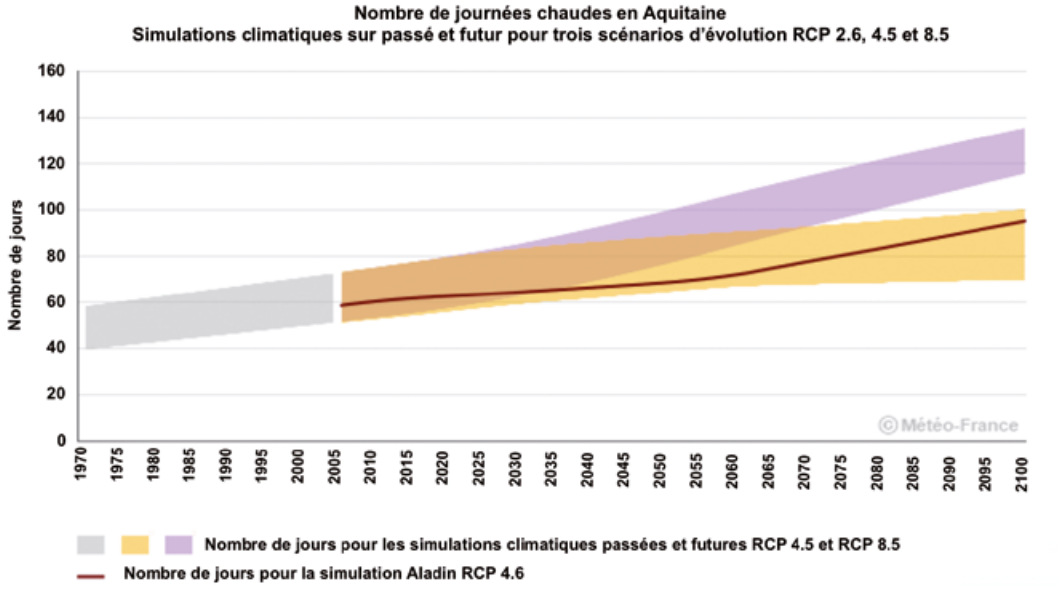


Figure 5 : *Nombre de journées chaudes en Aquitaine (ancienne région) calculées dans des simulations climatiques sur le passé et le futur pour trois scénarios d'évolution RCP2.6, 4.5 et 8.5.*
Source : site « Drias : les futurs du climat », espace « Découverte » www.drias-climat.fr

Ce que montrent les résultats c'est qu'indépendamment du scénario d'émissions, à l'horizon 2050, le réchauffement en Nouvelle-Aquitaine pourrait atteindre environ 1 degré par rapport à la fin du xx^{e} siècle, soit un réchauffement deux fois plus rapide qu'au siècle dernier. Mais à l'horizon 2100, le réchauffement pourrait être jusqu'à 3 fois plus rapide avec le scénario du « laisser-faire » (RCP8.5) comparé au scénario le plus optimiste (RCP2.6). Cela se traduit par une augmentation du nombre de jours de fortes chaleurs suivant le même facteur (**Figure 5**). Les sécheresses agricoles seraient aussi beaucoup plus sévères avec le scénario RCP8.5 avec des conditions moyennes d'humidité du sol à la fin de ce siècle correspondant aux extrêmes les plus secs de la période actuelle. Avec le réchauffement, on s'attend aussi à une augmentation des extrêmes de pluies de quelques pour cents par degré de réchauffement supplémentaire. Par contre, en l'état actuel des connaissances, les simulations du climat futur de la Nouvelle-Aquitaine ne montrent pas d'évolution importante du risque de vents forts.

1 DE LA MÉTÉO AU CLIMAT : COEXISTENCE DES VARIABILITÉS NATURELLES ET FORCÉES

Attribuer une cause simple à un événement météorologique ou climatique est une requête qui est constamment adressée aux scientifiques : une réponse claire, qui permettrait de dire qu'il s'agit du résultat des activités humaines, ou au contraire qu'il s'agit d'une manifestation naturelle, aiderait souvent la prise de décision, et clarifierait les enjeux. Mais la réalité des faits est trop complexe pour se permettre de tels raccourcis, et ceci est encore plus vrai dans un cadre régional qui est par essence sensible à une très large combinaison de processus. Ce paragraphe qui suit est une ouverture sur cette complexité.

L'évolution temporelle d'un signal climatique observé, par exemple un signal de température, ou de précipitation, peut s'interpréter comme le résultat de la combinaison de deux sources de variabilité souvent difficiles à dissocier.

- L'une, dite variabilité forcée, est induite par les modulations de l'activité solaire, par le volcanisme et les perturbations liées aux activités humaines : émissions de gaz à effet de serre, émissions d'aérosols, usage des sols. Ces activités humaines sont souvent dominantes aux échelles de temps que nous allons considérer : la variabilité forcée est alors souvent considérée comme la variabilité d'origine anthropique – ce qui n'est bien sûr vrai que dans un certain contexte.

- L'autre, dite variabilité intrinsèque ou variabilité interne, reflète les fluctuations naturelles du système climatique, sans aucune action extérieure qui s'exerce sur lui.

Cette variabilité interne s'exprime à toutes les échelles de temps parce qu'elle met en jeu des composantes du système climatique climatiques aux caractéristiques physiques très différentes : atmosphère, océan, sol, glace, etc. Aux échelles de temps longues (saisonnières à décennales), la variabilité interne est pilotée par les échanges d'énergie et les échanges d'eau entre les composantes, et le couple océan-atmosphère joue un rôle prépondérant en structurant les propriétés géographiques de la variabilité climatique. L'échelle spatiale typique de cette variabilité est celle du bassin océanique et l'on parle de mode de variabilité ou de téléconnexion car des régions très éloignées (ex. Mer du Labrador et bassin tropical dans l'Atlantique) peuvent varier de manière concomitante. Aux échelles journalières à mensuelles, la variabilité est dominée par le « chaos » atmosphérique. L'atmosphère est capable de générer seule sa propre variabilité et celle-ci est responsable de l'alternance plus ou moins aléatoire, que nous vivons à nos latitudes, entre épisodes de précipitation, périodes de grand calme ou encore de vagues de froid extrême, etc. c'est-à-dire de la météo quotidienne ou hebdomadaire. Une notion structurante pour appréhender la variabilité organisée à des échelles plus importantes est celle de régime de temps.

ENCADRÉ 2 : LES RÉGIMES DE TEMPS DANS LA ZONE EURO-ATLANTIQUE

De manière générale le temps qu'il fait en un endroit donné, la Nouvelle-Aquitaine par exemple, n'est pas décorrélé de celui qu'il fait dans une autre région de la zone Euro-Atlantique, sur l'Europe du Nord par exemple. La variabilité interne atmosphérique prend alors la forme de circulations spécifiques organisées spatialement à l'échelle du bassin océanique Atlantique Nord et du continent européen ; on parle de régimes de temps. Ils dépendent de la géométrie des contrastes entre océan et atmosphère et de la présence des barrières orographiques, telles les Montagnes Rocheuses en Amérique du Nord ou le Groenland, dont l'incidence se fait ressentir jusqu'en Europe. La déflection des vents planétaires par ces montagnes est, en partie, à l'origine des centres d'action sur l'Atlantique Nord que sont l'Anticyclone des Açores et la Dépression d'Islande, les « stars » des bulletins météo. Les régimes de temps correspondent selon ce schéma à des fluctuations naturelles de ces centres d'action et donc des vents associés. Sur l'Atlantique Nord, on distingue classiquement deux grandes saisons atmosphériques : l'hiver qui couvre les mois de novembre à mars et l'été de mai à septembre. À chaque saison correspondent des régimes de temps particuliers avec des impacts sur l'Europe bien distincts **[10]**. Les mois d'octobre et d'avril sont des mois de transition où les deux types de dynamique atmosphérique peuvent coexister. Nous nous intéressons ci-dessous à la saison d'été : la première version du rapport AcclimaTerra donnait une description détaillée des régimes d'hiver.

On dénombre quatre principaux régimes estivaux et ils sont présentés en **Figure 6** sous la forme d'anomalie de pression atmosphérique. Le premier régime (**Figure 6a**) correspond à un renforcement des pressions sur le Groenland et la Mer d'Irminger près de l'Islande et un creusement simultané des pressions sur la Mer du Nord. Dans l'hémisphère Nord, les vents tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des anomalies positives de pression, et ce régime, de fait, s'accompagne sur l'Europe d'un renforcement des vents d'ouest. Le second régime (**Figure 6b**) se caractérise par une diminution des pressions sur le Groenland qui s'oppose à une bulle anticyclonique des Açores jusqu'à la Scandinavie. On parle respectivement de régime NAO- et NAO + pour ces deux types de circulation car ils sont proches des deux phases de l'Oscillation Nord Atlantique d'été **[11]**. Pour le régime NAO +, on trouve aussi le nom de blocage d'été dans la littérature car (i) ce régime est un plus persistent que les autres et (ii) la circulation moyenne d'ouest d'origine océanique et pénétrante sur l'Europe est interrompue, voire renversée. Le troisième régime (**Figure 6c**) est dominé par des basses pressions sur toutes les mers Nordiques avec un creusement maximal sur l'Islande alors que le quatrième et dernier régime (**Figure 6d**) se caractérise par un minimum de pression au large de l'Europe et des latitudes subpolaires plutôt anticycloniques. On les dénomme respectivement Icelandic Low (IL) and Atlantic Low (AL) de par la localisation de l'anomalie de pression négative. Si l'on considère les 67 derniers étés (1950-2016) pour établir une statistique, la probabilité d'occurrence de ces quatre régimes est à peu près la même. Autrement dit, les circulations journalières se partageant de manière quasi-équiprobable entre les quatre types de circulation, avec un léger excédent des situations NAO + et un déficit pour AL.

Ces régimes peuvent être considérés comme les briques élémentaires de la variabilité atmosphérique des moyennes latitudes. Ils ont une durée de vie de l'ordre de quelques jours et les changements météo quasi-quotidiens peuvent s'interpréter par les transitions d'un régime vers un autre. En effet, chaque régime, par le biais des vents et des conditions nuageuses induits, se caractérise par des conditions de surface spécifiques en température et en précipitation. En été, le régime NAO-, par sa circulation d'ouest plus marquée, est associé à des températures plus froides que la normale sur une grande partie de l'Europe. Les précipitations sont également plus marquées, excepté sur le pourtour méditerranéen. En Nouvelle-Aquitaine, ce régime correspond aux jours d'été pluvieux et frais avec un vent océanique marqué sur la côte. En NAO +, le ciel clair sous l'Anticyclone et la diminution des vents d'ouest qui atténue l'influence océanique le long de toutes les côtes Européennes, contribuent à la hausse des températures sur la façade Atlantique. L'Europe est sèche au nord de 45° N et plus humide et plus fraîche au sud. La Nouvelle-Aquitaine situe « au zéro » des anomalies et la chaîne pyrénéenne est une véritable frontière naturelle. En température, IL est assez symétrique de NAO + alors que AL est associé aux épisodes chauds sur une grande partie de l'Europe de l'Ouest, Nouvelle-Aquitaine comprise. Les flux de sud/sud-ouest sont privilégiés et ils induisent des remontées chaudes venant d'Espagne, à caractère parfois orageux, ce qui explique l'absence d'anomalie de précipitations sur la France, excepté en Bretagne.

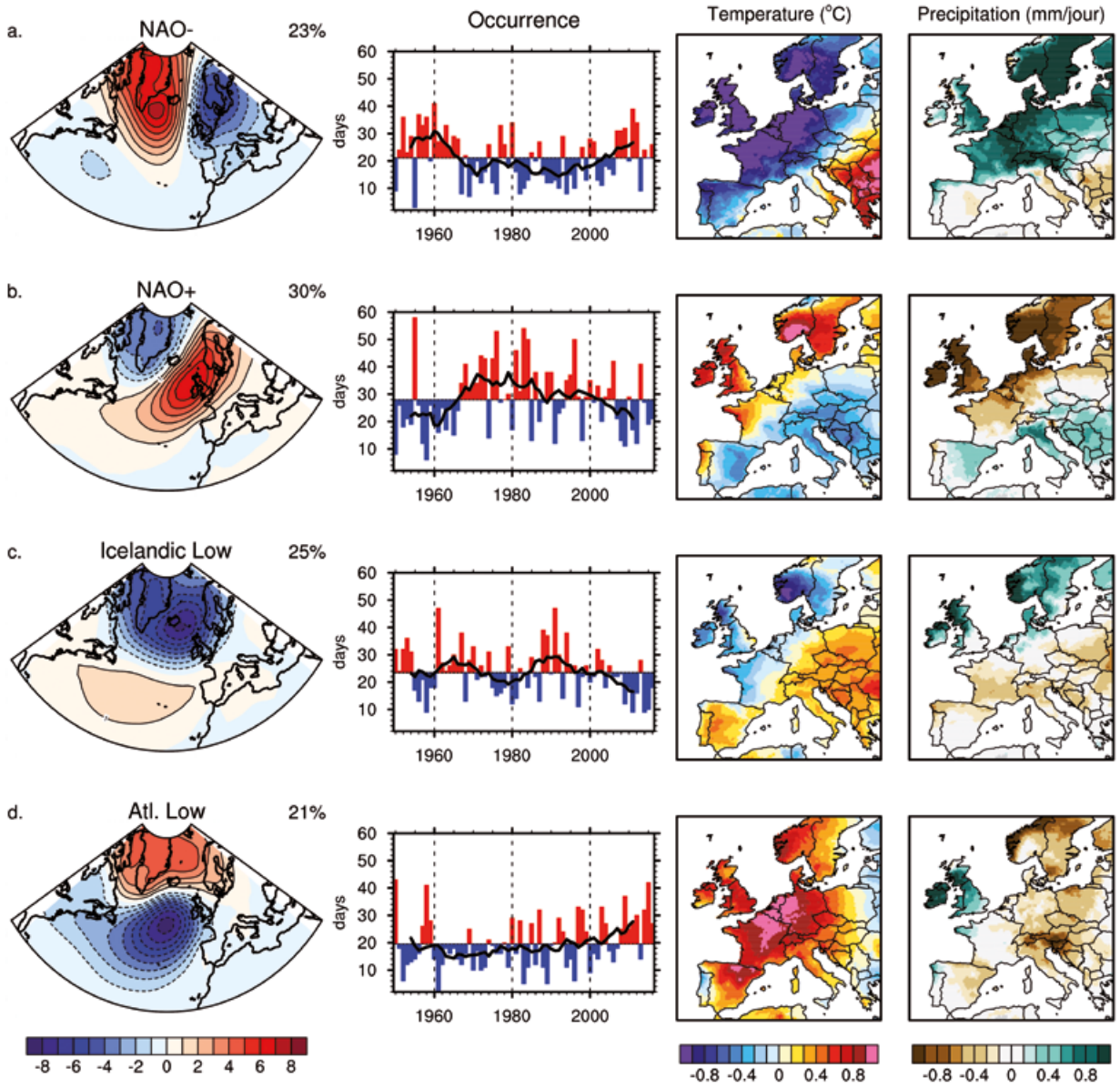


Figure 6 : *Régimes de temps estivaux sur la région Nord Atlantique/Europe tirés des réanalyses NCEP sur la période 1950-2016. Gauche : structure spatiale des anomalies de pression de surface en hectopascal. Centre : occurrence en nombre de jours par été et la couleur matérialise l'écart par rapport à la moyenne des occurrences. La courbe noire correspond à une moyenne glissante sur 10 ans. Droite : anomalies de température et précipitation associées, tirées du jeu d'observation EOBS.*

Les changements de météo s'expliquent ainsi par la transition plus ou moins aléatoire entre différents régimes de temps. Les fluctuations interannuelles du climat, celles qui se manifestent par exemple d'un été sur l'autre, s'expliquent aussi par les régimes de temps et par la récurrence plus ou moins importante de certains régimes au cours de la saison. Il en va de même des fluctuations décennales (d'une décennie sur l'autre). Les occurrences en nombre de jours par été (92 jours au maximum couvrant la période 1er juin au 31 août) sont données pour chaque régime sur la **Figure 6** ; en rouge, les étés où le régime est plus excité qu'en moyenne, en bleu les années déficitaires. On note ainsi une tendance vers davantage de régime AL depuis les années 1980, ce qui explique une partie du réchauffement estival mesuré en France. Au-delà des conditions moyennes, les régimes de circulation de grande échelle favorisent certains événements extrêmes locaux.

La probabilité de vague de chaleur intense sur la Nouvelle-Aquitaine est ainsi plus grande lorsque les régimes NAO +, mais surtout AL, sont excités. Ainsi la canicule de 2003 est associée à un excès d'AL mais plus encore, à l'excitation alternée entre AL et NAO +, sans aucune pause fraîche et pluvieuse liée à NAO- qui serait venue briser le cycle chaud. Les sécheresses correspondent préférentiellement à la récurrence de NAO + et IL : on explique ainsi en partie les grandes sécheresses de 1976 ou de 1961.

De manière intéressante, pour NAO- et NAO +, on observe une forte modulation décennale (courbe en noir) avec un excès de NAO- dans les années 1950 et 1960, un déficit prolongé des années 1970 à 1990, puis un regain d'occurrences depuis une dizaine d'années. L'inverse est obtenu pour NAO + qui fut très présent des années 1970 à 2000. Ces fluctuations sont liées aux anomalies de température de surface de l'Océan Atlantique Nord dans son ensemble

(**Figure 7A**). Si l'on fait la moyenne de la température de surface sur tout le bassin depuis le début des données instrumentales, on note (**Figure 7B**) des grands cycles multi décennaux avec des phases chaudes (décennies 1940 à 1960, fin de la décennie 1990-debut de la décennie 2010) qui alternent avec des phases froides (fin de la décennie 1960-début de la décennie 1990). Ces fluctuations portent le nom de Variabilité Atlantique Multidécennal (AMV) et on lui associe en partie les sécheresses dévastatrices au Sahel dans les années 1980 ou le renforcement de l'activité des cyclones tropicaux dans l'Atlantique depuis 1995, par exemple. Dans le cas des régimes de temps sur l'Atlantique Nord et l'Europe, on voit que les régimes NAO- sont favorisés quand l'Atlantique Nord est chaud dans son ensemble, l'inverse pour la NAO +. Ces fluctuations multidécennales sont associées à des anomalies océaniques planétaires. Ainsi quand l'Atlantique Nord est chaud, le Pacifique tropical et les océans australs sont plutôt froids. L'origine de ces oscillations reste encore un sujet de recherche difficile dans la mesure où les jeux d'observations disponibles qui couvrent des longues périodes assez longues (ex. centennales) sont très limités.

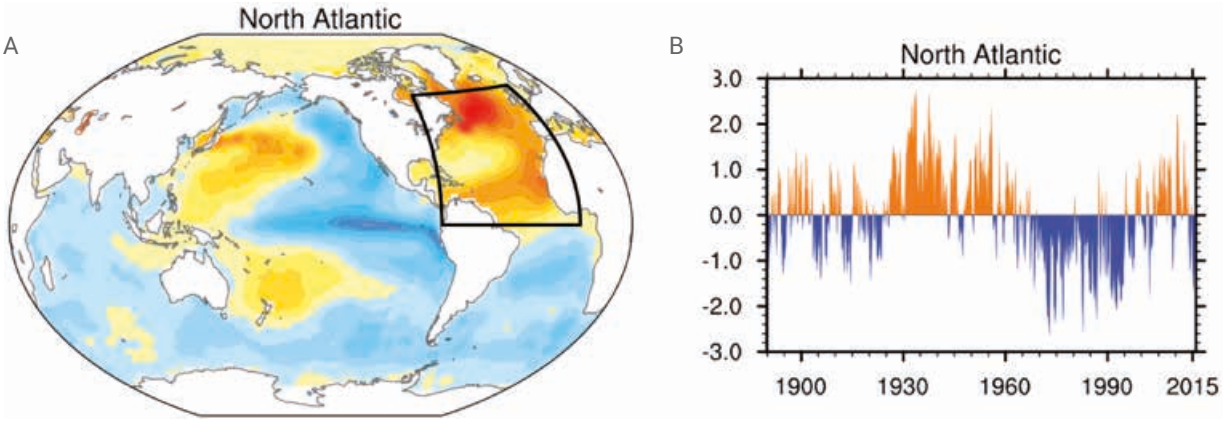


Figure 7 : *La carte montre la structure spatiale des anomalies de température de surface de la mer associées à la Variabilité Atlantique Multidécennal. La série de droite montre depuis 1890 l'évolution temporelle des anomalies de température moyennées sur la zone matérialisée par le cadre noir qui couvre l'ensemble de l'Atlantique Nord (12).*

De la variabilité naturelle à la variabilité modifiée par les activités humaines.

Les fluctuations climatiques (de la saison à la décennie) peuvent ainsi s'interpréter, en particulier à nos latitudes, comme l'intégration temporelle de ce qui se passe à l'échelle météo, et donc de la variabilité interne dominante à cette échelle. Selon cette vision dynamique du climat, le changement global induit par les forçages anthropiques, pourrait être considéré comme un « tricheur ». Il modifierait un peu la probabilité d'occurrence de certains régimes, comme le fait de manière naturelle l'océan en été. L'image du dé à quatre faces est classiquement utilisée. Le climat naturel correspond au tirage de ce dé atmosphérique, le climat perturbé au tirage d'un dé pipé favorisant une face. On comprend bien ici que même si le climat se réchauffe, même si les régimes chauds se trouvaient privilégiés, la survenue d'un été pourri et froid associé au régime NAO- n'est en aucun cas exclu, même aux horizons lointains tels 2050-2100. Le défi des projections et prévisions climatiques est ainsi d'arriver à estimer le sens et le niveau de la tricherie et ses conséquences. Aujourd'hui les conclusions sur l'évolution des régimes de temps sont peu robustes et le consensus difficile **[13]**. Certains modèles privilégieraient plutôt les régimes NAO + alors que d'autres ne projettent aucun changement. La région Nord-Atlantique/Europe apparaît donc comme un domaine où la variabilité interne est dominante aux échelles interannuelles à décennales.

Notons cependant que l'absence de changement clairement discernable dans la probabilité d'occurrence des régimes de temps n'implique cependant pas l'absence de changement de température. Ainsi, un régime AL qui transporte de l'air chaud du Maghreb et de la péninsule ibérique vers la France transportera de l'air plus chaud du fait du réchauffement global. Cette évolution des relations entre régimes de circulation et températures est déjà observable et détectable depuis la fin des années 1990 et sera très probablement amplifiée dans le futur. Les signaux sont en revanche moins clairs sur les précipitations.

Ces résultats portent sur l'été. En hiver, le poids du chaos atmosphérique dans la variabilité interannuelle à décennale est encore plus grand mais les mêmes conclusions s'appliquent. Les régimes qui favorisent les vagues de froid sont en moyenne moins efficaces pour transporter l'air sibérien jusqu'en Nouvelle-Aquitaine, par exemple **[14]**. L'empreinte des activités humaines est cependant plus difficile à détecter. Par exemple, l'hiver 2013-2014 qui a vu le littoral Aquitain frappé par de puissantes tempêtes, est associé à l'excitation particulièrement récurrente d'un même régime, mais cet événement, malgré sa force, reste compatible avec la variabilité naturelle de l'atmosphère sur la région Nord-Atlantique Europe et ne peut donc pas être attribué de manière directe aux perturbations anthropiques. En revanche, les activités humaines peuvent amplifier les conséquences des événements naturels de ce type. Par exemple, une surcote du niveau marin associée au passage d'une tempête, vient maintenant se superposer de manière systématique à la hausse du niveau moyen de la mer. Les tempêtes d'aujourd'hui peuvent donc avoir des effets plus dévastateurs, sans être pour autant plus intenses que celle du passé.

CONCLUSION : COMMENT APPRÉHENDER L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS LOCAUX

L'adaptation aux changements climatiques locaux doit se faire en fonction d'une réalité complexe. Cette complexité est une complexité dynamique : elle s'accompagne d'une évolution, qui continuera pendant plusieurs décennies après que les émissions de gaz à effet de serre aient été réduites de manière drastique. Plusieurs paramètres clef sont sans équivoque à cet égard : la température de la planète, et donc aussi la température régionale, augmente depuis plusieurs décennies. Le relèvement du niveau de la mer (qui résulte de la fonte des grands glaciers et de la dilatation des océans) se poursuit également de manière constante et sans doute même accélérée. Des conséquences directes du réchauffement en cours sont également apparentes dans le domaine du vivant : migration d'espèces végétales ou animales, agriculture… Ces conséquences peuvent aussi se manifester de manière partielle : ainsi, même si le volume global des précipitations sur la Nouvelle-Aquitaine ne montre pas d'évolution discernable, on peut penser que l'intensité des épisodes de précipitations est susceptible d'augmenter, car cela relève en premier lieu d'une physique simple : plus il fait chaud plus le niveau de saturation en vapeur d'eau augmente et avec lui la quantité de vapeur d'eau stockée dans l'atmosphère. Le réchauffement peut aussi permettre une évaporation des sols plus intense, source de sécheresses récurrentes.

Tous ces éléments permettent de définir une série d'actions de prévention ou d'adaptation, mais ils ne sont pas seuls à porter une inquiétude. Il existe aussi beaucoup d'événements auxquels il est difficile de donner un statut simple. Événements naturels ? Ou bien événement résultant des activités humaines ? Cette incertitude affecte le regard que l'on peut porter sur beaucoup d'événements extrêmes souvent meurtriers : tempêtes, inondations, avec leurs conséquences souvent dramatiques en termes de submersion des littoraux, d'érosion des côtes…

Il sera probablement impossible de trancher les choses de manière scientifiquement rigoureuse dans un délai de quelques décennies – parce qu'évaluer la statistique d'événements rares prend du temps et que, comme nous venons de le voir, la mécanique de ces situations est extrêmement complexe. Pourtant beaucoup d'infrastructures demandent à être construites dès maintenant en fonction de ce que l'on peut anticiper du changement climatique dans les prochaines décennies. Il faudra donc définir une politique de réduction des risques qui prenne en compte l'incertitude qui affecte beaucoup d'événement possibles, sur lesquels la région n'a pas de prise. Il faut aussi garder à l'esprit que : quelle que soit l'origine des phénomènes extrêmes difficiles à anticiper, le changement climatique renforcera leur impact. Le réchauffement rendra les vagues de chaleurs plus intenses, le relèvement du niveau de la mer sera un facteur de fragilité pour les zones littorales. C'est bien sûr l'estimation de la vulnérabilité des territoires, des sociétés, des écosystèmes qui peut fournir les bases de cette politique des risques.

Une mémoire pour une meilleure adaptation au changement climatique ?

Shutterstock © Min C. Chiu

Coordination : **Emmanuel Garnier**

Rédacteur : **Emmanuel Garnier**

Contributeurs : **Bernard de Jéso, Frédéric Surville**

Fondée sur l'exploitation des sources historiques (archives, iconographie, presse, etc.) conservées en Nouvelle-Aquitaine, la présente contribution souhaite montrer combien une approche du risque climatique abordée sous l'angle historique peut contribuer concurremment à réactiver une mémoire parmi nos concitoyens et envisager des formes d'adaptation originales et socialement consensuelles. Pour y parvenir, elle s'intéresse successivement à ceux qui ont veillé à nous la transmettre, les témoins des siècles passés, aux principaux aléas ayant frappé la région et enfin, aux réactions de sociétés anciennes confrontées aux caprices du temps dans la perspective d'un retour d'expérience susceptible de contribuer à une réduction de l'exposition aux aléas.

Données historiques

+ intruments de mesure

passeur de mémoire

Métiers

État Providence

1572
1623
1647
1709
1719
1740
1769
1785
1924
1927
1934
1937
1999
2009
2010
2013
2014

37 CATASTROPHES météorologiques entre 1700 & 1790

15 TEMPÊTES forêts landaises entre 1550 & 2009

-50 % STOCK DE BOIS de la forêt landaise entre 1999 & 2009

30 SUBMERSIONS du littoral atlantique entre 1550 & 2010

ADAPTATION RÉSILIENCE SOCIÉTÉ ANCIENNES

Maison à étages

Retrait de l'habitat

Écluses à poisson

Zones humides

RETOUR D'EXPÉRIENCES RÉDUCTION DE LA VULNÉRABILITÉ ACTUELLE

conscience collective d'une menace potentiel

traces administratives conservées et accessibles

Inondation Île de Ré 2010

répertorier les territoires exposés de longues dates

dangers naturels inscrits dans le paysage

Repère Xynthia 2010

1 INTRODUCTION

« Toute cette région disparaîtra-t-elle sous les flots, comme naguère l'Atlantide, tandis que la Pointe de Grave, point culminant de l'endroit deviendra subitement une île en face de l'estuaire agrandi de la Gironde ? Malheureusement, nier le danger ou fermer obstinément les yeux en sa présence n'a jamais constitué un moyen pratique de self-défense contre ses [la mer] coups. L'hiver suivant – à titre d'avertissement – une tempête venait chercher quelques paisibles chalets, imprudemment perchés au bord des dunes, et les emportait, sans autre forme de procès[1]. »

On pourrait croire ces lignes écrites dans la presse au cours de l'hiver 2014-2015 lorsque responsables politiques, habitants et services de l'État découvraient les effets dévastateurs des tempêtes à répétition qui firent inexorablement reculer le trait de côte de la Nouvelle-Aquitaine. Contre toute attente, si l'extrait ci-dessus a bien été écrit par un journaliste, Jean-Luc Simian, il fut rédigé le 23 mai 1934 pour le journal *La Petite Gironde*, à partir des témoignages recueillis auprès des ingénieurs du port autonome de Bordeaux et des Ponts et Chaussées.

Ce témoignage historique nous rappelle à bon escient tout l'intérêt de donner une épaisseur historique à l'étude du climat. À ce titre, l'histoire apporte un éclairage original dans la perspective stratégique de l'adaptation aux effets annoncés du changement climatique contemporain. *De facto,* la trace climatique enregistrée par l'historien relève de ce que Marc Bloch appelait la « chair humaine », entendons la signature sociale laissée par un événement extrême ou une fluctuation plus longue dans les archives des hommes. Ce qui pourrait être, de prime abord, une limite de taille puisque la discipline de Clio[2] ne renseigne sur les climats du passé que pour le dernier millénaire, est en réalité un formidable outil de prévention et de médiation à destination des populations exposées et de leurs décideurs. En effet, les archives produites se font prioritairement l'écho des aléas à l'origine de catastrophes pour les hommes et, par conséquent, mettent en relief la vulnérabilité sociale et économique.

En premier lieu, la profondeur historique contribue à relativiser la notion « d'événements inédits », assez systématiquement mise en avant à chaque nouvelle catastrophe depuis une décennie. Comment expliquer une telle posture sinon par une rupture mémorielle que l'historien qualifierait, non sans une certaine contradiction, « d'inédite » dans l'histoire des hommes ? Or, comme le déclarait le 1er ministre britannique Winston Churchill, « un peuple qui oublie son passé se condamne à le revivre ». En matière climatique, rarement un adage a été aussi pertinent. La perception du caractère inédit d'un événement climatique, généralement légitimée par la perte du souvenir d'une catastrophe plus ancienne, contribue à augmenter fortement le sentiment de vulnérabilité de nos contemporains plongés dans un contexte d'urgence climatique alors même que l'expérience du passé peut nous enseigner tant de choses en ce domaine.

Prenant en compte la majeure partie des « pays » (Poitou, Aquitaine, Périgord, montagne pyrénéenne) composant désormais la Nouvelle-Aquitaine, la présente contribution aborde la question de l'indispensable conservation de la mémoire climatique.

1 • La Petite Gironde du 23 mai du 1934.

2 • De la déesse Clio, Muse de l'histoire.

Après s'être interrogée sur les objectifs scientifiques et sociaux des passeurs de cette mémoire au cours des derniers siècles, la présente contribution s'intéresse successivement à la réalité historique des catastrophes météorologiques survenues en Nouvelle-Aquitaine et à leur impact sur les sociétés de l'époque en termes d'adaptation et de réduction de l'exposition aux risques.

Vue du phare historique de Cordouan à marée basse, estuaire de la Gironde, France.

© Melanie Lemahieu

2 LES PASSEURS DE MÉMOIRE

Du haut de ses siècles d'archives, l'historien ne peut que constater les fluctuations longues ou courtes ayant affecté nos ancêtres. Ce constat est encore plus frappant quand il s'intéresse aux événements extrêmes des 500 dernières années et qu'il découvre médusé que, non seulement ils ont toujours existé mais que de surcroît, ils ont été plus fréquents à certaines périodes qu'au cours des 100 dernières années.

Néanmoins, il convient de rappeler que l'historien du climat est tributaire de ses sources qui, pour la très grande majorité en Nouvelle-Aquitaine, se composent d'archives textuelles. En effet, il faut attendre le milieu du XIXe siècle pour qu'apparaissent enfin des données instrumentales (thermométriques, hygrométriques et barométriques) au sens moderne du terme[3].

LES ÉLITES AQUITAINES EN POINTE

Quand il s'agit de parler du temps qu'il fait, les notables se montrent très prolixes pour des raisons évidentes. La première s'explique par leur maîtrise de l'écriture, un privilège peu répandu encore à la fin du XIXe siècle, avant l'obligation de scolarité par la IIIe République en 1882. Autre atout propre à ces individus, leur aisance financière leur permet d'acheter, dès le XVIIIe siècle, des instruments de mesure fiables.

Comment expliquer un tel engouement pour le fait climatique ? Contre toute attente, c'est moins la sensibilité aux aléas de la météorologie que leurs conséquences plus triviales en matière économique qui motivent leur attention. En premier lieu, c'est bien l'intérêt financier qui explique que les auteurs, tous plus ou moins en prise avec le monde rural où ils possèdent souvent des domaines ou bien engagés dans les affaires commerciales, plus particulièrement maritimes (échanges avec les îles, esclavage, etc.) s'intéressent au sujet. Dans ces conditions, pouvoir imaginer, grâce à un matériel *ad hoc* ou bien à des séries d'observations consignées dans un registre, ce que seront les prochaines récoltes est un avantage stratégique indiscutable pour anticiper les sautes d'humeur des marchés.

Exemple parmi de nombreux autres, l'académicien bordelais Joseph de Navarre († en 1757) ne possède pas moins de quatre baromètres et trois thermomètres. Ils autorisent cet ami du philosophe Montesquieu, juriste de formation mais passionné de culture scientifique, à étudier, au sens actuel du terme, le climat. Il donne ainsi huit conférences sur ce sujet à la récente Académie de Bordeaux qui embrasse à son tour la cause climatique avec enthousiasme **[1]**. Autre membre de la prestigieuse institution scientifique, le fils du philosophe de La Brède, Jean-Baptiste Secondat, utilise ses compétences scientifiques (il est agronome de formation) pour effectuer de nombreuses observations au Pic du Midi qui donnent lieu en 1750 à la publication de ses *Observations de physique et d'histoire naturelle* à Paris[4]. Plus encore que ces études instrumentales, ce sont les récits de catastrophes qui représentent le plus grand intérêt de nos jours. *De facto*, ces riches témoins impliqués

*3 • **www.climat-en-questions.fr/reponse/observation-climat/contribution-lhistoire-a-reconstitution-climats-par-emmanuel-garnier***

4 • Bibliothèque municipale de Bordeaux, fonds La Brède, manuscrit 2595.

dans les affaires et la politique, ne peuvent demeurer insensibles à la misère du peuple provoquée par ce que l'on appelle alors les « caprices du climat » ou le « renversement des saisons », des expressions récurrentes dans le discours sur le temps.

Généralement, les descriptions physiques des événements climatiques extrêmes apparaissent dans les documents du for privé, comprenons les journaux intimes, une fois de plus une pratique culturelle réservée aux plus fortunés. Parmi les pionniers des notations privées de faits météorologiques, le chroniqueur Jean de Gaufreteau (1572-1638) **[2]**, rejeton d'une famille de parlementaires bordelais s'impose, lui qui livre des données dès les années 1570.

L'HIVER EXCESSIF DE 1623 DÉCRIT PAR JEAN DE GAUFRETEAU

*En cette année-là, il y eut, sur la fin de novembre, un si grand froid, à Bourdeaux, que la mer gela, et dit-on que ce froid fut encore plus rigoureux que celui qu'on souffrit en l'année 1572, mais principalement vers Saint-Macaire et la ville de La Réole, car il est certain que plusieurs bons compagnons allumèrent du feu et disnerent sur la glace de la rivière (***[2]***, p. 125).*

Bien que passablement négligé et décousu, le texte parfois truffé de locutions et de termes purement gascons évoque régulièrement les effets néfastes des extrêmes climatiques sous l'angle social en décrivant dans le menu les catastrophes qu'elles engendrent.

Un siècle plus tard, c'est un aristocrate du nom de Joseph François Ignace de Labat, baron de Savignac, qui reprend le flambeau de la mémoire climatique en nous laissant de très nombreuses notations dans son *Mémorial* **[3]**, rédigé entre 1708 et 1720[5]. En bon « prince des vignes » qu'il est – il détient des vignobles à Cenon, Caudéran, Le Bouscat - assurer la vente de ses vins est une priorité. C'est pourquoi notre hobereau, par ailleurs parlementaire, nous livre pléthore d'informations concernant les aléas dont l'impact peut être désastreux pour la production. Homme du XVIII[e] siècle, il redoute par-dessus tout trois périls : la sécheresse, le froid et les inondations. À l'image de ses pairs, il ne rechigne pas non plus à recourir à des méthodes scientifiques en employant un thermomètre de La Hire et un baromètre pour effectuer des relevés accompagnés de commentaires. Ces derniers sont d'ailleurs régulièrement subjectifs quand il exprime une forte météo-sensibilité en assimilant l'humeur du temps à sa propre humeur. Tel jour de pluie est décrit de la sorte comme « sombre et triste ».

LA VAGUE DE FROID DU 11 JANVIER 1709 D'APRÈS JOSEPH FRANÇOIS IGNACE DE LABAT

J'avais, dans le lit, le nez gelé et, quand je me suis levé, j'ay trouvé le thermomètre entièrement concentré dans la boule de verre, en sorte que la liqueur ne marquait point de degré de froid tant il était violent et même le vin se gelait dans les bouteilles, en sorte que j'ai aujourd'hui avalé de petits glaçons dans le vin pur, et sur la rivière il est impossible de traverser à La Bastide à cause des glaçons de la grandeur d'une maison qui descendent continuellement du Haut-Pays, et il y a fait un temps de frimas et couvert quelque peu de neige.

À La Rochelle, le *Journal* du négociant protestant Jacob Lambertz apporte une contribution majeure à l'histoire du climat et de ses extrêmes en Nouvelle-Aquitaine **[4]**[6]. La majeure partie de son contenu intéresse directement le temps qu'il faisait, ausculté sous une forme textuelle (description du temps) et quantitative (relevés instrumentaux). Durant 25 ans (1784 à 1801), il relève scrupuleusement ses observations selon un protocole scientifique immuable et en recourant systématiquement à un thermomètre et à un baromètre dûment vérifiés et étalonnés par les académiciens de la Société royale des sciences et de l'Observatoire de Paris.

LA SÉCHERESSE-CANICULE DE L'ÉTÉ 1785 D'APRÈS LE ROCHELAIS JACOB LAMBERTZ

La sécheresse continue toujours. Le peu de pluye qui a tombé du 29 au 30 courant n'a pas pénétré la terre et le grand vent du lendemain a tout deséché. On ne sauroit faucher la plupart des près hauts, l'herbe étant trop claire ou trop courte. Les orges, baillarges et avoines sont également sy courts qu'on aura de la peine à les coupper, d'ailleurs les épis sont étranglés et presque perdus […]. Beaucoup de marais dans le Poitou qu'on n'avoit jamais vu desesché le sont au point cette année qu'ils ont fournis beaucoup de foin et que les propriétaires font une petite fortune.

Eux aussi de confession protestante, les frères Sarrau de Boynet, issus d'une famille noble de juristes originaires de Montflanquin dans l'Agenais, nous ont légué une mémoire climatique exceptionnelle couvrant une période comprise entre 1714 et 1770 [7]. Si leurs observations contiennent à l'origine seulement des données pluviométriques, elles s'enrichissent ultérieurement de relevés météorologiques complets.

Au XIX[e] siècle, l'engouement que suscite l'observation météorologique ne se dément pas et nombreux sont les instituteurs, médecins et bourgeois à tenir des éphémérides. Stimulée par la création d'une société savante, la *Société Météorologique de France* (ou SMF) et des enquêtes administratives voulues par l'État, la connaissance météorologique progresse tout au long du siècle de la Révolution industrielle. En 1855, l'académicien Urbain Le Verrier lance le premier service de prévision des tempêtes à la faveur du développement du télégraphe dont le réseau converge vers l'Observatoire de Paris, chargé de collecter et de traiter les informations maritimes. À cet égard, le charentais Rulland est emblématique.

5 • Archives départementales de la Gironde, 8 J 46-49.

6 • Archives départementales de Charente-Maritime, 4 J 1808.1.

7 • Bibliothèque municipale de Bordeaux, manuscrit 1025-1035.

De son état professeur de mathématiques au collège de Saint-Jean d'Angély et membre de la Société d'Agriculture, il publie en 1841 une *Année agrico-météorologique* destinée, comme il le déclare, à appliquer la météorologie à l'agriculture et à la navigation, afin d'aider les agriculteurs dans leurs travaux et les marins pour « éviter » les tempêtes. Avec la IIIe République (1870-1940), les nouvelles élites républicaines participent activement à l'observation météorologique. À La Rochelle, nombreux sont les membres de la Société des sciences naturelles à apporter leur contribution en intégrant la commission départementale de météorologie constituée par le préfet. Parmi eux figurent des notables comme le maire de la cité, Charles-Edouard Beltremieux, l'ingénieur Potel ou encore le professeur de lycée F. Lusson **[5]**.

Ainsi, ces différents exemples soulignent à l'envi le rôle de vecteurs majeurs de transmission de la mémoire climatique joué par les élites sociales des trois derniers siècles, à l'instar de notre météorologie actuelle, apanage des milieux aisés ou bien cultivés. Pour s'en convaincre, il suffit d'ailleurs de parcourir la liste des adhérents de la *Société Météorologique de France*, une institution scientifique toujours très vivante présidée par le climatologue Jean Jouzel.

LE CLERGÉ CATHOLIQUE

Curés des champs et curés des villes constituent un second vivier d'observateurs de choix, en raison du maillage territorial des paroisses et de leur intérêt, jamais démenti, pour le temps qu'il fait. Contre toute attente, leurs témoignages sont dépouillés de tous présupposés religieux à compter du XVIIe siècle. Lorsqu'ils s'expriment sur la météorologie du moment, ils préfèrent mettre l'accent sur l'événement lui-même en décrivant son impact négatif sur leurs ouailles. Les simples prêtres consignent le plus souvent leurs informations météorologiques dans les registres paroissiaux qu'ils ont obligation de tenir en y indiquant les baptêmes, les mariages et les décès. Dans ces conditions, ils n'omettent jamais de mentionner un extrême qui aurait pu provoquer une surmortalité, des dommages matériels ou bien une interruption des sacrements. Il n'est pas rare en effet que le rédacteur explique ne pas avoir pu ensevelir un défunt en raison du gel de la terre censée l'accueillir ou encore dispenser le baptême pour cause de tempête ayant endommagé le clocher ou bien la totalité de l'église.

L'INONDATION DE 1769 D'APRÈS LE CURÉ DE MONTIGNAC-LASCAUX EN DORDOGNE

Cette année 1769 on a réparé à la grande arche du pont des brèches formidables et remis plusieurs pierres tant dans les têtes de la voûte que dans le corps des piles le tout endommagé par la chute des cintres enlevés avec violence par une croissance de la rivière qui ne laissait que 7 pieds de voûte. Cette croissance est arrivée à la Sainte Catherine précédente (25 novembre).[8]

Pour ce qui est de la hiérarchie supérieure de l'Église, elle fait preuve, elle aussi, d'un vif intérêt pour les événements naturels mais inscrit logiquement sa démarche dans les réseaux scientifiques fréquentés par les classes supérieures. Le chanoine cadillacais Jules Bellet n'agit pas autrement. Il entretient une correspondance soutenue avec plusieurs savants et participe aux activités de l'Académie de Bordeaux. Ses fonctions de chanoine canonial au chapitre Saint-Blaise de Cadillac lui laissant beaucoup de temps libre, il réalise pour l'Académie une œuvre météorologique exceptionnelle connue sous le nom des *« Observations sur le pays de Cadillac »*, effectuées entre 1717 et 1738[9]. Comme le négociant rochelais Lambertz, il justifie sa démarche par souci d'utilité publique et considère ainsi qu'il est de la plus haute importance de collecter ces informations au profit du bastion viticole (dont il est l'un des propriétaires) au milieu duquel il vit, plus précisément les vignobles de Sauternes et de Sainte-Croix-du-Mont.

MILITAIRES DE ROCHEFORT ET INGÉNIEURS DU PORT AUTONOME DE BORDEAUX

Les militaires ne sont pas en reste, plus exactement les médecins de l'hôpital de la marine de Rochefort qui effectuèrent des mesures entre 1815 et 1895 **[6]**. C'est en 1814 que le Conseil de santé de l'hôpital militaire de Rochefort décide la tenue de relevés systématiquement consignés dans des registres prévus à cet effet[10]. Aux paramètres instrumentaux tels que la température, la pression et l'humidité s'ajoutent d'autres paramètres observés comme la direction du vent, l'état du ciel, les phénomènes comme la pluie ou la grêle. En raison de la rareté, au plan national, des séries météorologiques disponibles pour la première moitié du XIXe siècle, celle de Rochefort revêt un intérêt scientifique incontestable.

Institué en 1924, le port autonome de Bordeaux a lui aussi livré une contribution sur le climat par l'intermédiaire de ses ingénieurs qui vont être chargés du suivi du trait de côte à l'embouchure de l'estuaire. Issus du corps des Ponts et Chaussés, ces ingénieurs furent d'exceptionnels observateurs des risques littoraux, leur attention se focalisant bien évidemment sur les tempêtes et leur impact. Aussi nous ont-ils transmis, dans les archives du port déposées de nos jours aux archives départementales de la Gironde, de volumineux rapports écrits, photographiques et cartographiques dressés après chaque aléa maritime[11].

8 • Archives départementales de Dordogne, 5 MI 567 012.

9 • Bibliothèque municipale de Bordeaux, manuscrit 828-4.

10 • Service historique de la Défense à Rochefort, séries F et 2F1.

11 • Archives départementales de la Gironde, 2002/086.

3 LES « MONSTRUOSITÉS DU TEMPS » OU L'ÉTERNEL RECOMMENCEMENT

Les exemples historiques qui suivent sont volontairement diamétralement opposés en matière d'extrêmes car nous voulons simplement prouver le caractère permanent de ces aléas, même si une comparaison systématique avec ceux des dernières années peut s'avérer hasardeuse scientifiquement.

LE FLORILÈGE DES CATASTROPHES CLIMATIQUES DORDOGNAISES AU XVIIIe SIÈCLE

Si le XVIIIe siècle est celui des « Lumières », entendons l'essor de la raison politique et scientifique, et de la croissance économique, il n'en demeure pas moins un des pires épisodes climatiques des cinq derniers siècles. Abstraction faite du « grand hiver » 1709, les vingt premières années sont marquées par des cycles de vagues de chaleur estivales et des épisodes de sécheresses exceptionnels dont l'apogée est atteint au cours de l'été torride de 1719, à l'origine de la pire catastrophe sanitaire de l'histoire de France puisque l'on enregistre près de 200 000 décès. La rupture est totale au tournant des années 1740, lorsque le climat renoue avec le petit âge glaciaire. Aux hivers de 1740, 1776, 1784 et, bien entendu 1789, répondent les printemps désastreux pour les récoltes, comme ce fut le cas après le passage de la vague orageuse de juillet 1788, annonciatrice de la flambée des prix du pain en mai, juin et juillet 1789 **[7]**.

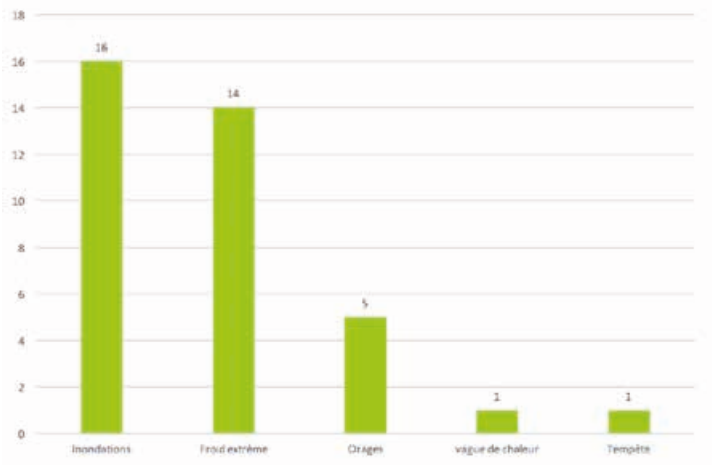


Figure 1 : *Nombre des extrêmes climatiques dordognais entre 1700 et 1790 d'après les curés. Série établie à partir de l'étude de 21 registres paroissiaux.*

Au plan local, les 21 paroisses du département actuel de la Dordogne corroborent très largement cette impression de désordre climatique généralisé. Qu'on en juge par la **Figure 1** ci-dessus. Au cours d'une période de 90 ans comprise entre 1700 et 1790, les registres paroissiaux révèlent que les habitants affrontèrent pas moins de 37 extrêmes météorologiques, soit un événement catastrophique tous les 2,4 ans ! Dans le détail, les risques majeurs concernaient les inondations et les vagues de froids extrêmes. Pour les premières, la fréquence était de 5,6 années et pour les secondes toutes les 6,4 années, en phase avec le contexte de petit âge glaciaire. À titre de comparaison, les périodes de retour avancées par la préfecture de la Dordogne en 2014 sont comprises entre 10 et 75 ans, mais il faut dire qu'elles sont calculées à partir d'une série d'inondations ne remontant pas au-delà de 1944[12].

12 • ***Une culture du risque pour notre territoire***, *Préfecture de la Dordogne, 2014, 109p.*
www.dordogne.gouv.fr/content/download/16660/132149/file/DDRM-2014-DEF_dégradé.pdf.

LES FORÊTS LANDAISES SUR LE FRONT DES TEMPÊTES

Le 24 janvier 2009, l'ouragan Klaus, avec ses vents de plus de 180 km/h, dévastait près de 600 000 hectares de forêts sur les 1,2 millions d'hectares que comptait alors le massif landais.

Plus grave encore, contrairement à son homologue Martin en 1999 qui avait laissé sur le sol des arbres, certes déracinés (chablis), mais exploitables, Klaus engendre principalement des volis, des arbres cassés, vrillés le plus souvent au milieu du tronc et donc inexploitables pour la filière bois régionale **[8]**. Ainsi, en dix ans (1999-2009), la forêt landaise a perdu la moitié de son stock de bois sur pied !

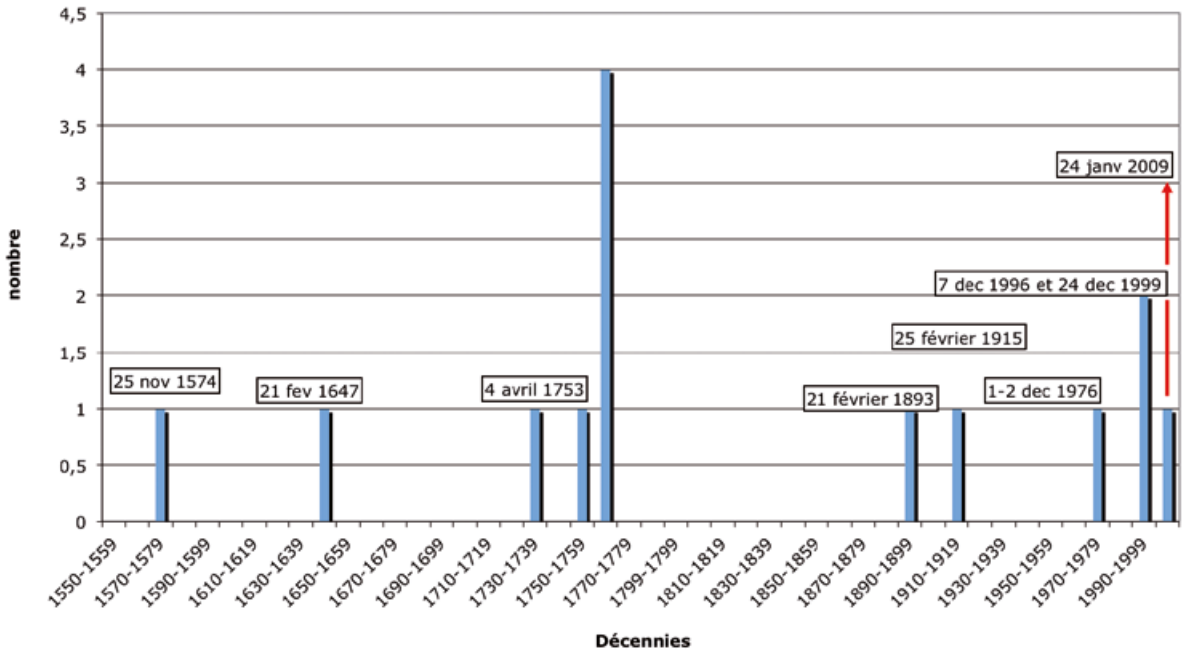


Figure 2 : *Tempêtes majeures (force 10 à 12 de l'échelle de Beaufort) dans les Landes entre 1550 et 2009 (8).*

Le verdict de l'histoire, étayé par les archives des Eaux et Forêts et des préfectures, confirme les propos prudents des climatologues puisqu'entre 1550 et 2009, 15 tempêtes pouvant être classée entre les niveaux 10 et 12 de l'échelle de Beaufort frappèrent les écosystèmes forestiers landais. Sans surprise, la **Figure 1** révèle de très fortes fluctuations depuis le XVI^e^ siècle. En termes de fréquence, le XVIII^e^ siècle se détache nettement avec six tempêtes concentrées entre les années 1730 et 1780, ce qui, somme toute, correspond assez bien à la chronologie des tempêtes nationales **[9]**. A contrario, le XX^e^ siècle n'enregistre « que » cinq aléas de grande ampleur, Klaus compris. D'aucuns diront que la catastrophe de 2009 surpasse ses prédécesseurs en termes de dégâts et ils auront probablement raison. Pour autant faut-il en déduire une intensité supérieure ? Si la description de la tempête de 1647 (**ENCADRÉ 5**) parle de 20 000 arbres abattus dans les Landes, elle prend soin d'indiquer qu'il s'agit d'une tout autre forêt qu'aujourd'hui.

DESCRIPTION DE LA TEMPÊTE DU 21 FÉVRIER 1647 [10]

Il fit un si gros vent, qu'il rompit et dérassina grande quantité et grand nombre d'arbres et maisons et fit tomber une grande quantité de chênes par tout le pays, et même à Luguespin plus de 20 000 chênes et hayes (hêtres), et le pin de St-Cricq se rompit qui était le plus grand de la France ; plusieurs églises tombèrent par terre et même le clocher du Mus tomba. Les ponts de Bayonne se rompirent ; plusieurs personnes et bateaux se noyèrent sur les grandes rivières… plusieurs personnes moururent et l'église du Bizoc tomba aussi.

Les victimes ligneuses de l'époque se composent massivement de chênes, de hêtres et de pins dans une moindre mesure. Autrement dit la forêt offre un tout autre visage qu'en 2009. Entre-temps, les landes de Gascogne ont fait l'objet d'un assainissement et de reboisements massifs qui donnent naissance à une forêt totalement artificielle et peu résiliente. Le pin maritime, une essence non autochtone, supplante désormais des espèces mieux adaptées comme le chêne, le hêtre et le pin locaux, nettement plus résistants aux vents.

En un demi-siècle, l'ensemble du massif landais voit ainsi sa superficie forestière passer de 130 000 à 843 000 hectares, dont 780 000 pins, aggravant du même coup sa vulnérabilité **[11]**.

AVANT XYNTHIA : LES SUBMERSIONS DES SIÈCLES PASSÉS

L'étude historique des submersions sur les littoraux de la Nouvelle-Aquitaine entre 1500 et 2010 présentée dans ce paragraphe ne prétend pas être exhaustive. Si certaines catastrophes n'ont peut-être pas été recensées, faute d'informations dans les archives, en revanche, celles collectées à ce jour sont certaines. En conséquence, les résultats proposés en matière de fréquence et de période de retour sont des estimations basses mais vérifiées dans la documentation.

Entre 1550 et 2010, 117 submersions ont été collectées dans les archives pour l'ensemble des littoraux français. Parmi elles, 30 catastrophes ont frappé exclusivement le littoral atlantique.

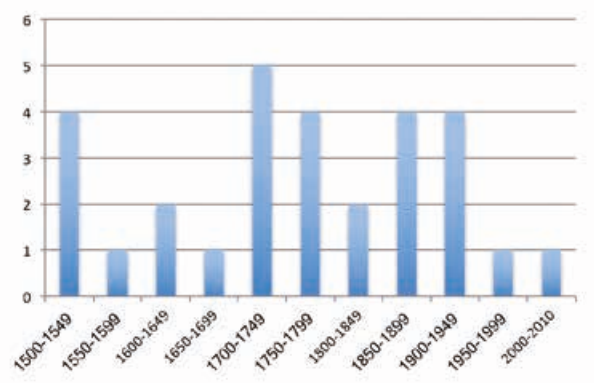


Figure 3 : *Nombre de submersions par périodes de 49 ans dans le Golfe de Gascogne (1500-2000).*

Dans le détail de la **Figure 3**, la chronologie montre de fortes disparités. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les 50 dernières années n'ont pas connu de recrudescence de ce type d'événements extrêmes. Le siècle le plus catastrophique correspond au XVIIIe siècle, avec neuf submersions, alors que le XXe siècle en totalise seulement cinq. Il semble également que l'apogée du petit âge glaciaire au XVIIe siècle se soit traduit par une moindre fréquence de ces extrêmes (3 submersions).

Au cours des 100 dernières années, six submersions ont frappé les côtes de la région avec une caractéristique notable néanmoins : la très grande majorité se produisit entre 1924 et 1957 **[12]**.

Année	Mois
1924	Janvier
1937	Mars
1940	Novembre
1941	Février
1957	Février
2010	Février

Figure 4 : *Liste des submersions dans le Golfe de Gascogne 1900-2010.*

Le 15 mars 1937, le journal *L'Ouest-Eclair* évoque un « véritable raz de marée qui déferle sur les côtes atlantiques » dans la nuit du 13 au 14 mars. Il s'agit en fait d'une conjonction météorologique exceptionnelle dont la force apparaît anormale dans la mesure où le scénario de la catastrophe associe une très violente tempête de l'ordre de 973 hPa (975 hPa en 2010) à de forts coefficients de marée (environ 109,5) alors que le coefficient le plus élevé relevé à La Rochelle-Pallice le 28 février 2010 atteignait 102. La tempête touche l'ensemble du littoral atlantique selon un axe sud-sud-ouest (identique donc à celui de Xynthia) et cause des destructions importantes entre le sud de la Bretagne et la frontière espagnole[13], sans que des pertes humaines soient heureusement à déplorer en raison d'un aménagement littoral bien différent. Dans l'ex-Aquitaine, la commune de Saint-Vivien-de-Médoc, fait face au déferlement des vagues sur ses digues qui entraînent les terres du talus arrière et creusent des brèches dans lesquelles s'engouffrent les eaux. Ces dernières finissent alors par envahir les mattes (6e section) et recouvrent 955 ha jusqu'à la passe Castillonnaise. Le 15 mars, le journal *L'Ouest-Eclair* parle pour sa part de la « formidable bourrasque soufflant en tempête sur le golfe de Gascogne ». Dès les premières heures du matin, il signale sur la côte basque les dégâts causés aux lignes électriques et télégraphiques, les toitures enlevées et surtout l'inondation des terres en bordure de l'Adour **[13]**.

Ultérieurement, aucun événement de forte intensité ne frappa la côte et sa population jusqu'en 2010. Pourtant très puissantes, les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999 ne provoquèrent pas d'inondations graves, excepté dans le secteur de la centrale nucléaire de Blaye[14].

13 • Ouest-Eclair du 15 mars 1937.

14 • www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/inondation_centrale_Blayais_0999.aspx#.WNjQekKQZP4

LE RECUL GÉNÉRAL DU LITTORAL ESTUARIEN DES ANNÉES 1920-1930

Les archives des ingénieurs du port autonome de Bordeaux conservées aux archives de Gironde permettent de recenser 23 tempêtes à l'origine de dégâts jugés suffisamment graves pour faire l'objet d'expertises et de campagnes de réparations. Près de 30 % concernent des aléas de forte intensité compris entre les indices 4 et 5 qui donnèrent lieu à de dispendieux travaux de remise en état. Parmi ces extrêmes particulièrement sévères, la **Figure 5** indique que le paroxysme tempétueux concerna la période des années 1920-1930 avec quatre catastrophes de grande ampleur respectivement en 1924, 1927 et 1934 qui affectèrent d'ailleurs l'ensemble du littoral atlantique.

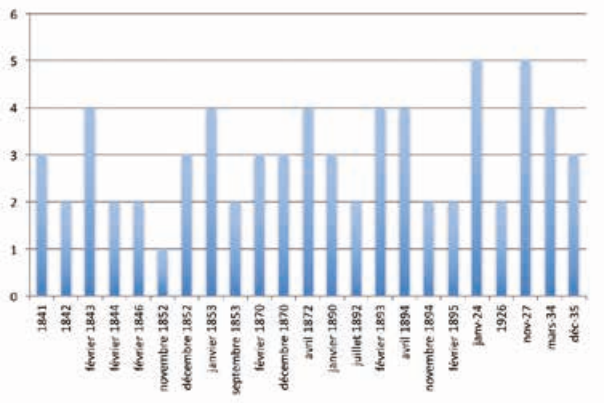


Figure 5 : *Tempêtes à l'origine de dommages (érosion, rupture de digues, recul du trait de côte) sur le littoral de la Gironde entre 1840 et 1940. À chaque tempête est affecté un indice de sévérité (cf. Projet européen RISCKIT)*[15].

Comme l'affirment les rapports, la « situation à peu près stable de la côte n'a véritablement commencé à inspirer des inquiétudes graves qu'à partir du raz de marée du 9 janvier 1924 ». Il amena des modifications profondes dans les fonds sous-marins à l'embouchure de la Gironde, spécialement dans les bancs entre lesquels s'ouvre la passe du Sud, de telle sorte que la mer venait désormais frapper, avec une violence nouvelle, la zone des dunes comprise entre le sud de Soulac et l'épi Saint-Nicolas, l'un des ouvrages de la Pointe de Grave.

Lors de la tempête du 18 au 19 novembre 1927, les dunes du front de mer de Soulac furent considérablement « rongées » et plusieurs immeubles et habitations en partie écroulés en raison du recul dunaire. L'ingénieur du Port de Bordeaux en charge de l'expertise des dommages déclare pour sa part qu'outre une brèche d'environ 120 mètres dans les digues des Huttes, les lames déferlaient sur les ouvrages à des hauteurs d'une vingtaine de mètres et qu'elles firent reculer la dune d'au moins 8 mètres. Dans son rapport adressé aux autorités, il ne peut s'empêcher de souligner le caractère très préoccupant de la situation en ces termes :

Or, à ce point (Soulac), il ne reste plus d'autre cordon de dunes élevé à franchir avant de retomber dans la partie sud de la grande cuvette intérieure du Bas-Médoc.

À titre de comparaison, la succession de tempêtes exceptionnelle qui a frappé le littoral aquitain pendant l'hiver 2013-2014 avait entraîné un recul de la côte d'une dizaine de mètres en moyenne, avec des retraits de plus de 30 mètres dans de nombreuses zones. Phénomène général, le mouvement de retrait brutal des années 1920-1930 remet en cause le développement urbain de la ville de Soulac-sur-Mer, ainsi que de toute la zone située sur la côte nord. La presse régionale se fait largement l'écho de ce bouleversement par des articles aux titres pour le moins catastrophistes qui ne sont d'ailleurs pas sans rappeler les manchettes du journal Sud Ouest au lendemain des tempêtes hivernales de 2014.

Les habitants de l'agglomération sont encore plus préoccupés par le caractère inédit de la situation, eux qui voient leur habitat construit sur les dunes menacé d'être englouti par les flots. À cet égard, emblématique est le rapport de l'ingénieur des Ponts et Chaussées, expert désigné en 1926 à la reconnaissance des avaries causées par les tempêtes aux ouvrages de la Pointe de Grave et au front de mer de Soulac-les-Bains.

RAPPORT D'EXPERTISE DE L'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES LÉVÊQUE À PROPOS DU RECUL DU TRAIT DE CÔTE À SOULAC DANS LES ANNÉES 1920

"Il est tout naturel que ce soient les habitants de Soulac qui se soient émus les premiers, car la chute d'immeubles jusqu'alors en sécurité, construits depuis longtemps sur la dune, comporte en elle une émotion beaucoup plus vive et plus compréhensible, que la perception d'un recul de quelques dizaines de mètres d'une dune violemment corrodée, mais non habitée. Cependant, le phénomène est le même. Bien que le péril soit moins imminent que devant une agglomération, il n'en reste pas moins que sa gravité est tout aussi sérieuse, tant dans la partie de côte comprise entre Soulac-sur-Mer et les ouvrages de Pointe de Grave, que dans la zone des Huttes déjà défendues par l'État, et où les ouvrages ont été bouleversés en 1924, en 1925 et en novembre dernier d'une manière malheureusement si importante[16]*."*

15 • **www.risckit.eu/np4/265.html**

16 • *Archives départementales de la Gironde, 2002/086.*

4 RETOURS D'EXPÉRIENCES ET OUTILS DE RÉSILIENCE

Dans son livre fondateur paru en 1999, le sociologue Ulrich Beck **[14]** affirme le passage d'une société des catastrophes à une société du risque et oppose nettement une société « pré-moderne », qu'il qualifie de traditionnelle, à une société « moderne ». Dans le premier cas, le risque est inexistant, supplanté qu'il est par une conviction sociale : les menaces en tous genres résultent de catastrophes à la fois naturelles et totalement imprévisibles. À ce fatalisme collectif, il oppose la société industrialisée, dont l'historien situera la naissance aux alentours des années 1850, qui redéfinirait les relations qu'elle entretient avec son environnement naturel selon un rapport de dominant (l'Homme) à dominé (la nature). Pour Beck, en engendrant le risque, l'industrialisation et le développement des sciences autorisent enfin sa définition et sa quantification grâce à une rationalisation instrumentale et aux progrès scientifiques. Partiellement en rupture avec ce modèle, la réalité appréhendée dans les archives par l'historien est moins manichéenne **[15]**. Bien loin des clichés qui voudraient que nos aïeux aient subi, fatalistes, « l'ire de Dieu », l'éclairage historique livre un témoignage exceptionnel de la résilience des sociétés (rurales, urbaines et littorales) confrontées régulièrement à l'adversité naturelle dans le territoire actuel de la Nouvelle-Aquitaine.

LES STRATÉGIES D'ADAPTATION ET DE RÉSILIENCE DES ANCIENNES SOCIÉTÉS AQUITAINES

Après chaque épreuve, nos ancêtres « nouveaux aquitains » surent conserver la mémoire des extrêmes dans le but évident de mieux s'en prémunir s'ils devaient se reproduire. Cette volonté de mieux appréhender le risque passait par la préparation à la catastrophe sous des formes originales ne négligeant aucun vecteur de transmission de l'information. Les traces administratives laissées par les fléaux en tout genre étaient ainsi conservées et accessibles, de telle sorte, et les chroniques municipales de la ville de Bordeaux en témoignent, qu'elles puissent être consultées aisément et à tout moment, par les « décideurs » de l'époque.

Figure 6 : *(1) Ex-voto de tempête déposé à la cathédrale Saint-Louis de La Rochelle (cliché F. Surville) et (2) repères historiques d'inondations à La Roque-Gageac, en Dordogne (cliché B. de Jéso).*

La mémoire des dangers naturels faisait aussi l'objet d'une inscription paysagère avec ses déclinaisons cartographiques et « mémorielles » (**Figure 6**). Dans le premier cas, les plans cadastraux et urbains fixaient par la toponymie (noms de lieux) les territoires exposés de longue date aux colères de la nature tandis que les échelles, les plaques ou encore les ex-voto, de petits tableaux religieux accrochés dans les églises catholiques, tous situés dans des lieux stratégiques en matière de fréquentations des publics (ponts, rues, sanctuaires), rappelaient le danger et rendaient possible une évaluation au moins relative de la menace par le commun des mortels. Enfin, le lien social était d'une certaine manière maintenu, notamment entre les générations, quand il s'agissait d'estimer l'exposition aux risques en interrogeant les habitants les plus âgés afin de collecter leur mémoire.

Pour les populations littorales, la côte était avant tout un espace nourricier exploité de manière durable et en fonction d'un impératif incontournable : la sécurité. En effet, nombreux sont les enjeux liés à cette zone de contact entre la terre et la mer. La survie des habitants était largement conditionnée par la pêche, directement pratiquée sur le littoral sous la forme de pêcheries. Les écluses à poissons charentaises étaient construites en dur avec des pierres prélevées sur le platier en forme de U renversés dans lequel le poisson restait captif à marée basse. Grâce à la militarisation précoce du trait de côte, nous disposons d'une cartographie exceptionnelle qui dévoile assez précisément ce qu'étaient les paysages littoraux anciens.

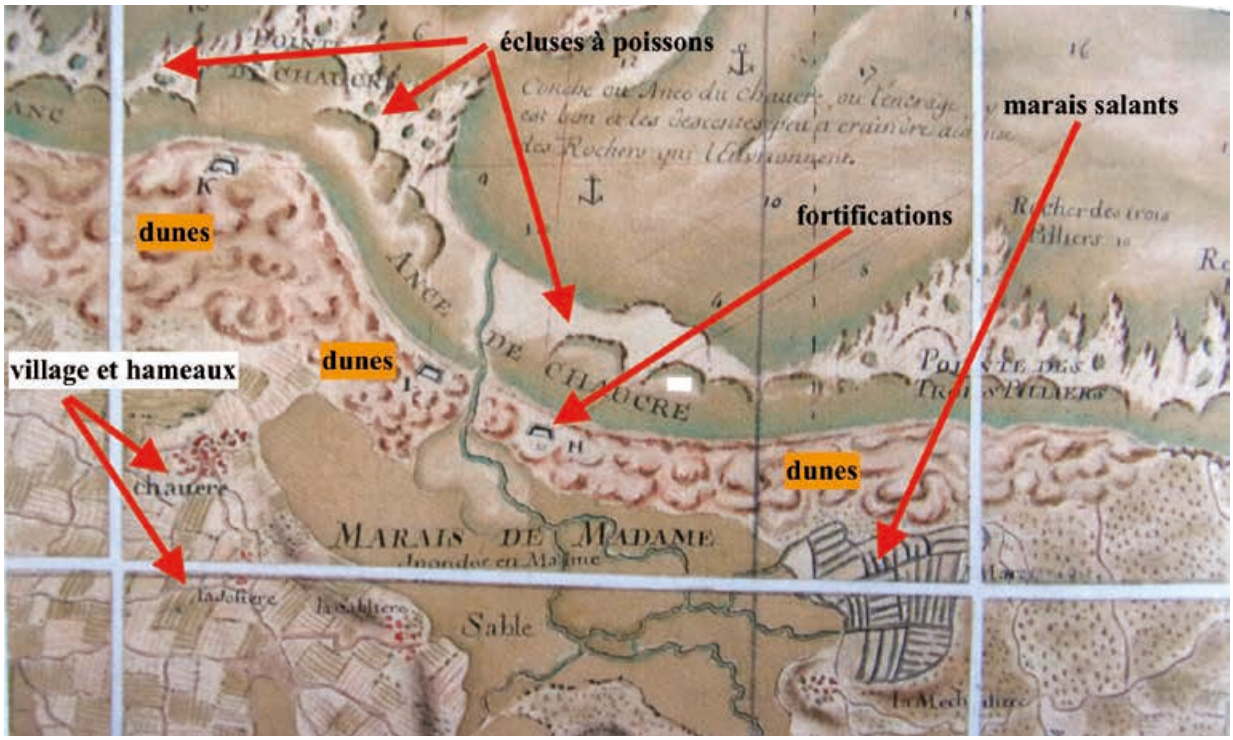


Figure 7 : *Plan du littoral de Charente-Maritime en 1757 (clichés E. Garnier)*[17].

Les dunes littorales sont parfaitement représentées sous la forme de dunes massives moutonnées qui précèdent ou encadrent les marais (**Figure 7**). Les seules traces visibles d'anthropisation dans cet espace dunaire sont les fortins et les multiples pêcheries de forme semi-circulaire. Outre leur fonction nourricière déjà évoquée, elles assurent une protection au cordon dunaire en jouant le rôle de brise-lames et de plate-forme d'abrasion contre la houle.

Quelques pêcheries sont d'ailleurs encore utilisées sur l'Île de Ré. Les autres ont généralement été détruites aux XIXe et XXe siècles par l'État car elles gênaient la navigation.

Enfin, distants d'au moins un kilomètre, les villages et hameaux sont installés sur des terres situées au-dessus du niveau de la mer et localisés derrière les zones humides (marais salants, prés-salés, etc.) qui participent également à leur défense en faisant office de zones protectrices lors des inondations et des submersions marines **[16]**.

17 • Médiathèque de La Rochelle, 1 PL 128.

DÉCONSTRUIRE UNE RÉSILIENCE HISTORIQUE : LACANAU (1700-ANNÉES 2000)

Le plan de l'ingénieur Claude Masse intitulé « Landes et étang de La Canau » fut dressé au début du XVIIIe siècle[18]. De nos jours, il constitue une référence paysagère incontournable pour les spécialistes et les services de l'État en charge du suivi du trait de côte et de sa protection. En effet, il fige sur le plan cartographique ce que fut la construction du littoral aquitain jusqu'à la fin du XIXe siècle, avant que d'autres contingences plus triviales ne viennent totalement bouleverser des siècles de réduction de la vulnérabilité par les populations locales. Appliquant le principe pluriséculaire de précaution, l'espace urbanisé est prudemment implanté à plus de 6 kilomètres de l'océan, une protection renforcée encore par deux échelons de défense composés d'un épais bourrelet dunaire et de l'Étang de Lacanau, espace nourricier pour ses habitants, tandis que le reste du paysage, totalement déboisé, consiste en des landes et des marais. Ces derniers seront drainés et boisés après les années 1860 pour donner naissance à un paysage totalement artificialisé.

Figure 8 : *Le paysage de Lacanau au début du XVIIIe siècle d'après la carte dressée par Claude Masse dressée (1700-1724)[19].*

Ce paysage durable, terre de parcours pour le bétail et les bergers, est remis en cause en 1859 avec la création du canal des étangs reliant les lacs de Carcans-Hourtin au Bassin d'Arcachon (**Figure 8**). À l'issue du procès opposant la commune aux grands propriétaires, ces derniers l'emportent et mettent un terme aux landes communales traditionnelles.

La seconde rupture intervient dans les années 1880 sous l'impulsion de Pierre Ortal, propriétaire sur la commune et chef des services aux chemins de fer des Landes. L'arrivée, en 1885, du chemin de fer qui relie Bordeaux à Lacanau favorise l'arrivée de nouveaux habitants, mais surtout la construction de demeures style Belle Époque.

Au tournant des années 1900, les premières villas sont érigées sur le cordon dunaire à l'initiative de la Société immobilière de Lacanau et à la faveur de la création du chemin de fer de Lacanau à l'océan. C'est à ce moment précis que l'ancien bourg se dédouble pour donner naissance à Lacanau Océan, une station balnéaire créée ex nihilo. Le terme s'impose désormais dans les documents communaux **[17]**.

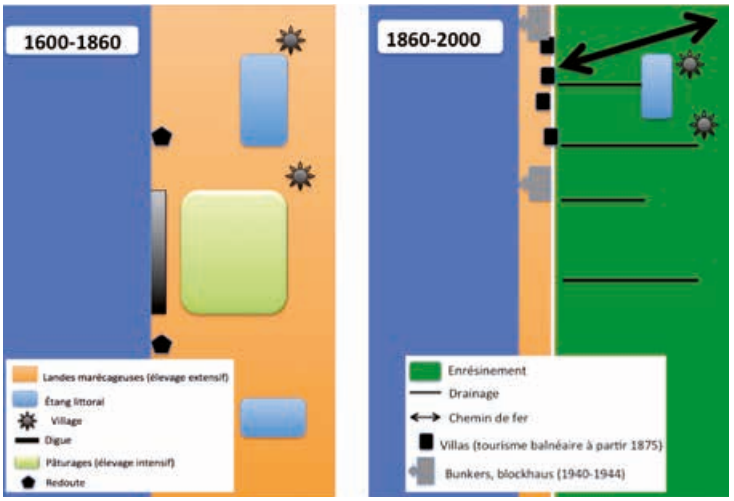


Figure 9 : *Évolution paysagère du littoral de Lacanau XVIIe siècle – années 2000 (E. Garnier).*

Le dernier tournant majeur se produit enfin dans les années 1960 avec la création de la MIACA (Mission Interministérielle d'Aménagement de la Côte Aquitaine) qui génère une expansion touristique galopante. Outre la création de Lacanau-Surf club, elle débouche sur l'adoption d'un schéma d'aménagement régional dont Lacanau est un des principaux bénéficiaires (**Figure 9**). À l'issue de ce processus effréné d'urbanisation au plus près du rivage, les effets négatifs de l'érosion et les risques qu'elle implique suscitent une réflexion d'ensemble sur les voies d'adaptation à développer pour les prochaines années. Depuis les tempêtes de l'hiver 2013-2014, plusieurs stratégies sont envisagées. La première consisterait à relocaliser les activités tandis que la seconde répondrait à un scénario de lutte active contre les éléments[20].

18 • Bibliothèque nationale de France, CPL GE DD-2987 (1493 B).

*19 •**gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b7711405m***

20 • Vers la relocalisation des activités et des biens. In : Actes du séminaire à mi-parcours du 19 mai 2014, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 67p.

5 CONCLUSION

« La plupart de nos maux physiques sont encore notre ouvrage. »
Jean-Jacques Rousseau, Lettre sur la Providence (1756).

Le paradigme de civilisation élaboré par Montesquieu affirme comme postulat que plus les sociétés sont évoluées et plus elles sont capables de se mettre à l'abri des conséquences des catastrophes naturelles. Les archives aquitaines exploitées dans ce chapitre tendraient à prouver le contraire lorsqu'elles soulignent la capacité des communautés d'autrefois à conserver et transmettre la mémoire des risques climatiques et, au-delà, à en tirer des retours d'expérience à même d'améliorer des stratégies de résilience dont les repères visuels, les ex-voto et les paysages sont les signes les plus emblématiques. Plus trivialement, ces exemples historiques peuvent-ils être exploités pour renforcer la capacité de nos sociétés contemporaines à absorber le choc que représente un extrême climatique ?

L'expérience du passé ne doit pas être idéalisée mais plutôt être observée et réemployée pour concevoir des stratégies de prévention basées sur les adaptations élaborées par nos devanciers. Pour eux, en effet, le risque n'était pas une fatalité mais plutôt un état d'attente débouchant sur l'anticipation d'une crise éventuelle. Ils veillaient donc à entretenir le souvenir des catastrophes passées et à se préparer à la menace climatique permanente. Les communautés de la Nouvelle-Aquitaine, entre les temps médiévaux et la première moitié du XX^{e} siècle, ont justement su développer des systèmes d'alerte-prévention souples et efficaces (tocsin, trompettes, tambours) permettant aux populations de se réfugier, soit à l'étage de leurs maisons, soit dans des zones réputées, de mémoire d'homme, insubmersibles. Malheureusement, cet enseignement a été perdu en raison de la « rupture » mémorielle, démographique (exode rural, attraction balnéaire) et technique postérieure à la seconde guerre mondiale. Certes empiriques, ces dispositions des anciens illustrent une mémoire de la conservation fondée sur la capacité d'un groupe à acquérir et à développer, à travers l'histoire, le souvenir de son propre héritage en matière de survie **[18]**.

Dans la perspective des ambitions affichées par la Nouvelle-Aquitaine, nul doute pour l'historien que la préservation de cette mémoire serait très utile pour la création d'un système d'adaptation aux enjeux climatiques futurs. Concrètement, la finalité mémorielle, si elle devait être adoptée par les décideurs régionaux, viserait les objectifs suivants :

LE RAPPEL VISUEL PERMANENT DES CATASTROPHES PASSÉES

Les repères devront être créés (ou recréés) en fonction des recherches historiques effectuées à grande échelle (commune, quartiers, rues) et à méso-échelle (communauté de commune, canton, département). Les repères ainsi reconnus sur le plan historique n'indiqueront pas forcément une hauteur d'eau atteinte à un endroit donné mais au moins une indication sur la progression maximale du phénomène. Sur un plan technique, les autorités devront veiller à ce que les repères ne se limitent pas à de simples plaques « commémoratives » aux dimensions réduites, comme le sont les repères officiels promus depuis Xynthia (diamètre de 8 cm). Rapidement patinés, ils sont donc moins remarquables pour le passant.

Plus volumineux, ces repères devraient non seulement comporter la hauteur d'eau ou la mention de l'événement mais également indiquer la nature des dommages (humains et économiques) qu'il engendra. Dans le cas de repères inscrits dans un territoire urbain, l'idéal serait de créer des ouvrages du type « stèle » d'une hauteur suffisante (1,50 à 2 m) et dégagés afin de constituer des rappels visuels parfaitement identifiables. Ils pourraient faire l'objet de visites d'écoliers, d'élus, d'associations et seraient l'occasion pour une population de plus en plus hétérogène de s'approprier ou de se réapproprier un territoire exposé aux extrêmes.

LA CRÉATION D'UN ENSEIGNEMENT SUR LE RISQUE

Inscrit dans les réalités du terrain, cet enseignement serait adapté aux principaux types de menaces naturelles (et également industrielles ?) régionales. Les perspectives disciplinaires multiples (géographie, impact écologique et économique du risque, solidarités, etc.) seraient autant de leviers pédagogiques pouvant être mis à profit pour faire rentrer cette culture dans les écoles primaires et secondaires. À ce jour, l'enseignement du risque dans les programmes scolaires se limite principalement à une vision « jacobine » et théorique des systèmes de prévention. Dans ces conditions, des séances de méthodologie, pour créer des séquences pédagogiques spécifiques à l'échelle du groupe scolaire, pourraient parfaitement être dispensées dans les formations des enseignants à l'Éducation au développement durable (EDD). Les maîtres formés, l'information percolerait alors naturellement en direction du jeune public.

ÊTRE PRÊT

Dans le même temps, la démarche contribuerait à créer le lien social qui fait parfois tant défaut à nos sociétés modernes. Organisé autour de la mémoire de la survie, ce dernier volet valoriserait ceux et celles qui la détiennent encore et qui peuvent en parler aux plus jeunes ou aux nouveaux arrivants dans le cadre de forum participatif, de blogs ou bien encore de « grands témoins » invités au sein du système scolaire et des associations. Pour leur part, les services de sécurité profiteraient de ces rencontres civiques pour enseigner les gestes et les réflexes qui peuvent sauver lors d'un extrême.

À charge de revanche, ceux qui ont reçu pourraient à leur tour redonner sous la forme d'un volontariat de défense civile, à l'instar de ce qui se fait déjà en Grande-Bretagne. Là, plus précisément dans le Norfolk où l'on redoute toujours une tempête de submersion comme celle de janvier 1953 qui fit plus de 80 morts et causa près de 750 millions d'euros de dommages, des entraînements, connus sous le nom de *Exercice Harmony,* associent services publics, chefs d'entreprises et « volontaires » (particuliers, scouts, communautés religieuses, associations, etc.)[21]. Loin d'être de simples faire-valoir politiques, les « volontaires » jouent un rôle majeur dans la politique de réduction du risque en ciblant par avance les zones à risque et insubmersibles de « mémoire d'homme », ainsi que les personnes les plus vulnérables qu'il faudra secourir avant même l'arrivée des pompiers ou des militaires. Le « jacobinisation » du risque ferait ainsi place à une « collectivisation » citoyenne.

À coup sûr, la catastrophe redeviendrait ce qu'elle fut à l'origine, dans l'esprit des tragédiens grecs, à savoir un « retournement » de situation qui, à partir d'un événement néfaste, permettait de renouer avec la situation antérieure ou d'engendrer un autre modèle social à même de rendre ses acteurs plus résilients et solidaires. C'est tout l'objectif du projet d'Espace Climat Océan Littoral de La Rochelle qui souhaite rassembler citoyens, responsables politiques et entrepreneurs autour de la culture des risques littoraux.

21 • ***RISC-KIT Resilience-Increasing Strategies for Coasts-Toolkit***, *European Commission, Deliverable D1.2 Synthesis Report, April 2014, p. 95.*

Les instruments juridiques de l'adaptation au changement climatique

Shutterstock © BrAt82

Coordination : **Agnès Michelot**

Contributeurs : **Carlos-Manuel Alves, Hubert Delzangles, Francette Fines, Charlotte Huteau, Simon Jolivet, Antoine Gatet, Julie Malet-Vigneaux, Jessica Makowiak, Sébastien Martin, Clémentine Mazille, Séverine Nadaud**

La population résidant en Nouvelle-Aquitaine est confrontée à des risques climatiques particuliers du fait de la configuration territoriale, géographique, physique, économique, sociale, environnementale… de la région. Le droit dispose de multiples instruments pour accompagner l'adaptation au changement climatique car il est créé par et dans l'intérêt de la société. Il permet d'appréhender la gestion de l'espace et des milieux physiques et de mettre en place les compétences des acteurs pour faire face aux changements climatiques. Il encadre également les activités économiques qui doivent évoluer et faire face à de nouveaux impératifs. Par ailleurs, les outils juridiques sont également créés pour protéger les citoyens des risques et assurer leur sécurité. La difficulté réside dans le niveau d'intervention du droit (national ou local et parfois international et européen) pas toujours cantonné à l'intervention de la Région et dans sa construction souvent segmentée par secteur d'activité ou par type de risque. Les juristes ne peuvent que rendre compte de l'ensemble du droit applicable et s'interroger sur son évolution éventuelle pour prendre en considération les enjeux d'adaptation qui impliquent une vision plus transversale et intégrée.

ADAPTATION DES TERRITOIRES

(2001) **CODE DE L'ENVIRONNEMENT**

GRENELLE I ET II
DE 2009 ET 2010

PNACC
Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

SRADDET
Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

PCAET
Plan Climat Air Énergie Terrirorial

PLU-I
Plan Local d'Urbanisme Intercommunal

INTÉGRATION DIFFÉRENTE DES RISQUES CLIMATIQUES

LA RÉGION EST INTÉGRÉE

COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE

TRANSFORMATION DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

PROTECTION DES POPULATIONS DES RISQUES CLIMATIQUES

Protection de la population

IMPACTS
SUR LA SANTÉ

TECHNOLOGIE

IDENTIFIER
LES ZONES VULNÉRABLES

MAÎTRISE
DE L'IMPLANTATION

HABITATS
DURABLES, RÉSISTANTS

ÉVITER LES CATASTROPHES
CORRIDOR ANTI-FEU, CONTRÔLE DES PERMIS DE CONSTRUIRE

SÉCURITÉ CIVILE
DISPOSITIFS ORSEC

SAVOIR RÉAGIR
PRÉVENTION

Approche intégrée et transversale

CIRCULATION
DES INFORMATIONS PLUS DIFFICILE

Appropriation des enjeux du changement climatique par les collectivités et plus de moyens d'action à l'échelle régionale

1 INTRODUCTION

L'adaptation au changement climatique dans la région Nouvelle-Aquitaine doit répondre aux engagements internationaux et européens conclus par la France.

Sur le plan national, la France reconnaît depuis 2001 dans le Code de l'environnement que la « lutte contre l'intensification de l'effet de serre et la prévention des risques liés au réchauffement climatique sont reconnues priorités nationales ».

Le droit dispose d'un certain nombre d'instruments juridiques qui, même s'ils ne sont pas spécifiquement dédiés à cet objectif, ont vocation à faire face aux enjeux de l'adaptation aux changements climatiques. Cependant, tous les instruments juridiques, et plus largement, toutes les politiques publiques n'ont pas intégré de la même façon et dans les mêmes échelles spatiales et temporelles les enjeux de l'adaptation au changement climatique.

Pour aborder la question sous l'angle régional, des outils de planification territoriale ont été mobilisés assez récemment. Des plans visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont apparus dès les années 2000, mais ce n'est qu'en 2004 que le plan climat a inclus des mesures à vocation territoriale.

En 2009, avec la loi Grenelle 1, est lancé le plan national d'adaptation au changement climatique pour les différents secteurs d'activité. Ledit Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) a pour priorité l'approfondissement des connaissances, la définition de méthodologies pour la prise en compte de l'adaptation et le renforcement des dispositifs d'observation et d'alerte.

L'objectif du PNACC est de soutenir l'adaptation en permettant aux acteurs de devenir aptes à s'adapter à des conditions climatiques futures encore imparfaitement connues. Lors d'une seconde étape avec l'élaboration d'un nouveau PNACC, actuellement en préparation, des recommandations sont prévues notamment sur la composante « prévention et résilience ». Il s'agit d'opérer une transformation progressive et structurelle des territoires.

Pour traduire ces objectifs au niveau régional, les instruments de planification tiennent une place primordiale en fixant des objectifs dans divers domaines pour lutter contre le réchauffement climatique et prévenir les conséquences néfastes de ses effets. L'enjeu est surtout d'accompagner les changements de pratiques des acteurs et de faire évoluer les projets de territoires.

Mais les instruments juridiques pouvant servir de levier à l'adaptation sont bien plus étendus que les outils de planification, et se trouvent dans différents champs d'intervention : l'aménagement des territoires (1), les transformations économiques (2) et la protection des populations vis-à-vis des risques climatiques (3).

2 L'APPROCHE TERRITORIALE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les territoires ne sont pas exposés aux mêmes risques climatiques et ne disposent pas de moyens financiers, économiques, humains identiques pour préparer et mettre en œuvre l'adaptation de leurs populations au changement climatique. La Région est à présent chef de file des collectivités sur son territoire pour l'exercice de multiples compétences relatives au climat[1].

LA GESTION DE L'ESPACE ET DES AMÉNAGEMENTS : URBANISME, PLANIFICATION, COOPÉRATION INTERNATIONALE

Alors qu'il est établi que nos émissions de GES sont très liées aux modalités d'aménagement du territoire, la politique correspondante est élaborée indépendamment de la politique de lutte contre le changement climatique au niveau national comme au niveau territorial.

Par ailleurs, à part un chapitre du code de l'environnement sur la réduction des émissions des gaz à effet de serre, le changement climatique ne fait l'objet, dans les textes en vigueur, que de références assez générales, de dispositions très spécifiques ou de simples planifications dont le caractère obligatoire et contraignant est assez variable. L'ampleur des enjeux devrait pousser le législateur à repenser la question de façon globale afin de donner aux régions les moyens d'une réelle politique cohérente de lutte contre le changement climatique.

Nous présentons par conséquent un état des lieux des instruments existants avec toutes leurs limites pour mettre en œuvre des politiques d'adaptation.

LES INSTRUMENTS DE PLANIFICATION

En premier lieu, l'actuel **Schéma Régional Climat Air Énergie**[2] (SRCAE) fait office de document régional traitant des questions climatiques. Ce schéma, fixant les orientations permettant d'atténuer les effets du changement climatique et de s'y adapter, déjà élaboré dans les trois anciennes Régions fusionnées dans la Nouvelle-Aquitaine, sera pris en compte, via une étape d'évaluation, dans un nouvel instrument de planification régionale à vocation globale, le Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET)[3] qui devrait être approuvé pour juillet 2019[4]. D'autres outils de planification régionaux participent aussi à la lutte contre le changement climatique. Il en va ainsi du **Schéma Régional de Cohérence Écologique** visant à préserver et remettre en état les continuités écologiques, notamment les continuités boisées qui constituent d'importantes sources de captage de CO_2.

1 • Cf. Loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles.

2 • Article L. 222-1 du Code de l'environnement. Voir infra.

3 • Le SRADDET regroupera certains documents de planification comme le SRCAE, le PRPGD, le schéma régional de l'intermodalité.

4 • Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires, article L. 4 251-1 du Code général des collectivités territoriales.

Dans le domaine spécifique de l'énergie, la lutte contre le réchauffement climatique se fait par le biais de la diminution de la production d'énergies fossiles et par l'augmentation des sources d'énergies renouvelables. Le Schéma Régional Éolien[5], annexé au SRCAE, identifie en ce sens les parties du territoire régional favorables au développement de l'énergie éolienne compte tenu notamment du potentiel éolien afin de mettre fin à la sous-exploitation du potentiel éolien dans la région. De même, le **Schéma Régional Biomasse** définit des objectifs de développement de cette énergie[6]. Enfin, le **Programme régional pour l'efficacité énergétique** des bâtiments définit les modalités de l'action publique en matière d'orientation et d'accompagnement des propriétaires privés, des bailleurs et des occupants pour la réalisation des travaux de rénovation énergétique de leurs logements ou de leurs locaux privés à usage tertiaire[7]. Dans le secteur de la forêt et du bois, des plans régionaux visent notamment à conjuguer les mesures d'atténuation et d'adaptation des forêts au changement climatique. Enfin, les plans régionaux de prévention et de gestion des déchets auront notamment des objectifs de prévention et de réduction des déchets[8].

D'autres outils de planification, cette fois-ci disposant d'un champ d'application infrarégional, viennent compléter le système de lutte contre le changement climatique. Il s'agit tout d'abord d'un instrument centré, comme le SRCAE, sur les questions climatiques : le Plan climat air énergie territorial (PCAET). Il est obligatoire pour les régions (si elle ne l'a pas intégré au sein du SRCAE), les départements, les métropoles, les communautés urbaines, d'agglomération et pour les communes de plus de 50 000 habitants. Il devait être élaboré avant le 31 décembre 2012. Ce plan est l'occasion de fixer les objectifs et les mesures opérationnelles de véritables politiques climatiques et énergétiques locales. Dans le domaine de l'urbanisme, d'autres plans et schémas sont susceptibles d'être orientés partiellement vers la lutte contre le changement climatique. Il s'agit des schémas de cohérence territoriale, des plans locaux d'urbanisme (intercommunaux ou non), et des schémas de mise en valeur de la mer. Ces trois documents doivent respecter les objectifs de la loi Grenelle I du 3 août 2009, l'article L. 101-2 qui énonce que « dans le respect des objectifs du développement durable, l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme vise à atteindre, (entre autres objectifs) : la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de ressources renouvelables ». Une grave méconnaissance de ces objectifs par une collectivité peut conduire le Préfet à exercer un déféré devant le juge administratif[9] voire faire l'objet d'un recours pour excès de pouvoir de la part d'une personne intéressée à agir[10]. Dans d'autres domaines, d'autres codes fixent un objectif général de « lutte contre le changement climatique »[11], « d'adaptation et d'atténuation du changement climatique »[12], de « lutte contre l'aggravation de l'effet de serre »[13], ou de « réduction des émissions de gaz à effet de serre »[14] ce qui semble composer, avec plus ou moins de normativité, un objectif général à atteindre par ces politiques et une orientation générale aux outils de planification qui y sont inclus.

DES INSTRUMENTS D'ADAPTATION EN DROIT DE L'URBANISME ?

Le changement climatique, parce qu'il rend certaines zones du territoire plus vulnérables (voire inhabitables), implique nécessairement de repenser les politiques d'aménagement du territoire et d'urbanisme. C'est ce qu'a illustré de manière emblématique la survenance en 2010 de la tempête Xynthia, en raison d'une surélévation d'un mètre du niveau de la mer, et faisant sur son passage 59 morts. Si la tempête n'est pas seulement imputable au changement climatique, celui-ci, en contribuant à faire monter le niveau des eaux, fragilise davantage encore le littoral et ses éventuels occupants.

On s'étonnera donc que le Code de l'urbanisme, qui contient l'ensemble des règles relatives à l'occupation des sols, ne mentionne qu'une seule fois l'expression de « changement climatique » dans l'objectif général du document (cf. page 3, loi Grenelle I). En effet, ni les dispositions relatives à la planification de l'urbanisme (schémas de cohérence territoriale, plans locaux d'urbanisme, cartes communales), ni celles relatives aux autorisations individuelles d'occuper le sol (permis de construire…) n'intègrent la lutte contre le changement climatique.

Ainsi, c'est essentiellement par le prisme de la prévention des risques naturels (notamment inondation), que le droit de l'urbanisme appréhende (indirectement et partiellement) la lutte contre le changement climatique, qu'il s'agisse de planifier l'occupation du

5 • Article L. 222-1 3° du Code de l'environnement. Voir infra.

6 • Article L. 222-3-1 du Code de l'environnement. Voir infra.

7 • Article L. 222-2 du Code de l'environnement. Voir infra.

8 • Articles L. 541-12 et s. du Code de l'environnement. Voir infra.

9 • Article L. 153-25 du Code de l'urbanisme.

10 • CE, 21 octobre 1994, Commune de Bennwihr ; CE, 10 fév. 1997 : Association pour la défense des sites de Théoule.

11 • Articles L. 110-1 et 211-1 du Code de l'environnement ; article L. 112-1 du Code forestier.

12 • Article L. 1 du Code rural et de la pêche maritime.

13 • Article L. 100-1 du Code de l'énergie.

14 • Article L. 1 211-3 du Code des transports.

territoire ou de réduire (par les refus de permis de construire) la vulnérabilité des personnes et des biens.

De plus, ces dispositions juridiques présentent l'inconvénient de reposer largement sur la volonté des élus locaux, à qui ont été transférées la plupart des compétences en matière d'urbanisme. L'État, responsable des engagements pris sur la scène internationale en matière de changement climatique, a donc un rôle essentiel à jouer en termes d'information préalable des collectivités, et de contrôle de légalité des actes pris en la matière.

LA COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE : UN CADRE SPATIAL ÉLARGI POUR L'ADAPTATION

Causes et effets des changements climatiques étant par nature indifférents aux frontières, la coopération transfrontalière apparaît logiquement comme une partie de la solution pour y faire face. Elle permet l'union des forces en vue d'une action plus efficace et menée à une échelle spatiale plus appropriée. Tous les secteurs du droit de l'environnement abordés dans le présent chapitre sont potentiellement concernés, à commencer par ceux qui ont la dimension spatiale la plus affirmée. En matière d'atténuation des changements climatiques, par exemple, la mutualisation des moyens dans le domaine des transports en commun ou des déchets peut conduire à une diminution des émissions de gaz à effet de serre au niveau du territoire transfrontalier. De même, s'agissant de l'adaptation aux changements climatiques, la mise en place de corridors écologiques transfrontaliers grâce à un aménagement cohérent du territoire peut faciliter le déplacement des espèces sauvages qui remontent vers le nord ou en altitude au fur et à mesure de la hausse des températures.

Le cadre institutionnel d'une telle coopération existe. La Région ex-Aquitaine collabore depuis 1983 avec les territoires voisins au sein de la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP), qui regroupe désormais la Nouvelle-Aquitaine, l'Occitanie, et quatre Communautés autonomes espagnoles (Aragon, Catalogne, Navarre et Pays Basque) ainsi que la Principauté d'Andorre, soit environ 212 000 km^2 et 18 millions d'habitants. Dépourvue de personnalité juridique lors de sa création en 1983, association « loi 1901 » à partir de 1993, la CTP est devenue en 2005 un *consorcio*, structure de droit public espagnol destinée à la coopération interadministrative. Les statuts du *consorcio* de la CTP[15] font de la protection des ressources naturelles et de l'environnement un de ses domaines d'intervention prioritaires (art. 2). En pratique, la CTP gère le programme européen transfrontalier POCTEFA (Programme Interreg V-A Espagne-France-Andorre) financé par le FEDER, dont l'axe prioritaire n° 2 pour la période 2014-2020 est la promotion de l'adaptation au changement climatique ainsi que la prévention et la gestion des risques, axe auquel ont été alloués 28,5 millions d'Euros. Dans ce cadre, plusieurs programmes ont été approuvés et ont débuté en 2016[16].

En outre, la Région a exploité les potentialités offertes par certains instruments européens applicables à la coopération transfrontalière entre entités infra-étatiques. On soulignera notamment l'évolution de la coopération entre l'ex-Aquitaine et la Communauté autonome basque. D'abord fondée sur un Protocole signé en 1989, la coopération s'est peu à peu institutionnalisée jusqu'à la création, en 2011, d'un Groupement européen de coopération territoriale (GECT). Le GECT est, en effet, le « *premier instrument de droit public existant à l'échelle européenne directement applicable à toutes les formes de coopération* » **[1]**. Cette Eurorégion Aquitaine-Euskadi, dont le siège est à Hendaye, devrait intégrer prochainement la Communauté de Navarre. Son « Plan stratégique Aquitaine-Euskadi 2014-2020 », document très fourni qui retrace la coopération territoriale européenne, tire le bilan des forces et faiblesses de l'Eurorégion et définit ses axes de travail[17]. On soulignera en particulier que dans l'axe « territoire durable », l'Eurorégion met l'accent sur la valorisation des énergies renouvelables, la préservation de l'espace naturel ou encore le positionnement de l'espace eurorégional dans les axes européens de développement, grâce à des infrastructures de transport adéquates. À cet égard, et d'une part, l'Eurorégion est notamment chargée de conduire le second volet du programme Transfermuga (2015-2017) approuvé dans le cadre du POCTEFA. L'enjeu de ce projet est de favoriser des modes alternatifs de transport, via l'amélioration de l'information des voyageurs et celle des offres de transport transfrontalier, notamment les services ferroviaires de moyenne distance. D'autre part, ces actions complètent les soutiens apportés par l'Eurorégion, en ce qui concerne l'amélioration des transports collectifs transfrontaliers entre Saint Sébastien et Bayonne, et la promotion d'une autoroute ferroviaire et maritime.

Pour approfondir les bénéfices de la coopération transfrontalière et améliorer sa coordination, la région Nouvelle-Aquitaine pourrait encourager la conclusion d'une convention tripartite (France, Espagne, Andorre) sur la protection de l'environnement pyrénéen. L'objectif serait de doter enfin l'écosystème pyrénéen d'un instrument global de protection de l'environnement[18], sur le modèle de ce qui existe déjà dans les Alpes[19] et les Carpates[20].

*15 • Consultables sur **www.ctp.org***

*16 • Une liste précisant l'objectif et les partenaires institutionnels de ces projets est disponible à l'adresse suivante : **www.poctefa.eu/fr/information-generale***

17 • Le document comporte également en annexe une liste des projets subventionnés par le Fonds commun Aquitaine Euskadi.

18 • Au soutien d'une telle convention, notamment [2].

19 • La Convention sur la protection des Alpes a été signée à Salzbourg, le 7 novembre 1991.

20 • La Convention-cadre sur la protection et le développement durable des Carpates a été signée à Kiev, le 25 mai 2003.

Ce texte pourrait notamment mettre l'accent sur la lutte contre les changements climatiques (atténuation et surtout adaptation), ainsi que sur la subsidiarité dans le domaine de la coopération transfrontalière (au profit des collectivités territoriales)[21].

LA PROTECTION ET LA GESTION DES MILIEUX NATURELS : DES INSTRUMENTS D'ADAPTATION POUR LE TERRITOIRE

Le droit de l'environnement qui vise à protéger les milieux naturels sous différents angles (eau, air, faune, flore…), ainsi que les milieux spécifiques sensibles tels que le littoral et la montagne dispose de certains instruments permettant de soutenir l'adaptation au changement climatique.

EAU : UNE PLANIFICATION RÉGIONALE RENFORCÉE POUR ASSURER L'ADAPTATION

La planification pluriannuelle de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques est territorialisée depuis 1964 par grands bassins hydrographiques et sous bassins. La région Nouvelle-Aquitaine est située à titre principal dans le bassin hydrographique Adour-Garonne, mais déborde également, pour une petite partie de son territoire, sur les têtes de bassin du territoire hydrographique « Loire-Bretagne » (Départements de la Haute-Vienne et de la Creuse).

Les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et les SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux)[22]doivent conduire à « la prise en compte des adaptations nécessaires au changement climatique »[23]. Ces outils prospectifs constituent ainsi l'outil juridique principal de l'anticipation des effets des changements climatiques dans la gestion de l'eau dans toutes ses composantes (eau potable, agriculture, énergie, milieux écologiques, etc.). La Région Nouvelle-Aquitaine est la structure motrice de la création des SAGE sur des sous-bassins à enjeux. Avec les nouvelles compétences obligatoires GEMAPI[24], confiées aux collectivités territoriales par la loi n° 2014-58 *de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles*, elle aura un rôle encore plus important dans la gouvernance de l'eau. Cette question focalise toutes les attentions pour les conflits que peuvent générer l'accès et la répartition de l'eau.

AIR : RÉDUIRE LES POLLUTIONS, ANTICIPER LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Au niveau régional et local, dans le respect de la réglementation et des orientations européennes et nationales, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et la pollution de l'air peut être envisagée à travers de nombreux instruments. Avant toute chose, il faut préciser que l'État confie, dans chaque région, la mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement à un organisme agréé pour un ou des paramètres donnés de la qualité de l'air[25]. Par ailleurs, dans le cadre de l'étude des instruments juridiques visant la qualité de l'air dans l'optique de la lutte contre le changement climatique, les bilans de gaz à effet de serre ainsi que les outils de planification centrés sur la qualité de l'air ou incluant cette dernière doivent être évoqués.

En premier lieu, afin de prendre connaissance, de maîtriser et de réduire les GES, un bilan des émissions de GES[26] doit être obligatoirement établi notamment par les personnes morales de droit privé employant plus de cinq cents personnes, les régions, les départements, les métropoles, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou communautés de communes de plus de 50 000 habitants ainsi que les autres personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes. Ce bilan est public, mis à jour tous les trois ou quatre ans et, point important, comporte une synthèse des actions envisagées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

En deuxième lieu, le SRCAE fixe, à l'échelon du territoire régional et aux horizons 2020 et 2050, les orientations permettant d'atténuer les effets du changement climatique et de s'y adapter, l'objectif étant de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050. Le SRCAE ex-Aquitaine permet de constater que l'agglomération bordelaise et le corridor autoroutier nord-sud allant vers l'Espagne sont les zones les plus sensibles. Le SRCAE ex-Limousin, quant à lui, précise que les contraintes en termes d'émissions de GES et de pollution atmos-

*21 • Exemple pourrait être pris sur le Protocole de la Convention alpine sur l'aménagement du territoire et le développement durable (Chambéry, 20 décembre 1994), article 4.1 : « Les Parties contractantes s'engagent à éliminer les obstacles à une coopération internationale entre les collectivités territoriales de l'espace alpin et à promouvoir la solution des problèmes communs grâce à une collaboration au niveau territorial approprié ». **www.alpconv.org/fr/convention/default.html***

22 • Article L. 121-1 à L. 212-11 du Code de l'environnement.

23 • L. 211-1 du Code de l'environnement.

24 • Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations.

25 • Article L. 221-35 Code de l'environnement.

26 • Article L. 229-25 Code de l'environnement.

phérique sont globalement assez faibles en comparaison à d'autres régions, le secteur du transport routier étant naturellement la cause des principaux dépassements de seuils. Le même constat est réalisé dans le SRCAE Poitou-Charentes avec une amélioration notable de la qualité globale de l'air entre 2000 et 2010 sauf pour l'Ozone (un des GES).

En troisième lieu, le Plan Climat-Air-Énergie Territorial (PCAET) prévu à l'article L 229-26 du Code de l'environnement doit être élaboré notamment par les établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre existant au 1er janvier 2015 et regroupant plus de 50 000 habitants. Ce dernier, dans son volet relatif à l'air, doit définir un programme d'actions afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre et d'anticiper les impacts du changement climatique. Dans certains cas, ce programme d'actions peut comporter un volet spécifique sur le développement de la mobilité sobre et décarbonée. Il comprend un dispositif de suivi et d'évaluation des résultats et est mis à jour tous les six ans. Ainsi, on peut relever par exemple dans le PCAET de l'Agglomération Côte Basque-Adour que l'une des orientations implique une action visant à poursuivre le schéma de renouvellement de la flotte de véhicules moins émetteurs de GES (voitures électriques notamment) et d'autres actions visant à inciter les agents à recourir à des modes alternatifs à la voiture et à favoriser le covoiturage.

En quatrième et dernier lieu, deux types de plans sectoriels viennent compléter le dispositif : les Plans de protection de l'atmosphère (PPA) et les plans de déplacement urbain (PDU). Les PPA[27], d'une part, sont prévus pour les agglomérations de plus de 250 000 habitants par les articles L. 222-4 à L. 222-7 du Code de l'environnement. Bordeaux est la seule agglomération dans ce cas dans la région Nouvelle-Aquitaine. Ils s'imposent aux autorités administratives compétentes pour mettre en œuvre des mesures préventives et curatives[28]. Les autorités de police compétentes doivent se conformer aux objectifs définis par les plans et peuvent sur cette base prononcer la suspension d'activités qui émettent fortement des GES ou des limitations à la circulation des véhicules[29]. Les Plans de déplacement urbain, d'autre part, définissent les principes de l'organisation du transport pour assurer à la fois la mobilité et la protection de l'environnement et de la santé et promouvoir les modes de transports les moins polluants et les moins consommateurs d'énergie[30]. Ils sont obligatoires dans le périmètre de transports urbains des agglomérations de plus de 100 000 habitants[31]. À titre d'exemple, les effets prévisibles de la mise en œuvre du PDU sur l'agglomération Côte-Basque Adour sont estimés aux alentours d'une diminution de 8 % des GES[32].

LA PROTECTION DU LITTORAL : DES INSTRUMENTS TROP PEU AMBITIEUX POUR L'ADAPTATION

Les changements climatiques impliquent de devoir protéger un nombre croissant d'espaces, notamment face à l'érosion et au risque accru de submersion. Certaines vulnérabilités proviennent précisément d'une urbanisation passée trop importante, malgré les règles en vigueur. Pourtant, rien n'est expressément prévu concernant le changement climatique en lien avec la protection du littoral, espace soumis à d'importantes pressions anthropiques. Le droit est surtout mobilisé pour protéger le littoral face aux dégradations. Un projet de loi portant sur l'adaptation des territoires littoraux au changement climatique, déposée le 13 juillet 2016, est actuellement en cours de discussion au Parlement. Il vise à répondre « à un besoin de préserver des espaces et de sécurisation des populations, tout en organisant les conditions du maintien du dynamisme et du développement durable de nos côtes ».[33]

La protection du littoral s'appuie sur la loi relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral adoptée le 3 janvier 1986, dite « loi littoral ». L'article L. 321-1 du Code de l'environnement, indique que *« le littoral est une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur »*. La préservation du littoral passe également à travers cette loi par l'identification d'espaces à préserver car remarquables ou vulnérables[34], pour lesquels le principe est une interdiction de construire, sauf aménagements légers. Sont également prévues des dispositions relatives à l'aménagement des plages et au libre accès au rivage.

27 • Les PPA sont arrêtés par le préfet après enquête publique et doivent être compatibles avec les orientations du schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie. Ils fixent les délais pour atteindre le niveau inférieur aux valeurs limites ainsi que les modalités de la procédure d'alerte prévue à l'article L. 223-1 du Code de l'environnement.

28 • CE, 26 mars 2008, Assoc. Les amis de la terre.

29 • Article L. 222-6 Code de l'environnement.

30 • Articles L. 1 214-13 et s. Code des transports.

31 • Angoulême, Bayonne, Limoges, Poitiers, Pau, Bordeaux (arrêté du 28 juin 2016).

32 • PDU Agglomération Côte-Basque Adour, p. 245.

33 • Source : site du Sénat.

34 • Art. L. 121-23 du Code de l'urbanisme L. 121-23 « un décret fixe la liste des espaces et milieux à préserver, comportant notamment, en fonction de l'intérêt écologique qu'ils présentent, les dunes et les landes côtières, les plages et lidos, les forêts et zones boisées côtières, les îlots inhabités, les parties naturelles des estuaires, des rias ou abers et des caps, les marais, les vasières, les zones humides et milieux temporairement immergés ainsi que les zones de repos, de nidification et de gagnage de l'avifaune désignée par la directive européenne n° 79-409 du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages et, dans les départements d'outre-mer, les récifs coralliens, les lagons et les mangroves ».

Si le législateur pose les principes directeurs à ce sujet, il appartient aux collectivités locales, particulièrement aux communes, de retranscrire ces règles dans les documents réglementaires de planification relevant de leur compétence (notamment les PLU — Plan Local d'Urbanisme — ou, à l'échelle intercommunale, les SCOT — Schéma de Cohérence Territoriale). Ces règles jouent un rôle fondamental sur les modalités d'occupation des territoires, notamment le domaine public maritime. Elles permettent d'orienter les activités futures en fonction des considérations de protection de l'environnement et d'adaptation au changement climatique.

Les Schémas de mise en valeur de la mer (SMVM) instaurés par la loi du 7 janvier 1983 relative à la répartition des compétences entre les communes, les départements, les régions et l'État, ont pour objectif de déterminer la vocation des espaces littoraux et les principes relatifs aux usages maritimes. Alors que leur élaboration relevait initialement de la compétence de l'État, depuis 2005, les collectivités territoriales peuvent inclure un chapitre dans les SCOT valant SMVM, toujours en concertation avec le Préfet.

En Nouvelle-Aquitaine, les principales agglomérations en sont dotées. Le Bassin d'Arcachon fait partie des rares territoires disposant d'un SMVM autonome.

Ces règles sont très souvent assorties d'exceptions conduisant au constat que, suite à cette loi, la préservation du littoral n'a pas toujours été suffisamment mise en avant par rapport aux enjeux de développement urbain et économique.

Aussi, un renouvellement, ou une clarification de ces règles pourraient se révéler salutaires[35]. Le dialogue s'effectue essentiellement entre l'État (y compris ses services décentralisés : Préfet, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement - DREAL), et les collectivités locales (échelle communale et intercommunale). La Région n'a que peu de compétence « officielle ». Elle possède tout de même un rôle de coordination, de conseil.

LA PROTECTION DE LA MONTAGNE : OBSERVER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ

Le territoire montagnard est au confluent d'une multitude d'**enjeux** antagonistes tels que les enjeux touristiques (ski et autres sports de montagne, travail saisonnier), démographiques (exode), agricoles, pastoraux et forestiers (réserves de CO_2), naturels, énergétiques (stations hydroélectriques), de protection contre les risques (avalanches, inondations, incendies, etc.). En Nouvelle-Aquitaine, les Pyrénées doivent faire face à la conciliation de ces enjeux au regard notamment des stations de ski existantes (6 stations de ski et une trentaine d'infrastructures de remontée mécaniques), d'un certain nombre de stations d'hydro-électricité et d'une partie du Parc national des Pyrénées… Comme le souligne le SRCAE, l'une des vulnérabilités du territoire néo-aquitain, du fait des diminutions des précipitations neigeuses, est bien l'espace pyrénéen. Pour autant, la question du changement climatique est peu ou pas appréhendée par le droit de façon spécifique sur l'espace montagnard. Hormis des dispositifs d'observation et des soutiens de projets, seules des règles générales, de droit de l'urbanisme ou de droit de l'environnement notamment, permettent de protéger la montagne et, indirectement, les atouts dont elle dispose pour lutter contre le changement climatique.

Le cadre général de la politique de la montagne est fixé par la loi n° 85-30 du 9 janvier 1985, modifiée en 2016[36]. Les **zones de montagnes** (**Figure 1**) et massifs délimités en vertu de cette loi (pour la Nouvelle-Aquitaine, la partie Nord-Ouest des Pyrénées et la partie occidentale du Massif central) sont soumises à des dispositions particulières pour leur développement économique y compris touristique, agricole, pastoral, forestier et urbain. La recherche d'un territoire montagnard durable est soutenue par l'Union européenne dans le cadre de programmes, tels que le programme opérationnel interrégional Massif Central et le programme opérationnel interrégional Pyrénées (FEDER - Fonds européen de développement économique et régional).

35 • Dans cette perspective, le gouvernement a d'ailleurs diffusé le 7 décembre 2015 une instruction « relative aux dispositions particulières au littoral du Code de l'urbanisme », accompagnée de fiches techniques à destination des acteurs impliqués dans la mise en application de cette loi. De même, dans un esprit plus général de concertation sur cette thématique, le Conseil national de la mer et des littoraux a été mis en place dès 2005 (réformé avec la loi « Grenelle II » du 12 juillet 2010), qui rend notamment un rapport tous les 3 ans.

36 • Loi n° 2016-1 888 du 28 décembre 2016 de modernisation, de développement et de protection des territoires de montagne, JORF n° 0302 du 29 décembre 2016.

Figure 1 : *Périmètre des zones de montagne en marron. Source : MAAF. ©CGET 2017 – IGN GéoFla.*

La loi montagne, intégrée dans le code de l'urbanisme, encadre la constructibilité et limite le mitage des constructions dans ces espaces sensibles que sont les montagnes. Rien n'était précisé sur la lutte contre le changement climatique, au-delà des objectifs généraux du droit de l'urbanisme, mais l'analyse des règles spécifiques aux zones de montagne permettait déjà de déduire qu'elles participent d'une gestion durable. Les modifications introduites en 2016 renforcent la prise en compte de l'enjeu climatique. La dynamique de progrès initiée en zone montagnarde doit ainsi « *répondre aux défis du changement climatique, permettre la reconquête de la biodiversité et préserver la nature et les paysages* »[37]. Dans cette logique, la création des unités touristiques nouvelles devra, à partir du 1er août 2017, prendre en compte « *la vulnérabilité de l'espace montagnard au changement climatique* »[38].

La création et l'aménagement de parcs naturels, qui représentent un attrait touristique pour le territoire aquitain (voir, *infra*, rubrique 2.4), peuvent également participer à l'atténuation des effets du changement climatique sur la faune et la flore en milieu montagnard.

Le Parc naturel Régional de Millevaches est situé entièrement dans une zone montagne[39] et sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine. Il fait partie du réseau des 51 Parcs régionaux français, engagés dans l'adaptation des territoires aux changements climatiques[40]. Le Parc de Millevaches a élaboré en 2012 un Plan Climat Énergie Territorial (PCET), soutenu financièrement par le FEDER, la Région Nouvelle-Aquitaine et l'ADEME.

37 • Nouvel article 1 de la loi montagne.

38 • Nouvel article 122-15 du Code de l'urbanisme.

39 • Néanmoins à l'avenir, il se pourrait qu'une commune hors zone de montagne intègre le parc.

40 • Les parcs naturels régionaux ont adopté une stratégie commune, et espèrent atteindre l'autonomie énergétique à l'horizon 2030.

Ce plan, qui a pour objectif la réduction des émissions de gaz à effet de serre, se concrétise par un programme d'actions définies pour chaque année. Prolongeant les efforts en ce sens, il a répondu à l'appel à projet TEPOS (devenus récemment TEPCV) de la Nouvelle-Aquitaine, dans l'optique de devenir un « territoire à énergie positive » à l'horizon 2050. La lutte et l'adaptation au changement climatique seront vraisemblablement au cœur de la nouvelle charte pour les années 2018-2033[41], qui doit encore être approuvée par la Région[42]. À noter que la loi sur la Biodiversité de 2016[43] allège la procédure de renouvellement du classement des Parcs, désormais valable pour 15 ans (au lieu de 12).

Le Parc national des Pyrénées, qui gère la réserve nationale de la vallée d'Ossau destinée à la protection des vautours, est partiellement inclus dans la région Nouvelle-Aquitaine[44]. Il fait partie des 10 Parcs naturels nationaux de France, engagés depuis quelques années dans la lutte contre le changement climatique[45], et rattachés depuis le 1er janvier 2017, à l'Agence française pour la biodiversité. Les enjeux du changement climatique sont également pris en compte dans la charte du parc approuvée par décret en 2012. La préservation des espèces et de leur habitat implique par exemple de déterminer leur sensibilité au regard des changements climatiques. De même, la charte apporte une attention sur le risque de modification des régimes hydriques qui résulte des changements climatiques.

L'observation des montagnes néo-aquitaines est un enjeu essentiel de l'adaptation au changement climatique, les cadres institutionnels existants n'étant cependant pas propres à la Nouvelle-Aquitaine. Tel est le cas de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC), qui s'inscrit dans le cadre d'une approche transfrontalière des questions climatiques en montagne puisque l'Observatoire a été fondé en 2010 par la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP : voir rubrique coopération transfrontalière), et couvre la même zone (au Nord, le massif pyrénéen français des Pyrénées au sens de la « loi montagne », au Sud quatre communautés autonomes espagnoles, Euskadi, Navarra, Aragón, et Catalunya ; et vers l'Est, la Principauté d'Andorre), bien qu'il inclut également l'agglomération de Pampelune.

L'OPCC, composé d'un conseil consultatif, d'un conseil d'orientation réunissant le conseil exécutif de la CTP et d'un comité technique, fournit un ensemble de données et des cartographies importantes pour la mise en place de politiques d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques. L'Observatoire s'appuie également sur des partenaires (collectivités territoriales, universités…) dans le cadre de programmes d'action du programme opérationnel de coopération transfrontalière France-Espagne-Andorre (POCTEFA). Le dernier programme POCTEFA (2014-2020) finance plusieurs projets destinés notamment à renforcer l'état des connaissances de la vulnérabilité des Pyrénées au changement climatique.

LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ : PRÉSERVER LES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES, UNE RESPONSABILITÉ RÉGIONALE ET UN FORT ENJEU POUR L'ADAPTATION

Les changements climatiques sont rapidement devenus l'une des principales menaces pesant sur la biodiversité : selon une étude parue dans la revue *Science* au printemps 2015, une espèce animale sur six est directement menacée d'extinction par les changements climatiques **[3]**. La dispersion vers le nord et en altitude devrait devenir, y compris pour des espèces normalement sédentaires, la stratégie d'adaptation privilégiée. La rapidité des changements climatiques en cours, tout comme la fragmentation croissante des habitats naturels, rendent néanmoins périlleux ces mouvements **[4]**.

Pour faciliter à son échelle l'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques, la région Nouvelle-Aquitaine dispose de compétences en matière de protection des espaces naturels (parcs naturels régionaux[46] et surtout réserves naturelles régionales[47]) et de préservation des continuités écologiques (schéma régional de cohérence écologique[48]).

41 • Un projet, au 26 janvier 2017, est consultable à l'adresse suivante : ***chartepnrmillevaches.files.wordpress.com/2017/01/170126-charte-millevaches-web.pdf***

42 • « La région engage le classement ou le renouvellement du classement d'un parc naturel régional par une délibération qui prescrit l'élaboration ou la révision de la charte et définit le périmètre d'étude » : art. L333-1, par.3, du Code de l'environnement.

43 • Loi n° 2016-1 087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, JORF n° 0184 du 9 août 2016.

44 • Le cœur du parc, de 45 707 ha comprenant 6 communes du Béarn, est étroit mais l'aire d'adhésion importante (206 300 ha). Les collectivités sont parties prenantes de la gestion de cet espace dans la mesure où elles sont propriétaires de 97 % des terrains.

45 • Leur action s'articule autour de 5 axes, consultables dans la brochure : Les parcs nationaux de France acteurs des territoires pour atténuer les changements climatiques et s'adapter à leurs effets, publication des parcs nationaux, oct. 2015, p. 9 et s.

46 • Articles L. 333-1 et suivants du Code de l'environnement.

47 • Article L. 332-2-1 du Code de l'environnement.

48 • Article L. 371-3 du Code de l'environnement.

S'agissant d'abord de la protection des espaces naturels, l'un des éléments pouvant justifier le classement d'une partie du territoire régional en réserve naturelle est précisément la « préservation ou la constitution d'étapes sur les grandes voies de migration de la faune sauvage »[49]. En sélectionnant et en délimitant ses futures réserves naturelles, il nous semble important que la Nouvelle-Aquitaine intègre les modèles prédictifs de l'évolution de la distribution des espèces et des habitats. Le positionnement des réserves sur un axe sud-nord pourrait également être privilégié **[5]**. À un niveau infrarégional, les départements pourraient également suivre ces bonnes pratiques dans le cadre de leur politique de protection, de gestion et d'ouverture au public des espaces naturels sensibles[50] (notamment lors de l'institution des zones de préemption destinées à faciliter l'acquisition de terrains[51]). Ils seront aidés en cela, à l'avenir, par la systématisation de la gestion des espaces naturels sensibles imposée par la récente loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages[52].

Quant au schéma régional de cohérence écologique (SRCE)[53], il s'agit d'un outil de mise en œuvre de la trame verte et bleue qui décline au niveau régional les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques[54]. Les continuités écologiques (que le SRCE doit identifier) comprennent à la fois des « réservoirs de biodiversité » (essentiellement les espaces déjà protégés, tels que les réserves naturelles régionales) et des corridors écologiques qui « assurent des connexions entre des réservoirs de biodiversité »[55]. Favoriser la dispersion des espèces sauvages, comme doit le faire le SRCE, prend évidemment un relief particulier dans le contexte d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques. Hélas le SRCE souffre depuis l'origine d'une faible opposabilité juridique : les documents de planification locaux (plans locaux d'urbanisme, schémas de cohérence territoriale) doivent seulement le « prendre en compte » et non être rendus compatibles avec lui. Concrètement, cela signifie que le document d'urbanisme en question peut s'écarter des orientations fondamentales du SRCE à condition de le justifier par un motif d'intérêt général. Or, c'est seulement à l'échelle locale que la protection effective des continuités écologiques peut avoir lieu **[6]**.

Autre motif d'inquiétude, la loi du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (dite loi NOTRe) prévoit l'absorption du SRCE dans le nouveau schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET)[56]. L'opposabilité de ce document en ressortira encore amoindrie[57] **[7]** : alors qu'actuellement les projets d'infrastructure de l'État doivent « prendre en compte » le SRCE, le rapport hiérarchique (déjà souple) sera en quelque sorte inversé avec le futur SRADDET. C'est le SRCE qui devra prendre en compte les projets de localisation des grands équipements, des infrastructures et des activités économiques importantes en termes d'investissement et d'emploi. Dès lors, la Nouvelle-Aquitaine devrait faire en sorte que cette absorption du SRCE ne conduise pas à la dilution des enjeux qu'il porte, notamment en termes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques.

49 • Article L. 332-1 II 5° du Code de l'environnement.

50 • Article L. 113-8 du Code de l'urbanisme.

51 • Articles L. 215-1 et suivants du Code de l'urbanisme.

52 • Article 59 de la loi n° 2016-1 087 (JO du 9 août 2016, texte n° 2), codifié à l'article L. 215-21 du Code de l'urbanisme.

53 • Article L. 371-3 du Code de l'environnement.

54 • Décret n° 2014-45 du 20 janvier 2014 portant adoption des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques, JO du 22 janvier 2014, p. 1166.

55 • Article R. 371-19 du Code de l'environnement.

56 • Articles 10 et 13 de la loi n° 2015-991, JO du 8 août 2015, p. 13705. L'absorption des SRCE dans les SRADDET a été confirmée par l'ordonnance n° 2016-1 028 du 27 juillet 2016, JO du 28 juillet 2016, texte n° 29.

57 • Voir les annotations sous l'article L. 371-3 du Code de l'environnement [7].

3 LA TRANSFORMATION DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

Le réchauffement climatique a des impacts sur les activités économiques et, inversement, les secteurs d'activités produisent des effets perturbateurs pour le climat. Le droit prévoit des instruments pour orienter, inciter et contraindre les acteurs économiques à un développement climatiquement responsable avec une implication plus ou moins importante du niveau régional. C'est le cas pour l'agriculture, l'industrie, les transports. D'autres secteurs tels que le tourisme et l'énergie disposent de moyens juridiques à mettre en œuvre au plan régional. Enfin, la responsabilité sociale de l'entreprise demeure un levier puissant de mobilisation des acteurs économiques pour atteindre des objectifs d'adaptation.

VERS UNE TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE ?

L'agriculture est source de gaz à effet de serre (ci-après GES) et aussi victime des changements climatiques. Par conséquent, il convient d'atténuer les effets négatifs de l'agriculture sur le climat et inversement de limiter les effets négatifs du changement climatique sur l'agriculture.

La spécificité de la politique d'orientation agricole pourrait toutefois résider dans l'accent mis sur la nécessité de l'adaptation. Celle-ci sera cependant d'autant moins importante que l'atténuation l'aura été. De manière traditionnelle, les instruments juridiques mis en œuvre dans ce secteur économique relèvent pour l'essentiel du registre incitatif.

Il s'agit de promouvoir des formes d'agriculture favorisant la transition écologique ou plus exactement agroécologique.

En premier lieu, les instruments propres à la lutte contre le changement climatique seront mentionnés avant d'évoquer les instruments d'une agriculture « propre ». Les schémas régionaux climat, air et énergie (SRCAE) ont un impact sur l'agriculture dans la mesure où ils prévoient des mesures relatives au développement des agrocarburants. Les plans climat énergie territoriaux (PCET) ont vocation à influencer également les orientations en matière agricole.

En second lieu, deux législations environnementales européennes contribuent à l'atténuation des incidences de l'agriculture sur le climat. Tout d'abord, la directive « Nitrates » limite l'épandage d'effluents d'élevage à 170 kg d'azote par hectare et par an dans les zones vulnérables préalablement désignées par les États. Par la réduction des intrants azotés, cette directive contribue à la réduction des émissions de GES. Dans la même veine, la directive relative à la prévention et à la réduction intégrée de la pollution dite directive « IPPC »[58] joue un rôle important également. En effet, les entreprises de production d'engrais, les abattoirs et les élevages intensifs de porc et de volaille peuvent, sous réserve du respect de certains seuils, relever de cet instrument législatif.

58 • Source : schéma de répartition des émissions de gaz à effet de serre en Aquitaine, ATMO Nouvelle-Aquitaine.

En ce qui concerne les instruments spécifiques à l'agriculture, il convient d'évoquer l'agroécologie. Elle fait l'objet d'une attention plus particulière des pouvoirs publics français depuis l'adoption de la loi d'avenir relative à l'agriculture, l'alimentation et la forêt à l'automne 2014[59] et s'inscrit dans la recherche d'une agriculture multifonctionnelle.

L'agroécologie revêt à l'évidence une importance cruciale en matière de lutte contre le changement climatique comme l'explique le ministère de l'agriculture : « [les systèmes agroécologiques] *sont fondés sur les interactions biologiques et l'utilisation des services écosystémiques et des potentiels offerts par les ressources naturelles, en particulier les ressources en eau, la biodiversité, la photosynthèse, les sols et l'air, en maintenant leur capacité de renouvellement du point de vue qualitatif et quantitatif. Ils contribuent à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique* »[60]. À cet effet, des financements européens et nationaux sont prévus.

Ainsi, la Politique Agricole Commune (PAC), en réforme quasi-permanente depuis 1992, a instauré depuis 2014 des MAEC (mesures agro-environnementales et climatiques)[61].

Pour sa part, le législateur français a mis l'accent sur le concept d'agroécologie. En vertu de cette intervention normative, tous les volets du droit des exploitations agricoles font l'objet d'un verdissement, notamment l'installation et l'aménagement foncier rural. Deux instruments sont plus particulièrement mis en exergue : le groupement d'intérêt écologique et environnemental (GIEE) et le bail rural à clauses environnementales.

Enfin, la Région Nouvelle-Aquitaine subordonne l'octroi d'aides publiques à la certification AREA (agriculture respectueuse de l'environnement en Aquitaine). Il s'agit d'un référentiel de dix mesures environnementales. Parmi celles-ci figurent des mesures propres à atténuer les effets du changement climatique tandis que d'autres contribuent *nolens volens* à l'adaptation. En ce qui concerne l'atténuation, peuvent être mentionnées la limitation de la pollution lors de l'épandage de fertilisants ou disposer de capacités de stockage d'effluents d'élevage suffisantes sans oublier les économies d'énergie et la promotion du recours aux énergies renouvelables. S'agissant de l'adaptation, peuvent être mentionnées les économies d'eau et la promotion d'une irrigation raisonnée.

De manière plus spécifique, la Région Aquitaine promeut l'agriculture biologique qui de facto émet moins de GES *per se*. En outre, cette atténuation de l'impact climatique inhérent à l'agriculture biologique est démultipliée par son caractère local synonyme de bilan carbone amoindri. À cet égard, la création d'un label Bio Sud-ouest par la Région Aquitaine (avec la région Midi-Pyrénées) en 2013 favorise une atténuation de l'impact climatique de l'agriculture.

De nombreuses actions pourraient être menées pour réconcilier agriculture et lutter contre le changement climatique comme le soutien à l'appétence pour les produits agricoles ayant une empreinte carbone atténuée par une fiscalité adaptée et l'amélioration de l'information du consommateur (étiquetage du bilan carbone). Enfin, il serait bienvenu de subordonner les aides régionales à des critères climatiques (adaptation et/ou atténuation). À cet égard, il conviendrait de revoir les critères AREA.

ENCADRER LES RISQUES DE POLLUTION INDUSTRIELLE

En raison de son caractère intrinsèquement polluant, le secteur de l'industrie est soumis à des mesures visant à plafonner les émissions des installations industrielles les plus polluantes. Il s'agit principalement du système d'échanges de quotas d'émission mis en place au sein de l'Union européenne. Ce système s'applique aux industries jugées les plus polluantes, c'est-à-dire les secteurs industriels à forte intensité énergétique (raffineries de pétrole, aciéries et production de fer, d'aluminium, de métaux, de ciment, de chaux, de verre, de céramiques, de pâtes à papier etc.). Il est également apparu nécessaire au niveau européen et national de développer les énergies renouvelables et d'améliorer l'efficacité énergétique en rendant notamment obligatoire la réalisation d'audits énergétiques tous les quatre ans pour les grandes entreprises depuis la fin de l'année 2015.

Au niveau régional, c'est l'Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat (AREC Nouvelle-Aquitaine, ex-ORECCA) qui a pour mission d'accompagner les politiques régionales en matière d'énergie et de changement climatique. En ce qui concerne la pollution de l'air, c'est l'ATMO qui prend la fonction.

59 • Loi 2014/1 170 du 13 octobre 2014.

60 • Les 10 clefs de l'agroécologie, site du Ministère de l'Agriculture.

61 • Règlement 1 305/2013 du 17 décembre 2013. Ces subventions sont accordées en fonction d'engagements allant au-delà des normes juridiquement contraignantes. Il existe trois types de mesures :
• les mesures s'appliquant à l'échelle d'une exploitation,
• les mesures localisées à l'échelle de parcelles agricoles,
• enfin, les mesures de protection des ressources génétiques.
À l'évidence, le changement climatique peut bénéficier des deux premières catégories de mesures. Ceci étant, rien n'interdit de solliciter la dernière catégorie dans la mesure où le changement climatique a indéniablement des incidences sur la biodiversité qui inclut la diversité génétique.

La région Nouvelle-Aquitaine n'est pas une des plus industrialisées de France puisque la part relative du secteur de l'industrie est inférieure à la moyenne des pays européens et bien plus basse que celles d'autres régions françaises. L'on note toutefois une tendance au développement du secteur de l'industrie en Nouvelle-Aquitaine ces dernières années, principalement dans et autour des grandes agglomérations. En termes de pollution, l'industrie dans la région est responsable de 11 % des émissions de CO_2[62]. Ce secteur n'est par conséquent pas le principal émetteur de GES dans la région, où le secteur du transport reste dominant en matière de pollution : le transport routier est responsable de 39 % des GES et les autres modes de transport le sont à hauteur de 20 %. L'industrie reste cependant un secteur fortement marqué par les risques de pollution, qu'il convient dès lors de surveiller. L'AREC a ainsi constaté une baisse significative de presque 60 % des GES émis par le secteur de l'industrie en Nouvelle-Aquitaine depuis les années 1990. L'industrie en Nouvelle-Aquitaine fait donc figure de très bon élève à l'échelle nationale en ce qui concerne la réduction de la pollution et donc des effets néfastes sur le changement climatique.

L'ÉVOLUTION DES POLITIQUES DE TRANSPORTS : DES EFFORTS À MOBILISER À L'ÉCHELLE LOCALE

Les politiques des collectivités locales en matière de transport prennent aujourd'hui en compte la problématique du changement climatique. Cela apparaît très clairement dans le document d'orientation et de planification qu'est le Schéma Régional des Infrastructures et des Transports (SRIT). Le législateur avait, par la loi n° 2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales[63], confié aux régions de nouvelles compétences et notamment celle d'élaborer ce schéma qui remplace le schéma régional des transports et qui constitue le volet transport du Schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire (SRADDET).

La Région Aquitaine a élaboré son schéma entre 2007 et 2009. Ce document s'intéresse à la fois aux transports de voyageurs et de marchandises, ainsi qu'aux déplacements à l'intérieur du territoire, mais également aux échanges avec l'extérieur (interrégional, national et international). Il ressort de ce schéma que chaque niveau territorial poursuit un objectif particulier. Ainsi, si la Région développe une politique fortement axée sur le report modal au profit du transport ferroviaire, les départements recherchent à désenclaver les territoires les plus isolés tandis que les communes et les intercommunalités multiplient les initiatives pour lutter contre la congestion des centres-villes et pour favoriser les mobilités sans voiture. En somme, ce sont avant tout les actions menées par le Conseil régional, d'une part, et par les Conseils municipaux ou les intercommunalités, d'autre part, qui se révèlent être celles dont la portée est la plus significative en termes de lutte contre le changement climatique.

Pour le Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine, les efforts ont porté sur l'amélioration du service de transport ferroviaire. D'ailleurs, en dehors de l'engagement de baisser de 20 % les émissions de gaz à effet de serre en Nouvelle-Aquitaine d'ici 2020, les autres engagements, soit 9 sur 10, pris au moment de l'élaboration du SRIT touchent directement à ce mode de transport[64]. Si l'on se focalise sur le transport de voyageurs[65], le trafic sur les liaisons ferroviaires des trains express régionaux (TER) s'élève, en 2015, à 592 millions de voyageurs – kilomètres. La tendance à la baisse de la fréquentation TER constatée en 2015 a débuté depuis 2013. Néanmoins, l'objectif de report modal n'est pas un échec. D'une part, comparée à la fréquentation de 2008 qui s'élevait à 538,7 millions de voyageurs – kilomètres, tout de même une hausse sensible est constatée. D'autre part, depuis 2012, année où la fréquentation a été la plus importante avec 622,6 millions de voyageurs – kilomètres, beaucoup de travaux ont été entrepris afin d'améliorer les infrastructures, tant pour les voies que pour les gares, ce qui a assurément un impact sur la fréquentation dans la mesure où les services étaient moins performants. On peut donc penser que les améliorations permettront à terme de faire à nouveau progresser la fréquentation. Ainsi, l'ouverture de nouvelles lignes, et en particulier la ligne à grande vitesse entre Tours et Bordeaux, devrait sans difficulté faire croître le service ferroviaire, notamment entre Bordeaux et les villes se trouvant sur la desserte parisienne.

62 • Source : schéma de répartition des émissions de gaz à effet de serre en Aquitaine, ATMO Nouvelle-Aquitaine.

63 • JORF n° 190 du 17 août 2004 page 14545.

64 • Cf. SRIT document final. Liste des objectifs : 1. Plan Rail Aquitain de régénération des voies d'ici 2020 ; 2. Rénovation de toutes les gares Ter d'ici 2020 ; 3. Modernisation de tout le matériel Ter d'ici 2010 ; 4. Cadencement de tous les Ter d'ici 2011 ; 5. Accessibilité du réseau de transport collectif aquitain aux personnes à mobilité réduite avant 2015 ; 6. Connexion de l'ensemble de l'Aquitaine au réseau ferroviaire à grande vitesse national et européen et de toutes les agglomérations aquitaines entre elles par un service ferroviaire à grande vitesse régional d'ici 2020 ; 7. Intermodalité des transports urbains et périurbains avec le ferroviaire dans toutes les agglomérations aquitaines d'ici 2015 ; 8. 3/4 des investissements publics en matière d'infrastructures consacrés au ferroviaire pour les 20 prochaines années ; 9. Report de 20 millions de tonnes de marchandises par an de la route vers le transport ferroviaire d'ici 2020.

*65 • Cf. **www.certa-aquitaine.org/index.php/recueils-statistiques?download=132:recueil-statistique-des-transports-2016***

Au niveau des communes et des intercommunalités, les politiques en matière de transport ont longtemps cherché à développer les déplacements en transport collectif avec comme objectif que les individus adoptent un comportement plus soucieux de l'environnement, notamment au regard de la consommation d'énergie.

Désormais, pour poursuivre ce même objectif, tout en maintenant l'offre de transport collectif, l'accent est mis à la fois sur les modes doux qui permettent une mobilité à moindre coût (vélo, marche à pied) ainsi que sur les nouveaux usages de la voiture. Dans ce cadre, des mesures ont tout d'abord été adoptées pour aménager la circulation. À titre d'exemple, le code général des collectivités territoriales compte plusieurs dispositions nouvelles en faveur d'une circulation respectueuse de l'environnement. Avec l'article L. 2213-1-1, le maire se voit reconnaître la possibilité d'abaisser, sur tout ou partie des voies de l'agglomération ouvertes à la circulation publique, la vitesse à 30 km/h au motif suivant *« [une] nécessité de sécurité et de circulation routières, de mobilité ou de protection de l'environnement »*. Avec l'article L. 2213-4-1, dans l'optique de lutter contre la pollution atmosphérique, le maire pourra également instaurer des zones à circulation restreinte[66].

Il est aussi possible de faire référence aux politiques de stationnement payant qui se sont largement développées dans les villes pour défavoriser l'utilisation de la voiture particulière et favoriser l'utilisation des moyens de transports collectifs tout en apportant quelques subsides aux budgets des collectivités locales. Des mesures ont aussi été prises en faveur des usagers partagés des véhicules. D'une part, la pratique du covoiturage, qui s'est développée sans cadre juridique précis, en dehors notamment des législations relatives au transport[67], se définit, selon l'article L. 3132-1 du Code des transports, *« comme l'utilisation en commun d'un véhicule terrestre à moteur par un conducteur et un ou plusieurs passagers, effectuée à titre non onéreux, excepté le partage des frais, dans le cadre d'un déplacement que le conducteur effectue pour son propre compte »*. Pour favoriser cette pratique, le législateur a offert aux autorités organisatrices de la mobilité la possibilité *« en cas d'inexistence, d'insuffisance ou d'inadaptation de l'offre privée, […], seules ou conjointement avec d'autres collectivités territoriales ou groupements de collectivités intéressés, [de] mettre à disposition du public des plates-formes dématérialisées facilitant la rencontre des offres et demandes de covoiturage »*. D'autre part, l'autopartage se définit comme *« la mise en commun d'un véhicule ou d'une flotte de véhicules de transport terrestre à moteur au profit d'utilisateurs abonnés ou habilités par l'organisme ou la personne gestionnaire des véhicules »*[68]. L'intervention des pouvoirs publics peut être plus importante dans la mesure où ils doivent délivrer un label « autopartage » aux véhicules affectés à cette activité, qu'ils peuvent fixer les caractéristiques techniques des véhicules et les conditions d'usage de ces véhicules mais, surtout, en cas d'inexistence, d'insuffisance ou d'inadaptation de l'offre privée, créer un service public d'autopartage[69].

LE TOURISME : UN SECTEUR SENSIBILISÉ AUX ENJEUX CLIMATIQUES

Le littoral néo-aquitain est une destination prisée pour le tourisme, toutefois menacé par diverses atteintes environnementales dues principalement au changement climatique. La Région a dès lors vite compris l'importance de préserver ce littoral tout en développant son attrait touristique. À cet égard, le Groupement d'Intérêt Public Littoral Aquitain (GIP Littoral Aquitain, créé en 2006) constitue un outil de réflexion, de coordination et d'appui pour l'aménagement et la gestion des espaces littoraux. Une de ses premières actions a été le lancement d'une réflexion prospective sur le tourisme. C'est dans ce cadre qu'a été menée une action en direction du foncier des sites de tourisme social en 2014, en s'appuyant sur l'étude menée par le Conseil régional d'Aquitaine en 2012/2013. De même, le renforcement de la coopération transfrontalière, dans le cadre de l'Eurorégion Aquitaine-Euskadi, s'est traduit par des actions en faveur de la préservation de l'espace naturel régional, compte tenu de l'importance y compris sur le plan touristique, du littoral partagé.

Le littoral néo-aquitain a également été fortement marqué par les actions menées par la MIACA (Mission interministérielle d'aménagement de la côte aquitaine) dans les années soixante. Grâce à un programme d'aménagement ambitieux des territoires côtiers, elle a permis de valoriser les atouts du territoire, notamment sur le plan touristique et de se prémunir d'atteintes irréversibles concernant l'environnement et le paysage. Ce programme d'aménagement a été marqué par l'implantation de villages vacances et de centres de vacances, pour garantir l'accès des zones littorales à tous.

Le secteur du tourisme est fortement touché par tous les événements qui modifient les conditions d'accueil des touristes. Par conséquent, l'adaptation au changement climatique est une véritable préoccupation des acteurs de ce secteur d'activité.

66 • La première collectivité à s'être saisie de cette opportunité a été la ville de Paris pour interdire, depuis 1er septembre 2015, la circulation des poids lourds et des autocars tous les jours de 8 heures à 20 heures, y compris le week-end ***www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/joe_20150719_0030.pdf***

67 • Cf. le rapport du CERTU : Étude sur les obstacles juridiques au développement des nouveaux services de transport, 120 p.

68 • Cf. aujourd'hui l'article L. 1 231-14 du Code des transports.

69 • V. C. transports, cf. art. L. 1 231-14.

LA RÉGION DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : QUELLE PLANIFICATION ?

Le poste énergétique, qu'il s'agisse des sources de production d'énergie, de l'efficacité énergétique ou de la sobriété de la consommation d'énergie dans les divers secteurs d'activités, est un de ceux qui émet le plus de gaz à effet de serre susceptibles d'altérer le climat. Le législateur et le pouvoir réglementaire ont saisi cet état de fait et, à partir des lois Grenelle I et II de 2009 et 2010[70] jusqu'à la dernière loi sur la transition énergétique du 17 août 2015[71], les dispositions visant à transformer le système énergétique français se sont multipliées. Au niveau régional, il est possible de distinguer, d'une part, des outils spécifiquement régionaux puis, d'autre part, des outils infrarégionaux qui participent du cadre juridique visant ce que l'on dénomme la « transition énergétique »[72].

En premier lieu, le SRCAE est un document à portée stratégique qui vise à définir à moyen et à long terme les objectifs régionaux, éventuellement déclinés à l'échelle infrarégionale, relatifs à la lutte contre le changement climatique, à l'efficacité énergétique, au développement d'énergies renouvelables et à l'amélioration de la qualité de l'air (cf. *supra*).

Ils n'ont pas d'effet direct pour les particuliers et ne contiennent aucune norme opposable à une autorisation de construire, par exemple.

Les SRCAE analysent la vulnérabilité du territoire face aux effets du changement climatique. Le SRCAE ex-Aquitaine, par exemple, relève que la température s'est élevée en un siècle d'un degré sur ce territoire, même si l'évolution des précipitations n'est pas perceptible, ou que le niveau des eaux de l'estuaire de la Gironde a augmenté de 20 centimètres dans la même période. Par ailleurs, la Nouvelle-Aquitaine est déjà soumise à de forts risques liés à son exposition à des aléas climatiques, notamment incendies, inondations et submersion marine pour le littoral, qui nécessitent des politiques d'adaptation. Le SRCAE fait aussi le constat des émissions de gaz à effet de serre. Elles représentaient en Aquitaine, par exemple, 4,7 % des émissions françaises en 2008 et les postes les plus importants étaient le transport (38 %), l'agriculture (20 %) et l'habitat (19 %). Néanmoins, l'énergie représente en général une très grande partie des émissions de GES des autres secteurs. La question du bilan de la production énergétique est donc cruciale. La part de la consommation d'énergie finale produite à partir de sources renouvelables n'était pas en 2010 réellement satisfaisante, sauf en Limousin. En effet, en Aquitaine, 12,3 % de la consommation finale relevait de la production de chaleur renouvelable pour 2,1 % d'électricité renouvelable et 1,4 % de biocarburant, le reste n'étant pas renouvelable et dominé par la filière nucléaire s'agissant de l'électricité. Dès lors, de nouveaux objectifs sont fixés dans le SRCAE, comme par exemple : développer des outils financiers et juridiques pour réussir le financement de projets EnR, développer la production d'EnR en privilégiant sa localisation près des centres de consommation ou renforcer l'appui à des porteurs de projets tout en pérennisant les emplois locaux et en préservant les paysages. Dans l'ex région Poitou-Charentes la part de renouvelable s'élevait en 2010 à 8 % de la consommation finale. Comme en Aquitaine, l'élément explicatif réside dans la très faible présence d'unités hydroélectriques. En Limousin, la part de renouvelable s'élevait déjà en 2009 à 28,5 % du fait du potentiel hydroélectrique et de biomasse. Les objectifs pour le SRCAE limousin sont les suivants : optimiser la production d'hydro-électricité, dynamiser l'éolien et les projets de méthanisation par exemple.

Le déploiement des énergies renouvelables (EnR) vise spécifiquement le développement de la filière éolienne à travers le schéma régional éolien (SRE) intégré au SRCAE. Dans le SRE de l'ancienne région Aquitaine, deux scénarii sont envisagés au regard de la programmation pluriannuelle nationale des investissements en matière d'énergie : le premier aboutirait à la construction, à l'horizon 2020, de 140 éoliennes d'une puissance installée unitaire comprise entre 2,5 et 3 Mégawatts (puissance approximative d'une éolienne dont la hauteur varie entre 90 et 150 mètres) ; le second aboutirait à la construction de 240 de ces éoliennes. Des objectifs semblables sont évoqués en l'ex région Limousin alors que 3 parcs éoliens existaient déjà en 2013. En Poitou-Charentes 4 parcs fonctionnaient déjà en 2012, soit 145 éoliennes. Le Schéma régional éolien analyse, pour déterminer les zones favorables à l'implantation des éoliennes et au-delà de la moyenne de vent suffisante, toutes les contraintes (par exemple les sites classés ou inscrits, les monuments historiques, le patrimoine UNESCO, les règles d'urbanisme applicables en montagne ou sur le littoral, la protection du biotope ou les zones Natura 2000, les parcs nationaux, les zones de défense et la proximité de radars météo, etc.). Au final, 12 zones sont sélectionnés en l'ex Aquitaine : le Médoc, les Landes girondines et le Nord Gironde arrivant en tête au regard de leur potentiel (entre 75 et 42 Mégawatt). Les cartographies montrent que le littoral aquitain n'est pas dans une zone favorable. Dans ces zones, 1652 communes sont listées comme étant favorables au développement de l'énergie éolienne. Pour autant, en 2016, il semble qu'aucune éolienne n'ait été construite dans la région Aquitaine (le projet de Naujac n'étant pas encore abouti), ce qui n'est pas sans susciter une certaine remis en cause. En Limousin, 44,8 % du territoire est favorable au développement de l'éolien soit 578 communes.

70 • Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

71 • Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique.

72 • Vocabulaire utilisé pour décrire le passage du système énergétique actuel utilisant des ressources non renouvelables vers un bouquet énergétique basé principalement sur des ressources renouvelables.

L'objectif est fixé de passer de 37,2 MW produit en 2013 par les 3 parcs existants à 600 MW à l'horizon 2020. En Poitou-Charentes, le Schéma régional éolien prévoit de son côté 1 800 MW. Finalement, le retard Aquitain sur l'éolien va être compensé par les ambitions et les avancées des deux autres anciennes régions qui aujourd'hui forment la Nouvelle-Aquitaine.

D'autres outils régionaux participent de la planification énergétique. Il est possible d'évoquer, dans ce cadre, le nouveau Schéma régional biomasse (SRB), créé par la loi sur la transition énergétique du 17 août 2015 et dont l'élaboration est prescrite avant le 18 février 2017[73]. Ce schéma est élaboré par le Préfet et le Président du Conseil régional et doit définir, en cohérence notamment avec le plan régional de la forêt et du bois et les objectifs de valorisation du potentiel énergétique renouvelable et de récupération fixés par le SRCAE, des objectifs de développement de l'énergie biomasse[74]. Le schéma veille notamment à atteindre une bonne articulation des différents usages du bois afin d'optimiser l'utilisation de cette ressource dans la lutte contre le changement climatique.

Le Programme régional pour l'efficacité énergétique des bâtiments est aussi un nouvel outil régional de planification créé par la loi sur la transition énergétique du 17 août 2015. Selon l'article L. 222-2 du Code de l'environnement, il décline les objectifs de rénovation énergétique fixés par le SRADDET et le SRCAE en s'attachant notamment à définir un plan de déploiement des plateformes territoriales de la rénovation énergétique, à proposer des actions pour la convergence des initiatives publiques et privées en matière de formation des professionnels du bâtiment et à définir les modalités d'accompagnement nécessaires à la prise en main, par les consommateurs, des données de consommation d'énergie. Son volet financement a, par exemple, comme objectif de favoriser la meilleure articulation possible entre les différentes aides publiques.

En second lieu, des outils locaux visent une transition énergétique dans l'optique d'atténuation du changement climatique. Le premier n'est pas exclusivement lié au secteur énergétique mais participe de sa prise de conscience. Il s'agit du bilan des émissions de gaz à effet de serre (voir *supra*). Exigé par l'article L. 229-25 du Code de l'environnement depuis la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement et modifié par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique.

Sa méthodologie d'élaboration[75] révèle que le document doit faire apparaître notamment *« les émissions indirectes associées à la consommation d›électricité, de chaleur ou de vapeur nécessaire aux activités de la personne morale »*. Par ailleurs, la « synthèse des actions » jointe au bilan doit prévoir sur ce point les actions que la personne morale envisage de mettre en œuvre au cours des années courant jusqu'à l'établissement de son bilan suivant. Elle indique le volume global des réductions d'émissions de gaz à effet de serre attendu. Néanmoins, les collectivités territoriales et leurs groupements qui ont adopté un plan climat-air-énergie territorial (PCAET) sont dispensés de cette synthèse. Le PCAET (voir *supra*) est le second instrument de planification qui permet d'orienter les collectivités territoriales, au niveau infrarégional, vers une transition énergétique. Le PCAET doit notamment définir, sur le territoire en cause, *« le programme d'actions à réaliser afin notamment d'améliorer l'efficacité énergétique, de développer de manière coordonnée des réseaux de distribution d'électricité, de gaz et de chaleur, d'augmenter la production d'énergie renouvelable, de valoriser le potentiel en énergie de récupération, de développer le stockage et d'optimiser la distribution d'énergie, de développer les territoires à énergie positive (…) »*[76]. Ce dernier instrument de planification est relayé dans un rapport de compatibilité avec le SRCAE et prend en compte, le cas échéant, le SCOT[77]. En revanche, les PLU doivent prendre en compte les PCAET[78]. Pour finir, les outils locaux du droit de l'urbanisme participent aussi de la transition énergétique et donc de la lutte sur ce plan contre le changement climatique. L'article L. 101-2 du Code de l'urbanisme qui fixe les grands objectifs de l'urbanisme précise en ce sens que l'action des collectivités vise notamment *« l'économie des ressources fossiles, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de sources renouvelables »*. Les SCOT peuvent ainsi définir au sein du document d'orientation et d'objectifs *« des secteurs dans lesquels l'ouverture de nouvelles zones à l'urbanisation est subordonnée à l'obligation pour les constructions, travaux, installations et aménagements de respecter des performances (…) énergétiques renforcées »*[79]. Il en va de même du règlement du Plan local d'urbanisme. À ce titre, le PLU peut *« imposer une production minimale d'énergie renouvelable, le cas échéant, en fonction des caractéristiques du projet et de la consommation des sites concernés »*[80]. Au niveau des autorisations d'urbanisme, il convient aussi de souligner que l'article L. 111-16 du Code de l'urbanisme précise en substance que le permis de construire ou d'aménager ne peut s'opposer à l'installation de dispositifs favorisant la production d'énergie renouvelable correspondant aux besoins de la consommation

73 • Selon l'article L. 211-2 du Code de l'énergie, la biomasse est « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers ».

74 • Article L. 222-3-1 du Code de l'environnement.

75 • Article R. 229-47 Code de l'environnement.

76 • Article L. 229-26 Code de l'environnement.

77 • Article L. 229-26 VI Code de l'environnement.

78 • Article L. 131-5 Code de l'urbanisme.

79 • Article L. 141-22 Code de l'urbanisme.

80 • Article L. 151-21 Code de l'urbanisme.

domestique des occupants de l'immeuble. Cette disposition, très favorable au développement des énergies renouvelables sur les constructions, marque bien l'intention du législateur vis-à-vis des maires et un signal fort donné vers une transition énergétique permettant de diminuer la part des énergies fossiles au profit des énergies renouvelables.

RESPONSABILITÉ SOCIALE DES ENTREPRISES : AU-DELÀ DES SECTEURS, UN ENGAGEMENT SOCIÉTAL

La responsabilité sociale des entreprises (RSE) se définit comme la manière dont les entreprises intègrent, sur une base volontaire, des préoccupations sociales, environnementales et éthiques dans leurs activités économiques comme dans leurs interactions avec les parties prenantes, qu'elles soient internes (dirigeants, salariés) ou externes (fournisseurs, clients). La dimension environnementale de la RSE, à savoir la prise en compte par les entreprises de leur performance environnementale et de leur responsabilité face à l'exploitation des ressources naturelles, renvoie principalement en ce qui concerne le changement climatique à la prise en compte dans la toute la chaîne de production de pratiques relatives à la prévention et au contrôle de la pollution ; à la gestion des déchets et à la gestion de la pollution locale ou des impacts environnementaux du transport.

Mais la RSE n'est pas seulement un ensemble de normes rigides imposées aux entreprises. Elle est surtout basée sur la démarche volontaire des entreprises. Par la mise en place d'une RSE, les entreprises de toutes tailles peuvent ainsi contribuer à agir sur le changement climatique, en limitant notamment leurs émissions polluantes tout en réalisant des profits de manière responsable et durable. La RSE est donc un outil fondamental pour transformer les activités économiques des acteurs du marché afin de prévenir et limiter le changement climatique. Si une action à l'échelle européenne et nationale est évidemment nécessaire, c'est aussi et surtout par la mise en place de démarches RSE au sein des entreprises à l'échelle régionale et locale que la transformation doit s'opérer. Pourtant, plus de 60 % des entreprises françaises déclarent ne pas connaître la notion même de RSE (« Entreprises et Développement durable » **[8]**). Dans les faits, seulement plus d'un quart des entreprises françaises de plus de 9 salariés estiment s'impliquer réellement dans des démarches écoresponsables. Il existe, en outre, des différences conséquentes selon les régions. À cet égard, l'ex Aquitaine se classe en troisième place des régions qui ont le plus faible taux d'entreprises déclarant ne pas connaître la RSE[81]. Surtout, en se limitant aux entreprises qui déclarent connaître la RSE et mener des actions en relevant, l'ex Aquitaine est en deuxième place derrière la Picardie parmi les régions les plus vertueuses. En effet, sur 7 488 entreprises présentes dans la région d'Aquitaine, 33 % des entreprises connaissent la RSE et mènent des actions régulières dans ce domaine[82]. La région Poitou-Charentes arrivant en troisième place des entreprises socialement les plus vertueuses (31,9 % d'entreprises connaissant la RSE et menant des actions dans ce sens), la nouvelle réforme de la carte des régions place de fait la région Nouvelle-Aquitaine en première place des régions où les entreprises adoptent le plus de démarches RSE, notamment en faveur de la baisse de la pollution émise par les entreprises. Cette connaissance de la RSE de la part des entreprises en l'ex Aquitaine est due en partie à la mise en place au niveau régional et local de mesures destinées à favoriser la RSE.

La performance d'une entreprise dépend désormais de plus en plus de ses pratiques en matière de RSE qui traduisent sa capacité à penser sur le long terme. Si la région se classe parmi les régions les plus vertueuses en matière de démarches RSE, d'autres options peuvent être envisagées afin de promouvoir d'autant plus la RSE, telles que des incitations financières ou un renforcement des dispositifs d'information et de communication. L'adoption d'une stratégie territoriale de la RSE, et pas seulement nationale, est une nécessité afin de diffuser les pratiques de RSE auprès des petites entreprises non sujettes aux obligations légales de *reporting* afin de répondre au plus près à leurs attentes et à leurs besoins spécifiques. En outre, les PME évoluent surtout au niveau local ce qui implique l'élaboration de plans d'actions territoriaux de soutien et d'accompagnement.

81 • Les trois régions qui ont le plus faible taux d'entreprises déclarant ne pas connaître la RSE sont l'ex Aquitaine (52,4 %), la Champagne-Ardenne (54,9 %) et l'Île de France (55,3 %). Source : Insee, Enquête sur les entreprises et le développement durable (2011) ; traitement France Stratégie.

82 • Source : Insee, Enquête sur les entreprises et le développement durable [8].

4 LA PROTECTION DES POPULATIONS DES RISQUES CLIMATIQUES

Le changement climatique fait peser sur la population des risques particuliers : risques naturels, technologiques et sanitaires auquel le droit tente de donner des réponses par une réglementation adaptée le plus souvent à l'échelle nationale. Cela passe notamment par la maîtrise de l'implantation et du bâti ainsi que par le développement de dispositifs de sécurité civile. La région Nouvelle-Aquitaine doit tirer le meilleur parti de ces outils juridiques pour préparer l'adaptation dans un contexte où les dernières réformes territoriales tendent à centraliser les lieux de décision publique dans des territoires de plus en plus étendus (nouvelles régions, nouvelles échelles intercommunales notamment), entraînant des difficultés potentielles de circulation de l'information et de représentation physiques des parties prenantes et du public[83].

LA PRÉVENTION DES RISQUES SANITAIRES, NATURELS ET TECHNOLOGIQUES : DES COMPÉTENCES NATIONALES, DES APPLICATIONS LOCALES

PRÉVENIR LES RISQUES SUR LA SANTÉ

La Région a développé des outils de prévention des risques sanitaires, naturels et technologiques dans les territoires pour les populations et cherche également à anticiper les conséquences socio-économiques et sanitaires pour la Nouvelle-Aquitaine.

En matière de prévention des risques du changement climatique sur la santé, la Région peut surtout agir par la mobilisation de ses compétences dans les politiques publiques locales dans les secteurs tels que le transport et l'énergie. Il serait par ailleurs important que les plans régionaux santé-environnement intègrent toutes les dimensions des impacts du changement climatique sur la santé[84].

FAIRE FACE AUX RISQUES NATURELS

Certaines compétences régionales permettent à la Nouvelle-Aquitaine de s'impliquer dans l'optique d'atténuer la vulnérabilité de la population face aux phénomènes météorologiques extrêmes générés par le changement climatique. Elle peut identifier les zones exposées, et anticiper les situations de vulnérabilité,

83 • Cet aspect est traité dans le chapitre gouvernance du présent rapport.

84 • CESE, La justice climatique : enjeux et perspectives pour la France, Journal Officiel, 2016.

lorsqu'elle met en place le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) prévu par la loi NOTRe[85]. On soulignera en particulier que les objectifs et règles générales du SRADDET doivent être compatibles avec les objectifs et les orientations fondamentales des plans de gestion des risques d'inondation prévus à l'article L. 566-7 du Code de l'environnement[86]. L'élaboration du SRADDET doit également prendre en compte les projets d'intérêt général répondant aux conditions fixées aux articles L. 102-1 et L. 102-12 du Code de l'urbanisme, notamment ceux destinés « à la prévention des risques »[87].

LA GESTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES : PEU DE COMPÉTENCES POUR LA RÉGION

En lien avec les risques naturels, la question de la gestion des risques technologiques se pose. Outre les risques technologiques qui seraient liés à une défaillance dans l'activité concernée, l'augmentation de ce type de risques du fait du changement climatique provient de ce que certains risques naturels peuvent avoir un impact sur ces activités. Ainsi, les risques naturels d'inondation et de submersion sont susceptibles de menacer davantage les centrales nucléaires nécessairement situées près de l'eau. Il en va de même des activités portuaires, impliquant la manipulation, le stockage, de substances potentiellement dangereuses. En Nouvelle-Aquitaine, le port autonome de La Rochelle, ou encore la centrale nucléaire de Blaye sont d'importants sites potentiellement concernés.

Le risque d'incendie, accru par l'augmentation des épisodes de sécheresse, est également une préoccupation majeure, alors que nombre de sites concernent des substances inflammables ou explosives.

Les PPRT ont été créés par la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages. Prescrits par l'État (surtout via DREAL et DDT) puis adoptés au niveau local, ils organisent la prise en compte des risques technologiques pour le bâti existant, et surtout pour l'urbanisme futur.

Certains sites bénéficient d'une protection particulière, les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement)[88] qui sont soumis à autorisation, enregistrement ou déclaration, selon le degré de risque et la nature de l'activité.

L'exploitant doit mener une étude des dangers (L. 512-1 du Code de l'environnement et R. 112-9 du Code de l'environnement), afin d'anticiper tous les événements qui peuvent survenir dans le cadre de son activité. Une inondation, une tempête, doivent faire partie de ces scénarios lorsque ces risques naturels sont présents.

Le DDRM (Dossier Départemental sur les Risques Majeurs) est un document où le préfet (Conformément à l'article R. 125-11 du Code de l'Environnement) consigne toutes les informations essentielles sur les risques naturels et technologiques majeurs au niveau de son département.

Au final, la Région dispose de peu de moyens d'intervention directs, c'est plutôt l'État et l'exploitant qui prennent en charge ces risques.

LA PROTECTION DES POPULATIONS PAR LA MAÎTRISE DE L'IMPLANTATION ET LA GESTION DU BÂTI

Face aux risques climatiques, la protection des populations passe par les choix de localisation de l'habitation et par l'action sur le bâtiment lui-même qui devra augmenter sa résistance.

L'ACTION FONCIÈRE

L'émergence des préoccupations environnementales a donné un rôle fondamental aux questions foncières dans la gestion des ressources naturelles renouvelables, particulièrement riches dans la région d'Aquitaine[89]. La régulation de l'accès au foncier est en effet une question de première importance, afin de protéger l'environnement et de prévenir d'éventuels conflits.

85 • Ce schéma « fixe les objectifs de moyen et long termes sur le territoire de la région en matière d'équilibre et d'égalité des territoires, d'implantation des différentes infrastructures d'intérêt régional, de désenclavement des territoires ruraux, d'habitat, de gestion économe de l'espace, d'intermodalité et de développement des transports, de maîtrise et de valorisation de l'énergie, de lutte contre le changement climatique, de pollution de l'air, de protection et de restauration de la biodiversité, de prévention et de gestion des déchets. » : article L. 4 251-1 du Code général des collectivités territoriales, tel qu'institué par l'article 10 de la loi NOTRe (Loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République, JORF n° 182 du 8 août 2015, p. 13705).

86 • Nouvel article L. 4 251-2, par. 2, sous b), du Code général des collectivités territoriales, issu de la loi NOTRe.

87 • Nouvel article L. 4 251-2, par. 3, sous a), du Code général des collectivités territoriales, issu de la loi NOTRe.

88 • Loi relative aux installations classées du 19 juillet 1976, reprise dans le Code de l'environnement, et son décret d'application du 21 septembre 1977.

89 • Corréler la question foncière avec celles de la protection de l'environnement implique une nouvelle conception des aspects fonciers contrairement à la conception classique où c'est le droit exercé sur le fonds qui détermine le droit s'exerçant sur les autres ressources.

Cette régulation passe par une maîtrise de l'implantation (1) et par la mise en œuvre de moyens fonciers de gestion de l'occupation du territoire (2). La spécificité du littoral aquitain, tourné principalement vers la nature, impose en outre des solutions foncières adéquates (3).

Maîtrise de l'implantation

Cette maîtrise passe par l'adoption des PPRN[90]. Dès 1982[91], l'idée de prévention par la planification est présente. Le PPRN peut servir à interdire toute construction, ou à l'autoriser à condition de respecter certaines prescriptions[92]. Pourtant, les PPRN peinent à se mettre en place (ex : communes touchées par Xynthia n'étaient pas dotées d'un PPRN). En effet, avec l'identification d'un risque, notamment via le zonage établi par les PPRN, les biens immobiliers peuvent perdre tout ou partie de leur valeur, ce qui explique les réticences des populations à l'établissement de ce type de réglementation. Or, cette perte n'est en principe pas indemnisable car non considérée comme une servitude d'utilité publique mais comme une servitude d'environnement[93]. Il est pourtant nécessaire d'accélérer et de généraliser l'adoption de ces PPRN et de renforcer le contrôle sur l'octroi des permis de construire[94].

Les échanges ont essentiellement lieu entre l'État qui prescrit et adopte en dernier ressort le PPR, et les collectivités locales, particulièrement les communes chargées de l'urbanisme (PLU, permis de construire). Ces PLU doivent ainsi tenir compte des prescriptions contenues dans les PPRN. À défaut de ce dernier document, la seule connaissance du risque (notamment via le porter à connaissance que peut effectuer l'État) les communes doivent en tenir compte dans l'examen des demandes de permis de construire.

Moyens fonciers de gestion de l'occupation du territoire

Un tournant majeur a été passé avec la loi « Barnier » du 2 février 1995 qui prévoit une expropriation pour risque naturel et la possibilité d'acquisitions amiables.

- Expropriation pour risque naturel

Il s'agit d'une innovation « unique », puisqu'elle repose sur un autre fondement que celui classiquement utilisé : l'utilité publique. Ici, c'est la menace pour la vie humaine qui est en jeu[95]. Une liste exhaustive est prévue par la loi pour désigner le type de risque concerné. Le dernier ajout en date est le risque de submersion marine, ajouté par la loi de 2010 consécutive à Xynthia. Il convient de préciser que l'identification des biens concernés est indépendante des PPRN. En outre, la particularité de cette expropriation est que le montant de l'indemnisation est estimé sans tenir compte du risque qui peut potentiellement faire perdre toute valeur au bien. Pourtant, l'expropriation pour risque naturel est très peu utilisée en pratique - même après Xynthia - la procédure étant complexe et la mise en balance entre les coûts de protection et les coûts d'expropriation pouvant porter à débat[96]. Surtout, l'aspect humain est délicat, cette procédure étant beaucoup plus contraignante, voire traumatisante pour les habitants. La question d'un recours plus large à cette procédure se pose alors[97].

- Acquisition amiable

Le fonds de prévention des risques naturels majeurs[98] peut, depuis 2003[99], servir à financer les acquisitions amiables[100]. Il s'agit d'une procédure beaucoup plus rapide et moins complexe que l'expropriation[101]. Cette procédure a été abondamment utilisée après Xynthia, les propositions de rachat ayant essentiellement concerné les biens situés dans les « zones de solidarité » délimitées après la tempête.

90 • Les PPRN datent de 1995.

91 • Loi d'indemnisation.

92 • Il est prescrit et adopté par le Préfet, et passe par un long processus d'identification de l'aléa et de concertation sur la réglementation à adopter. Les PPRN sont à mettre en perspective avec les PLU adoptés par les communes, responsables également de la délivrance des permis de construire qui doivent notamment s'appuyer sur les données fournies par le préfet en application du porter à connaissance.

93 • Les servitudes d'utilité publique peuvent donner lieu à indemnisation, alors que les servitudes d'urbanisme ne le peuvent pas, sauf sous certaines conditions (L. 160-5 C. urbanisme).

94 • Le préfet peut déférer un permis devant le JA.

95 • L'article L. 561-1 du Code de l'environnement dispose que lorsqu'un risque prévisible menace gravement des vies humaines, l'État peut déclarer d'utilité publique l'expropriation dans les conditions prévues par le code de l'expropriation, et sous réserve que les moyens de sauvegarde et de protection des populations s'avèrent plus coûteux que les indemnités d'expropriation.

96 • La plupart des cessions de biens ont été des acquisitions amiables.

97 • Les aspects financiers doivent toutefois être réglés. Actuellement, c'est le fonds Barnier, utilisé pour beaucoup d'autres mesures, et alimenté par les assurances CatNat, qui finance ces procédures.

98 • Fonds Barnier créé en 1995.

99 • Loi 2003-699.

100 • L'article L. 561-3 du Code de l'environnement prévoit la possibilité de procéder à une acquisition amiable si le risque (liste identique à celle concernant l'expropriation) menace gravement la vie humaine et sous réserve que le prix soit moins coûteux que les moyens de sauvegarde et de protection des populations ; à condition que le bien en question soit couvert par une assurance (et bénéficie donc de l'extension CatNat).

101 • Ici encore, le montant du rachat est fixé sans tenir compte du risque.

Cela met en avant un autre aspect de cet outil : il peut être utilisé pour des biens sinistrés à « plus de la moitié de leur valeur initiale hors risque » et avoir été indemnisé via CatNat. La question se pose également de l'utilisation fréquente d'une telle procédure, alors que les risques augmentent, mais que le financement du fonds Barnier (et donc la question des primes d'assurance) peut devenir problématique.

- Préemption

La Safer achète des biens agricoles ou ruraux puis les revend à des agriculteurs, des collectivités, des établissements publics nationaux ou locaux (conservatoire du littoral, parcs naturels, agences, etc.), personnes privées (conservatoires, associations, fédérations, entreprises, etc.) dont les projets répondent à l'objectif de ses missions et notamment le respect de l'environnement. La Safer mène une enquête en amont sur le terrain. La préemption n'est engagée qu'après accord de l'État (représenté par deux commissaires du Gouvernement).

Le Conservatoire du littoral et des rivages lacustres, créé en 1975 joue également un rôle fondamental pour procéder à l'acquisition de territoires afin de les préserver. Cette mission s'effectue en partenariat avec les collectivités locales. Le Conservatoire peut exercer un droit de préemption, mais utilise souvent la négociation auprès des propriétaires.

Les échanges ont essentiellement lieu entre l'État qui prescrit et adopte en dernier ressort le PPR, et les collectivités locales, particulièrement les communes chargées de l'urbanisme (PLU, permis de construire). Ces PLU doivent ainsi tenir compte des prescriptions contenues dans les PPRN. À défaut de ce dernier document, la seule connaissance du risque (notamment via le porter à connaissance que peut effectuer l'État) les communes doivent en tenir compte dans l'examen des demandes de permis de construire.

UN BÂTIMENT RÉSILIENT

Le bâtiment constitue un enjeu susceptible d'être plus ou moins gravement impacté par les effets du changement climatique. Le bâtiment, qu'il soit individuel ou collectif, peut constituer tout à la fois une menace qu'un refuge pour les populations qu'il est censé abriter. En termes de prévention et de protection des populations face au changement climatique, il est pertinent d'**agir sur l'environnement extérieur du bâtiment**, c'est-à-dire sur sa localisation et son implantation afin de l'éloigner des zones à risques (cf. planification des risques naturels, mesures foncières) ou encore en érigeant des ouvrages de protection (ex. digues). Mais de telles mesures se révèlent souvent insuffisantes, voire inefficaces (retour d'expérience de Xynthia, par exemple) et il apparaît nécessaire d'**agir sur le bâtiment lui-même, soit sur son environnement intérieur,** de l'adapter au mieux, en augmentant sa résistance et donc sa résilience (tant du point de vue de sa conception que de son usage ou utilisation) aux changements climatiques.

Des **mesures de mitigation** existent et sont propres à pouvoir atténuer, limiter les effets néfastes du changement climatique. La réduction de la vulnérabilité des bâtiments doit être envisagée à divers stades. Dès leur **conception et donc leur réalisation**, un cadre réglementaire assez hétérogène existe en termes de dispositions constructives, qui se déclinent en fonction des différents risques (par ex., règles préventives pour les constructions neuves sur sol argileux sujet au retrait-gonflement ; leur mise en application peut se faire selon plusieurs techniques différentes dont le choix relève toutefois de la responsabilité du constructeur). **Concernant le bâti existant**, tant individuel que collectif, des **travaux** peuvent être envisagés soit à titre volontaire (aides incitatives), soit à titre contraignant du fait de dispositions particulières. En effet, l'article L. 562-1 du Code de l'environnement, relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles (principalement pour la région Nouvelle-Aquitaine, les risques littoraux, sécheresse, mouvements de terrain, incendies et feux de forêts, inondation) dispose que des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde devront être prises, dans les zones exposées directement ou indirectement aux risques concernés. Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), créé par la Loi Barnier du 2 février 1995, subventionne pour partie les opérations rendues obligatoires et destinées à prévenir les effondrements de terrain (détection, traitement, comblement des cavités souterraines) mais aussi les études (phase de diagnostic préalable) et les travaux de prévention définis et rendus obligatoires par un PPRN approuvé sur des biens à usage d'habitation ou sur des biens utilisés dans le cadre d'activités professionnelles pour les entreprises de moins de 20 salariés (article L. 561-3 du Code de l'environnement ; article R. 561-15 à -17 du Code de l'environnement). Pour compléter ce cadre contraignant, des référentiels techniques ont vu le jour (cf. par ex. le référentiel des travaux de prévention du risque inondation dans l'habitat existant, élaboré par le CSTB et le CEPRI, n'ayant pas de valeur réglementaire). Enfin, des mesures de prévention peuvent également porter sur la **réglementation de l'usage des bâtiments,** notamment sur leur utilisation comme refuge pour les populations. Les communes peuvent prévoir par ailleurs dans leurs plans communaux de sauvegarde (PCS : article L. 731-3 du Code de la sécurité intérieure) l'utilisation de certains bâtiments, situés hors zones à risques, pour établir leur poste de commandement communal (PCC) ou pour aménager un centre d'accueil et de regroupement (CARE).

Toutefois, l'adaptation du bâtiment pour faire face aux risques climatiques connaît elle aussi des limites, liées tant à la lente application des PPR (comme le démontre la récente instruction du Gouvernement du 23 octobre 2015 relative à l'achèvement de l'élaboration ou de la révision des plans de prévention des risques naturels littoraux prioritaires) qu'aux dispositifs encore trop sectoriels et peu nombreux destinés à financer la prévention et la protection des populations par des travaux sur le bâti (alors que les aides se multiplient pour rénover les bâtiments d'un point de vue énergétique).

LA GESTION DES CRISES : L'ENJEU DE LA SÉCURITÉ CIVILE

La sécurité civile revêt une sensibilité particulière pour le territoire aquitain, particulièrement exposé à certains risques naturels, dont la fréquence et l'ampleur pourraient s'accroître sous l'effet des changements climatiques. Première région forestière de France avec 2,8 millions d'hectares de forêt, la Nouvelle-Aquitaine est particulièrement concernée par le risque incendie. Région littorale et fluviale, elle est également exposée au risque que font courir les crues et tempêtes pour sa population et ses infrastructures. La situation est d'autant plus complexe qu'un phénomène météorologique peut entraîner plusieurs types de crises[102], se superposer à une situation d'origine technique ou humaine[103], ou encore rendre plus difficile la gestion d'un autre phénomène[104].

Les dispositifs de gestion de crises ont été améliorés depuis la loi de 2004 de modernisation de la sécurité civile. Des dispositions générales (tronc commun ORSEC) s'appliquent qu'elle que soit l'origine de la crise, la réponse étant modulable en fonction de son ampleur. Elles sont complétées par dispositions spécifiques propres à certains risques préalablement identifiés (plans particuliers d'intervention…). Ces dispositifs ne font pas spécifiquement et directement intervenir la région en tant que collectivité territoriale : d'une part, le plan ORSEC est élaboré à différents niveaux, zonal, départemental et maritime, par les préfets correspondants, lesquels assurent d'autre part, la direction des opérations de secours impliquant les différents acteurs de la protection civile, qu'il s'agisse des services départementaux d'incendie et de secours ou des associations agréées de sécurité civile.

Pour autant, la sécurité civile tend à se structurer dans le cadre du territoire aquitain. D'une part, les cadres territoriaux des acteurs de protection civile se sont alignés sur ceux de la Nouvelle-Aquitaine. Ainsi, les agences régionales de santé (ARS) d'Aquitaine, du Limousin et de Poitou-Charentes ont fusionné dans l'ARS Nouvelle-Aquitaine. De même, la Zone de Défense et de Sécurité Sud-Ouest, exclut désormais la région Midi-Pyrénées et ne recouvre que les territoires de l'Aquitaine, du Limousin et du Poitou-Charentes. D'autre part, la coordination de la sécurité entre les départements se développe. Ainsi en avril 2016, le Lot-et-Garonne, les Landes et la Gironde se sont dotés d'une réglementation commune en matière de protection de la forêt contre les incendies.

102 • Ainsi un épisode de canicule représente à la fois un risque sur le plan sanitaire (vulnérabilité de certaines populations), agricole (irrigation) et forestier (risque d'incendie).

103 • En atteste la situation du cargo Luno en février 2014, dont l'avarie d'origine technique survenue à l'entrée de l'estuaire de l'Adour, couplée avec les fortes houles, ont précipité le naufrage et rendu délicate l'opération de sauvetage de l'équipage.

104 • En raison de la quantité des arbres tombés à terre à la suite de la tempête Klaus en 2009, l'intervention au sol des pompiers est encore pénalisée et explique le renforcement en 2016 des moyens aériens de lutte contre les incendies.

5 CONCLUSION

Le droit, et notamment le droit de l'environnement, a été largement mobilisé à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine pour faire face aux enjeux multiples liés à l'adaptation au changement climatique. Il apparaît cependant que nombre de compétences relèvent de l'échelon national. Il est donc important que les collectivités mettent en œuvre à l'échelle locale les politiques publiques qui soutiennent l'adaptation tant sur le plan de la transformation des activités économiques que de l'évolution des politiques publiques de prévention et de lutte contre le changement climatique. De nouvelles orientations inspirées par le nouveau PNACC en cours d'élaboration devraient permettre de développer une approche intégrée et transversale de l'adaptation avec des moyens adaptés à l'échelle régionale.

la belle-iloise

Santé environnementale

La Rochelle © Philip Lange

Coordination : **Virginie Migeot, Sylvie Rabouan**

Rédacteurs : **Gautier Defossez, Jean-Pierre Ferley, Roger Gil, Pierre Ingrand, Simon Leproux, Virginie Migeot, Sylvie Rabouan**

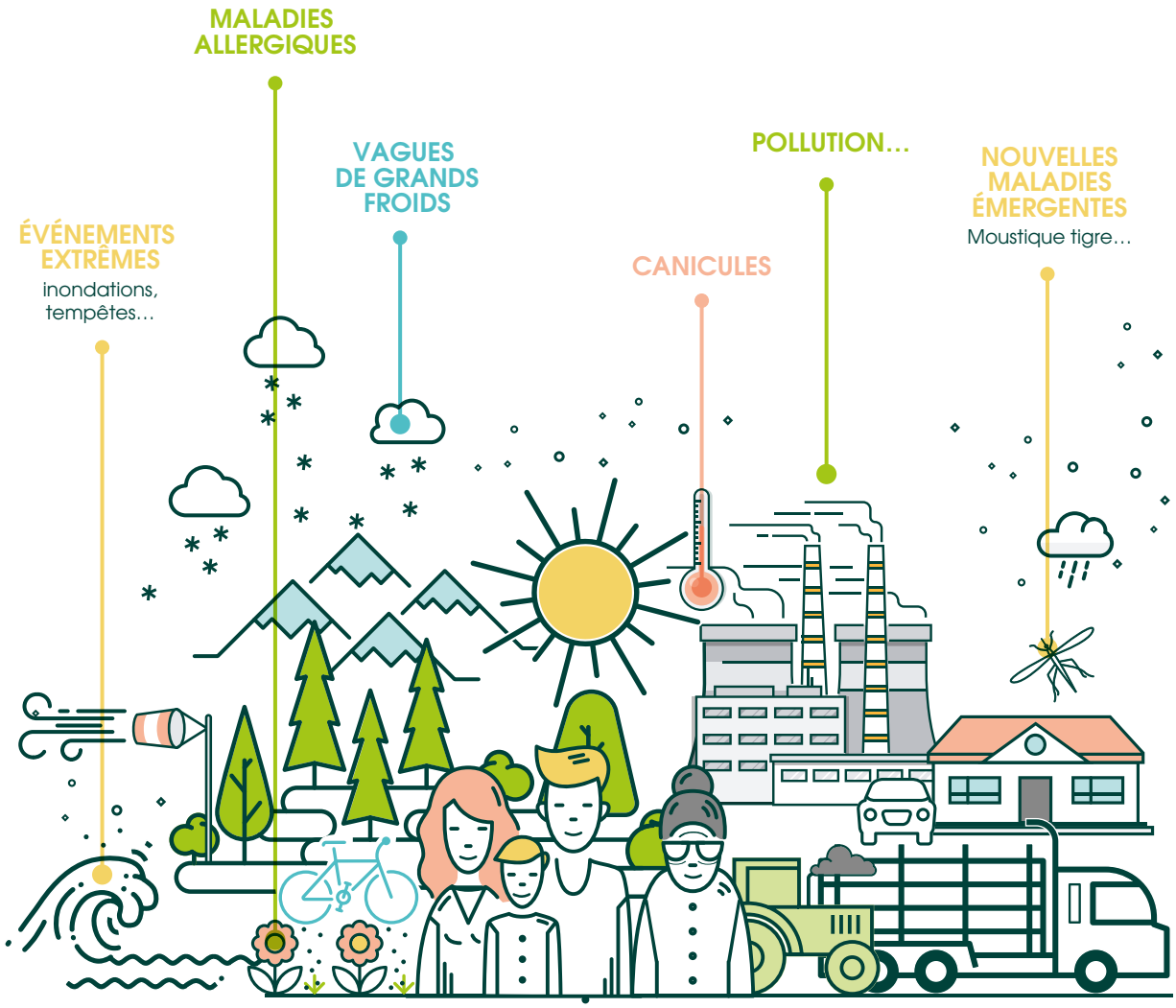
Contributeurs : **Marion Albouy-Llaty, Lynda Sifer-Riviere**

Le changement climatique intervient comme une amplificateur des phénomènes plus généraux de santé. On distingue les effets directs en lien avec les conditions climatiques extrêmes, qui provoquent des problèmes de santé le plus souvent immédiats, même si des effets à plus long terme peuvent apparaître, comme les troubles psychologiques notamment [1], [2]. Les effets indirects interviennent par modification de la qualité des milieux et des écosystèmes, en modifiant par exemple la saison de transmission de certaines maladies vectorielles et leur répartition géographique. Que les effets soient directs ou indirects, les impacts seront plus ou moins marqués selon les dynamiques sociales concernées.

Si le changement climatique est donc de plus en plus reconnu comme une extrême menace pour la santé mondiale, c'est aussi une opportunité pour mobiliser la population en faveur de sa santé. Une meilleure compréhension des mécanismes par lesquels le changement climatique peut avoir des effets sur la santé permettra d'aider à la prise de décision pour agir. Pour ce faire, la santé environnementale apporte un changement de paradigme indispensable, qui prône une vision holistique de l'homme dans son environnement. La santé est une valeur qui permet d'identifier des intérêts communs et d'impulser une dynamique vertueuse. Elle donne non seulement du sens à l'action publique mais constitue aussi un puissant levier pour mettre en place les changements nécessaires, et produire des bénéfices sanitaires individuels et collectifs rapidement observés. En développant des stratégies salutogènes en partenariat avec tous les autres secteurs,
la santé devient un moteur de la lutte contre le changement climatique.
Ce chapitre l'illustre pour la région Nouvelle-Aquitaine.

LA SANTÉ UN LEVIER MAJEUR

91 % des habitants Néo-Aquitains INTÉRESSÉS PAR LA SANTÉ **ENVIRONNEMENTALE**
(Baromètre Santé Environnement 2015)



UN RÔLE SUR DES MALADIES FRÉQUENTES

CO-BÉNÉFICES (salutogénèse)

- FAVORISER LE CONTACT AVEC LA NATURE
- FAVORISER LES LIENS SOCIAUX
- FAVORISER L'INTERSECTORIALITÉ ET L'INTERDISCIPLINARITÉ

1 INTRODUCTION

« Les preuves sont accablantes : le changement climatique met en danger la santé humaine. Des solutions existent et nous devons agir avec détermination pour modifier la trajectoire. » a déclaré Margaret Chan, directrice de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). De son côté, la Commission sur la Santé et le Changement Climatique, commission internationale et multidisciplinaire, considère que *« la lutte contre le changement climatique pourrait être la plus grande opportunité pour la santé mondiale du XXIe siècle »* et vient de lancer un compte-à-rebours pour 2030, afin de suivre les actions mises en place en faveur du climat et de la santé **[3], [4]**. Le changement climatique est donc non seulement de plus en plus reconnu comme une extrême menace pour la santé mais aussi comme une opportunité à saisir, pour mobiliser l'ensemble des parties prenantes : décideurs, chercheurs et population. **[5]**.

La Nouvelle-Aquitaine présente toutes les forces requises pour saisir cet enjeu : les chercheurs, les acteurs de terrain et les associations tissent *ensemble* des actions en faveur de la santé environnementale ***www.santeenvironnement-aquitaine.fr***, dont la quasi-totalité de population s'est déjà appropriée le besoin **[6]**. Depuis le premier Plan National Santé Environnement (PNSE) mis en œuvre en 2004 pour mieux prendre en compte « les effets directs de l'environnement et du milieu de vie sur la santé, indépendamment des conduites individuelles à risques », les acteurs en Région Nouvelle-Aquitaine se sont largement mobilisés sur le sujet. La mise à jour du PNSE est réalisée tous les 5 ans (en cours 2015-2019), puis mis en œuvre dans chaque région par les Agences Régionales de Santé (ARS), les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et les Conseils Régionaux en lien avec les autres collectivités locales par le biais des Contrats Locaux de Santé (CLS) notamment.

Tout d'abord, ce chapitre présente les incidences du changement climatique sur la santé en Nouvelle-Aquitaine, et la surveillance mise en place pour tenter d'anticiper les conséquences sanitaires. Ensuite, sont abordés les mécanismes par lesquels le changement climatique agit sur la santé, ce qui conduit à le considérer comme un déterminant de santé et un révélateur de vulnérabilités au sein de la population régionale.

Puis en rupture avec les paradigmes classiques tant en santé qu'en environnement, nous présentons le concept de santé environnementale. Nous expliquons ensuite comment la décision politique en santé est amenée à se renouveler, en s'imprégnant d'éthique et de sens.

Enfin, en s'appuyant sur la charte d'Ottawa et la salutogénèse, la santé apparaît comme un levier pertinent pour impulser les changements de nos sociétés, qui peinent à émerger **[7]**. Des pistes de réflexion sont ouvertes, pour imaginer la Nouvelle-Aquitaine renouvelée, pour relever les défis de ce XXIe siècle.

2 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA SANTÉ : LES CONSTATS EN NOUVELLE-AQUITAINE

Les effets du changement climatique sur la santé sont nombreux et concernent des maladies fréquentes : les maladies respiratoires, les maladies cardio-vasculaires, les allergies, les maladies mentales, les cancers, etc. (**Figure 1**). On distingue les effets directs en lien avec des épisodes caniculaires, des vagues de grands froids ou des événements extrêmes comme les inondations ou les tempêtes. Ces situations catastrophiques sont responsables de problèmes de santé le plus souvent immédiats, même si des effets à plus long terme peuvent être observés notamment psychologiques **[1] [2]**. Les effets indirects peuvent également survenir par l'atteinte de la qualité des milieux de vie ; comme la modification de la qualité des ressources en eau qui peut induire le développement de micro-organismes pathogènes pour l'homme ou bien l'apparition et la diffusion de maladies émergentes en lien avec une modification de la distribution de certains vecteurs (comme le moustique Tigre), l'accroissement des maladies allergiques liées à l'augmentation d'éléments allergènes dans l'environnement par interactions entre pollinisation et températures accrues, ou encore par migration à terme de certaines espèces végétales allergisantes (cyprès, ambroisie…) **[1 – 3]**. Que les effets soient directs ou indirects, les impacts seront plus ou moins marqués selon les dynamiques sociales concernées (**Figure 1**). Malgré ce large spectre de maladies, il reste néanmoins difficile d'apprécier la part attribuable du changement climatique[1].

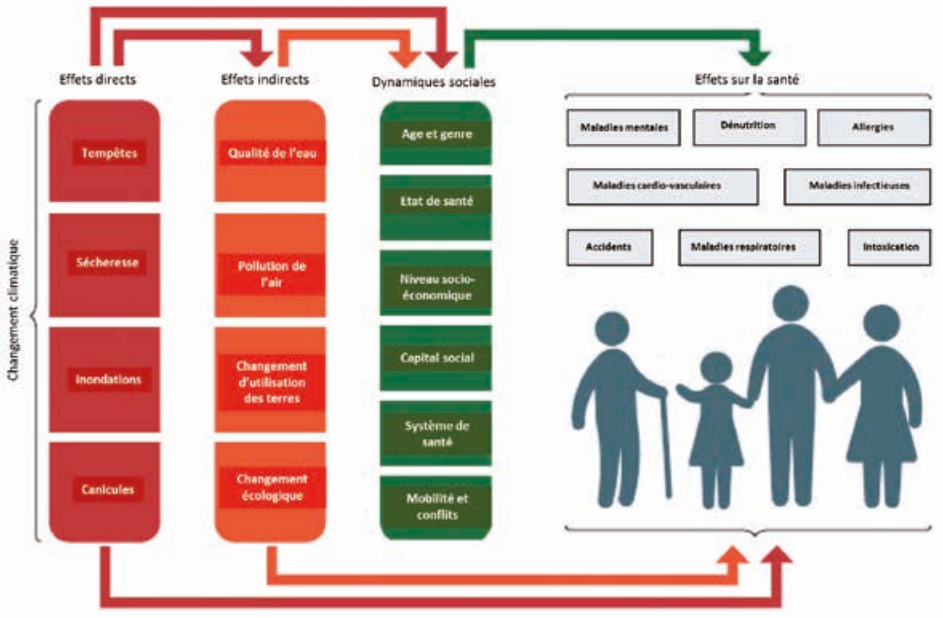


Figure 1 : *Effets directs et indirects du changement climatique sur la santé (Reproduit avec la permission d'Elsevier (3)).*

1 • L'histoire de la climatologie a contribué à rendre caduque la distinction nature-culture, notamment consécutivement à des catastrophes environnementales telle que Katrina. Toutes les catastrophes naturelles, y compris celles qui seraient sans lien apparent avec le changement climatique, se matérialisent désormais au croisement entre un danger et une vulnérabilité préexistante, tant socialement qu'historiquement produite [8], [9].

EFFETS DIRECTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ EN FRANCE ET EN NOUVELLE-AQUITAINE

La canicule exceptionnelle de l'été 2003 a été responsable d'une surmortalité estimée à près de 15 000 décès en France. Notre pays n'avait jamais été confronté à de telles conséquences sanitaires engendrées par une canicule. Cet événement a révélé la nécessité d'adapter le dispositif national de prévention et de soins à la survenue de ce type de phénomène climatique en élaborant chaque année, un Plan National Canicule (PNC). Il a permis de construire un modèle « température-mortalité ». En juillet 2006, la France a connu un autre épisode de canicule important mais de moindre intensité que celui de 2003. Une étude menée conjointement par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a montré que l'excès de mortalité attribuable à l'épisode caniculaire était trois fois moins important que ce que prévoyait le modèle. Autre constat, au cours de l'été 2015, la France métropolitaine a connu plusieurs épisodes de canicule dont un très intense du 29 juin au 7 juillet, le plus précoce depuis la mise en place du PNC, avec des conséquences sanitaires importantes et un excès de mortalité de 3 300 personnes. Le retour d'expérience établi suite à cette saison estivale a permis de montrer la forte mobilisation et la fluidité de la collaboration entre les acteurs mettant en œuvre le plan canicule mais il a aussi mis en exergue la nécessité de renforcer la mise en œuvre du PNC pour réduire l'impact de la canicule **[10]**.

Des épisodes de fortes chaleurs sont également analysés au regard des impacts sanitaires observés. Ainsi au cours de l'été 2016, deux épisodes caniculaires et quatre épisodes de fortes chaleurs ont duré entre 3 et 6 jours. De plus, des indicateurs « chaleur » ont été enregistrés en hausse dans les départements de la Nouvelle-Aquitaine, avec une augmentation du nombre de recours aux soins d'urgence pour des pathologies en lien avec la chaleur (**Figure 2**).

Par ailleurs, quand les températures baissent, les risques d'intoxication au monoxyde de carbone (CO) augmentent. Invisible, inodore et non irritant, le monoxyde de carbone est indétectable. Il peut être émis par tous les appareils à combustion (chaudière, chauffage d'appoint, poêle, groupe électrogène, cheminée, etc.). En 2015, 80 épisodes d'intoxication ont été déclarés en Nouvelle-Aquitaine dans le cadre du dispositif de surveillance, dont plus de 76 % au cours des périodes froides, de janvier à février et d'octobre à décembre. C'est en Gironde, que le nombre d'épisodes a été le plus important (n = 31) contre moins de 9 dans tous les autres départements **[11]**.

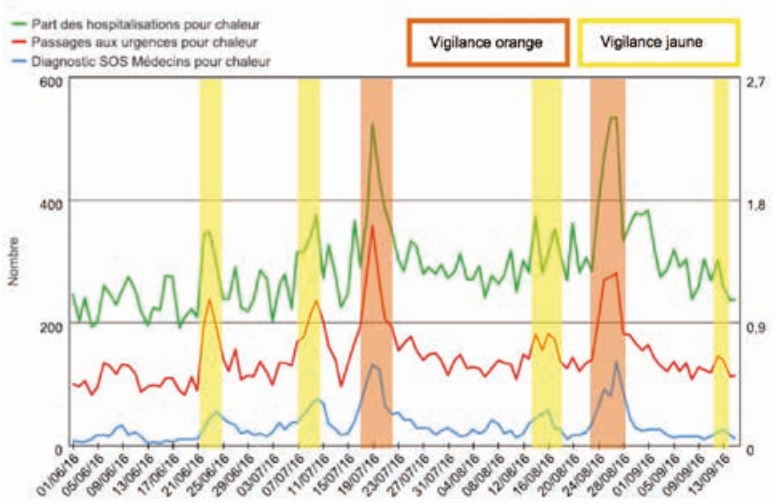


Figure 2 : *Nombre de passages journaliers aux urgences, de consultations SOS Médecins, et part des hospitalisations en lien direct avec la chaleur dans l'ensemble des hospitalisations, tous âges, du 1er juin au 31 août 2016, en Nouvelle-Aquitaine (Source : Santé publique France/OSCOUR®/SOS Médecins).*

Enfin, d'autres effets directs sur la santé ont pu être observés en Nouvelle-Aquitaine, lors de la tempête Xynthia en 2010, responsable du décès de 59 personnes sur le territoire français dont le département de la Charente-Maritime, et de conséquences sanitaires à moyen et long terme de type psycho traumatiques (**ENCADRÉ 1**).

ENCADRÉ 1 : TEMPÊTE XYNTHIA

Dans la nuit du 27 au 28 février 2010, le littoral atlantique a violemment été touché par la tempête Xynthia, qui a entraîné la mort de 59 personnes sur le territoire français et notamment dans le département de la Charente-Maritime, tout comme celui de la Vendée. Le lendemain de la tempête, la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Limousin et Poitou-Charentes a mis en œuvre une surveillance épidémiologique fondée sur les données des passages aux urgences (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences - Oscour®) et des consultations de SOS Médecins 17. L'impact direct s'est traduit par le nombre de décès et par une augmentation des passages aux urgences dans les Centres hospitaliers de Vendée, de La Rochelle et de Rochefort et de l'activité de médecine de ville les 3 jours suivant la tempête. Les conséquences observées étaient également des syndromes coronariens aigus ou des psycho-traumatismes à type de symptômes dépressifs, de troubles anxieux, suivies de l'état de stress posttraumatique débutant ou avéré. Ainsi en Charente-Maritime, 227 cas ont été notifiés entre le 7 avril et le 19 septembre 2010. Après un nombre élevé de cas vus les 2e et 3e mois après la tempête ainsi qu'au 5e mois, le nombre de cas a fortement baissé à partir du 6e mois. Les cas étaient majoritairement des femmes (70 %) et des adultes (92 % de plus de 20 ans), et plus d'un tiers avait des antécédents psychiatriques. Tout au long de la période de six mois qui a fait suite à la catastrophe, des nouveaux cas ont été identifiés présentant tout type de trouble psychologique/psychiatrique, y compris l'expression d'idées suicidaires. Ainsi, après le passage de la tempête, les sinistrés sont restés exposés aux conséquences de la catastrophe pendant plusieurs semaines : éloignement de leur foyer du fait de l'inondation ou du caractère insalubre de l'habitation, relogements successifs en résidence locative saisonnière, information sur l'appartenance à une zone de solidarité avec impossibilité de retourner ou de rester dans leur maison, difficultés administratives au long cours (exemple : délais pour les constats d'assurance ; délais et négociations pour le rachat de leur bien par le gouvernement). De plus, les victimes de la tempête ayant subi des pertes dans leur réseau familial et social (zone sinistrée étendue à plusieurs communes en Charente-Maritime) étaient plus démunies en termes de soutien social habituel **[1]**.

EFFETS INDIRECTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ EN FRANCE ET EN NOUVELLE-AQUITAINE

Les effets indirects du changement climatique se traduisent par l'altération de la qualité de l'eau et la pollution de l'air (ozone, particules) qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé (asthme, allergies, cancers, maladies cardio-vasculaires…). C'est la raison pour laquelle une surveillance de la qualité de l'air est appliquée pour protéger la santé humaine. Elle est encadrée par plusieurs directives européennes (2008/50/CE et 2004/07/CE) et, en France, par la loi LAURE[2]. Des associations agrées régionales (ATMO Nouvelle-Aquitaine[3]) produisent des données sur les polluants réglementés par la loi LAURE. La communauté scientifique a ainsi pu démontrer depuis déjà de nombreuses années la nocivité de nombreux polluants atmosphériques. Les experts de santé publique s'accordent pour considérer que c'est la pollution de fond à laquelle on peut être exposé quotidiennement qui a le plus de répercussions en termes de santé publique. Si les épisodes aigus de pollution contre lesquels des mesures adaptées sont indispensables, de telles mesures ne peuvent constituer à elles seules une politique d'amélioration de la qualité de l'air. Pour un même niveau de pollution, la grande majorité des individus ne ressentira aucun symptôme alors que certaines personnes pourront voir leur santé s'altérer, soit parce qu'elles sont vulnérables, soit parce qu'elles sont exposées à d'autres pollutions qui vont aggraver l'effet de la pollution atmosphérique. C'est notamment le cas des enfants, des personnes très âgées, des femmes enceintes, des personnes souffrant d'une affection cardiaque ou respiratoire, des fumeurs, ou encore des personnes qui sont professionnellement en contact avec des produits chimiques. Pour suivre l'évolution de la qualité de l'air, nous disposons d'un indice européen annuel global : indice CITEAIR[4] qui est établi à partir des moyennes annuelles comparées aux seuils européens pour les polluants les plus problématiques. Il permet de mettre en lumière les zones où la situation est (en moyenne) défavorable vis-à-vis des exigences européennes.

En Gironde, on dénombre plus de 15 jours d'épisodes de pollution atmosphérique par an. Ils représentent entre 9 et 15 jours dans les autres départements littoraux ainsi qu'en Charente et dans la Vienne. Ils sont moins nombreux dans les départements restants de la région (moins de 9 jours).

Ces dépassements sont presque exclusivement dus aux particules fines en hiver et au printemps **[8]**. Des modèles ont permis de calculer le gain en espérance de vie à 30 ans pour différents scénarii relatifs à la pollution de l'air. Ainsi, dans un scénario où la population de la Nouvelle-Aquitaine serait exposée à des niveaux de pollution identiques à ceux des communes les moins polluées (5 µg/m^3), 2 400 décès seraient évités et les personnes de 30 ans gagneraient une espérance de vie de 7 mois en moyenne **[12]**.

Par ailleurs, l'air contient également des pollens qui renferment des allergènes appartenant à la catégorie des graminées, des arbres et des herbacées. On estime que 20 % de la population française serait concernée par des allergies aux pollens, notamment la rhinite allergique, laquelle est un facteur de risque important de l'asthme. Les pollens allergisants sont de petites particules microscopiques émises par les fleurs qui engendrent des allergies respiratoires chez les personnes sensibles. Un des moyens de prévenir les allergies polliniques, d'en réduire les symptômes et les coûts de santé associés, est de permettre à ces personnes d'anticiper la prise de médicaments ou de se protéger en modifiant leurs activités. Pour les aider, ATMO Nouvelle-Aquitaine informe chaque semaine sur les risques allergo-polliniques en cours, et ce déjà depuis 1999 **[13]**. En effet, par sa surveillance quotidienne du pollen contenu dans l'air, il devient possible de détecter le début et la fin d'émission de pollens de chaque espèce, puis de transmettre ces informations aux personnes allergiques inscrites à la newsletter ***Alerte pollens !*** afin qu'elles puissent anticiper et commencer leur traitement médicamenteux avant l'apparition des premiers symptômes, et l'arrêter dès la fin d'émission de pollen[5]. L'année 2015 a présenté des taux de pollens dans l'air les plus forts de ces 15 dernières années, puis ils ont baissé en 2016 (**Figure 3**).

2 • Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (LAURE).

*3 • L'ATMO Nouvelle-Aquitaine est l'agence régionale de surveillance de la qualité de l'air depuis novembre 2016 (**www.atmo-nouvelleaquitaine.org**), regroupant l'AIRAQ (ex-Aquitaine), Limair (ex-Limousin) et ATMO Poitou-Charentes.*

4 • L'indice CITEAIR est un indice européen qui permet de renseigner la qualité de l'air générale et près du trafic avec une prise en compte des polluants comme les particules PM_{10}, le dioxyde d'azote NO_2, l'Ozone mais aussi les particules fines ($PM_{2,5}$). Il est mis à disposition du public sur une plateforme internet commune, airqualitynow.eu. Il a pour but d'apporter une information facilement compréhensible, et en temps réel, pour une centaine de villes européennes, parmi lesquelles figurent Angoulême, Bayonne, Bordeaux La Rochelle, Marmande, Mont-de-Marsan, Niort, Pau, Poitiers.

5 • ATMO Nouvelle-Aquitaine participe à la surveillance des pollens allergisants pilotée à l'échelle française par le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA). Cette surveillance est menée en collaboration avec les collectivités, l'Agence Régionale de la Santé (ARS) et le RNSA. 12 stations et 3 pollinariums sentinelles® surveillent les pollens allergisants en Nouvelle-Aquitaine.

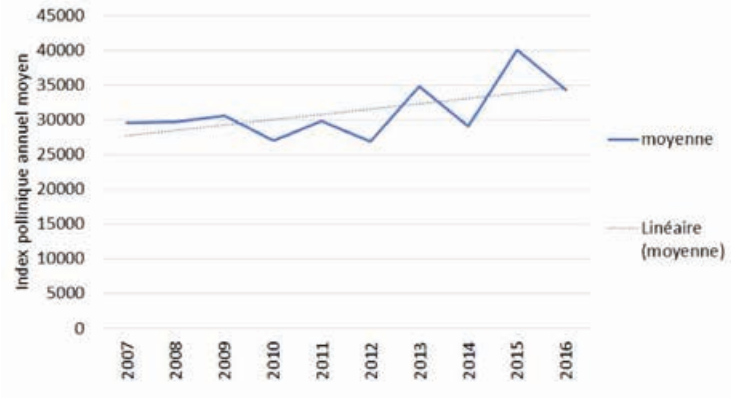


Figure 3 : *Évolution index pollinique moyen dans l'air de Nouvelle-Aquitaine depuis 2007 (données : RNSA, Atmo Nouvelle-Aquitaine) (5).*

La lutte contre l'allergie aux pollens implique également de lutter contre les plantes invasives et allergisantes, comme l'ambroisie (**Figure 4**). Cette dernière envahit certains secteurs géographiques de la Nouvelle-Aquitaine, particulièrement les zones de grandes cultures comme les champs, certaines jachères ou encore le bord des routes. Elle pose donc des problèmes de santé importants par les très fortes allergies qu'elle provoque **[10]**. Dans la région Nouvelle-Aquitaine, deux villes sont particulièrement concernées et se situent parmi les cinq premiers sites ayant les index polliniques les plus importants de France : il s'agit de Mareuil en Dordogne et Angoulême en Charente **[13]**.

Figure 4 : *Photographie d'ambroisie (Ambrosia artemisiifolia L.)*[6].

Enfin, l'implication des changements climatiques dans l'évolution de l'incidence des maladies infectieuses existe bien qu'il reste difficile à mesurer, moins en raison du manque de données disponibles qu'en raison des nombreux facteurs épidémiologiques, écologiques et socio-économiques qui régissent également la dynamique de transmission **[15]**, le moustique est l'un de ces facteurs.

En effet, de nombreuses espèces invasives de moustiques, appartenant toutes au genre Aedes, sont apparues en Europe dans la seconde moitié du xx^{e} siècle **[16]**. Parmi ces espèces, quatre se sont implantées durablement : *Aedes albopictus* (plus connu sous le nom de moustique-tigre) et *Aedes japonicus* présentes notamment en France métropolitaine, ainsi que *Aedes aegypti* et *Aedes koreicus*. Dans les milieux non ou faiblement anthropisés, *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* ont pour gîtes larvaires des creux d'arbres ou de rochers dans lesquels stagnent de petites quantités d'eau. Dans les milieux occupés par l'homme (environnements ruraux et urbains), les larves colonisent des gîtes artificiels générés par l'homme sur le domaine privé (soucoupes sous les pots de fleurs, bidons de récupération d'eau de pluie, panneaux solaires…) ainsi que sur le domaine public (avaloirs pluviaux, bassins, coffrets techniques, toits plats avec gravillons…). Ces deux espèces sont capables de transmettre différents virus à l'origine de maladies humaines comme la dengue, le chikungunya ou le zika. L'implantation d'une population d'*Aedes albopictus* a été mise en évidence en France pour la première fois en 2004 à Menton, dans les Alpes Maritimes et depuis, son aire de répartition ne cesse de s'accroître. Début 2016, il est présent dans 30 départements de France métropolitaine, dont cinq de la Nouvelle-Aquitaine (Gironde, Landes, Pyrénées-Atlantiques, Dordogne et Lot-et-Garonne) **[17]**. Les différentes données disponibles de la littérature montrent que le climat constitue un déterminant important de la modification de la distribution des vecteurs (comme les moustiques) et des agents pathogènes (comme les virus) qui leur sont associés. Toutefois, elles ne montrent pas de façon évidente que les récentes modifications climatiques ont conduit à une augmentation des risques vectoriels, en particulier en Europe. Le dernier rapport du Conseil National d'Expertise sur les Vecteurs rappelle que les impacts des autres modifications de l'environnement ou socio-économiques (comme l'urbanisation, les modifications paysagères, l'utilisation des sols, la globalisation des voyages et du transport de marchandises…) apparaissent dans de nombreuses situations comme plus importants que le changement climatique **[15]**.

En réponse, plusieurs mesures sur ce thème ont été prévues dans le cadre du plan régional santé environnement 2015-19 pour répondre à ces enjeux intriqués : intensifier l'information sur les risques allergiques liés aux pollens, promouvoir et accompagner le dispositif national mis en place pour limiter l'extension de l'ambroisie en se basant sur les actions déjà menées, améliorer et intensifier l'information sur la lutte contre la prolifération du moustique tigre.

6 • Photographie réalisée par Laurent Molle.

LA SURVEILLANCE SANITAIRE ET ENVIRONNEMENTALE COMME MOYEN D'ANTICIPER

Pour répondre à un environnement en mutation d'une part et d'autre part pour orienter les mesures de santé publique à mettre en œuvre localement, il est nécessaire de surveiller, d'alerter et de prévoir les risques sanitaires futurs, et dès lors de disposer de systèmes de surveillance capables de détecter, évaluer, notifier et combattre les urgences ou les risques sanitaires susceptibles de constituer une menace pour la santé humaine. Une meilleure compréhension des impacts du changement climatique sur la santé passe par un système de surveillance qui se structure autour de deux approches complémentaires (**Figure 5**) : une surveillance systématique fondée sur des indicateurs (SFI)[7] et une surveillance d'alerte fondée sur les événements (SFE)[8] **[18]**.

Ce premier système est continu et se base sur des structures épidémiologiques élaborant un recueil (régulier ou permanent, actif ou passif, exhaustif ou sur échantillon) d'informations indispensables pour suivre, dans le temps et dans l'espace, l'évolution des maladies de la population, affectées par le climat. Cette surveillance est classiquement fondée sur des listes restrictives de maladies dont le fardeau de morbidité/mortalité impacte sensiblement la population, et dont le suivi des évolutions et tendances permet d'orienter efficacement les programmes de lutte (exemple des registres du cancer). Cette méthode fait référence dans les domaines de la recherche en épidémiologie et en termes de surveillance de la santé des populations, mais son déploiement reste souvent inégal sur le territoire en raison des ressources inhérentes à leur fonctionnement quotidien : collecte, suivi, analyse et interprétation systématique de données structurées à partir de sources officielles reconnues dans le domaine de la santé et des données individuelles ou agrégées provenant de systèmes exhaustifs ou sentinelles. Ainsi, ce système ne peut pas toujours documenter et accompagner les politiques de prévention des risques environnementaux, sur tous les territoires.

La Région Nouvelle-Aquitaine quant à elle, dispose actuellement de la plus vaste couverture par des registres du cancer[9], soit la moitié du territoire (6 départements sur 12 : Charente, Charente-Maritime, Deux-Sèvres, Vienne, Gironde et Haute-Vienne) et 63 % de la population soit 3,7 millions d'habitants.

Le deuxième est un système de veille et d'alerte sanitaire capable de détecter sans délai une menace pour la santé de la population, afin de recommander toute mesure ou action appropriée pour prévenir et contrôler l'impact de cette menace. Les sources d'information classiquement utilisées pour ces fonctions d'alerte sont celles de la surveillance traditionnelle des maladies[10] et la surveillance syndromique. Cependant, elles ne portent souvent que sur un nombre limité de menaces connues pour la santé publique. Par conséquent, elles doivent être élargies à des sources informelles et extérieures au secteur de la santé (telles que les associations, les réseaux sociaux, etc.), légitimes et capables de détecter des maladies inconnues, inhabituelles ou inattendues et des dangers potentiels susceptibles de présenter un risque tels que les canicules, catastrophes naturelles ou aliments contaminés. En France, l'analyse des effets directs du changement climatique sur la santé a permis d'adapter le dispositif de surveillance des données de santé et environnementales en facilitant le repérage rapide des épisodes extrêmes et de leurs impacts sur la santé des populations (**ENCADRÉ 2**). Dans la Nouvelle-Aquitaine, Santé Publique France conduit son action régionale au travers de la Cellule d'Intervention en Région (Cire) placée auprès de l'Agence Régionale de Santé Nouvelle-Aquitaine. La Cire[11] apporte l'expertise scientifique dans la veille, la surveillance et l'alerte sanitaire pour l'aide à la décision des politiques de santé régionales.

7 • Exemples de sources SFI : Surveillance exhaustive comme la notification obligatoire des cas (maladies transmissibles émergentes : SRAS, grippe aviaire ; Maladies en cours d'élimination ou d'éradication : poliomyélite, rougeole ; Maladies graves : méningite à méningocoques ; Contamination de produits alimentaires) ou le recensement actif des cas par des registres de morbidité (registres des cancers, registres des malformations congénitales, registres des maladies cardio-vasculaires) ; Surveillance sentinelle (grippe) ; Données de mortalité (certificats de décès) ; Données de laboratoire ; Enquêtes/recherches.

8 • Exemple de sources SFE : Médias, Communauté, Internet, blogs, réseaux sociaux, Réseaux informels, Sites web officiels (ministère santé, agriculture), Réseaux d'alerte, ONG, Secteur privé, Santé animale, Catastrophes écologiques. Ainsi on peut citer le Centre national d'expertise des vecteurs (CNEV) qui a présenté les avancées du dispositif de surveillance des tiques, comprenant un projet de développement d'une application mobile de signalement citoyen des piqûres de tiques.

9 • Cinq registres des cancers existent sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine : Registre général des cancers de Poitou-Charentes (Charente, Charente-Maritime, Deux-Sèvres, Vienne), Registre général des cancers de la Gironde, Registre général des cancers de la Haute-Vienne, Registre spécialisé des hémopathies malignes de la Gironde, Registre spécialisé des tumeurs du système nerveux central de la Gironde.

*10 • **www.santepubliquefrance.fr***

*11 • Cire Nouvelle-Aquitaine : **www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/la-cellule-dintervention-en-region-cire-nouvelle-aquitaine-de-sante-publique-france***

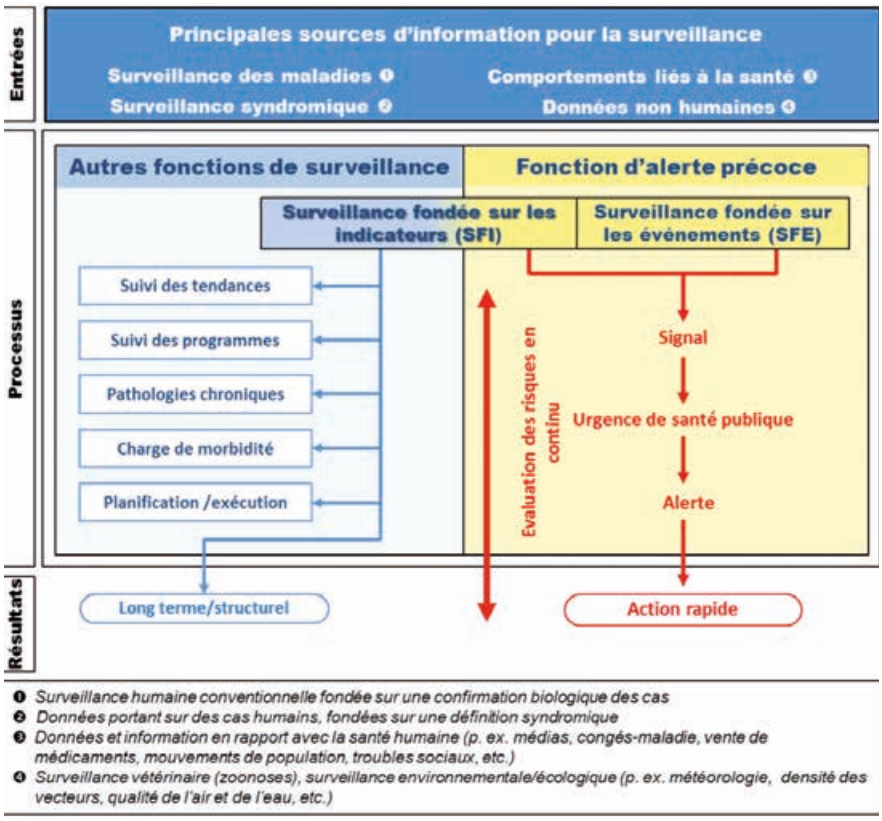


Figure 5 : *Aperçu des fonctions de surveillance et d'action couvrant tous les dangers potentiels pour la santé publique (source : OMS, 2014) (18).*

ENCADRÉ 2 : LE SYSTÈME DE SURVEILLANCE DIT SYNDROMIQUE

Santé Publique France assure à l'échelle nationale une surveillance sanitaire pendant les épisodes de vague de chaleur ou de grand froid en s'appuyant sur le système de surveillance syndromique Sursaud© (Surveillance sanitaire des urgences et des décès), c'est-à-dire basé sur la collecte de données non spécifiques comme les données issues des services d'urgence hospitalière ou de médecine de ville. Santé Publique France contribue également à prédire les impacts présents et futurs du changement climatique pour orienter la prévention, et pour évaluer les bénéfices sanitaires des mesures d'adaptation et des politiques d'atténuation. Le système permet la centralisation quotidienne d'informations provenant de plus de 600 services d'urgences participant au réseau OSCOUR®, de 60 associations SOS Médecins (données de médecine d'urgences de ville) et de 3 000 communes, pour les données de mortalité, par l'intermédiaire de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Le système Sursaud® recouvre ainsi respectivement 86 % de l'activité des services d'urgences en France, 90 % de l'activité SOS Médecins et 80 % des décès quotidiens. En complément des données de mortalité de l'Insee, les médecins ont la possibilité, depuis 2008, de certifier les décès électroniquement en accédant à un site sécurisé permettant un accès rapide pour Santé Publique France aux informations concernant les causes médicales de décès. La généralisation progressive de la certification électronique de décès permettra d'en analyser rapidement les causes, pour alerter et aider à prendre les mesures de gestion adéquates.

La compréhension des impacts du changement climatique sur la santé repose également sur des études d'épidémiologie environnementale, qui cherchent à apprécier la réalité et l'ampleur de l'impact sanitaire des facteurs environnementaux sur la santé humaine à partir de données, d'échantillonnage des populations, d'estimation et de mesure des expositions. Par exemple, s'agissant du cancer, le Plan cancer 2014-2019 s'inscrit dans une démarche d'épidémiologie environnementale, et vise à consolider les systèmes d'observation et de surveillance et à développer de nouveaux outils pour la recherche et le suivi prospectif, en articulation avec les mesures de santé publique lancées nationalement pour assainir l'environnement (Plan National Santé Environnement). Cette articulation est centrale à la fois pour une meilleure compréhension des effets et pour une meilleure anticipation des actions à mettre en œuvre.

Ainsi, les structures dédiées à la surveillance environnementale (cf. paragraphe 2 – effets indirects), comme ATMO Nouvelle-Aquitaine, le Conseil National d'Expertise sur les Vecteurs, les Agences de l'Eau, les Observatoires ou encore le tissu associatif extrêmement riche, sont autant de partenaires et ressources à cette surveillance sanitaire et environnementale. Le portail ***www.santeenvironnement-aquitaine.fr*** recense d'ailleurs les actions et leurs acteurs mobilisés sur cette thématique. Enfin, les principaux pilotes des politiques en faveur de la santé et de l'environnement sont l'Agence Régionale de la Santé et la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

7 LE CLIMAT, UN DÉTERMINANT DE SANTÉ RÉVÉLATEUR DE VULNÉRABILITÉS DANS LA POPULATION

LE CLIMAT, UN DÉTERMINANT DE LA SANTÉ

Le changement climatique s'avère être une sérieuse menace pour la santé mondiale, mais il peut être aussi appréhendé comme une opportunité pour l'améliorer **[3]**.

Le changement climatique intervenant comme un déterminant de santé à part entière, susceptible d'agir ou d'amplifier les autres déterminants de la santé, l'adaptation et l'atténuation héritent réciproquement d'une dimension sanitaire (**Figure 6** et **Figure 7**).

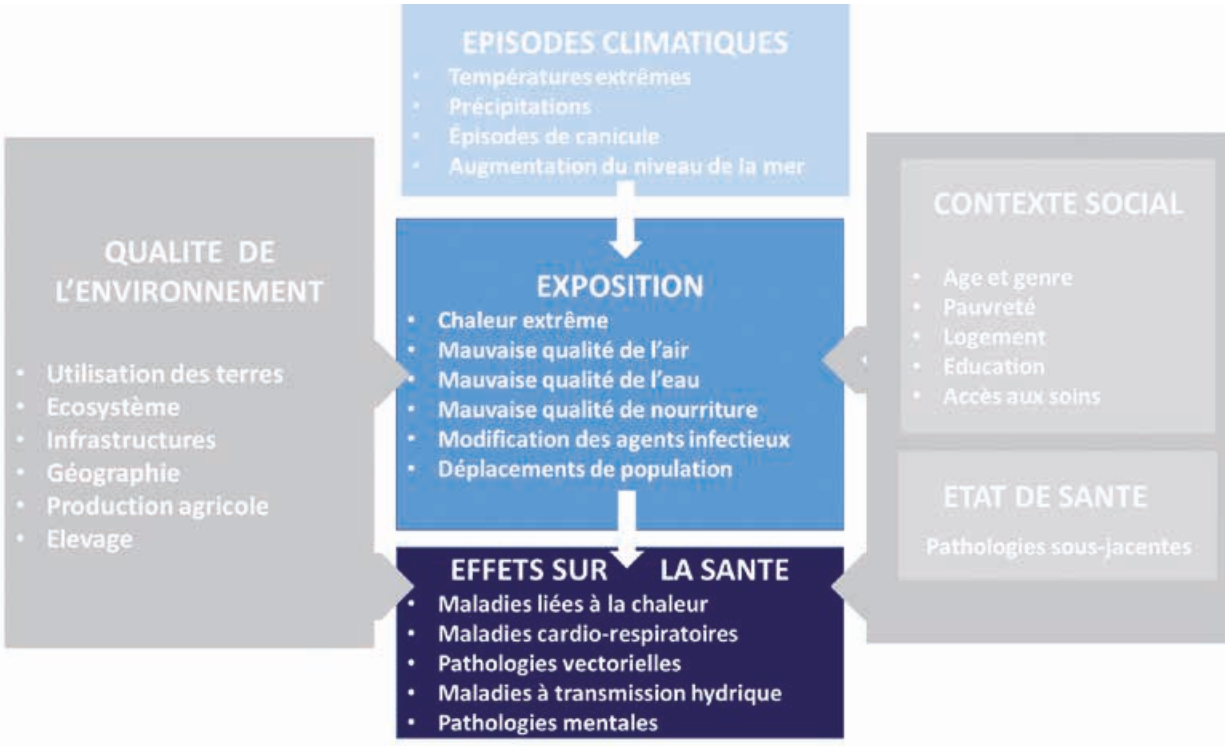


Figure 6 : *Diagramme illustrant les mécanismes par lesquels le changement climatique induit des effets sur la santé (adapté de (19)).*

Les déterminants sociaux de la santé se définissent par « les circonstances dans lesquelles les individus naissent, grandissent, vivent, travaillent et vieillissent ainsi que les systèmes mis en place pour faire face à la maladie » **[20] [21]**. Ces déterminants influencent l'exposition au risque lié au changement climatique et la sensibilité préalable des individus aux divers aléas, mais aussi les ressources ou les possibilités de s'en prémunir **[22]**. Des inégalités s'observent dans les conditions de vie pendant la petite enfance, dans la scolarisation, par la nature de l'emploi occupé et les conditions de travail, par les caractéristiques physiques de l'environnement bâti et la qualité de l'environnement naturel. Selon la nature de ces environnements, les conditions matérielles, le soutien psychosocial et les schémas comportementaux ne sont pas les mêmes selon les individus et les rendent plus ou moins vulnérables aux problèmes de santé. On peut rappeler que, selon la Commission des déterminants sociaux de la santé de l'OMS, *« Il faut rapprocher les dossiers de l'équité en santé et du changement climatique. La communauté internationale doit trouver un juste équilibre entre le nécessaire développement socio-économique de la population mondiale, l'équité en santé et les mesures que réclame de toute urgence le changement climatique. »* **[21]**.

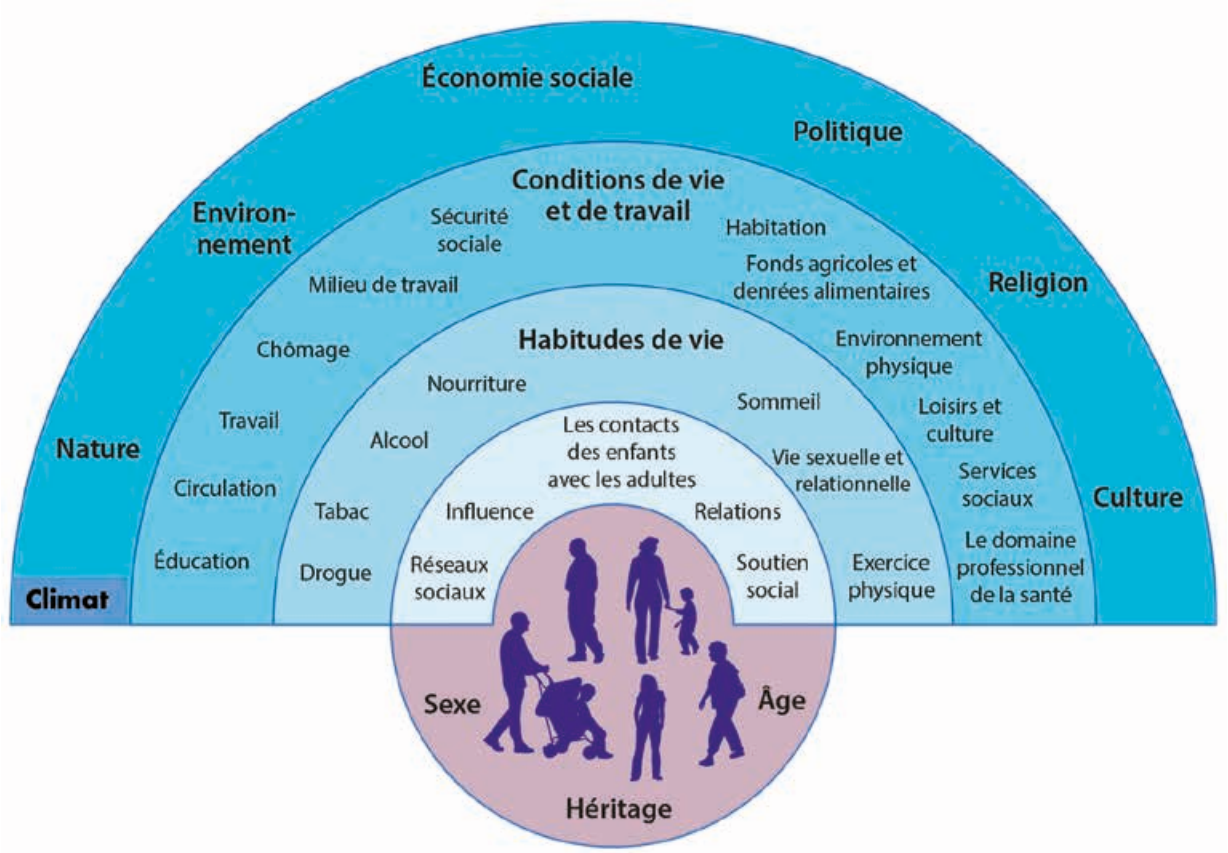


Figure 7 : *Le climat et les autres déterminants sociaux de la santé (adapté de (20)).*

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE SOUS LE PRISME DE L'EXPOSOME

Les effets sanitaires liés au changement climatique peuvent encore s'opérer à plus long terme, et sous forme cumulative. C'est ce que le PNSE3 aborde sous l'angle de « l'exposome », c'est-à-dire l'ensemble des expositions qu'un individu peut subir sur sa vie entière **[23]** (**Figure 8**). Cette approche qui se veut ancrée sur les territoires, poursuit et renforce des actions de prévention des risques liés aux expositions physiques extérieures (milieu intérieur et extérieur) et au contexte psychosocial et local ; autrement dit l'ensemble des facteurs de risque d'origine non génétique **[24]**.

Enfin, la loi n° 2016-41 du 26 janvier 2017, de modernisation du système de santé a introduit cette notion d'exposome dans l'article 1. Cette loi précise que c'est sur cette base que pourront être identifiés l'ensemble des risques sanitaires liés aux expositions environnementales, incluant alors le changement climatique.

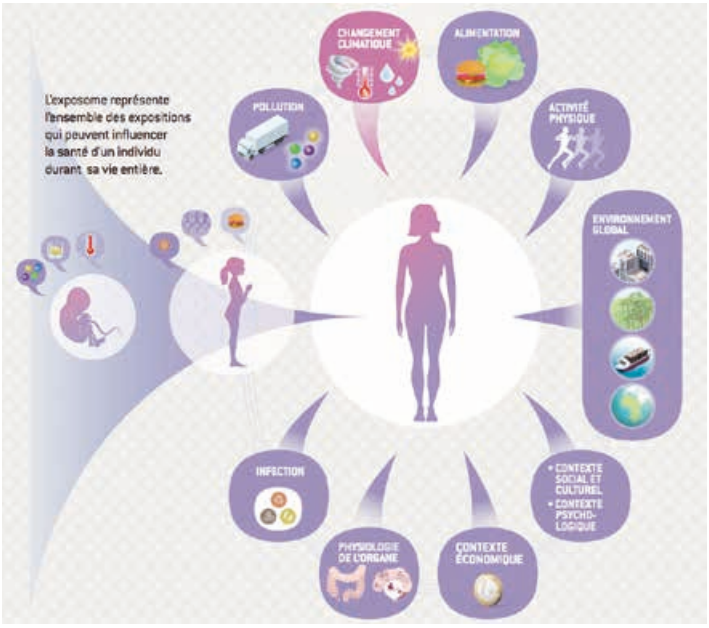


Figure 8 : *Exposome et changement climatique (source INSERM).*

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, UN RÉVÉLATEUR DES VULNÉRABILITÉS

Les personnes ayant des problèmes de santé pré-existants sont susceptibles d'être plus vulnérables. La vulnérabilité peut se définir au travers de trois composantes interactives : l'exposition (le climat et les conditions environnementales), la sensibilité (la mesure dans laquelle une population peut absorber les effets sans subir de préjudice à long terme) et la capacité d'adaptation (le potentiel d'une population à modifier ses comportements afin de mieux faire face aux effets et à mieux anticiper). Pendant les vagues de chaleur, cette notion a permis de cibler certaines populations jugées comme vulnérables : les personnes âgées de 65 ans et plus, les nourrissons et les enfants, les femmes enceintes, les travailleurs manuels, les personnes pratiquant une activité sportive en plein air. Ces populations ont alors fait l'objet de messages spécifiques et adaptés. Parce que la démographie de la Nouvelle-Aquitaine se caractérise par une forte population de personnes âgées de 75 ans et plus (avec 11,5 %, au 1er rang au niveau national), cette démarche d'information en termes de santé publique est particulièrement pertinente en Dordogne, Creuse et Corrèze. Sur le plan socio-économique, le gradient décroissant Ouest-Est affiche un taux de pauvreté plus faible qu'au niveau national (13,3 % contre 14,3 % en France, données 2012), bien qu'il perdure de grandes variations entre départements (de 12,1 % dans les Landes et les Pyrénées-Atlantiques contre 19,8 % dans la Creuse) **[12]**.

En outre, l'identification des personnes vulnérables et la mise en place de stratégies ciblées en leur faveur ont montré leur efficacité dans la réduction de la mortalité. Un projet européen PHASE[12] a d'ailleurs estimé l'impact de la chaleur sur la mortalité avant (1996-2002) et après (2004-2010) l'été 2003 dans neuf villes européennes (Athènes, Barcelone, Budapest, Helsinki, Londres, Paris, Rome, Stockholm, Valence). Les résultats montrent que le risque de décès dus à la chaleur a diminué à Athènes, Rome et Paris pour les personnes plus âgées comme pour les personnes atteintes de pathologies cardiovasculaires. Ces bons résultats sont en partie imputables aux mesures de prévention prises en faveur de ces populations vulnérables **[25]**. De telles mesures, pourraient être également efficaces si on les appliquait dans le domaine de la santé au travail où un risque accru d'accident du travail est observable lors d'épisodes de chaleur extrême, en lien avec la baisse des capacités physiques et de concentration.

Le changement climatique peut donc contribuer à renforcer ou à créer des inégalités de santé. Il est possible de s'en saisir dans les territoires par une approche multifactorielle incluant des dimensions sanitaires, environnementales, démographiques, sociales et économiques **[12]**. Cet objectif est d'ailleurs défini dans le PRSE3 dans l'action intitulée « Caractériser les inégalités environnementales de santé » dont les objectifs sont d'identifier et caractériser les territoires à surexposition en Nouvelle-Aquitaine, puis de mettre en œuvre des études innovantes et/ou pluridisciplinaires sur un ou plusieurs territoires présentant des surexpositions environnementales. Une étude a été réalisée en 2016 par l'Observatoire Régional de la Santé à la demande de l'ARS et de la DREAL. Cet état des lieux régional a pris la forme originale d'une cartographie représentant les disparités qui existent entre les différents bassins de vie composant la région. Cela suppose la synthèse d'un grand nombre d'informations et d'appréhender de façon concomitante l'ensemble des déterminants des inégalités environnementales de santé à l'aide d'indicateurs[13]. Au final, 5 types de bassins de vie ont été identifiés en Nouvelle-Aquitaine[14] (**Figure 9**) :

*12 • Projet PHASE : **www.phaseclimatehealth.eu***

*13 • **www.ors-limousin.org/publications/rapport/2016/Etat-des-lieux_Sante-Environnement.pdf***

14 • L'analyse a été conduite en deux étapes :

1/le calcul d'« indices de disparité environnementale » permettant de repérer les contrastes existant entre les différents territoires de la région et de les représenter cartographiquement. Ces indices ont été calculés pour chacune des 4 dimensions environnementales étudiées (eau, air, sols, habitat), considérées d'abord séparément, puis concomitamment.

2/l'élaboration d'une typologie des bassins de vie a ensuite été conduite proposant un regroupement des bassins en un certain nombre de classes homogènes. Le modèle a permis de réaliser d'abord une typologie purement environnementale, puis une typologie globale (sanitaire, sociodémographique et environnementale).

- Le type A (territoires « ruraux classiques ») regroupe 103 bassins de vie (18 % de la population régionale). Ces bassins de vie plutôt ruraux sont caractérisés par une mauvaise qualité de l'habitat, des indicateurs sociodémographiques défavorables (population âgée élevée, faible part de cadres, forte part de foyers fiscaux non-imposables, etc.) et, a contrario, un environnement extérieur plutôt favorable (air, eau, sol) et des indicateurs sanitaires non discriminants.

- Le type B (territoires « urbains ») totalise 45 bassins de vie, soit la majorité de la population régionale (58 %). Ces territoires urbains, principalement composés des plus grandes agglomérations de la région, sont caractérisés par une bonne qualité de l'habitat et de l'eau potable et des indicateurs sociodémographiques et sanitaires favorables. En revanche, la qualité de l'air est mauvaise et les sols pollués sont nombreux.

- Le type C (territoires « médians »), composé de 63 bassins de vie (18 % de la population régionale) semble avoir le profil le plus « moyenné » avec des contributions plutôt faibles des différents indicateurs. Ces bassins de vie « médians » sont soit situés à proximité d'aires urbaines, soit à proximité de grands axes routiers. Les plus grandes contributions apparaissent défavorablement pour la qualité de l'air et les indicateurs démographiques et favorablement pour la qualité de l'eau, l'habitat et les indicateurs sociaux.

- Le type D (territoires « défavorisés ») comprend 17 bassins de vie, soit 132 000 personnes (2 % de la population régionale). Les bassins de vie définis par ce profil sont parmi les plus défavorisés tant sur la partie environnementale (habitat, bactériologie de l'eau) que sur le plan sociodémographique et sanitaire (mortalité, foyers fiscaux non imposables, part des 75 ans et plus). Ces territoires, exclusivement situés au nord-est de la région (Creuse essentiellement ainsi que quelques bassins de Corrèze et de Haute-Vienne), apparaissent en revanche en situation favorable en matière de qualité de l'air et des sols.

- Le type E (territoires « atypiques ») regroupe 17 bassins de vie (4 % de la population régionale). Ces territoires du nord des Deux-Sèvres et du sud-ouest des Landes ressortent de manière atypique. Ces bassins sont principalement typés sur le plan environnemental car ils possèdent de bons indicateurs sociodémographiques et sanitaires mais de mauvais indicateurs concernant les sols et les pesticides dans l'eau et, à un degré moindre, concernant la qualité de l'air.

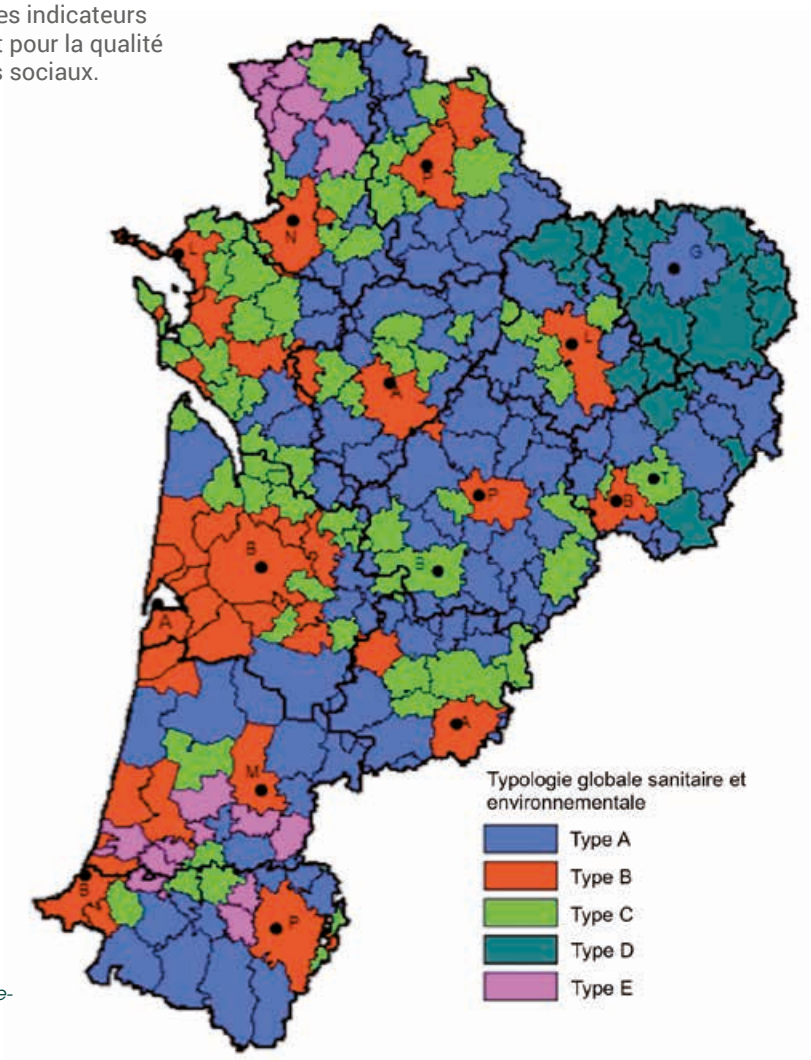


Figure 9 : *Typologie globale sanitaire et environnementale des territoires de la Nouvelle-Aquitaine (12).*

4 LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE : UN NOUVEAU PARADIGME

Comprendre d'où l'on vient pour savoir où aller. L'**ENCADRÉ 3** propose un parcours temporel de l'histoire de l'environnement en lien avec la santé. On comprend ainsi que la confusion autour de la terminologie « Environmental Health » est liée à sa genèse qui s'est construite en parallèle, et parfois sous tension, entre deux champs : d'un côté le champ de la santé, et de l'autre, celui de l'environnement.

Du côté de la santé, Hippocrate de Cos (médecin, 460 - 377 av. J.-C.) préconisait une vision globale de l'Homme dans son environnement en proposant au médecin de rétablir l'état de santé en modifiant ces influences environnementales, entre autres. **[26]**.

Au XIXe siècle, avant l'ère du « complexe bio-médico-industriel » en santé du XXe siècle, la vision globale de l'homme dans son environnement est encore présente et s'exprime par exemple dans la lutte contre les épidémies en impliquant tous les secteurs de la société : médical, architectural, ingénierie, politique en améliorant en premier lieu les infrastructures et l'assainissement **[27]**. En se spécialisant, la médecine du XXe siècle a contribué à produire une scission concomitante de la médecine et des sciences de l'environnement. Non seulement la santé et l'environnement n'avaient plus de dynamique commune dans leurs actions, mais les décisions dans l'un ou l'autre champ pour apporter une solution à un problème ont généralement créé des effets collatéraux inattendus et néfastes dont les exemples sont nombreux en santé environnementale. Prenons l'exemple des retardateurs de flamme incorporés dans les produits de consommation. Ils sont des contaminants chimiques nocifs pour la santé de l'homme où l'usage de pesticides dans l'environnement se révèle nocif pour les êtres vivants comme l'illustre le cas de la chlordécone **[28]**. Enfin, si les professionnels de santé publique ont distingué les différents types de facteurs influençant la santé, dénommés déterminants de santé (**Figure 7**), cela contribue à une représentation de santé publique déterministe et figée qui induit une lecture additive et insuffisamment systémique sans possibles interrelations entre les différents niveaux de déterminants **[30] [31]**. C'est la raison pour laquelle, en ce début de XXIe siècle, certains plaident en faveur du concept d'« exposome » qui introduit une vision dynamique des expositions[15] **[31]**. Néanmoins, cette approche reste encore largement centrée sur la notion de maladie.

Du côté de l'environnement, c'est au cours du XXe siècle et au travers de crises écologiques graves que l'effet sur la santé est apparu secondairement (Seveso, Bhopal, Amoco-Cadiz, Erika…) ou au travers de modifications insidieuses de l'environnement comme le cas des pesticides et des perturbateurs endocriniens **[32]**.

Il faut attendre 1994 pour que l'OMS réunisse les deux champs dans la Déclaration sur l'action pour l'environnement et la santé en Europe, Helsinki : « la santé environnementale comprend les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de la vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement.

15 • HEDEX (Health, Endocrine Disruptors, EXposome), INSERM CIC1402, Université de Poitiers.

Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures » **[33]**.

Aujourd'hui, l'usage du terme *Environmental Health* ou Santé Environnementale reste encore discordant selon les interlocuteurs. En effet, beaucoup ne se réfèrent pas à la définition de l'OMS, mais plutôt au concept d'environnement qu'ils ont (qualité de milieux, habitat, contexte socio-économique, déterminants de santé…) **[5] [35]**.

L'enjeu est donc de conceptualiser la santé environnementale de telle sorte qu'elle soit un outil de compréhension et pas seulement une définition, car elle est porteuse de solutions d'avenir, dont nos sociétés ont un besoin impérieux pour faire face aux défis du XXIe siècle.

Le paradigme de santé environnementale s'appuie sur une vision holistique de l'Homme dans son environnement, au sens où il est Terrien, c'est-à-dire compris comme une unité Homme-Terre et non comme un simple habitant de la Terre. Ainsi, le tout (le Terrien) est plus que la somme des parties (homme + environnement) **[35]**. Le texte du discours du chef Seattle16 exprime cette unité : « La Terre n'appartient pas à l'Homme ; l'Homme appartient à la Terre. Cela nous le savons […] Tout ce qui arrive à la Terre, arrive aux fils de la Terre. Ce n'est pas l'Homme qui a tissé la trame de la vie : il en est seulement un fil. Tout ce qu'il fait à la trame, il le fait à lui-même » **[36]**.

ENCADRÉ 3 : ENVIRONNEMENT ET SANTÉ, UNE LONGUE HISTOIRE…

Des conséquences désastreuses de certaines activités humaines ont conduit dans les années 60-70 à la prise de conscience planétaire de la nécessité de protéger l'Environnement. Certains l'expliquent par le geste cartésien (Descartes, Discours sur la Méthode (partie 6)), par lequel le progrès scientifique devait rendre les Hommes comme maîtres et possesseurs de la Nature, et ainsi être source de mieux-être **[37]**. L'écologie est très vite devenue la science de la dynamique biophysique complexe directement en rapport avec la politique environnementale et la prise de décisions en matière de gestion des ressources et de l'environnement. Les institutions consultatives du monde entier ont de plus en plus insisté sur le rôle directeur que la science devrait jouer dans cette prise de décision, d'autant que certains scientifiques affirment même simplement que la théorie écologique peut servir de guide solide pour les décideurs en la matière **[40] [41]**. L'histoire du Développement Durable montre qu'il est né de la rencontre de l'écologie avec l'économie et la sociologie. Deviné dans le slogan « penser global, agir local » du rapport préparatoire à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement de Stockholm en 1972, le Développement Durable n'est défini qu'en 1987 dans le rapport Brundland. Ce dernier rapport a fourni les bases de travail pour la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement en 1992 à Rio de Janeiro dont le sujet était la mise en œuvre du Développement Durable. En 2012, le (Rio +20) a été centré sur le Développement Durable, et le constat de l'impact mondial, après 50 ans d'actions en faveur de la protection de l'Environnement, est qu'il y a un long chemin à parcourir pour parvenir à un avenir durable **[7]**, car le monde est complexe, tant sur le plan des systèmes naturels que sur celui de l'interaction humaine. Force est de constater que dans le concept de Développement Durable, la santé est absente : l'Homme y est en position d'observateur ou d'agissant sur l'environnement. Il n'est pas compris comme participant de cet environnement, et est dissimulé dans les piliers « société » et « économie ». Ainsi la notion de la personne est effacée. La notion de santé, est seulement effleurée dans l'usage du terme « bien-être » dans le rapport de l'ONU en 1972 (Stockholm), et ce n'est qu'en 1989 que l'OMS s'en empare et rédige la charte « Environmental Health » suite à la 1re conférence européenne sur l'environnement et la santé.

16 • Le discours du Chef Seattle (chef des tribus Dumawish et Suquamish) a été prononcé en 1854 face au Gouverneur Isaac M. Stevens, Commissaire aux affaires indiennes du gouvernement des États-Unis, en réponse à la demande faite aux indiens de vendre leurs terres et de s'installer dans une réserve. Il existe au moins trois versions du texte, sans qu'aucune ne soit de première main. Cet extrait provient du texte de semi-fiction rédigé en 1971 par Ted Perry, scénariste américain, pour un film sur l'environnement.

5 LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE : POUR UN RENOUVELLEMENT DE LA DÉCISION INDÉNIABLEMENT LIÉE À L'ÉTHIQUE ET AU SENS

Amorcée au XVIIe siècle, la reconnaissance d'une méthode scientifique considérée infaillible, qui produirait un savoir objectif et universel en dehors de toute interprétation mythique et religieuse fonde nos sociétés **[40]**. Dans ce contexte, la santé environnementale soulève des questions et dérange car elle met en évidence les limites de validité de multiples concepts, pourtant fondateurs de la pensée et des comportements contemporains (**ENCADRÉ 4**) et génère une incertitude scientifique.

ENCADRÉ 4 : L'ÉVOLUTION DES SCIENCES, SELON T. KUHN [41]

Kuhn, sociologue des sciences, montre à partir d'exemples issus de quatre siècles d'histoire des sciences, que l'évolution des idées scientifiques présente une dynamique discontinue, dont le cours s'organise en deux grandes phases alternatives (cycliques) : la science normale et la science extraordinaire **[40]**. Dans la phase dite « science normale », la majorité des scientifiques et la société en général adhère massivement à un paradigme établi (qui est d'ailleurs enseigné) sur lequel s'appuie les travaux et les décisions en matière de société. Puis lorsque des anomalies scientifiques viennent à questionner ce paradigme, un ou des groupe(s) de scientifiques dissidents se constituent et tentent d'élaborer des théories explicatives concurrentes (c'est la science extraordinaire). Cette tension peut provoquer une crise scientifique ; une occasion pour qu'émerge un nouveau paradigme.

Cependant, Kuhn remarque qu'un paradigme n'est pas rejeté dès qu'il est réfuté, mais seulement quand il peut être remplacé. La santé environnementale se situe d'après ce cycle de Kuhn, dans la phase de la crise scientifique : elle soulève des anomalies dans les paradigmes scientifiques fondamentaux actuels. Par exemple : (i) dans le cas des perturbateurs endocriniens, on peut observer l'effet d'une exposition à ces substances de façon transgénérationnelle. Il n'y a donc pas d'exposition directe, ce qui a contredit le lien de causalité entre l'exposition directe et l'effet, seul paradigme longtemps considéré en épidémiologie **[42]**, (ii) dans le cas de l'inversion de la relation dose-effet qui remet en question le calcul des normes des substances chimiques en toxicologie classique **[45] [46]**. En conclusion, l'épuisement des paradigmes que traversent actuellement les questions de santé et d'environnement ouvre une période d'incertitude, dans laquelle la philosophie en tant que réflexion profonde de l'essence des choses à toute sa place **[45]**.

En réponse à cela, le principe de précaution a été formulé pour la première fois dans la Déclaration de Rio (1992, Principe 15). Dans le droit français, la Charte de l'environnement (2005) énonce que les autorités publiques peuvent appliquer le principe de précaution, qui est devenu un principe d'action et non d'inaction : face à l'incertitude, il faut développer des programmes de recherche pour « lever le doute ». C'est ainsi que l'expertise, comprise comme l'intégration de savoirs scientifiques dans un processus de décision politique[17] s'est mise en place, dont les angles d'approche et les enjeux ont donné lieu à de multiples réflexions et travaux **[43] [45] [48] [51]**. Or en appuyant la décision sur l'expertise scientifique, on assoit la décision sur la nécessité d'une causalité avérée **[50]**, qui n'est pas atteignable (**ENCADRÉ 5**) dans le domaine de la santé environnementale. Il s'agit par conséquent d'apprendre à gérer l'incertitude, tout en ne sous-estimant pas l'urgence de ces questions.

Il s'agit donc de ne pas demander encore et toujours plus de données, plus de doctes définitions, plus de robustes modèles. Comme le fait dire Camus à son héros dans La Peste, en réponse au Préfet qui attend pour agir de savoir si les symptômes répondent bien au modèle de la peste : *« Ce n'est pas une question de vocabulaire, c'est une question de temps »* **[51]**.

17 • *www.anses.fr/fr/content/la-conduite-de-lexpertise-scientifique*

ENCADRÉ 5 : CAUSALITÉ OU CORRÉLATION[18] ?

La quête de lien causal se heurte à la complexité du monde. Une des voies explorées par les différentes disciplines est la modélisation des phénomènes observés, comme par exemple en écologie **[50] [52]** ou en médecine **[23] [53]** pour rechercher une corrélation mathématique. L'épidémiologie explicative (ou analytique ou étiologique) est la discipline en santé qui cherche à mettre en évidence le lien de causalité entre l'exposition à une substance ou un phénomène (par exemple canicule) et un effet sur la santé, en utilisant des méthodes statistiques d'étude de corrélation. Or dès 1965, Hill met en évidence toutes les limites de la méthode avec cette question : *« Dans quelles circonstances peut-on passer de l'association observée à un verdict de causalité ? »* **[54]**. Les réponses font toujours débat **[40] [43] [55]** et concernent par extension, tous les domaines où la modélisation est mise en œuvre.

Une fois admise cette rupture nécessaire, l'ensemble des travaux liés au paradigme dominant (**ENCADRÉ 4**) ne sont pas nécessairement rejetés, mais doivent plutôt faire l'objet de débats et de discussion afin d'en mesurer leurs limites, pour les dépasser « en innovant ». En santé environnementale, l'innovation s'appuie inéluctablement sur deux principes : le travail transdisciplinaire (interdisciplinaire a minima), l'interprofessionnalité et l'intersectorialité. L'interdisciplinarité implique l'ouverture entre disciplines, l'interpénétration des savoirs conduisant à « une communauté de points de vue », voire à l'hybridation **[56] [57] [58]**. Les recherches et les décisions dans le champ de la santé environnementale devront nécessairement se construire en mobilisant tous les secteurs dans lesquels évolue l'Homme (transports, habitat, éducation…) et sortir des seuls cadres de l'Écologie et de la Santé. D'ailleurs cette intersectorialité a déjà donné des résultats probants au XIXe siècle, notamment dans la construction d'infrastructures liées à l'assainissement **[59]**.

Ce renouvellement de la décision opéré dans la vision holistique Homme-Terre, conduit *ipso facto* à introduire les questionnements éthiques et de sens dans les décisions politiques, pour qu'elles trouvent la force de persuasion nécessaire à la mise en place durable d'actions et de politiques fortes en matière de santé environnementale. La Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies soulignait en 2010, que l'éthique n'est pas « un luxe intellectuel ». Il doit faire partie intégrante de la moindre parcelle de savoir. Ainsi, l'éthique ne vient pas s'ajouter à la somme des problèmes soulevés par le changement climatique mondial, mais représente la part constitutive de toute réponse justifiée **[60]**. La bioéthique (**ENCADRÉ 6**) comprise comme l'éthique du vivant, s'est largement emparée de ce questionnement, car la fragilité de la nature et la fragilité humaine ont partie liée.

En résumé, la décision ayant pour moteur la santé en lien avec la réflexion éthique trouvera ainsi la probité indispensable à concilier les intérêts de l'homme-terre normé (issu de toutes les statistiques des études scientifiques) et de l'Homme-Terre dans son individualité. Le paragraphe suivant énonce quelques propositions dans cette direction pour la région Nouvelle-Aquitaine.

ENCADRÉ 6 : ÉTHIQUE DU MONDE VIVANT (BIOÉTHIQUE)

Forgé aux États-Unis dans les années 1970, le terme de bioéthique (éthique du bios, éthique du vivant) est attribué au biochimiste oncologue de l'université du Wisconsin Van Rensselaer Potter (1911-2001). Dans son livre intitulé Bioethics, The Bridge to the Future (La bioéthique : un pont vers le futur) publié en 1971, il souhaite ainsi unir les progrès des connaissances des sciences de la vie et les valeurs humaines, et témoigner « d'une espèce humaine acceptant sa responsabilité dans sa propre survie et dans la préservation de son environnement naturel » **[80]**. L'auteur veut se tenir à distance des discours philosophiques abstraits » pour se centrer sur la survie de l'homme et sur les conditions d'une survie « acceptable ». Sans vouloir entrer dans le détail de la pensée de Van Rensselaer Potter, l'essentiel est sans doute de retenir cette métaphore du pont que devait être la bioéthique entre le présent et le futur, entre l'avenir de l'homme et celui de son environnement (Van Rensselaer se référait d'ailleurs à l'éthique de la Terre (Land ethic d'Aldo Leopold **[46]**)), entre les sciences et les valeurs humaines. Ainsi Van Potter lie environnement et « santé de la personne » qui va au-delà « de la santé végétative et animale » pour être « la propriété d'une personne responsable, dotée de raison et de sensibilité, qui est active dans le maintien et l'amélioration de sa propre condition mentale et physique ». En fait ce fut donc secondairement que la bioéthique se vit restreinte à l'éthique biomédicale ou éthique des sciences et techniques de la vie et de la santé comme si la vie humaine pouvait être envisagée de manière isolée en oubliant son environnement…

Une vision éthique « écocentrée » propose même, dans la lignée de l'œuvre d'Aldo Leopold, l'inclusion de l'homme dans une communauté « biotique » rassemblant tous les « systèmes naturels » considérés comme interdépendants, ce qui impose la préservation et le respect de chacun d'eux. Pour l'éthique de la Terre selon Callicott **[47] [48]**, l'homme « fait partie du paysage ».

En deçà de cette éthique globale de la Terre et en revenant sur le concept de survie de l'être humain évoqué par Van Rensselaer Potter, il est nécessaire d'effectuer une première prise de conscience : l'environnement, s'il est utilisé sans discernement par les êtres humains, peut mettre en danger leur santé.

18 • Corrélation ou causalité ? Une erreur de raisonnement courante consiste à dire : « X et Y sont corrélés, donc X cause Y ». On confond alors corrélation et causalité car en réalité, il se pourrait aussi que Y cause X, ou bien que X et Y aient une cause commune Z, ou encore que X et Y soient accidentellement liés mais n'aient aucun lien de causalité. Par exemple, dans les communes qui abritent des cigognes, le taux de natalité est plus élevé que dans l'ensemble du pays. Conclusion : les cigognes apportent les bébés ! Voici une explication plus probable : les cigognes nichent de préférence dans les villages plutôt que dans les grandes agglomérations, et il se trouve que la natalité est plus forte en milieu rural que dans les villes. Voilà pourquoi l'on nomme « effet cigogne » cette tendance à confondre corrélation et causalité.

6 LA SANTÉ, UN LEVIER POUR IMPULSER DES CHANGEMENTS

Selon le climatologue Jean Jouzel et la juriste Agnès Michelot, la santé est un levier majeur pour impulser des changements. Dans leur avis rendu sur la justice climatique au CESE[19], ils écrivent : *« C'est au travers de l'examen de l'impact sur la santé des pollutions et nuisances que le croisement des questions écologiques et des questions sociales s'opère le plus naturellement, dans la mesure où cet examen fait apparaître de manière nette et documentée, des inégalités socio-économiques d'exposition, qui peuvent souvent être territorialisées »* **[61]**. *« La santé est une valeur qui peut aider à identifier des intérêts communs et impulser une dynamique vertueuse. Elle donne du sens à l'action publique et est susceptible de motiver des changements de comportements. Les bénéfices sanitaires individuels et collectifs seront rapidement observés, la santé constituant ainsi un puissant levier pour impulser ces changements, en partenariat avec les autres secteurs ».* **[62]**

Les résultats du Baromètre Santé Environnement 2015 en Nouvelle-Aquitaine montrent que 91 % de ses habitants déclarent être intéressés par la santé environnementale et plus de la moitié de la population régionale a exprimé un intérêt d'au moins 8 sur une échelle de 1 à 10 (**Figure 10**). La santé est donc un acteur attendu de la lutte contre le changement climatique **[63]**.

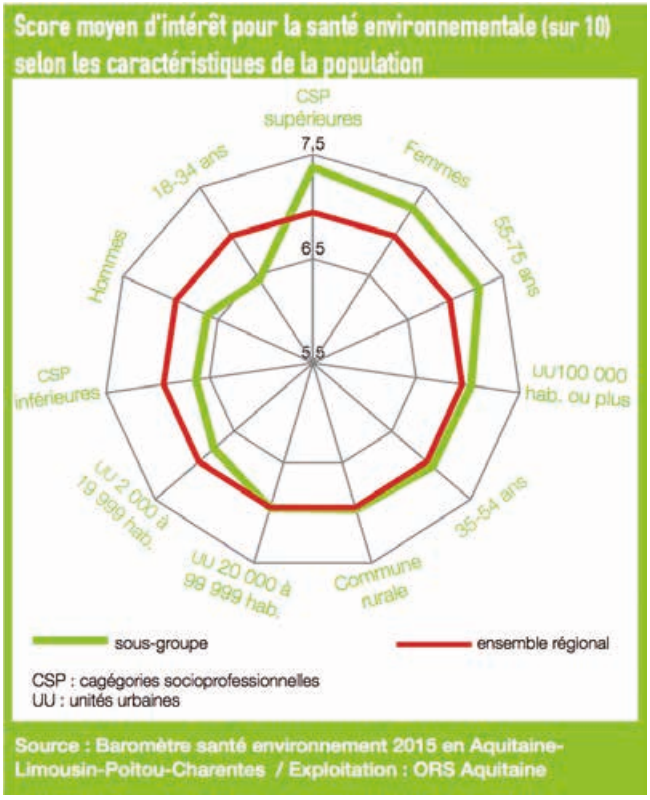


Figure 10 : *Intérêt pour la santé environnementale selon les caractéristiques de la population, Baromètre Santé Environnement 2015, Nouvelle-Aquitaine (6).*

19 • CESE : Conseil économique, social et environnemental.

Le modèle de promotion de la santé décrit dès 1986 par l'OMS, en vue d'agir pour la « Santé pour tous » dans la Charte d'Ottawa **[64]** s'inscrit dans une vision holistique de la santé environnementale, dans laquelle on trouve les stratégies suivantes :

- **ÉTABLIR UNE POLITIQUE PUBLIQUE SAINE.** Cette stratégie inscrit la santé à l'ordre du jour des responsables politiques des divers secteurs, en créant l'intersectorialité décrite précédemment et en réorientant les services de santé entre les soins médicaux conventionnels et la promotion de la santé. Cette dernière devant permettre à plus ou moins long terme de diminuer les dépenses en soins, compte tenu du meilleur état de santé de la population. En corollaire, la responsabilité des services de promotion de la santé devrait être partagée entre les particuliers, les groupes communautaires, les professionnels de la santé, les institutions offrant les services et les gouvernements.

- **CRÉER DES MILIEUX FAVORABLES.** Cette stratégie répond à la définition de la santé environnementale.

- **RENFORCER L'ACTION COMMUNAUTAIRE.** La promotion de la santé procède de la participation effective et concrète de la communauté à la fixation des priorités, à la prise des décisions et à l'élaboration des stratégies de planification, pour atteindre un meilleur niveau de santé.

- **ACQUÉRIR DES APTITUDES PERSONNELLES.** La promotion de la santé soutient le développement individuel et social en offrant des informations, en assurant l'éducation pour la santé et en perfectionnant les aptitudes indispensables à la vie.

En promotion de la santé, le concept de salutogénèse **[65]** décrit comment les personnes restent en bonne santé, en suivant la définition du continuum santé-maladie dans lequel l'état de santé et l'état de maladie ne peuvent pas être dissociés et qu'une dynamique les relie. Il ne s'agit plus d'états figés mais d'un équilibre entre les deux pôles du continuum (parfaite santé jusqu'à la maladie au stade ultime). La **Figure 11** illustre ce concept dans un schéma holistique qui intègre la vision classique « pathogène » en santé (prépondérante actuellement) et la vision « salutogène » sur laquelle appuyer la mise en place de la charte d'Ottawa, décrite précédemment. Le concept de salutogénèse[20] couvre toutes les actions possibles au travers des deux niveaux décrits pour générer de la santé :

- celui des ressources générales de santé d'ordre biologique, cognitive, émotionnelle, sociale, culturelle et éthique.

- celui de la ressource principale qui a à voir avec le « sens de la cohérence » que chaque individu peut exprimer, avec plus ou moins de force.

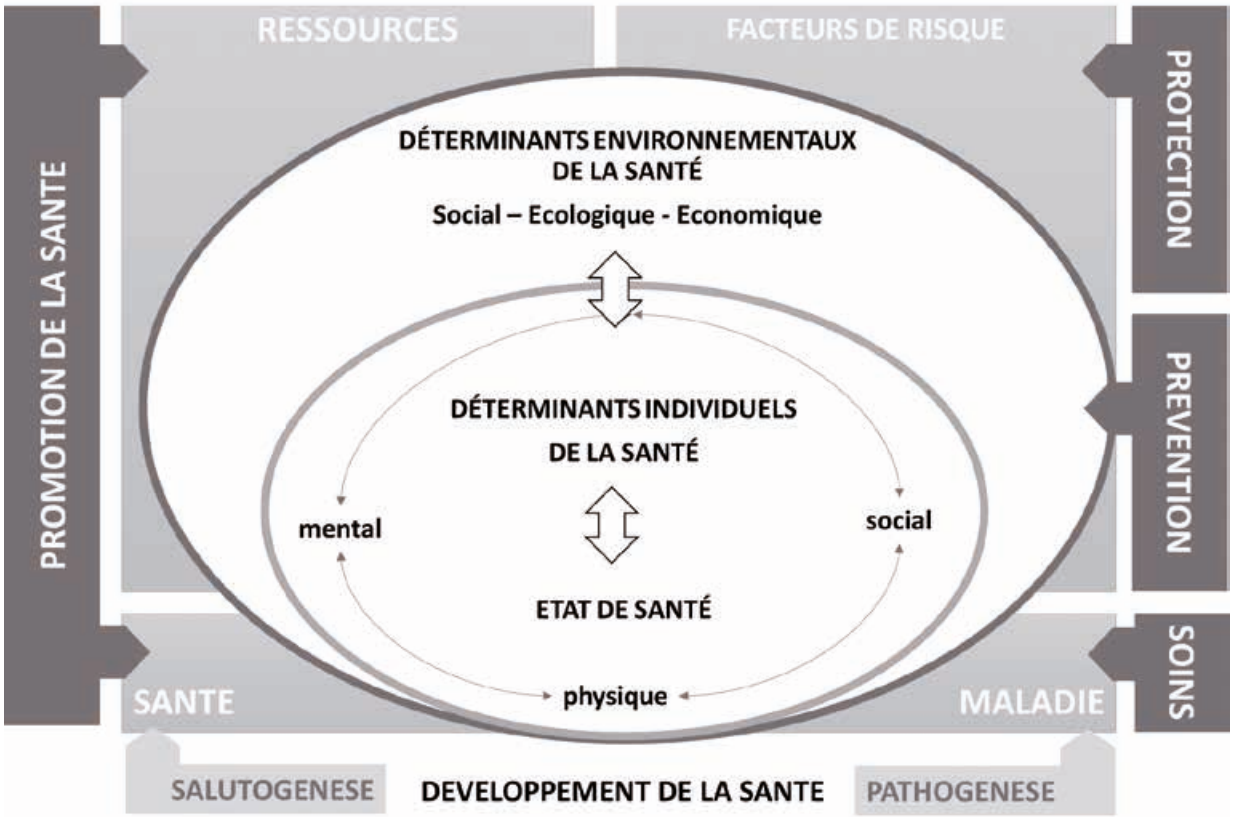


Figure 11 : *Modèle de développement de la santé (65).*

20 • HEDEX (Health, Endocrine Disruptors, EXposome), INSERM CIC1402, Université de Poitiers.

Les actions envers la population qui vont non seulement être bénéfiques pour lutter contre le changement climatique mais aussi pour la santé des populations, appelées co-bénéfices sont des exemples d'actions salutogènes **[3] [66] [67]**.

CO-BÉNÉFICES DÉJÀ MIS EN PLACE EN NOUVELLE-AQUITAINE :

La réduction des kilomètres parcourus en véhicules à moteur au profit de la marche, du vélo et même des transports en commun (car nécessite de la marche, et mutualise les déplacements) non seulement augmente l'activité physique et réduit les risques de maladies chroniques, mais réduit aussi les émissions de gaz à effet de serre **[41].** En Nouvelle-Aquitaine, les résultats d'une étude menée par l'INSEE en 2015, montrent que des marges de progrès sont encore largement envisageables dans ces domaines. En effet, seuls 2 % des actifs utilisent le vélo comme mode de transport principal pour leurs déplacements domicile-travail, la Gironde et la Charente-Maritime ayant les taux d'utilisation les plus élevés de la région. Le recours à la mobilité dite douce (vélo, marche, trottinette, rollers…) est plus faible en Nouvelle-Aquitaine qu'ailleurs en province (6,7 % contre 8,1 %), principalement en raison du moindre recours à la marche (4,7 % contre 6,1 %) **[12]**. Cependant, la ville de La Rochelle fait figure de ville pionnière en la matière puisque depuis 1971, cette ville s'est donnée les moyens d'une analyse régulière de la qualité de l'air de son centre-ville. La ville a en effet créé en 1970, un des premiers « secteurs sauvegardés »[21] en France, puis en 1975, le premier secteur piétonnier de France avec sept rues regroupées, et ont mis à la disposition du public, en libre-service, des vélos jaunes. D'autres mesures s'en suivront comme l'instauration de la première journée sans voiture le 9 septembre 1997. Cette journée est devenue mondiale dès 1998 et fixée au 22 septembre **[69]**. Cet exemple montre bien que de telles dynamiques s'inscrivent dans la durée et qu'elles peuvent servir de modèles de façon plus large pour la région Nouvelle-Aquitaine.

PRINCIPES D'ACTIONS À AMPLIFIER EN NOUVELLE-AQUITAINE :

La complexité des interrelations entre les déterminants de la santé ne permet pas de lister de façon exhaustive et sectorielle les actions salutogènes. Dans la mesure où la santé traverse tous les cadres et les niveaux temporels de vie de la population, il faudra veiller à ne pas générer de nouveaux risques : par exemple l'aménagement d'un espace dédié et protégé pour la mobilité douce, afin d'éviter l'apparition d'un risque d'accidentologie. Sont proposés ci-après quelques principes d'actions à amplifier en Nouvelle-Aquitaine.

FAVORISER LES LIENS SOCIAUX

Il est aujourd'hui démontré que de bonnes relations interpersonnelles ont des effets positifs sur la santé. Le lien social contribue à donner aux individus les ressources affectives et pratiques dont ils ont besoin. L'appartenance à un réseau de relations et de soutien mutuel donne le sentiment d'être reconnu, aimé et apprécié, ce qui a un effet particulièrement protecteur sur la santé. Les normes sociales d'un groupe et/ou le soutien social peuvent permettre d'adopter un comportement plus favorable à la santé **[70] [71]**. Ainsi, l'efficacité du plan canicule repose en grande partie sur l'existence d'un réseau local de solidarité **[10]**. Parents, amis, voisins mais également gardiens d'immeubles, associations, services de soins et d'aide à domicile sont sollicités. En période de grand froid, les campagnes d'information intègrent des messages de solidarité comme *« Si je remarque une personne sans abri ou en difficulté dans la rue, j'appelle le 115 ».* La participation aux activités sociales profite de façon très nette à la santé des personnes en situation socio-économique défavorable **[72]**. La mobilité douce et les espaces verts favorisent les liens sociaux, le dialogue et donc les échanges entre personnes **[73]**. Le lien social « en situation » est donc une stratégie à développer pour favoriser la santé environnementale.

FAVORISER LE CONTACT AVEC LA NATURE

L'effet bénéfique du contact avec la nature est en complète cohérence avec le concept Homme-Terre décrit dans ce chapitre (paragraphe 4). C'est pourquoi, l'éducation à l'environnement (avec le sens de « nature ») est indispensable pour construire et fonder le lien de l'enfant (puis de l'Homme) à l'univers. La Nouvelle-Aquitaine est forte de nombreuses associations et organismes d'éducation à l'environnement tout autant que d'éducation à la santé, qui se sont largement mobilisés pour la préparation du PRSE3 pour travailler ensemble sur le terrain[22].

21 • Le Secteur Sauvegardé est une mesure de protection sur un territoire présentant un fort caractère historique, patrimonial justifiant sa conservation et sa mise en valeur. Il est instauré par la loi Malraux du 4 août 1962. Il est couvert par un règlement d'urbanisme spécifique.

*22 • **www.santeenvironnement-aquitaine.fr***

Il reste à imaginer comment nouer un lien entre les générations, pour transmettre et donc préserver la mémoire, comme le chapitre Histoire le préconise. Au-delà de cette éducation, de nombreuses études scientifiques montrent que la nature peut être considérée comme une thérapie innovante, qui utilise des méthodes créatives dans lesquelles la nature se comporte comme un partenaire dans le processus **[74] [75]**. Finalement, la nature est salutogène pour quiconque dans tous les cadres de vie : loisirs, travail, écoles et universités, cadre de vie urbain, familial… En milieu rural, une réflexion en faveur d'une agriculture « salutogène » devient indispensable **[65]**. Dans les villes, la création d'espaces verts améliore la qualité de l'air, fournit des lieux d'activité physique mais contribue également à une amélioration de la santé perçue, c'est-à-dire l'état de santé ressenti par l'individu mais aussi de son bien-être **[76]**.

FAVORISER L'INTER-SECTORIALITÉ POUR REMETTRE LA SANTÉ AU CŒUR DES ENJEUX SOCIÉTAUX

Comme le préconisait l'OMS lors de la huitième conférence sur la promotion de la santé en 2013, afin de réduire les inégalités sociales de santé, il est essentiel que « la santé soit dans toutes les politiques » **[77]**. Cette dynamique passe par l'organisation de débats mobilisant élus, citoyens, associations, entreprises, professionnels de tous secteurs afin de réfléchir à la mise en œuvre d'actions locales, de systématiser les retours d'expériences, de développer des offres de formation et d'éducation des jeunes publics à la santé environnementale, mais aussi des professionnels de l'éducation, de la santé, de l'agriculture, de l'urbanisme et tous les professionnels qui doivent prendre conscience des enjeux. (**ENCADRÉ 7**).

ENCADRÉ 7 : ÉDUCATION EN SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

L'éducation en santé environnementale vise à augmenter la capacité des individus à s'approprier les savoirs et à modifier leur prise de conscience de l'impact de leur environnement sur leur santé. Elle devra s'interroger sur les questions éthiques de bienfaisance, non-malfaisance, autonomie et justice sociale. Elle fera prendre conscience au citoyen de la nécessité d'inclure la santé dans les décisions environnementales. Elle s'interrogera sur les moyens à proscrire, notamment les discours alarmistes qui génèrent la peur en l'utilisant comme levier de mise en action sur l'individu, ou à l'inverse les discours infantilisants qui visent à rassurer sur un mode paternaliste. Enfin, elle tentera de ne pas aggraver les inégalités sociales de santé par des actions mal ciblées ou mal adaptées.

Elle devra être menée tant auprès des citoyens, des décideurs et des professionnels en inter-sectorialité, en privilégiant un discours basé sur l'impact d'environnements favorables à la santé.

FAVORISER L'INTERDISCIPLINARITÉ

Au regard de la complexité des interactions entre les déterminants de la santé, et de l'approche holistique de la santé environnementale, les recherches doivent s'inscrire dans un cadre interdisciplinaire, c'est-à-dire qui vise l'interaction et la coopération de plusieurs disciplines autour de la santé environnementale en veillant à ce que chaque discipline dépasse son périmètre respectif et que les résultats des travaux menés ensemble ne soient pas une simple juxtaposition disciplinaire. Cette approche interdisciplinaire favorise l'innovation et la créativité, jaillissant dans les interstices disciplinaires **[84]**.

7 CONCLUSION

En conclusion le changement climatique est un révélateur du regard « autre » que l'humanité doit porter sur elle-même et l'univers, que le concept de santé environnementale (tel que présenté dans ce rapport) tente de dessiner en considérant l'Homme dans sa globalité sur le plan individuel tout autant que sur le plan universel (Homme-Terre). Einstein illustrait la nécessité du regard « autre » en ces termes *« La folie c'est de se comporter toujours de la même manière, et d'attendre un résultat différent… »,* et Hegel disait déjà *« Si la réalité est inconcevable, alors il faut forger des concepts inconcevables ».*

Qualité des milieux naturels

Limousin © Ilolab

Coordination du chapitre : **Bernard Legube**

EAU
Coordination : **Bernard Legube**
Rédacteurs : **Frédéric Montigny, Paco Bustamante, Gilles Bareille, Magalie Baudrimont, Jérôme Cachot, Gilles Guibaud, Yann Hechard, Jerôme Labanowski, Thomas Lacoue-Labarthe, Bernard Legube, Leslie Mondamert**
Contributeurs : **Hélène Budzinski, Soizic Morin, Jean Prou**

AIR
Coordination **Bernard Legube**
Rédacteurs : **Alain Gazeau, Agnès Hulin, Rafaël Bunales, Bernard Legube**
Contributeurs : **Éric Villenave**

SOL
Coordination : **Abad Chabbi**
Rédacteurs : **Olivier Atteia, Didier Bouchon, Abad Chabbi, Laurence Denaix, Bernard Legube**
Contributeurs : **Philippe Chery, Sylvain Pellerin, Cornelia Rumpel**

L'impact du changement climatique sur la qualité et la pollution des milieux est souvent négligé par rapport à d'autres impacts plus médiatisés (e.g. événements climatiques et hydrologiques extrêmes, santé, trait de côtes, disponibilité des ressources en eau…). Les eaux et l'air de Nouvelle-Aquitaine, et à moindre mesure les sols, déjà significativement pollués, subiront pourtant plusieurs détériorations significatives, qui sont présentées et discutées dans ce chapitre. Certains de ces effets sont déjà visibles et vont s'aggraver dans le contexte climatique prévu. Il s'agit principalement, pour l'eau douce superficielle, de l'augmentation de la température, de la diminution des débits des cours d'eau, de l'évolution des espèces aquatiques et du développement accru de micro-organismes de type cyanophycées, ou pour l'air, de l'augmentation de l'index pollinique et des effets néfastes croissants sur la santé publique. Bien que non réellement démontrés in situ en région, d'autres effets sont fortement prévisibles, comme la diminution de la matière organique des sols et de leur fertilité, l'augmentation des teneurs en polluants dans toutes les masses d'eau, l'augmentation de l'écotoxicité des eaux de surface et l'augmentation de la concentration en ozone dans l'air et autres composés organiques volatils et aérosols. Les travaux de recherche et études sur cette problématique au niveau régional, comme national, sont rares et/ou peu publiés. Une recherche appliquée au « terrain » de la Nouvelle-Aquitaine, sur des sites d'observation scientifiquement et économiquement sélectionnés, est indispensable pour évaluer plus clairement ces impacts du changement climatique, mais également les adaptations à préconiser et les enjeux environnementaux et socio-économiques qui en découleront.

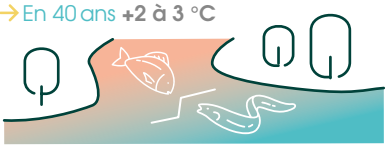
EAU

BON ÉTAT ÉCOLOGIQUE

- 36 % COURS D'EAU
- 60 % EAU SOUTERRAINE
- 15 % PLANS D'EAU
- 40 % DÉCLASSÉS PAR LES NITRATES
- 8 % EAUX DE TRANSITION

AUGMENTATION TEMPÉRATURE

→ En 40 ans +2 à 3 °C



→ -5 % d'oxygène dissous
→ Rivalités entre les espèces

BAISSE DÉBIT

→ Moins de dilution de la pollution
→ Polluants dans les sédiments

EXPLOITATION INTENSE DES EAUX SOUTERRAINES

→ Libération du stock existant de molécules mères et métabolites

BESOIN DE...

...PROTÉGER LES RESSOURCES EN EAU

- Observation du changement climatique sur la qualité des eaux
- Limiter les pollutions diffuses
- Optimiser les prélèvements
- Aménager les cours d'eau
- Réorganiser la gouvernance de l'eau
- Augmenter le niveau de collecte et d'épuration des rejets

...D'ÉTUDES SPÉCIFIQUES

... DE LA RECHERCHE APPLIQUÉE AU « TERRAIN »

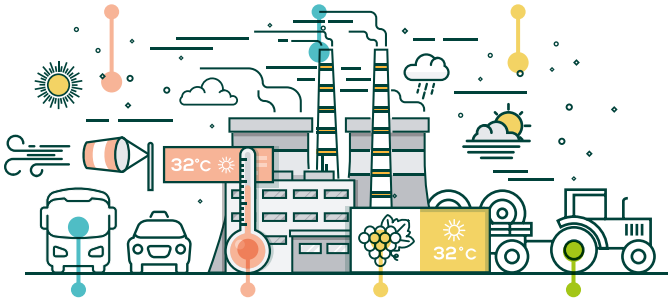
POUR MIEUX APPRÉHENDER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

et protéger la santé publique et la biodiversité

AIR

ÉPISODES DE POLLUTION : 8 JOURS CHAQUE ANNÉE

PARTICULES — GAZ À EFFET DE SERRE — POLLENS



DIOXYDE D'AZOTE — OZONE — PESTICIDES — AMMONIAQUE

Détérioration de la qualité de l'air dans les prochaines décennies.
Augmentations des teneurs en aérosols, allergènes

SOL

HAUSSE DE TEMPÉRATURE

- **PERTE DE CARBONE = SOLS MOINS FERTILE**

Augmentation de l'activité biologique
AUGMENTATION DE LA MINÉRALISATION
EFFETS SUR LE CYCLE DE L'AZOTE

- **AUGMENTATION DE LA BIODISPONIBILITÉ DES MÉTAUX**

- **AUGMENTATION DU CO_2**
  Manque de nutriments
  AZOTE et **PHOSPHORE**

- **SCÉNARIOS CLIMATIQUES FUTURS**
  Affecte les populations microbiennes = moins fertiles

1 INTRODUCTION

Les définitions et classifications qui caractérisent les milieux naturels s'appuient généralement sur deux parties : la biocénose, partie organique et vivante, et le biotope, partie minérale qui comprend la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère, supports de la biocénose et sources d'énergie. C'est l'aspect qualité du biotope et plus précisément de l'eau, de l'air et du sol dont il est principalement question dans ce chapitre.

La qualité d'un milieu peut être définie par l'aptitude de ses caractéristiques intrinsèques à pouvoir satisfaire les exigences de la biocénose ainsi que, dans le contexte de cet ouvrage, les besoins des usages anthropiques et, bien évidemment, la protection de la santé publique. Plus concrètement et dans le cadre des objectifs de ce chapitre, la qualité des trois milieux (eau, air et sol) est ici évaluée pour la Nouvelle-Aquitaine, en s'appuyant principalement sur des paramètres physico-chimiques et parfois biologiques. L'évolution visible et prévisible de cette qualité, sous le double impact des activités anthropiques et du changement climatique, constitue le cœur du chapitre. Les enjeux sont, en effet, considérables au plan de la santé publique (épisodes de pollution de l'air, pollinisation, qualité de l'eau potable et des eaux de baignade,…), des écosystèmes (migration, développement et reproduction, effet des espèces invasives, eutrophisation…), et de nombreuses activités, comme l'agriculture (stress hydrique, fertilité des sols, lutte contre les développements d'insectes et des moisissures,…), l'aquaculture, la pêche, le tourisme, etc.

Chacun des trois milieux considérés possède ses propres paramètres de qualité, qui peuvent être parfois communs. Par exemple, l'évolution de la qualité de l'air, comme celle de l'eau, est significativement influencée par la nature du sol, sa végétation naturelle et son utilisation agricole et sylvicole. Toutefois, les autres sources de pollution, particulièrement pour l'air et pour l'eau, sont trop nombreuses et trop spécifiques (transports, chauffage, industrie, assainissement domestique, production d'énergie,…) pour les aborder sous un même « chapeau ». Il a donc été choisi de présenter trois sous-chapitres avec leurs propres introductions et conclusions.

Les renvois vers d'autres chapitres de l'ouvrage sont souvent pratiqués pour les autres aspects non traités ici, concernant l'eau (disponibilité de la ressource, modification du littoral) et ses usages (santé, pêche, aquaculture, énergie, agriculture), l'air (santé, villes et territoires) et le sol (agriculture, forêts).

2 L'EAU

INTRODUCTION

La région Nouvelle-Aquitaine se caractérise par la présence de plusieurs types de ressource en eau douce de surface (cours d'eau, grands lacs, étangs, zones humides) et souterraine (nappes superficielles et profondes) ainsi que d'eaux salées et saumâtres (eaux littorales, zones humides). Leur distribution géographique est variée et inégalement répartie sur le territoire, allant des zones de tête de bassin aux exutoires en façade littorale et créant ainsi des milieux aquatiques très diversifiés[1].

Chaque masse d'eau présente une qualité naturelle unique selon les milieux naturels au contact[2], mais sa qualité globale (mesurée) est souvent influencée par une pollution[3] fonction des sollicitations anthropiques liées à l'occupation du territoire. Bien qu'exploitées par l'Homme pour répondre notamment à ses besoins alimentaires, économiques et récréatifs, ces ressources en eau sont vitales pour le milieu naturel car toute source de pollution (unique ou en mélange) peut entraîner des effets négatifs plus ou moins directs sur les écosystèmes (toxicité, déséquilibres de la chaîne alimentaire, hypoxie…). Une description non détaillée, mais instructive, de l'état qualitatif actuel des eaux naturelles en Nouvelle-Aquitaine est présentée ici, suivie de quelques observations sur l'impact déjà mesurable du changement climatique sur la qualité des cours d'eau. Les principaux effets attendus du changement climatique sont ensuite discutés, avec quelques exemples portant sur certains paramètres de qualité. Finalement les conséquences potentielles sur l'écotoxicité des masses d'eau, ainsi que sur certains usages, sont discutées.

LA QUALITÉ DES EAUX EN NOUVELLE-AQUITAINE

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE), mise en application par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), considère que l'altération d'un des paramètres de l'état du milieu, par rapport à des normes de qualité environnementale précises **[1] [2]**, peut provoquer une perturbation générale de tout l'équilibre naturel. Par suite, le bon état qualitatif d'une eau superficielle est celui qui permet une vie animale et végétale riche et variée, tandis que celui d'une eau souterraine est défini par rapport à l'usage pour l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) *(cf. Webcomplément n° 1 de l'Agence Régionale de la Biodiversité de Nouvelle-Aquitaine)*. Ce sont principalement les agences de l'eau et les agences régionales de santé qui contrôlent la qualité des eaux.

1 • Tourbières, gaves, vallées alluviales, courants côtiers, zones humides littorales, lacs et étangs, pertuis, bassins, estuaires.

2 • Qualité naturelle caractérisée par des éléments minéraux dissous, matières organiques, particules et micro-organismes. Elle est parfois un obstacle à son utilisation directe.

3 • Pollutions (i) par les macro- et micropolluants domestiques (matière organique, azote, phosphore, résidus de médicaments, cosmétiques, hormones naturelles perturbateurs endocriniens, etc.), agricoles (nitrates, pesticides) et industriels (DCO dure, métaux, HAP, PCB, dioxines, retardateurs de flamme, produits antifouling, perturbateurs endocriniens, etc.), (ii) par les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires), (iii) par des particules diverses,… qui représentent évidemment un obstacle, parfois de taille, aux usages.

UN ÉTAT DES MASSES D'EAU PLUTÔT DÉGRADÉ

L'objectif initial de bon état des eaux, fixé par la DCE, était loin d'être atteint en 2015 en Nouvelle-Aquitaine puisqu'environ 2/3 des masses d'eau présentent aujourd'hui une échéance d'atteinte du bon état reportée[4] à 2021 ou 2027 (**Figure 1**).

Les causes de ces dégradations et de déclassement du bon état sont variables suivant les secteurs : pour certains il s'agira de critères quantitatifs, pour d'autres de critères hydro-morphologiques ou qualitatifs.

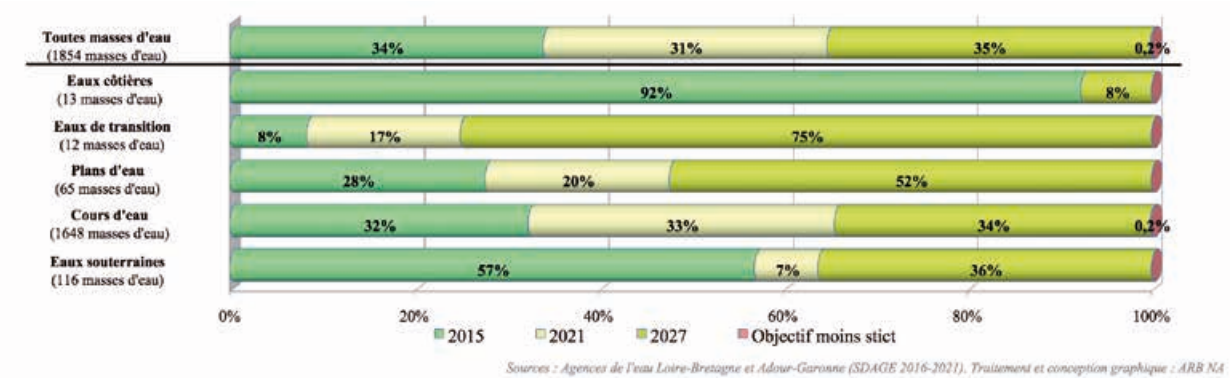


Figure 1 : *Les échéances d'atteinte du bon état des eaux définies en Nouvelle-Aquitaine par les SDAGE 2016-2021.*

LES COURS D'EAU NE SONT PAS EN BON ÉTAT

Les cours d'eau, ou masses d'eau de rivière sont majoritairement de qualité inférieure au bon état écologique (**Figure 2**). Le secteur Nord-Ouest de la Région apparaît nettement dégradé, il correspond aux sous-bassins de la Sèvre Nantaise, du Thouet (affluents aval de la Loire) et au bassin de la Sèvre Niortaise. Ceux présentant un bon état écologique correspondent essentiellement à des têtes de bassins versants, à des petits affluents ou à des cours d'eau de montagne au niveau des Pyrénées et du Massif Central. Outre les critères hydro-morphologiques, les indices biologiques sont les principaux éléments déclassant, notamment l'indice poissons pour les bassins du Nord de la Région. Les teneurs faibles en oxygène et l'excès de nutriments (azote et phosphore) sont également responsables de nombreux déclassements. D'importants progrès ont cependant été réalisés à l'échelle nationale en matière d'assainissement des eaux usées, suite à la directive européenne de 1991 relative aux eaux urbaines. C'est ainsi qu'en ex-Aquitaine par exemple, une amélioration des paramètres physico-chimiques de l'état écologique est nette depuis 30 ans.

Figure 2 : *Carte de l'état écologique des masses d'eau de surface en Nouvelle-Aquitaine (contact : ORE Poitou-Charentes, devenu Agence Régionale de la Biodiversité de Nouvelle-Aquitaine).*

4 • Ces reports ont été justifiés principalement du fait de contraintes naturelles (délais de réactions des écosystèmes et des aquifères aux actions correctrices) et techniques (technologies actuelles insuffisantes, délais de mobilisation des acteurs, ou de mise en œuvre des actions).

Pour la Nouvelle-Aquitaine, 54 % des masses d'eau de surface sont en état moyen. Seuls 36 % sont en bon (ou très bon) état écologique (en deçà de l'objectif SDAGE 2015) avec de fortes disparités :

- 3 % sur le sous-bassin des affluents du secteur aval de la Loire ;
- de 10 à 20 % sur les bassins de la Sèvre Niortaise, de la Charente et de la Garonne ;
- de 40 à 50 % sur les bassins des fleuves côtiers (Seudre, Leyre, courants landais,…), de la Dordogne, de la Vienne et de l'Adour.

Bien que l'état chimique des cours d'eau soit plutôt bon, il est important de préciser que les paramètres de qualité pris en compte pour certaines « substances prioritaires » ne sont pas toujours représentatifs des substances réellement présentes et utilisées, notamment pour les produits phytosanitaires retrouvés dans les secteurs concernés par des quasi-monocultures (vigne, arboriculture, maïs) ou en zone périurbaine. Les herbicides interdits depuis 2003 (métolachlore, atrazine et métabolites) ou depuis 2007 (sulfosate) sont toujours présents dans les eaux de surface. Le glyphosate et son métabolite AMPA sont détectés à des fréquences et niveaux très élevés *(cf. Webcomplément n° 2 de l'Agence Régionale de la Biodiversité de Nouvelle-Aquitaine)*.

Les têtes de bassin versant ont un rôle majeur pour l'aval des grands bassins versants car, au-delà de leur richesse avérée en biodiversité, elles influencent directement la quantité et la qualité de l'eau à l'aval, sans qu'à l'heure actuelle on puisse en préciser l'ampleur. L'ensemble de ces réseaux hydrographiques de la frange ouest du Massif Central en région Nouvelle-Aquitaine est réputé de bonne qualité mais souvent fragilisé par l'évolution des activités anthropiques et vraisemblablement par les évolutions climatiques **[3] [4]** *(cf. Webcomplément n° 3, de l'Université de Limoges)*. En effet, il a été montré que les biofilms épilithiques (qui se développent sur les rochers dans les masses d'eau) présentent des niveaux d'imprégnation en micropolluants organiques parfois très importants, même en tête de bassin **[5]** *(cf. Webcomplément n° 4 de l'Université de Poitiers)*. Ces biofilms peuvent être considérés comme des capteurs naturels de micropolluants et sont donc révélateurs d'une pollution chronique tout en participant probablement à sa diffusion dans les réseaux trophiques et à sa transformation.

DES CONCENTRATIONS EXCESSIVES EN NITRATES ET EN PESTICIDES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

L'état des masses d'eau souterraines (définies par la DCE) est nuancé (60 % en bon état chimique, en accord avec l'objectif 2015). Celles affleurantes qui indiquent un bon état sont localisées sur la partie Est de la Nouvelle-Aquitaine (Massif Central), au Nord-Ouest (socle des Deux-Sèvres), au Sud (Pyrénées) et sur la côte girondine à la pointe Ouest du Lot-et-Garonne. Celles dont l'état est inférieur au bon état s'étendent sur la partie centrale de la région de la Vienne en passant par les Charentes et la Dordogne jusqu'au Sud du Lot-et-Garonne ainsi que sur un secteur couvrant le Sud des Landes et le Nord des Pyrénées-Atlantiques. Les concentrations excessives en pesticides et en nitrates sont les principales causes du classement en mauvais état chimique. Les pollutions en nitrates s'étendent globalement sur l'ensemble des nappes libres.

Les concentrations moyennes en nitrates relevées dans les eaux souterraines picto-charentaises se stabilisent (autour de 29 mg/L) depuis le début des années 2000 (cf. **Figure 5**). Elles ont néanmoins significativement augmenté en 2013 et 2014, vraisemblablement du fait des précipitations importantes reçues ces années-là. Les nappes libres présentent des teneurs plus élevées (35 mg/L en moyenne de 2000 à 2014), tandis que les nappes captives sont davantage préservées (environ 10 mg/L) même si leurs teneurs augmentent d'année en année. Notons que près de 38 000 km^2 de la région sont classés en zones vulnérables aux nitrates (toutes masses d'eau), soit 45 % de sa superficie, ce qui est du même ordre de grandeur que le pourcentage concerné sur le territoire français métropolitain. C'est le Nord, principalement le Poitou-Charentes, qui est particulièrement concerné, ainsi que la partie Sud située sur le bassin Adour-Garonne, mais de manière plus éparse.

De nombreux micropolluants organiques sont présents dans les eaux souterraines de Nouvelle-Aquitaine. Les produits phytosanitaires constituent le second paramètre déclassant de l'état chimique (après les nitrates) avec la présence très majoritaire des herbicides non autorisés depuis 2003, comme l'atrazine et (surtout) ses trois principaux métabolites, ainsi que le métolachlore, la bentazone et la simazine. Pour les résidus de médicaments, ce sont la metformine, la carbamazépine et le paracétamol qui sont principalement retrouvés parmi les molécules recherchées, et pour les autres substances, la caféine, le formaldéhyde, un phtalate, les cyanures libres, le bisphénol A et les perfluoro-alcanes sulfonates **[6]**.

DES PLANS D'EAU RAREMENT EN BON ÉTAT

Les plans d'eau (tels que définis par la DCE) sont rarement en bon état écologique. Le principal facteur déclassant reste l'eutrophisation due aux excès de nutriments, en particulier de phosphore. L'état chimique (qui n'inclut pas les nutriments) est moins dégradé, certains plans d'eau présentent néanmoins des concentrations excessives (supérieures aux normes de qualité) en TBT[5] (lac du Bousquet en Gironde, retenue de Miramont-Sensacq dans les Landes) ou en cadmium (Retenue de Marèges sur la Dordogne).

5 • Tributylétain : largement utilisé comme biocide dans les peintures antisalissure pour la coque des navires notamment, puis soumis à restrictions d'usage depuis 1982 et interdit totalement à partir de 2008.

En Nouvelle-Aquitaine, seulement 15 % des plans d'eau sont en bon état écologique (bien inférieur à l'objectif SDAGE 2015), 10 % en Limousin, 14 % en Poitou-Charentes et 21 % Aquitaine. La majorité (63 %) est en état moyen. En revanche 58 % sont en bon état chimique (37 % restent indéterminés faute de mesures suffisantes).

D'autre part, en Limousin notamment, la forte densité de petits étangs artificiels (non reconnus comme masses d'eau DCE[6]) peut induire des modifications hydro-morphologiques et altérer la qualité des milieux aquatiques : altération ou disparition de certaines zones humides, modification de l'équilibre biologique, piège à sédiment et à nutriments, problématiques d'eutrophisation et de cyanobactéries, entrave à la libre circulation des poissons, etc.

DES EAUX LITTORALES D'ÉTAT TRÈS VARIABLE

Les masses d'eau côtière sont pour la plupart en bon état écologique et chimique : côtes girondines, landaise, basque, îles de Ré et Oléron, Arcachon… Seul le lac d'Hossegor est classé en mauvais état chimique.

Les masses d'eau de transition, correspondant aux estuaires et embouchures des principaux fleuves de la Nouvelle-Aquitaine sont en situation nettement moins favorable. La plupart sont dans un état inférieur au bon état écologique (déclassée par l'indice poissons) et sont majoritairement classées en état médiocre, notamment au Sud par exemple pour les estuaires de l'Adour et de la Gironde. Ce dernier a la particularité de présenter un bouchon vaseux intense et développé, générant des épisodes graves d'anoxie et concentrant les polluants. L'état chimique de ces masses d'eau de transition est également dégradé. Les concentrations supérieures aux normes de qualité en TBT sont responsables du mauvais état chimique des estuaires de l'Adour, de la Bidassoa et de la Gironde (également contaminé par le cadmium). Le secteur aval de l'estuaire fluvial de la Garonne est, quant à lui, déclassé en raison des teneurs en hydrocarbures.

Pour la Nouvelle-Aquitaine, presque toutes les eaux côtières sont en bon état écologique (dont 23 % en très bon état), alors que ce n'est seulement le cas pour 8 % des eaux de transition. Les pourcentages de bon état chimique sont dans la même proportion : 92 % pour les eaux côtières et 25 % pour les eaux de transition
(avec 33 % d'indétermination dans ce dernier cas).

La contamination des archives sédimentaires des fleuves alimentant les bassins côtiers, bien que peu prise en compte dans la classification des états écologiques et chimiques, devrait être plus suivie, comme l'ont montré des études récentes sur la contamination par les résidus de médicaments des sédiments fluviaux des pertuis de Marennes-Oléron *(cf. Webcomplément n° 5 de l'Université de Poitiers).*

LES IMPACTS DÉJÀ VISIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE

Analyser les impacts déjà visibles du changement climatique sur la qualité des eaux de surface ne peut aujourd'hui raisonnablement porter que sur des paramètres globaux comme la température, voire la salinité pour les eaux de transition. L'acidification de l'eau de mer, donc des eaux littorales, est un autre indicateur significatif avec des impacts manifestes sur les organismes marins notamment. Les observations sur d'autres paramètres et/ou sur la qualité des eaux souterraines sont difficilement exploitables à cause des interférences liées à l'évolution des usages, des pratiques et des politiques de prévention, ainsi que de la durée de leurs effets.

La température des grands cours d'eau est essentiellement contrôlée par les conditions atmosphériques alors que celle des petits et moyens cours d'eau peut dépendre des conditions géographiques et géomorphologiques au niveau de la station de mesure et en amont de celle-ci **[8]**. Par ailleurs, une fréquence trop faible des mesures peut fausser les moyennes, compte tenu de l'importance et de la rapidité de certaines variations. Malgré ces sources d'erreur, il est constaté en Nouvelle-Aquitaine une augmentation de la température moyenne des eaux de surface depuis ces 30 à 40 dernières années. Par exemple, une analyse des données de « température moyenne annuelle de l'eau » de 3 stations de mesure sélectionnées7 dans le nord de la région, montre une tendance à l'augmentation de 1 à 1,5 °C au cours d'une période de 43 ans, soit une moyenne de 0,023 à 0,035 °C par année (**Figure 3**). Cette tendance est en accord avec les récentes études sur le bassin de la Loire **[8]** qui prévoient 2 à 3 °C d'augmentation de la température moyenne annuelle des cours d'eau en fin de siècle. Un autre exemple est celui de l'estuaire de la Gironde8 pour lequel une élévation de 0,07 à 0,08 °C (moyenne de mai à novembre) par année a été constaté au cours des 35 dernières années (**Figure 4**) **[9]**, c'est-à-dire bien plus importante.

6 • La directive-cadre sur l'eau indique un seuil minimum de 50 hectares au-dessus duquel tout plan d'eau constitue une masse d'eau.

7 • Les stations ont été sélectionnées de façon à ce que les impacts sur la température des usages, rejets des villes et autres activités soient considérés comme négligeables.

8 • À noter (i) que la station prise en compte figure 4 est sous l'influence des rejets (thermiques) de la centrale nucléaire du Blayais, mais qui peuvent être considérés comme sensiblement constants et (ii) que les températures moyennes annuelles sont surévaluées car 3 mois d'hiver ne sont pas échantillonnés.

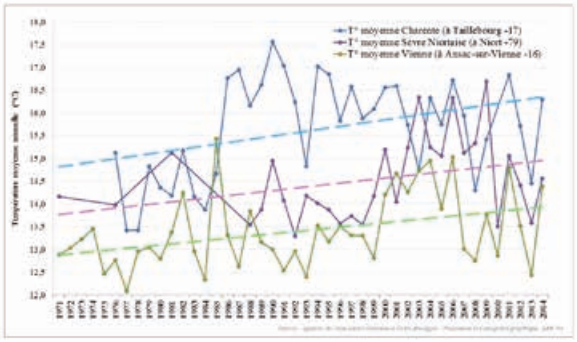


Figure 3 : *Évolution de la température de l'eau au cours de la période 1971-2014 pour 3 cours d'eau du nord de la Nouvelle Aquitaine (valeurs : moyenne annuelle ; pointillés : régression linéaire).*

Critères de sélection des 3 stations parmi une centaine de stations de 6 cours d'eau : importance du cours d'eau, disponibilité des données, influence négligeable des impacts anthropiques - Moyennes annuelles réalisées à partir des données d'évaluation de la qualité des eaux des Agences de l'Eau (fréquence d'échantillonnage d'une mesure mensuelle environ).

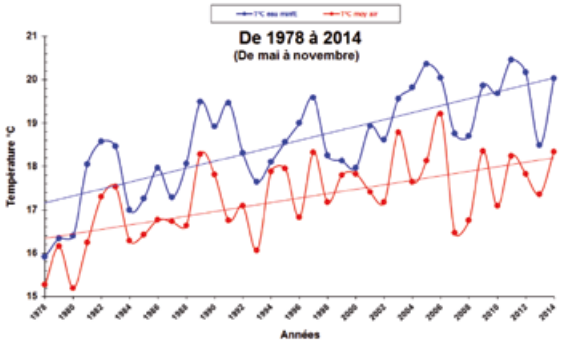


Figure 4 : *Évolution relative des températures de l'eau et de l'air au cours de la période 1971-2014 au niveau de Blaye dans l'estuaire de la Gironde (période Mai-Novembre).*

Pour la salinité, les prélèvements d'eau en général (qui sont peut-être pour partie eux-mêmes des effets indirects du changement climatique) et les variabilités interannuelles des précipitations ne permettent pas de mettre clairement en évidence l'effet direct du changement climatique sur ce paramètre de qualité. Autrement dit, les zones de transition et côtières cumulent des effets directs et indirects sans pouvoir clairement les séparer. Toutefois, certaines observations sur les trajectoires des écosystèmes[9] peuvent constituer des indicateurs révélateurs de l'augmentation de la salinité dans les eaux littorales (couplées souvent à l'augmentation de la température). C'est ainsi que pour l'estuaire de la Gironde (entre Pauillac et Blaye), les densités respectives de populations d'éperlan et d'anchois s'inversent régulièrement, depuis les 30 dernières années, au profit de l'anchois **[10]** et qu'il est observé des modifications du zooplancton **[11].**

Les autres paramètres ne sont pas exploitables et il est nécessaire dès aujourd'hui de sélectionner des zones qui semblent être essentiellement dépendantes du changement climatique pour analyser les données physico-chimiques et biologiques censées en mesurer les effets qualitatifs. C'est une des questions centrales qui restent à résoudre pour suivre les impacts du changement climatique sur la qualité des eaux.

LES IMPACTS PRÉVISIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA QUALITÉ DES EAUX EN RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE

La quantité disponible en eau douce et sa qualité sont globalement affaiblies par l'activité humaine (usages domestiques, agricole, industriel, énergétique, etc.). Les impacts du changement climatique ne peuvent qu'amplifier ces faiblesses déjà très importantes en région, comme décrit ci-dessus. La Nouvelle-Aquitaine est l'une des régions françaises qui sera la plus impactée, dès l'horizon 2050, (i) par la baisse du débit des cours d'eau avec des étiages et des assecs plus sévères qu'aujourd'hui et des précipitations pluvieuses ponctuellement plus importantes, (ii) par l'augmentation de la température des eaux de surface, (iii) par une baisse significative de la recharge des nappes de surface dans certaines zones[9] et (iv) par une élévation importante du niveau de l'océan. Autant d'impacts qui posent inévitablement les questions de la satisfaction des différents usages et des difficultés (encore plus importantes qu'aujourd'hui) à atteindre les normes de qualité environnementales, voire la question de la pertinence de ces dernières. Ce paragraphe résume les principaux effets attendus, en général et en les illustrant par des études sur certaines classes de paramètres de qualité, puis décline les conséquences potentielles sur l'écotoxicité des eaux de surface. Cependant, les changements des « moteurs » des pressions anthropiques (évolutions de la démographie et des habitudes de vie associées, orientions du développement économique, politiques d'aménagement du territoire, etc.) indirectement liés au climat, ne seront pas abordés ici. Bien que leurs incidences soient indéniables, notamment sur la qualité des ressources en eau, elles sont très complexes et trop liées aux adaptations spontanées, ainsi qu'à l'évolution des perceptions de la valeur des écosystèmes, de la protection de l'environnement et de la nécessité de développement durable.

9 • *Comme, par exemple, les évolutions comparées des espèces de poissons anadromes (poissons de mer se reproduisant en eau douce) et des poissons marins.*

LES PRINCIPAUX EFFETS DIRECTS ATTENDUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA QUALITÉ DES EAUX EN NOUVELLE-AQUITAINE

Les principaux effets directs sont les conséquences de l'évolution des cycles hydrologiques des ressources (débits et niveaux), de l'augmentation de la température du couple eau/sol et, pour la zone littorale, de l'augmentation de la salinité dues aux submersions (même temporaires) par l'eau de mer.

La tendance à la diminution des débits des cours d'eau va accentuer évidemment les problèmes de concentrations en polluants des milieux aquatiques, par effet de moindre dilution. À épuration et volumes constants des rejets, les concentrations en macro-polluants et micropolluants minéraux et organiques seront inévitablement augmentées dans les eaux superficielles, milieux récepteurs habituels des stations d'épuration des eaux usées et autres rejets.

La modification des cycles hydrologiques aura également des conséquences sur les pollutions diffuses. Les événements climatiques extrêmes entraîneront sans doute une remobilisation plus importante dans les eaux souterraines des polluants venant du sol (source importante de stockage de nitrates, pesticides et métaux), des lessivages plus importants de polluants atmosphériques déposés, une augmentation des matières en suspension « contaminées » et, probablement, des remobilisations des contaminants piégés dans les sédiments et autres milieux en contact avec les eaux.

L'augmentation de la température des eaux superficielles, parfois de près de deux degrés à l'horizon 2050 (*cf.* ci-dessus pour l'estuaire de la Gironde), entraînera une baisse de l'ordre de 3 à 5 % de la teneur en oxygène, composant fondamental pour la vie des écosystèmes, pour une bonne auto épuration et la limitation de l'eutrophisation. L'augmentation de la température des eaux et du sol, associée à des changements importants des cycles et régimes des précipitations, contribuera à accélérer la remobilisation plus importante des polluants venant du sol vers les nappes (nitrates, pesticides, métaux), ainsi qu'à amplifier les processus d'humification eau/sol, se traduisant par une remobilisation plus importante, sous forme dissoute, du carbone organique, de l'azote et du phosphore. Cette augmentation de la température aura aussi un impact sur les populations microbiennes, bien que mal évalué à ce jour, comme l'érosion de la biodiversité et l'augmentation de la vulnérabilité des communautés de microalgues indigènes, ainsi que la prolifération des micro-organismes pathogènes[10] et des cyanobactéries avec leurs risques de production de toxines associées.

Ce dernier phénomène est d'ailleurs régulièrement observé en période d'eau chaude dû à la diminution d'oxygène dissous et l'augmentation des concentrations en nutriments. Il faut noter à ce sujet que différentes approches de modélisation de l'évolution de la température des cours d'eau des bassins versants de la région doivent continuer à être développées. Si l'approche de modélisation « stationnelle », généralement utilisée, montre de bonnes capacités à simuler le régime thermique des grands cours d'eau, d'autres approches visant à prendre en compte l'influence des apports thermiques de chaque affluent et des eaux souterraines, les rejets des barrages, les effets des zones d'ombrage, etc. doivent être améliorées, notamment pour les petits et moyens cours d'eau **[8]**.

Certains effets supplémentaires mais parfois ambigus du changement climatique sur la qualité des eaux peuvent être mentionnés avec précaution toutefois. Sous l'effet de l'augmentation de la température de l'eau de nombreux processus naturels physico-chimiques et biologiques seront pour certains légèrement, mais significativement, augmentés et/ou accélérés (solubilité des micropolluants organiques et minéraux, réactions d'hydrolyse, photolyse, désorption, complexation, biodégradation, coagulation, sédimentation), ou diminués et/ou ralentis pour d'autres (sorption, solubilité des gaz,…). Par exemple, les augmentations de la température et de l'intensité des rayonnements UV-B reçus par les eaux superficielles **[12] [13]** pourront favoriser les réactions de dégradation des contaminants organiques, avec toutefois une formation accrue de métabolites et de photo-produits dont les effets sur les écosystèmes sont loin d'être vraiment connus. Les augmentations de la salinité et de l'acidification des eaux littorales et des eaux de transition vont, par contre, diminuer la solubilité des micropolluants organiques et minéraux, mais augmenter le caractère écotoxique en général, notamment vis-à-vis des organismes peuplant les eaux de transition.

QUELQUES EXEMPLES DE PRÉVISIONS (EN ABSENCE D'ADAPTATION), BASÉES SUR DES OBSERVATIONS ET TRAVAUX RÉCENTS

Les teneurs en matière organique dissoute (MOD) vont s'accroître. Les MOD, principalement naturelles, ont une influence non négligeable sur la qualité de l'eau (pH, spéciation des contaminants chimiques, eutrophisation). Quelle que soit l'origine de ces MOD[11], elles seront toutes impactées par le changement climatique, directement ou non **[14] [15] [16]**. L'augmentation des processus d'humification par la température, le volume des pluies, le changement des radiations UV (*i.e.* solubilisation d'une partie de

10 • Un travail a été fait en Aveyron (région voisine) qui montre cette réduction de la diversité en cas de températures extrêmes (canicule de 2003) vs autres années, pour des communautés soumises ou non à la pression toxique (contamination polymétallique des cours d'eau du bassin versant de Decazeville). Morin et al. "Cumulative Stressors Trigger Increased Vulnerability of Diatom Communities to Additional Disturbances." Microbial Ecology 70 (2015): 585-595.

11 • Origine naturelle allochtone (e.g. lessivage des sols), naturelle autochtone (e.g. décomposition des micro-organismes aquatiques), anthropique (e.g. rejets de stations d'épuration).

la matière organique venant notamment des sols), ainsi que l'amplification des processus d'eutrophisation (*i.e.* MOD issue de la décomposition des algues au-dessous de l'épilimnion) seront les causes principales de l'augmentation des teneurs en MOD dans les eaux.

Cette augmentation, en Nouvelle-Aquitaine comme ailleurs, aura des impacts importants sur la qualité des eaux superficielles avec des conséquences sur les écosystèmes et sur l'usage domestique[12].

Les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines pourraient augmenter. C'est le Nord-Ouest de la Nouvelle-Aquitaine qui est le plus impacté par la pollution par les nitrates dans les eaux souterraines (paramètre de l'état chimique le plus souvent déclassant).

La mise en œuvre en 1991 de la « directive nitrates » a eu un effet de baisse ou de stabilisation des teneurs observées selon les régions françaises. Depuis quelques années il est constaté, notamment en Poitou-Charentes, une nouvelle accélération de ce type de pollution qui rappelle celle de la fin des années quatre-vingt, bien que le nombre de stations de contrôle considérées était nettement plus faible (**Figure 5**). Est-ce un effet d'une augmentation temporairement exceptionnelle (et connue) des précipitations et/ou un effet du changement climatique ?

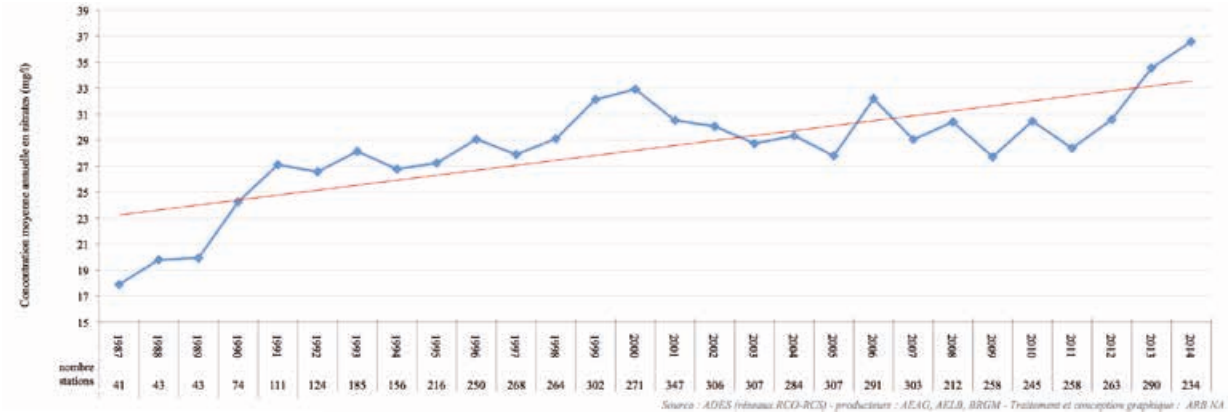


Figure 5 : *Évolution de la concentration en nitrates dans les eaux souterraines de Poitou-Charentes, de 1987 à 2014.*

Il ne faut pas oublier que si les engrais sont d'une importance capitale pour soutenir l'agriculture moderne, le devenir et le risque à long terme de l'azote dérivé des engrais dans le système plante-sol-eau n'est pas entièrement compris. De récentes études **[17]** ont révélé que trois décennies après l'application, 12 à 15 % des dérivés azotés d'engrais (marqués isotopiquement) résidaient encore dans la matière organique du sol, tandis que 8 à 12 % avaient déjà été entraînés vers les eaux souterraines et qu'une partie du reste, résidant encore dans le sol, devrait continuer à être absorbé par les cultures et à fuir vers les eaux souterraines sous forme de nitrate pendant au moins cinq décennies, bien plus longtemps qu'on ne le pensait auparavant.

Que deviendront les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les eaux de surface ? Les métaux constituent une source majeure de la pollution minérale des milieux aquatiques. Non synthétiques et indestructibles, beaucoup sont toxiques (notamment ceux considérés comme prioritaires par la DCE) et certains connaissent une émergence due aux nouvelles technologies (*e.g.* nanoparticules métalliques) **[18]**.

Bien que leurs concentrations dans les eaux naturelles diminuent généralement depuis le début des années quatre-vingt par la réhabilitation des sites contaminés, le changement climatique jouera probablement un rôle très important sur leur transport (érosion des sols et sédiments, transport vers le milieu marin) et sur les évolutions des gradients biogéochimiques (redox, pH, salinité, température, teneurs en carbone organique, phénomènes microbiens), conduisant à une remise en suspension et un relargage dans les systèmes aquatiques **[18 à 23]** *(cf. Webcomplément n° 6 de l'Université de Bordeaux)*. Les changements dans le régime hydrologique, comme la réduction des apports en neige, l'apparition d'événements pluvieux extrêmes, les périodes de sécheresse prolongée sont également susceptibles de modifier les écoulements souterrains au niveau des anciens sites miniers et/ou de stockage, avec le doute sur la capacité « tampon » de ces fluctuations par les processus biogéochimiques **[24]** *(cf. Webcomplément n° 7 de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour)*.

Les concentrations en micropolluants organiques augmenteront probablement. Les impacts du changement climatique (décrits ci-dessus) seront très va-

12 • En « potabilisation » des eaux, la MOD est source de nombreux problèmes, comme la présence de couleur, la consommation de réactifs de traitement, la formation de sous-produits de chloration potentiellement cancérigènes, le colmatage des membranes, etc.

riables selon que les micropolluants organiques sont classés comme persistants (POP) ou non (pesticides, résidus de médicaments, détergents…).

Les POP subiront certains effets positifs du changement climatique (volatilisation, photo-dégradation), mais les modifications des cycles hydrologiques et l'élévation de la température de l'air conduiront à une augmentation des apports humides en POP provenant des anciens stocks, entre autres des sédiments (par les crues) et des glaciers (par la fonte) **[25 à 27].**

Les présences « massives » des herbicides « interdits » et de leurs métabolites connus dans les eaux de Nouvelle-Aquitaine révèlent, d'une part, de la présence d'un grand stock dans les sols et, d'autre part, de l'importance des réactions naturelles de transformations biologiques et abiotiques. Ces réactions de déstockage et de transformation/métabolisation seront sans doute amplifiées par l'augmentation de la température et par l'intensification des précipitations ponctuelles, comme déjà démontrées par certains travaux **[28 à 31]**.

Le risque de développements microbiologiques et de phytoplancton est-il avéré ? Le développement d'espèces phyto-planctoniques et de cyanobactéries (émettant pour certaines des toxines) a été très souvent constaté quand la température et la macropollution (carbone, azote, phosphore) de l'eau augmentent, notamment pour les plans d'eau, mais aussi pour les cours d'eau. L'augmentation de la température liée au changement climatique aura donc nécessairement un impact sur la fréquence et l'intensité du développement du phytoplancton en général et des cyanobactéries en particulier **[32]**. Il en sera probablement de même pour l'ensemble des micro-organismes indésirables (développement, transmission, virulence des pathogènes pour l'Homme), dans l'eau douce comme dans l'eau de mer, accompagné de l'émergence de certains micro-organismes pathogènes allogènes, notamment tropicaux. L'augmentation possible de la fréquence des tempêtes et des épisodes d'immersion favorisera également ces phénomènes, particulièrement par entraînement et libération de nutriments supplémentaires.

LES CONSÉQUENCES SUR LES RISQUES ÉCOLOGIQUES ET SANITAIRES

Il s'agit ici de présenter principalement les effets du changement climatique sur l'écotoxicité des eaux, donc de discuter le risque écologique. La partie « impacts sur la santé » est décrite dans un autre chapitre de l'ouvrage et est simplement résumée ici aux risques microbiologiques.

GÉNÉRALITÉS SUR LA TOXICITÉ DES EAUX

La toxicité des eaux, comme celle d'autres milieux, est principalement évaluée au regard de ses implications sur les risques sanitaires (toxicologie humaine) et écologiques (écotoxicologie). Ce sont de très nombreuses données (bio-essais, expérimentations sur mammifères) qui permettent de définir des valeurs guides toxicologiques (VTR[13], PNEC[14], MAC[15]…), conduisant ensuite, par extrapolation (voire à l'aide d'études épidémiologiques), à des normes diverses comme, par exemple, les normes de qualité environnementale des eaux de surface douces et marines (NQE), les valeurs seuils pour les eaux souterraines, les limites et références de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine **[1] [2].**

Les valeurs guides d'écotoxicité dépendent du *biote* étudié (algues, invertébrés, poissons, mammifères), des effets toxiques recherchés (toxicité directe aiguë ou chronique, toxicité par empoisonnement secondaire) et de l'existence ou non de relation dose/effet (valeur seuil ou probabilité), etc. Il n'est pas possible ici de donner la liste de ces valeurs et leurs significations qui sont largement décrite dans la littérature spécialisée [*e.g.* 2]. Il est toutefois important de noter **[32]** que les mécanismes de prise en charge des polluants par les organismes aquatiques, et par conséquent leurs effets potentiels, vont fortement dépendre de la structure chimique des molécules potentiellement toxiques (taille, polarité, liposolubilité…) et de leur spéciation (donc de leur biodisponibilité), des voies d'exposition et des barrières biologiques concernées (épithélium branchial, revêtement cutané, tractus digestif…), des organismes biologiques étudiés et de leurs capacités de métabolisation ou d'élimination.

LES INCIDENCES PRÉVISIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOTOXICITÉ

Les incidences du changement climatique sur l'écotoxicité sont complexes car multifactorielles. Toutefois, une augmentation probable de la pollution (en absence d'adaptation) couplée à une amplification certaine de plusieurs moteurs réactionnels naturels comme l'augmentation de la température et de la salinité des eaux douces de surface ou l'acidification des océans, accroîtront globalement l'écotoxicité des milieux.

13 • D'après l'ANSES, « une VTR (valeur toxicologique de référence) est un indice toxicologique qui permet, par comparaison avec l'exposition, de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine ». Elles sont largement utilisées dans la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires.

14 • La « Predicted No Effect Concentration - PNEC » est la plus forte concentration d'une substance, sans risque chronique pour l'environnement. C'est donc une estimation de norme de qualité pour la colonne d'eau (douce ou marine) vis-à-vis du polluant considéré. La notion de PNEC est également appliquée aux sédiments et aux sols.

15 • La « Maximum Acceptable Concentration - MAC » correspond à une concentration de polluant admissible mais sur de courtes durées, par exemple lors de pics de pollution.

La présomption d'augmentation des concentrations en contaminants dans les eaux superficielles, pouvant atteindre ou dépasser les valeurs des « PNEC », induira une augmentation du potentiel écotoxique de ces eaux.

On rappelle rapidement ici certains de ces effets : augmentation des matières en suspension et des composés hydrophobes associés lors des crues, diminution de la dilution en régime d'étiage, alternances sécheresses-précipitations en lien avec l'érosion des sols des bassins versants, phénomènes d'hypoxie plus fréquents impactant entre autres la toxicité due aux éléments traces métalliques… Pour les micropolluants organiques, présents aux différentes échelles d'organisation biologique et trophique, certains sont bioaccumulables (les POP en particulier), d'autres peuvent générer des effets (directement ou après biotransformation) sur le vivant sans nécessairement être accumulés. Les pesticides, par exemple, peuvent impacter la composante végétale aquatique **[33]** et avoir des effets vis-à-vis d'autres organismes (herbicides sur les algues, insecticides sur les poissons). Pour les éléments traces métalliques, c'est toute la chaîne écologique, du phytoplancton aux niveaux d'organisation supérieurs qui est impactée par des effets toxiques divers, ce qui pose donc la question à court terme de la pérennisation de la consommation de la ressource biologique aquatique.

L'amplification des « moteurs » des réactions abiotiques et biotiques modifiera certains mécanismes de toxicité. Les élévations de la température, de la salinité, des teneurs en matières organiques dissoutes et matières en suspension influeront directement sur la spéciation des contaminants et donc sur leur transfert intercompartiments environnementaux. On peut s'attendre à une augmentation de la biodisponibilité et de la toxicité, en parallèle de l'amplification de ces « moteurs réactionnels » naturels par effet du changement climatique. Pour les pesticides, par exemple, de nombreux travaux ont montré l'augmentation de leur toxicité avec une élévation de la température **[34 à 36]** et de la salinité **[37] [38]**. Par ailleurs, les phénomènes naturels de dégradation des polluants organiques vont également s'amplifier, notamment par augmentation de la température de l'eau, du pH pour les eaux eutrophisées (hydrolyse), de l'ensoleillement (photolyse) et du développement bactérien (biodégradation). Ces dégradations conduiront à des métabolites dont on ne connaît pas toujours la structure et la toxicité.

Les effets combinés des augmentations de la pollution et notamment, de la température seront néfastes aux écosystèmes. L'accroissement de température impactera la physiologie, la croissance (en + ou en -), le développement des organismes (malformations, arrêt de développement **[35] [36] [38]**), le succès d'éclosion, la métamorphose, l'âge de maturité sexuelle… impacts amplifiés par les effets toxiques des contaminants (diminution de la fécondité, de la croissance, de la biodiversité et augmentation de la mortalité **[39] [40]**).

En période d'étiage, les conditions hypoxiques rencontrées en milieu naturel (liées aux augmentations de la température des eaux et de à la durée des périodes d'étiage estivales) conduiront, d'une part, à une hyperventilation des organismes provoquant une plus forte bioaccumulation des contaminants **[41]** et d'autre part à un affaiblissement des organismes par une diminution de leur métabolisme général de façon à « s'économiser ». En d'autres termes, une réallocation de tout ou partie des ressources énergétiques de l'organisme vers les processus de maintenance (et de détoxication) au détriment des processus de croissance, développement, reproduction, pourrait conduire à des atteintes toxiques plus sévères au niveau cellulaire avec des répercussions aux échelles individuelles et populationnelles **[42] [43]**. Des travaux sur les effets toxiques de contaminants, combinés à des élévations de température, ont été publiés par les chercheurs de Nouvelle-Aquitaine, par exemple dans **le cadre de bivalves bio-indicateurs filtreurs d'eau douce [44 à 54]** *(cf. Webcomplément n° 8 et n° 9 de l'Université de Bordeaux).*

L'effet de toxicité « retard », c'est-à-dire la remobilisation lors de périodes de sous-alimentation de contaminants stockés dans les graisses en raison de leur caractère lipophile, pourra être exacerbé. Cet effet, bien connu chez l'ours polaire du fait de son cycle de vie, peut être généralisé à plusieurs espèces **[33],** dont certaines plus locales comme les esturgeons et les anguilles **[55] [56]** *(cf. Webcomplément n° 10 de l'Université de Bordeaux)*. Dans un certain nombre de cas, l'impact du changement climatique peut également se traduire par une bioaccumulation moins importante si les réseaux trophiques sont modifiés de telle sorte que les organismes supérieurs se nourrissent sur des proies de niveaux trophiques inférieurs moins contaminées **[57]**.

L'acidification de l'eau de mer va affecter les organismes marins. L'acidification des océans correspond à la baisse du pH de l'eau de mer due à l'augmentation constante dans le milieu marin du CO_2, un acide faible, issu notamment des activités humaines. Le pH, alors de 8,2 à l'ère préindustrielle, est aujourd'hui de 8,05 en raison de l'augmentation de la pression partielle de CO_2 de 280 µatm en 1900 à 400 µatm aujourd'hui. Les modèles du GIEC prédisent des niveaux entre 600 et 800 µatm d'ici la fin du siècle, causant une baisse du pH actuel de 0,3 à 0,4 unité **[58 à 60]** *(cf. Webcomplément n° 11 de l'Université de La Rochelle).*

LE RISQUE MICROBIOLOGIQUE

Un autre risque important, souvent moins médiatisé que le risque chimique, est de nature microbiologique, que ce soit pour les milieux aquatiques ou, surtout, pour l'Homme. Dans ce cas, ce sont les incidences du changement climatique sur les maladies infectieuses à transmission hydrique qui sont à craindre et doivent être particulièrement examinées, qu'elles soient dues à un contact direct avec l'eau (*e.g.* alimentation et hygiène corporelle) ou à la consommation d'aliments contaminés (*e.g.* conchyliculture).

Les changements climatiques peuvent avoir des conséquences majeures sur l'ensemble des micro-organismes pathogènes de l'eau principalement *via* des inondations (lessivage des sols), des sécheresses et un réchauffement de la température de l'eau. La température est en effet un paramètre clé du développement des bactéries en général, mais aussi pour leur pathogénicité. Les efflorescences de cyanobactéries en sont un exemple révélateur, d'autres exemples pourraient être décrits dans le cas des bactéries d'origine fécale entre autres, des protozoaires et des virus **[61] [62]** *(cf. Webcomplément n° 12 de l'Université de Poitiers)*.

CONCLUSION

Selon les bilans des SDAGE 2015, le bon état écologique est loin d'être atteint pour les eaux de surface, à l'exception des eaux côtières qui sont de bonne qualité. En effet, seulement 36 %, 15 % et 8 % sont en bon état écologique pour respectivement les cours d'eau, les plans d'eau et les eaux de transition (estuaires notamment). L'objectif de bon état total en 2027 ne sera pas évident à atteindre pour ces masses d'eau compte tenu de l'impact prévisible du changement climatique. Il faut noter que l'analyse de nombreux autres indicateurs chimiques et biologiques que ceux de la DCE n'atténue pas ce constat. La société civile est souvent alertée sur la diminution de la disponibilité en eau douce de surface sous l'effet du changement climatique et ses conséquences sur l'ensemble des usages, mais on oublie trop souvent les retombées sur la qualité de ces eaux. Les conséquences physiologiques liées aux augmentations de la température, des nutriments (azote, phosphore, matière organique), voire de la salinité et à la diminution de l'oxygène, impactent déjà la vie des espèces existantes avec des modifications des aires de distribution, des rivalités entre les espèces migrantes et celles déjà présentes. S'ajouteront des augmentations du nombre d'espèces invasives, souvent thermophiles et opportunistes et des risques de maladies liées aux endotoxines et aux parasites. Par ailleurs, à qualité et quantité constantes des rejets anthropiques, l'effet de moindre dilution de la pollution, couplée à une remobilisation probable des polluants déjà présents dans les sédiments, conduira à une augmentation de la micropollution organique et minérale. La fragilisation accrue des milieux, la modification des chaînes trophiques et plus globalement des réseaux écologiques, déjà soumis aux pressions anthropiques, seront donc aggravées au niveau de l'ensemble des traits biologiques et écologiques par l'excès de pollution induit par le changement climatique, en absence de mesures d'adaptation immédiates. La question de la qualité de la ressource pour l'alimentation en eau potable à partir d'eau de surface se posera également surtout lorsque cette ressource est la seule disponible.

Quelles barrières de traitement pour lutter contre l'augmentation probable dans les « eaux brutes » de certains paramètres de qualité, de type parasite, cyanotoxines, matière organique naturelle dissoute (précurseur de sous-produits de désinfection toxiques), micropolluants, etc. ? Le développement de technologies énergivores et/ou le recours plus systématique à des réactifs chimiques pour le traitement de l'eau à potabiliser sont bien sûr des solutions curatives à ces problèmes d'eau brute dégradée, mais à quels coûts et avec quels effets sur la qualité de l'eau potable produite ?

Les masses d'eaux souterraines de Nouvelle-Aquitaine sont en bon état chimique pour 60 % d'entre elles, les 40 % restants sont « déclassés » par les paramètres nitrates et/ou pesticides (Vienne, Charentes, Dordogne, Sud du Lot-et-Garonne, secteur du Sud des Landes au Nord des Pyrénées-Atlantiques). Quel sera l'impact du changement climatique sur cette qualité sachant que les sols détiennent encore des proportions importantes d'engrais et de phytosanitaires (et de leurs métabolites) destinés à « fuir » vers les eaux souterraines, plus encore sous l'effet de l'augmentation de la température et de phénomènes hydrologiques extrêmes ? Face à la baisse de la disponibilité en eau de surface, à l'augmentation importante de la population (par rapport à la moyenne nationale) à proximité du littoral et à l'augmentation de la demande en eau potable par habitant, le report vers les eaux souterraines apparaîtra comme une solution. Au plan de la qualité, les risques majeurs de surexploitation seront alors des transferts amplifiés de polluants vers les nappes profondes et, plus localement, des remontées probables du biseau salé.

Que ce soit pour les eaux de surface ou pour les eaux souterraines, un plan d'adaptation est indispensable pour lutter contre la détérioration très probable de la qualité de ces eaux naturelles sous l'effet du changement climatique. Ce plan consistera principalement à protéger les ressources en eau, à augmenter le niveau de collecte et d'épuration des rejets, à limiter les pollutions diffuses et à optimiser et adapter les prélèvements pour compenser la baisse quantitative des ressources. Il doit être rapidement mis en œuvre sous risque de nuire aux milieux naturels, de ne pas pouvoir atteindre les objectifs DCE et de compliquer la production d'eau potable. Les zones les plus vulnérables de la Nouvelle-Aquitaine devront être ciblées[16] et des sites d'observation stratégique choisis, afin de suivre (par des mesures adaptées) les impacts du changement climatique sur la qualité des eaux de ces zones, ainsi que les effets des mesures d'adaptation.

16 • Ce que les Agences de l'eau sont en train de définir.

3 L'AIR

INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS

L'air que l'on respire (atmosphère) contient essentiellement du diazote (azote), du dioxygène (oxygène), de l'eau, du dioxyde de carbone (gaz carbonique)[17], des gaz rares comme l'argon et, à des teneurs beaucoup plus faibles, du méthane[18], du monoxyde de carbone[19], des oxydes d'azote[20], de l'ozone[21], du dioxyde de soufre[22], de l'ammoniac[23], etc. Ces composés ont des durées de vie moyennes très variables[24]. L'atmosphère gazeuse transporte aussi des aérosols[25] qui sont des particules solides ou liquides plus ou moins finement dispersées dans l'air avec des temps de présence de quelques jours. Les sources d'émission de gaz et d'aérosols dans l'atmosphère peuvent être d'origines naturelles (végétation, sols, océans, érosion, éruptions volcaniques, feux de forêts, etc.) ou anthropiques (combustion de la matière organique, traitement des déchets, transports, productions industrielles, etc.). Les polluants peuvent être primaires lorsqu'ils sont directement issus de sources d'émission (oxydes d'azote, par exemple) ou secondaires quand ils sont formés dans l'atmosphère suite à des processus physico-chimiques (ozone troposphérique[26] par exemple).

Suite à la loi Laure (1996), la surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), agréées par le Ministère en charge de l'Écologie. Ces associations surveillent annuellement certains polluants atmosphériques[27] réglementés et d'autres non réglementés, mais à enjeux.

17 • CO_2 (ou gaz carbonique), d'origine naturelle ou résultant des processus de combustion.

18 • CH_4 constituant principal du gaz naturel et des gaz issus de la biodégradation anaérobie naturelle ou provoquée des matières organiques.

19 • CO, issu principalement des processus de combustion incomplète (pauvres en oxygène).

20 • NO_x issus principalement des processus de combustion.

21 • O_3 issu principalement dans la basse atmosphère de processus photochimiques en lien avec l'activité humaine , dans la basse atmosphère.

22 • SO_2 libéré dans l'atmosphère terrestre par les volcans et par de nombreux procédés industriels, ainsi que par la combustion de combustibles fossiles.

23 • NH_3 issu principalement des activités agricoles.

24 • Par exemple de 8 ans pour le méthane à 120 ans pour le dioxyde de carbone.

25 • Les particules des aérosols peuvent contenir des acides, des métaux, des composés organiques, de la suie, etc.

26 • L'ozone troposphérique n'est pas directement émis dans l'atmosphère mais formé par une série de réactions photochimiques impliquant les hydrocarbures, les oxydes d'azote et le rayonnement solaire.

27 • D'après la loi LAURE, dite loi LEPAGE du 30/12/96 : « Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives. »

Les paramètres qui font l'objet d'une réglementation en France sont les groupes de particules de tailles moyennes inférieures ou égales à 10 µm (PM_{10}) et à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), les oxydes d'azote, le plomb, le dioxyde de soufre, l'ozone, le monoxyde de carbone, le benzène, certains métaux et métalloïdes (As, Cd, Ni) et un hydrocarbure aromatique polycyclique (benzopyrène). Plusieurs niveaux (ou normes de qualité) à maintenir ou à ne pas dépasser sont précisés dans un décret **[63]**, exprimés en concentration dans l'air ambiant ou en masse de dépôt sur les particules pour un temps donné. L'objectif de qualité est le niveau à atteindre à long terme et à maintenir (moyenne sur l'année civile) afin d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement. Il est parfois accompagné d'une valeur cible pour la protection de la santé humaine ou pour la protection de la végétation. Le seuil d'information et de recommandation est le niveau (en moyenne horaire ou journalière) au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles. Il est très souvent accompagné d'un seuil d'alerte (niveau plus élevé) qui s'applique à toute la population. Les valeurs limites (en moyenne horaire, journalière ou annuelle civile) sont les niveaux à ne pas dépasser sur des périodes définies pour la protection de la santé humaine ou de la végétation.

Les lignes directrices (ou valeurs guides) de l'OMS **[64]** sont aussi très utilisées dans les bilans des associations de surveillance. Ces valeurs guides sont souvent accompagnées de cibles intermédiaires associées à des risques de mortalité.

À partir des données recueillies, des outils de modélisation permettent ensuite de déterminer la pollution à différentes échelles et ainsi de prévoir les pics de pollution et d'estimer les niveaux de pollution sur des zones dépourvues de points de mesure. Un premier pas indispensable, mais dont il faut amplifier le rôle avec plus de paramètres suivis et des méthodologies rigoureuses pour l'usage scientifique **[32]**.

La détérioration de la qualité de l'air est évidemment en lien direct avec le développement démographique et économique mondial, mais le changement climatique, intimement lié aux émissions polluantes atmosphériques, contribuera probablement à accentuer cette détérioration. Toutefois et malgré la littérature scientifique abondante sur la relation « qualité de l'air/climat », les impacts du changement climatique sur les émissions de polluants atmosphériques sont encore relativement incertains, car dépendants de la localisation géographique **[65]**. L'ensemble des scénarios publiés tend néanmoins vers une détérioration de la qualité de l'air, particulièrement illustrée par les évolutions dans les prochaines décennies des concentrations d'ozone et d'aérosols atmosphériques, ayant eux-mêmes un impact sur le changement climatique **[32]**. En Europe du Nord, le climat plus humide sera favorable à l'amélioration de la qualité de l'air, alors qu'en Europe du Sud, la présence de plus en plus courante de grandes vagues de chaleur et d'épisodes de sécheresse devraient affecter la qualité de l'air, comme par exemple sur les concentrations d'ozone ou de particules issues des feux de forêt **[66]**. Pour la Nouvelle-Aquitaine, en absence de modélisations prédictives sur les concentrations en polluants atmosphériques, seule une transposition des observations à grande échelle peut être abordée ici, en la confrontant aux tendances observées ces dix dernières années sur les espèces réglementées **[32]**.

LA QUALITÉ DE L'AIR EN NOUVELLE-AQUITAINE : BILAN ET IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

LA POLLUTION DE L'AIR EN NOUVELLE-AQUITAINE

L'ATMO Nouvelle-Aquitaine est issue du regroupement des trois associations de surveillance des ex-régions (AIRAQ en Aquitaine, ATMO en Poitou-Charentes et LIMAIR en Limousin). Elle dispose de 55 stations fixes de différente typologie qui permettent de mesurer en permanence une vingtaine de paramètres afin de mieux connaître l'évolution de leur concentration (ozone, dioxyde de soufre, oxydes d'azote, monoxyde de carbone, ammoniac, composés organiques volatils non méthaniques, certains métaux et métalloïdes, groupes de particules, polluants organiques divers) et elle réalise les estimations de leurs émissions[28]. Pour ce qui concerne les GES[29], les mesures sont réalisées par le réseau européen ICOS (Integrated carbon observation system).

Le **Tableau 1** présente le bilan des principales émissions de polluants primaires en 2012, par sources fixes et mobiles **[67]**. Les émissions annuelles de GES ne sont pas incluses dans ce tableau, car déjà présentées en préambule de cet ouvrage **(Focus « Émissions de gaz à effet de serre »)**, globalement et par secteur à partir des données de l'AREC Nouvelle-Aquitaine (Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat)[30].

28 • Afin, notamment, de connaître les quantités rejetées et d'identifier les principaux émetteurs pour étudier les possibilités d'amélioration.

29 • Les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, fluorés) sont considérés comme des polluants lorsqu'ils sont en excès.

30 • Il faut noter que les quantités totales de GES estimées par l'ATMO NA sont plus faibles que celles estimées par l'AREC, les modèles utilisés étant différents.

ÉMISSIONS	INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE, DÉCHETS, CONSTRUCTION	EXTRACTION, DISTRIBUTION, TRANSFORMATION	RÉSIDENTIEL, TERTIAIRE, COMMERCIAL	AGRICULTURE, SYLVICULTURE	TRANSPORTS ROUTIERS	AUTRES TRANSPORTS	BIOTIQUE	TOTAL NOUVELLE-AQUITAINE
SO_2	7,19	0,35	2,48	1,3	0,11	0,85	0	12,28
NO_x	12,38	0,75	9,91	20,25	73,0	3,32	2,60	122,22
CO	19,79	2,84	192,28	26,29	76,47	1,05	0	318,72
NH_3	1,28	0	0	94,33	0,84	0	0	96,45
COVNM*	19,76	1,79	39,71	3,9	7,16	0,24	174,88	247,44
TSP **	14,66	0,07	12,64	28,22	12,26	1,73	-	69,57
PM_{10}	6,96	0,06	11,85	10,97	7,97	0,71	-	38,52
$PM_{2,5}$	3,85	0,06	11,56	5,82	5,68	0,33	-	27,30

**COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques.*
***TSP : Particules totales en suspension (Total Suspended Particles).*

Tableau 1 : *Bilan des émissions de polluants primaires, en milliers de tonnes, en Nouvelle-Aquitaine pour l'année 2012 (bilan établi par l'ATMO Nouvelle-Aquitaine).*

L'ATMO Nouvelle-Aquitaine mentionne que les départements de la région enregistrent des épisodes de pollution[31] pendant près de 8 jours en moyenne chaque année (**Figure 6**)[32] avec deux fois plus en Gironde que dans les autres départements. En cause dans 96 % des cas depuis 2013, les particules en suspension PM_{10}. Une dizaine d'épisodes de pollution à l'ozone ont été enregistrés sur les trois dernières années notamment sur les départements du sud et de l'ouest de la région, épisodes favorisés par l'ensoleillement et la chaleur. Un épisode de pollution au dioxyde de soufre a été détecté sur la zone industrielle de Lacq.

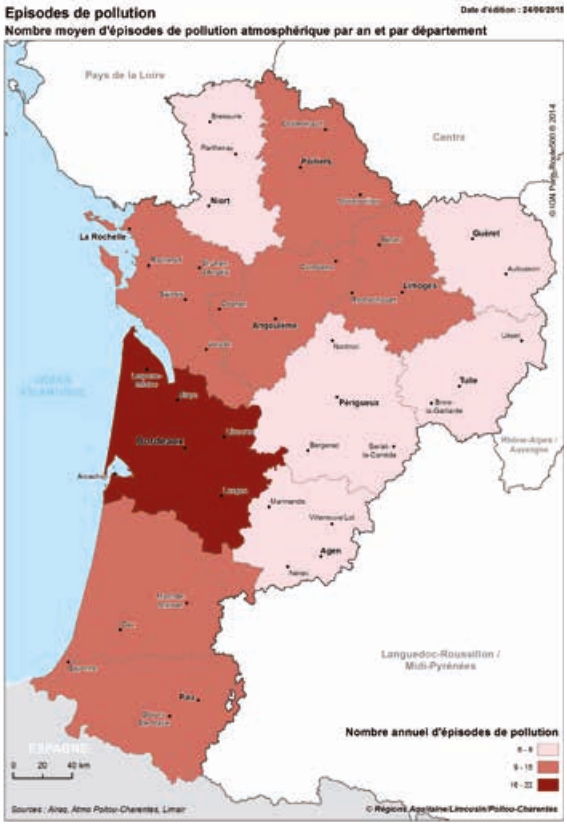


Figure 6 : *Le nombre annuel d'épisodes de pollution en Nouvelle-Aquitaine, par département. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

31 • Le terme « épisode de pollution », utilisé notamment dans les arrêtés préfectoraux, est défini comme la "période au cours de laquelle la concentration dans l'air ambiant d'un ou plusieurs polluants atmosphériques est supérieure au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte".

*32 • Des détails et compléments peuvent être obtenus auprès de **www.atmo-nouvelleaquitaine.org***

Suite à la Loi Grenelle II, les schémas régionaux Climat-Air-Énergie **[68]** imposent de mettre en place la cartographie des zones sensibles en termes de dépassement des valeurs réglementaires en polluants atmosphériques (à l'exception de l'ozone), de façon à notamment anticiper au mieux l'impact des changements climatiques sur la qualité de l'air. En Nouvelle-Aquitaine, ce travail a mis en évidence l'importance du couloir routier Nord-Sud (vers l'Espagne) et dans une moindre mesure l'axe Bordeaux-Toulouse, qui se traduisent par des surémissions d'oxydes d'azote dus au transport routier **[69]**. En recoupant ces trajets avec la carte des zones protégées (protection de biotope, réserve naturelle, parc national), ce travail a abouti à définir la cartographie des communes dites sensibles, où la qualité de l'air sera jugée prioritaire dans les prochaines années (**Figure 7**)[33].

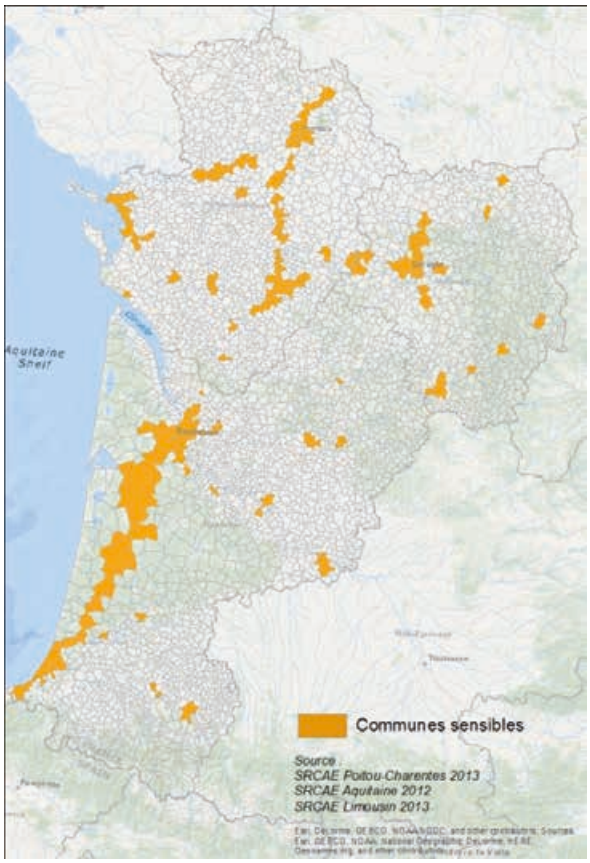


Figure 7 : *Communes sensibles à la dégradation de la qualité de l'air. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

Pour les polluants les plus importants, ainsi que pour les GES, le lecteur peut générer lui-même des cartes régionales d'émission depuis le site internet de l'ATMO Nouvelle-Aquitaine : ***emissions-polluantes.atmo-nouvelleaquitaine.org***

UN IMPACT INCERTAIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ÉMISSIONS DE PARTICULES

En 2012 en Nouvelle-Aquitaine, les émissions de PM_{10} s'élevaient à plus de 38 000 tonnes et celles de $PM_{2,5}$ à plus de 27 000 tonnes, ce qui représente respectivement 6,6 kg et 4,7 kg par habitant sur l'année, au-dessus des moyennes nationales (respectivement 5,2 kg et 3,4 kg/hab/an). Plus de la moitié de ces émissions sont localisées sur les cinq départements Gironde, Charente-Maritime, Landes, Pyrénées-Atlantiques et Dordogne. Le secteur résidentiel reste le principal émetteur de $PM_{2,5}$ sur l'ensemble des départements, la Gironde étant évidemment le département le plus émetteur. Les émissions de PM_{10} sont à l'origine de 96 % des épisodes de pollution depuis 2013. Leurs moyennes annuelles dépassent la valeur guide de l'OMS (10 µg/m^3) pour une station sur deux, tout en restant inférieures à l'objectif de qualité français (30 µg/m^3). Les émissions de $PM_{2,5}$, qui sont jugées les plus préoccupantes pour les effets sanitaires sur les systèmes respiratoires et cardio-vasculaires, présentent des moyennes annuelles qui dépassent la valeur guide de l'OMS et l'objectif de qualité français (10 µg/m^3), sur toutes les stations de surveillance, sans atteindre les valeurs réglementaires critique (20 µg/m^3) et limite (25 µg/m^3). Depuis 2008, une légère baisse des particules est observée, notamment des PM_{10}, mais seulement au niveau des stations trafic routier (cf. **Figure 8**), ce qui correspond à une amélioration des procédés de combustion et des méthodologies de traitement des effluents atmosphériques. Les niveaux urbains baissent plus lentement alors que les niveaux ruraux stagnent.

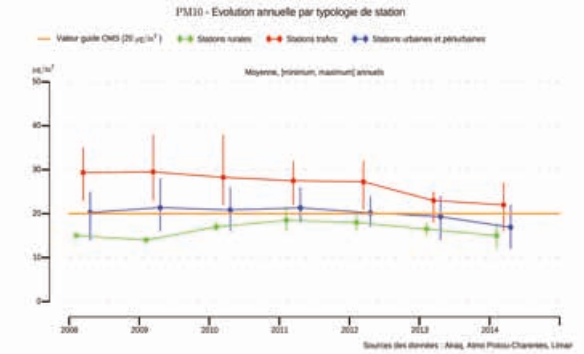


Figure 8 : *Évolution des concentrations moyennes annuelles des PM_{10} par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

33 • *Malgré tout l'intérêt de cette démarche de zonage, celle-ci est néanmoins limitée par la non-prise en compte de l'ozone dont les émissions ne peuvent être réglementées directement, mais dont la concentration sera un des enjeux majeurs, avec celle des particules fines, en termes d'impact du changement climatique sur la qualité de l'air au niveau régional.*

Le changement climatique favorisera les émissions des plus grosses particules issues de l'érosion des sols par les épisodes de sécheresse. À contrario celles provenant de l'utilisation de chauffage au bois seront atténuées. Toutefois, la masse des particules atmosphériques est-il le paramètre le plus pertinent pour juger de leur impact, par rapport au suivi de leur distribution en taille ? En effet, les particules ultrafines ou PUF (de diamètres inférieurs à 0,1 µm) ont un impact direct très important sur la santé par leur pouvoir de pénétration dans le système respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires, voire dans le sang, alors que leur masse est négligeable par rapport à celles de particules plus grossières micrométriques. Ces PUF ont fait l'objet de mesures exploratoires[34] en région depuis 2012, en site urbain (Talence-33) et en site industriel (Mourenx-64). Ces mesures ont montré, d'une part, l'influence du trafic routier sur les granulométries les plus fines, et d'autre part, le rôle des aérosols secondaires en lien avec les émissions industrielles de dioxyde de soufre et la formation de sulfates.

Quel sera l'effet du changement climatique sur les particules fines, notamment dans les aérosols secondaires ? La question est très complexe et la réponse est incertaine **[32]**. Des travaux de recherche ont montré qu'une hausse de la température peut réduire la concentration des PUF dans les aérosols secondaires grâce à la plus grande volatilisation du nitrate d'ammonium (un de leurs composants majeurs), mais qu'un effet inverse est attendu du fait de l'augmentation des concentrations en sulfates **[70].** L'effet du changement climatique sur les aérosols n'est pas encore bien évalué et la réciprocité également, c'est-à-dire l'effet des aérosols sur le climat **[65]**. Ce domaine est la cible d'un effort de recherche important de la part de la communauté scientifique **[32] [71]** qui conclut en général aujourd'hui qu'une nette réduction des émissions/générations d'aérosols aggraverait par contre le réchauffement climatique **[72] [73]**.

LES ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE DEVRAIENT CONTINUER À DIMINUER

Le dioxyde d'azote (NO_2) est le principal composant du groupe des oxydes d'azote (NO_x). Il est suspecté d'être à l'origine de certains symptômes bronchiques chez les enfants asthmatiques **[64]**. En Nouvelle-Aquitaine, peu de stations (3 à 5 %) dépassent la valeur guide de l'OMS et l'objectif de qualité français pour le dioxyde d'azote (40 µg/m³). Cela concerne les zones urbaines sujettes au trafic et au transport routiers ; principales sources d'émissions, soit 58 à 77 % selon les départements. Les émissions régionales d'oxydes d'azote en 2012 ont été de 122 000 tonnes, soit 21 kg par habitant (moyenne nationale ≈ 17 kg/hab/an). La Gironde et la Charente-Maritime concentrent près du tiers de ces émissions.

Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'atmosphère enregistrent une nette diminution globale en Nouvelle-Aquitaine (**Figure 9**), due à l'optimisation des procédés de combustion industrielle et des systèmes de chauffage et à la baisse de la consommation en carburant des véhicules malgré l'augmentation du trafic. Notons que lors de l'épisode de canicule en 2003, il n'a pas été mesuré de hausses notables de concentrations en NO_x à cette période sur l'Aquitaine **[74]**.

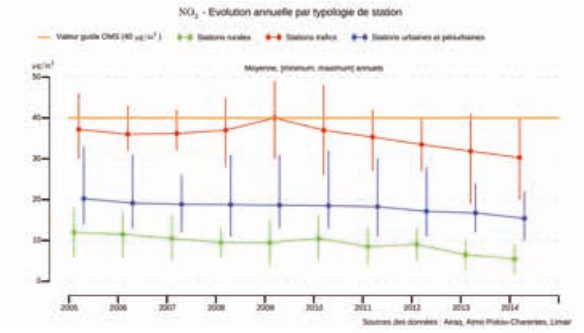


Figure 9 : *Évolution des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO_2) par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

LES TENEURS EN DIOXYDE DE SOUFRE RESTERONT FAIBLES

Le dioxyde de soufre (SO_2) est suspecté (avec une certaine incertitude) de provoquer des maladies respiratoires et des pathologies cardiaques **[64]**. En région, les concentrations moyennes annuelles sont bien inférieures à l'objectif de qualité français (50 µg/m³), y compris sur les sites industriels. Près des trois quarts des émissions (12 000 tonnes en 2012) sont dues à l'industrie manufacturière (46 %) et à la transformation d'énergie (27 %), majoritairement en Gironde et Pyrénées-Atlantiques (60 % des émissions). En dehors de ces zones, les teneurs restent très faibles.

Malgré les effets démontrés de la hausse de température sur le cycle de vie des acides dans l'atmosphère, conduisant à une importante augmentation de la production de sulfates **[75]**, la législation sur les émissions industrielles a entraîné une telle baisse des émissions de SO_2 (-50 à -60 % en 10 ans en Nouvelle-Aquitaine, liés à la diminution progressive des activités de Lacq) que ce dernier impact restera beaucoup plus déterminant que celui possible du changement climatique. Notons que cette diminution des aérosols sulfatés aura un impact notable sur le changement climatique par augmentation du rayonnement solaire reçu en surface **[73]**.

34 • Contrairement aux mesures classiques de particules dans l'air (PM_{10} ou $PM_{2,5}$), exprimées en unité de masse (µg/m³), le type d'appareil utilisé fournit des indications sur le nombre de particules dont le diamètre est compris entre 20 et 800 nm dans l'air, distinguées en 6 classes de granulométrie.

LES ÉMISSIONS D'OZONE VONT AUGMENTER SOUS L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'ozone (O_3) provoque des inflammations pulmonaires graves, démontrées par les études épidémiologiques reliant la morbidité respiratoire aux concentrations d'ozone dans l'air **[64]**. Bien que relativement stables en Nouvelle-Aquitaine depuis une dizaine d'années, les niveaux maxima annuels mesurés (moyenne sur 8 heures) sont supérieurs à l'objectif de qualité français (120 µg/m³) et à la valeur guide de l'OMS (100 µg/m³) sur la quasi-totalité des sites de mesure (**Figure 10**). La norme relative à la protection des végétaux est rarement respectée. Des pics de pollutions sont également constatés sur une part significative du réseau de surveillance, principalement sur le sud et l'ouest de la région.

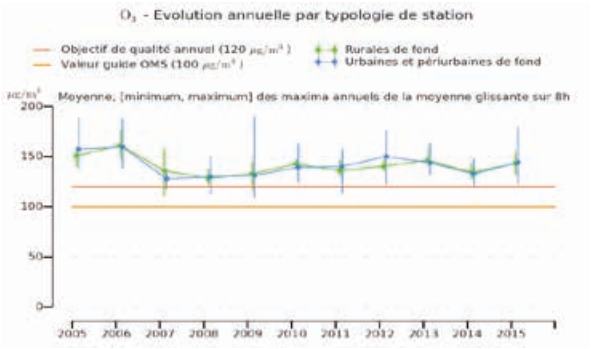


Figure 10: *Évolution des maxima annuels des concentrations en ozone (O_3) par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

La concentration moyenne d'ozone de surface devrait augmenter d'ici la deuxième moitié du XXIe siècle de 5 à 10 ppb (soit 10 à 20 µg/m³) aux latitudes moyennes **[76]**, du fait principalement de l'augmentation d'épisodes de sécheresse et d'ensoleillement qui vont favoriser la photochimie et donc la formation d'ozone **[77]** et ce malgré l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (qui décompose l'ozone). À cette augmentation, dite « de fond hémisphérique » s'ajoutera la perturbation, sous l'effet du changement climatique, de différents composés précurseurs, comme les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et semi-volatils ou le protoxyde d'azote **[32]**. Même si les émissions de dioxyde d'azote et de composés organiques volatils (à l'origine de la formation de O_3) sont limitées, l'augmentation de la concentration d'ozone de fond pose un vrai problème car elle pourrait réduire l'efficacité des mesures locales de contrôle des émissions, rendant les objectifs de qualité de l'air encore plus difficiles à atteindre **[32][78],** avec des conséquences importantes à la fois sur la santé mais aussi sur les écosystèmes.

LES ÉMISSIONS DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS ET SEMI-VOLATILS AUGMENTERONT PROBABLEMENT

Les composés organiques volatils (COV) et semi-volatils (COSV) proviennent de sources anthropiques et biogènes (autres que le méthane). Précurseurs importants d'aérosols organiques secondaires **[51]**, ils sont capables de produire des oxydants photochimiques (comme l'ozone) par réaction avec des oxydes d'azote sous l'effet du rayonnement solaire. Certains (composés mono-aromatiques, dont le benzène) sont cancérigènes, mutagènes ou teratogènes.

Les émissions des COV et COSV biogéniques devraient augmenter d'ici 50 ans du fait de l'effet de fertilisation du CO_2 sur la végétation et de la hausse des températures **[32] [78]**. Celles supplémentaires de COV anthropiques par évaporation (transport routier, remplissage de réservoirs) vont également augmenter avec la température jusqu'à 30 % d'ici la fin du XXIe siècle **[79]**.

Les pesticides dans l'air ?

Les contrôles de pesticides dans l'air de Nouvelle-Aquitaine ont débuté dès 2001, en faisant varier plus récemment les types de sites étudiés (proximité des vignes, des vergers, zones de grandes cultures, centres urbains)[35]. Ils sont présents dans l'air des zones rurales, notamment viticoles, mais également en zone urbaine au centre des villes, comme Bordeaux ou Poitiers. Les herbicides dominent dans l'air des grandes cultures (notamment pendimethaline), les concentrations en fongicides (notamment chlorothalonil et folpel) dépendent fortement des conditions climatiques et sont globalement plus élevées dans l'air des zones viticoles où l'on retrouve aussi les concentrations les plus élevées en insecticides (notamment chlorpyriphos éthyl). Les cumuls hebdomadaires pour une soixantaine de pesticides contrôlés sont compris entre 2 ng/m³ (en site de fonds pour les grandes cultures) à près de 20 ng/m³ (à proximité des vignes).

La tendance pluriannuelle en Nouvelle-Aquitaine dépend des usages et de la météorologie. Les teneurs des herbicides et des fongicides mesurés n'évoluent pas significativement, alors que celles des insecticides diminuent, étrangement, au fil des années, pour les molécules suivies. Pourtant, le constat, ces dernières années, d'une succession d'invasions d'insectes et de moisissures et la certitude d'une accélération du taux d'entrée d'exotiques et de leur établissement en Europe, ainsi qu'une accélération de l'évolution de ceux existants, posent bien sûr la question de l'utilisation éventuellement accrue d'insecticides et de fongicides sous l'impact du changement climatique, et par suite de l'augmentation de leur présence dans l'air.

35 • La base de données actuelle des pesticides sur la grande région comporte plus de 40 000 données d'analyses, réparties selon 219 molécules et 34 sites différents.

LES AUTRES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

Pour les autres polluants réglementés (monoxyde de carbone, benzène, métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques), les niveaux mesurés ne montrent pas de dépassement ou de risque de dépassement des valeurs réglementaires sur la période 2011-2016, à une exception près (cadmium à proximité d'un site industriel en cessation récente d'activité).

L'ammoniac (NH_3) n'est pas soumis à une réglementation dans l'air ambiant, mais c'est un précurseur important de particules secondaires. Il réagit avec les composés acides tels que les oxydes d'azote ou de soufre provenant de l'ensemble des sources anthropiques, pour former des particules très fines de nitrate ou de sulfate d'ammonium. En 2012, les émissions d'ammoniac (essentiellement d'origine agricole) se sont élevées à près de 100 000 tonnes sur l'ensemble de la région, ce qui représente plus de 17 kg par habitant et par an (moyenne nationale : ≈ 11 kg).

L'INDEX POLLINIQUE MOYEN ANNUEL NE CESSE D'AUGMENTER EN RÉGION

Les pollens allergisants constituent, au sens du code de l'environnement, une pollution de l'air qui représente un problème surtout printanier et estival, notamment dans les zones de grandes cultures de graminées (**Figure 11**). En Poitou-Charentes, l'ambroisie, plante invasive dans les zones de grandes cultures, provoque de très fortes allergies (conjonctivites asthme, rhinites). Sur les deux dernières années, Angoulême apparaît la ville la plus concernée. *A contrario*, les villes de Bayonne, La Rochelle et Pau semblent peu touchées par cette plante.

L'augmentation de l'index pollinique observée en Nouvelle-Aquitaine (environ 15 % de 2007 à 2016), va probablement continuer à progresser sous l'impact du changement climatique.

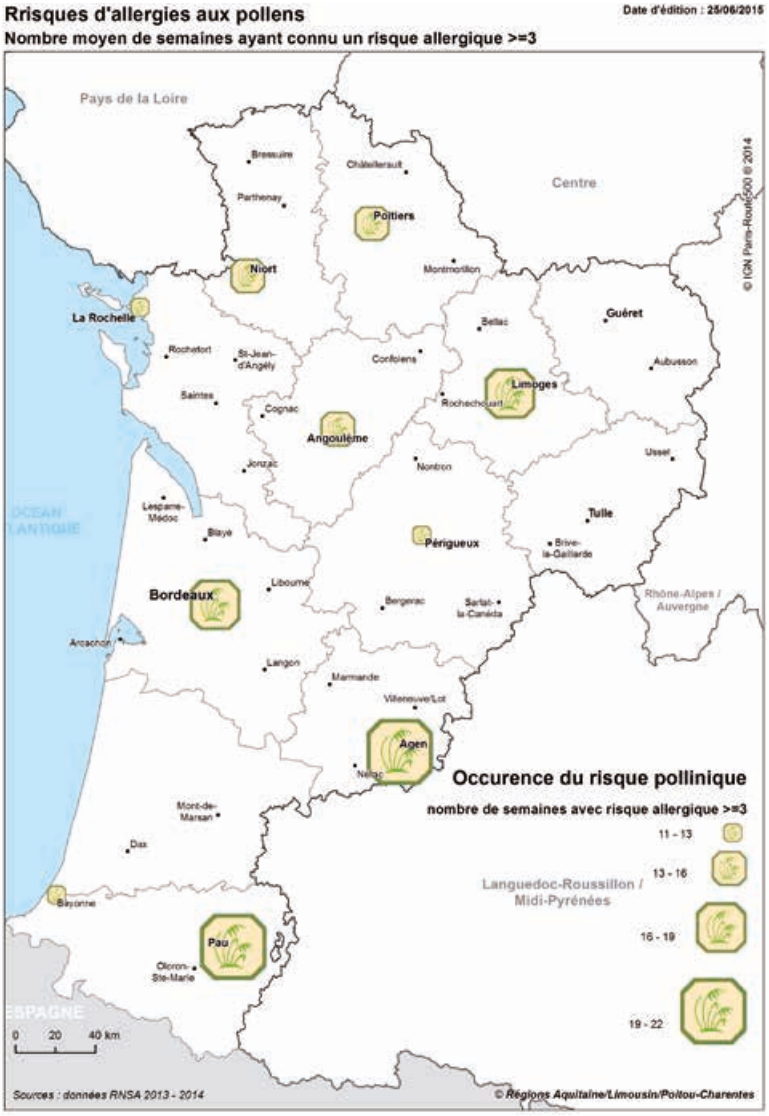


Figure 11 : *Carte régionale actuelle des risques allergiques. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

LES GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

Selon les sources et les années ciblées, les émissions de GES en Nouvelle-Aquitaine sont estimées, en équivalent CO_2, entre un peu plus de 7 tonnes par habitant (en 2012, d'après l'ATMO NA) et un peu moins de 9 tonnes par habitant (en 2015, d'après l'AREC NA), à comparer avec la moyenne mondiale d'environ 4 à 5 tonnes par habitant et par an.

Parmi les principaux GES, selon les sources (ATMO ou AREC) et les années, entre 70 et 75 % des émissions régionales, exprimées en équivalents CO_2, sont imputables au dioxyde de carbone, qui incombe pour moitié au transport et pour un quart au résidentiel et tertiaire. Les autres GES importants, exprimés en équivalents CO_2[36], sont le méthane (CH_4) qui représente de l'ordre de 15 % des rejets, le protoxyde d'azote (N_2O), de l'ordre de 9 à 11 % (selon les sources et les années) et les gaz fluorés, de l'ordre de 5 %.

36 • Par rapport à la référence CO_2 les potentiels de réchauffement global (PRG) des autres GES, en kg équivalent CO_2/kg de GES, sont de 23 pour le méthane, 310 pour le protoxyde d'azote et d'environ 1 000 à 23 000 pour les gaz fluorés (selon les types de gaz).

Le méthane et le protoxyde d'azote sont dus très majoritairement (85 à 90 %) à l'agriculture, en particulier l'élevage pour le méthane et les cultures à engrais pour le protoxyde d'azote. Les gaz fluorés sont dus majoritairement au secteur tertiaire.

D'après le Ministère (MEDDE puis MTES), les émissions de GES en France ont diminué de 11 % entre 1990 et 2013, mais ceci est principalement lié à la diminution des émissions industrielles, malgré l'augmentation des émissions liées au transport et au secteur résidentiel. En Nouvelle-Aquitaine, ce sont les mêmes tendances, observées depuis une vingtaine d'années et qui se poursuivront très probablement compte tenu des engagements nationaux en vue de l'atténuation du changement climatique. Le **Tableau 2** présente des éléments d'appréciation (commentaires) qui doivent être peaufinés et détaillés à partir d'éléments chiffrés pas suffisamment disponibles actuellement.

SECTEUR	TENDANCE GÉNÉRALE	COMMENTAIRES
Industrie/Énergie	Baisse des émissions	Causes : diminution de l'activité industrielle, maîtrise de la consommation d'énergie, évolution du mix énergétique avec une baisse des énergies émettrices au profit de l'électricité
Résidentiel/ Tertiaire	Hausse des émissions	Causes : augmentation de la population non compensée par une évolution du mix énergétique au profit de l'électricité, augmentation de l'activité du secteur tertiaire
Transports	Hausse des émissions	Causes : augmentation du trafic en général, routier en particulier (principal émetteur) pas entièrement compensée par une diminution de la consommation unitaire des véhicules et par une introduction d'une part de « biomasse » dans les carburants (biocarburants dont les émissions de GES sont considérées comme quasi-nulles)
Agriculture	Baisse des émissions	Causes : Tendance à la baisse de l'activité du secteur agricole (cheptel, surfaces cultivables)

Tableau 2 : *Tendances générales d'évolution des émissions de GES en Nouvelle-Aquitaine, ces 20 dernières années (d'après l'ATMO Nouvelle-Aquitaine).*

CONCLUSION

En valeur moyenne par habitant, la pollution atmosphérique en Nouvelle-Aquitaine est plus élevée qu'en France, notamment au niveau des particules (96 % des épisodes de pollution), du dioxyde d'azote et de l'ammoniaque. Les objectifs français de qualité, comme les valeurs guides de l'OMS, sont souvent dépassés en Nouvelle-Aquitaine vis-à-vis des paramètres concernant les particules et, surtout, l'ozone. La plupart des polluants atmosphériques montrent une tendance à la diminution sur ces dix dernières années, sauf pour l'ozone et les composés organiques volatils et semi-volatils. Les pesticides sont présents dans l'air à des teneurs importantes surtout à proximité des zones viticoles et la recrudescence très probable d'invasions d'insectes et de moisissures sous l'impact du changement climatique ne laisse pas présager d'une diminution de l'utilisation des insecticides et des fongicides. Les émissions de gaz à effet de serre (en équivalent CO_2 par habitant) en Nouvelle-Aquitaine sont supérieures à la moyenne française, leur évolution tend vers une diminution depuis près de 20 ans. L'index pollinique en revanche ne cesse d'augmenter.

Bien que climat et qualité de l'air soient intimement liés et qu'il paraisse indispensable que les politiques de gestion des émissions anthropiques prennent en compte ces deux enjeux majeurs, il est extrêmement difficile de les traiter par une seule approche, simultanément **[32]**. Malgré la littérature scientifique internationale abondante sur la relation « qualité de l'air/climat », il n'est pas complètement admis que résoudre les problèmes liés à la qualité de l'air ait un impact positif sur le réchauffement climatique, et inversement **[32] [80]**. Les observations et les scénarios publiés laissent néanmoins envisager une détérioration de la qualité de l'air sous l'effet du changement climatique, dans les prochaines décennies. En Nouvelle-Aquitaine, comme sur l'ensemble des régions qui seront particulièrement impactées par le changement climatique, ce sont notamment des augmentations des teneurs en ozone, composés organiques volatils (et semi-volatils), aérosols, allergènes qui sont les plus probables, ainsi que plus spécifiquement pour cette région agricole, des augmentations des teneurs en insecticides et fongicides.

Il est important de noter que certains éléments de conclusion reposent essentiellement sur des transpositions d'observations issues d'une échelle plus globale, couplées à quelques tendances d'observations régionales et qu'il y a un manque flagrant d'études spécifiques régionales dans ce domaine, malgré l'impact reconnu de cette pollution sur la santé humaine et les écosystèmes **[32]**. Des mesures spécifiques sur les polluants les plus critiques, réalisées sur des sites d'observation judicieux, sont absolument indispensables si la société civile souhaite obtenir de la part des scientifiques un rapport prévisionnel plus fiable dans les prochaines années.

4 LE SOL

INTRODUCTION

Dans de nombreuses régions du Sud de l'Europe, le changement climatique intensifie la pression qui pèse sur les ressources du sol en exacerbant le déclin actuel de la qualité des sols et en pouvant conduire, dans le cas extrême, à la désertification. La Commission européenne a donc récemment adopté une stratégie sur la protection des sols dans le but de garantir que les sols européens restent sains et capables de soutenir les activités humaines et les écosystèmes **[81]**. C'est pourquoi de nombreux pays européens entendent évaluer la contribution réelle de la protection des sols à l'atténuation du changement climatique, ainsi que, réciproquement, les effets du changement climatique sur la productivité des sols. Malgré un manque notable de données dans ce domaine, ce sous-chapitre donne un aperçu de ce que pourrait induire le changement climatique sur l'épuisement de la matière organique du sol, sur l'augmentation (ou non) de la mobilité vers les eaux des pesticides et des métaux et sur la microbiologie des sols.

MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS (MOS)

La MOS est l'une des composantes les plus complexes et les plus dynamiques des sols. Il s'agit d'un mélange de résidus végétaux et animaux, d'organismes vivants allant des matières organiques fraîches jusqu'aux matières organiques dégradées en interaction avec la phase minérale (notamment les métaux). La présence des MOS dans les sols est particulièrement importante pour plusieurs fonctions environnementales et écologiques des sols comme la fertilité, l'activité biologique et les échanges de gaz avec l'atmosphère ainsi que les pertes *via* lessivage vers l'hydrosphère.

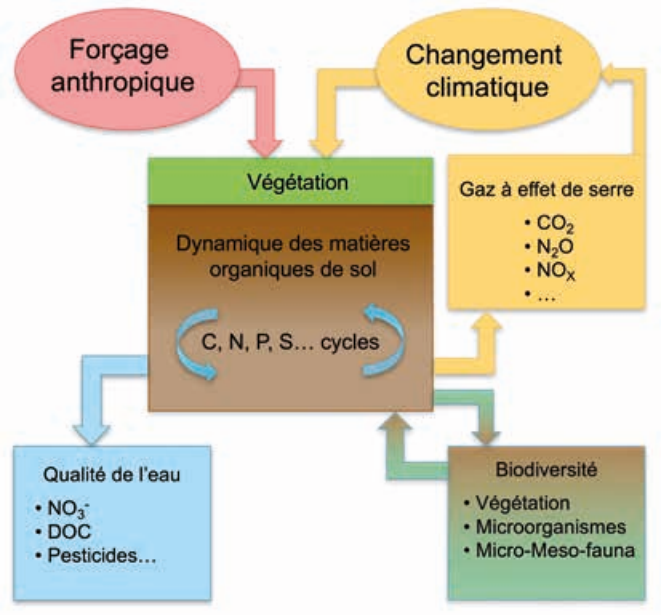


Figure 12: *Impact de forçage anthropique et changement climatique sur la dynamique des matières organiques du sol et flux environnementaux, d'après (82).*

Il existe donc une boucle de rétroaction entre les variables d'état du système sol-végétation et les composantes de la biodiversité qui pilotent l'évolution à moyen-long terme du système. La dynamique des MOS et les couplages entre cycles carbone/azote/autres éléments qui en résultent déterminent l'importance des émissions vers l'atmosphère et vers l'hydrosphère (**Figure 12**).

Pour le sol en général, du point de vue agricole ou vis-à-vis des écosystèmes, la MOS est importante pour le cycle des éléments nutritifs, la rétention de l'eau et la structure du sol.

Cet ensemble d'interactions est donc au centre de la problématique scientifique de l'infrastructure de recherche du SOERE- ACBB[37] **[83]**, ce qui implique à la fois une analyse sur le long terme et une approche résolument pluridisciplinaire afin d'anticiper les risques liés à l'intensification des agroécosystèmes dans le contexte de changements climatiques et particuliers les événements extrêmes.

DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE COMPLEXES ET MAL QUANTIFIÉS

Les effets du changement climatique sur les MOS sont complexes et mal quantifiés pour des raisons liées à la complexité des processus éco-systémiques impliqués. En effet, les phénomènes météorologiques extrêmes comme les sécheresses et les inondations, rendent le compartiment MOS plus vulnérable et changent, peut-être irréversiblement, sa nature et sa fonction selon le mode d'usage des sols. Certaines études ont montré que le compartiment MOS est vulnérable au réchauffement climatique et que sa perte potentielle peut amplifier un réchauffement supplémentaire **[84]**.

Parmi les facteurs qui influent sur la décomposition des MOS, la température, l'humidité du sol (teneur en eau) et les apports en carbone de la plante sont parmi les plus pertinents. La théorie prédit que la sensibilité à la température de la décomposition des MOS devrait augmenter à mesure que le degré de complexité du substrat augmente. Comme la majeure partie des MOS est composée de molécules organiques à longue chaîne formées et stockées de longue date, une augmentation de la température devrait affecter avant tout ces anciennes et majoritaires fractions organiques, ainsi que leur stockage. Cependant, les études sur ce sujet sont parfois contradictoires, si bien que les effets de la température sur les différentes fractions des MOS sont encore incertains. Par ailleurs, la plupart des études ont mis l'accent sur les effets de la température ou ceux de l'eau séparément mais pas assez sur l'effet combiné des deux. Enfin, un autre facteur qui doit être pris en considération est l'activité microbienne, c'est-à-dire les compositions et les fonctions des communautés microbiennes impliquées dans la dégradation des MOS.

COMMENT MIEUX APPRÉHENDER LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

Pour comprendre les effets du changement climatique sur le compartiment MOS du sol, il faut étudier comment et à quelle vitesse réagira le stock de carbone organique du sol à ce changement. Les rétroactions entre le carbone organique du sol et le climat ne sont pas suffisamment comprises pour répondre à ces questions. L'utilisation de modèles numériques sur le cycle de carbone dans le sol permet toutefois de les explorer, en évaluant les options de gestion et en analysant les stratégies de séquestration du carbone. Il faut noter cependant que ces modèles reposent sur des hypothèses parfois contestées, voire réfutées par des travaux récents de recherche **[85]** découlant de nouvelles techniques isotopiques, spectroscopiques et moléculaires ainsi que d'expériences sur le terrain à long terme. Une meilleure connaissance des rétroactions entre le climat et l'écosystème passe nécessairement par des programmes de recherche devant porter sur des horizons temporels suffisamment longs et une couverture spatiale suffisamment large **[86]** **[87]** *(cf. Webcomplément n° 13 de l'INRA)*.

ENGRAIS AZOTÉS

L'azote du sol est un facteur limitant pour la production agricole de nombreux sols et une fertilisation azotée est souvent nécessaire pour augmenter les rendements et soutenir la production alimentaire **[88]**. Dans l'agriculture d'aujourd'hui, les besoins en azote sont comblés par l'utilisation massive des engrais minéraux malgré les conséquences environnementales qui en découlent notamment sur la présence excessive de nitrates dans les eaux. En effet, seulement 17 % de l'azote provenant des engrais minéraux sont consommés par les humains dans les aliments **[89]**, les pertes sous forme soluble ou gazeuse après application aux sols sont donc importantes[38]. L'utilisation des engrais minéraux génère des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) qui ont été estimées à 2,5 % des doses appliquées **[90]** faisant de l'agriculture un des plus grands émetteurs de ce puissant gaz à effet de serre en France *(cf. Webcomplément n° 14 de l'INRA)*. Les effets du changement climatique sur le cycle de l'azote et, par suite, sur le stockage du carbone dans les sols représentent un besoin majeur de recherche. La réponse des plantes à l'élévation du CO_2 atmosphérique associé aux risques de manque des nutriments, dont l'azote, et comment cela influencera les niveaux des MOS, reste d'autres enjeux majeurs pour la recherche.

37 • *SOERE-ACBB : Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme pour la Recherche en Environnement – Agroécosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité.*

38 • *En France, les excédents ont été estimés en 2010 à une moyenne de 32 kg ha^{-1} de la superficie agricole (cf. chapitre Agriculture). Ces surplus peuvent acidifier le sol, générer des pollutions de l'eau et de l'atmosphère avec un impact négatif sur la santé humaine et l'environnement.*

PESTICIDES

LES PESTICIDES DANS LES SOLS

Très peu de données existent sur les concentrations de pesticides dans les sols, car bien que les concentrations mesurées soient significatives après épandage, elles deviennent analytiquement très faibles par la suite.

En effet, ces molécules sont sujettes à une très forte rétention par les sols et plus particulièrement par la matière organique avec une immersion progressive dans les agrégats du sol, les rendant non extractibles chimiquement, donc difficilement analysables. La contamination des eaux superficielles provient majoritairement du ruissellement lors d'épisodes pluvieux importants et celle des eaux souterraines, en général d'un transfert rapide par les macropores ou dans des sols très perméables. Durant ces transferts les molécules peuvent être biodégradées conduisant à un flux de métabolites plus important, plus rémanents et aussi (voir plus loin) toxiques que les molécules mères.

LES ÉLÉMENTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PEUVENT INFLUENCER LE DEVENIR DES PESTICIDES

En absence d'éléments permettant d'établir comment l'évolution de la microbiologie des sols impactera la mobilité des pesticides (et/ou de leurs métabolites), seuls les effets de la température et des événements pluvieux intenses sont abordés dans ce paragraphe.

Outre l'augmentation des teneurs dans l'air pour les pesticides les plus volatils et l'influence des événements hydriques extrêmes sur leur lixiviation, l'effet direct du réchauffement des sols devrait être négligeable sur le devenir des pesticides dans les sols. Par contre ce réchauffement devrait conduire à une minéralisation plus importante de la matière organique (cf. ci-dessus) et, par suite, à une rétention plus faible des pesticides dans les sols. Cet effet pourrait se faire sentir en grande culture mais pas forcément sur certaines des plus importantes sources de pesticides dans la région Nouvelle-Aquitaine, qui possèdent des teneurs faibles en matière organique (viticulture en général et maïsiculture dans les Landes). Pour les sols viticoles en particulier, la minéralisation des faibles teneurs présentes en matière organique est, de plus, fortement ralentie par la présence importante de cuivre issue de la bouillie bordelaise dans ces sols.

Le deuxième effet du changement climatique pourrait se faire sentir par un accroissement des intensités pluviométriques lors des événements extrêmes. Dans ce cas, il y aurait une augmentation des flux vers les eaux superficielles et éventuellement vers les eaux souterraines en présence de sols avec macropores. Si, outre ces événements, le changement climatique conduit à une plus grande sécheresse en été, cela ne devrait pas modifier notablement le devenir des pesticides car les pesticides sont déjà très peu mobiles durant cette période.

Finalement et d'une façon plus générale, les objectifs de réduction des pesticides[39] et la demande sociétale à ce sujet devraient en fait advenir sur un temps *a priori* plus court que l'évolution climatique. On peut donc espérer que le flux de pesticides vers les sols diminuera significativement d'ici une ou deux décennies, donc sur une période plus courte que les effets potentiels du changement climatique. Cependant des périodes plus sèches sur une partie de l'année peuvent conduire à une exploitation plus intense des ressources en eaux souterraines, comme c'est déjà le cas sur la région bordelaise où un transfert des pompages de l'aquifère éocène plus profond vers l'oligocène plus proche de la surface a augmenté le risque pesticide.

MÉTAUX

LES MÉTAUX DANS LES SOLS

Les sols sont des milieux accumulateurs de métaux, qui proviennent soit du fond géochimique suite à l'altération des roches, soit d'activités anthropiques. Qu'ils soient oligoéléments, tels le cuivre ou le zinc, ou non-essentiels, comme le cadmium ou le plomb, tous les métaux sont toxiques pour les organismes vivants au-delà d'un certain seuil quand ils sont biodisponibles. Autrement dit, ils doivent être présents sous la forme d'ions libres (Cu^{2+}, Cd^{2+}…), donc passer en solution, ce qui leur permet ainsi de traverser des membranes biologiques et de s'accumuler dans les organismes vivants.

Dans les sols de Nouvelle-Aquitaine, les concentrations en métaux sont très variables. Du fait de leur substrat géologique, les sols des Landes sur substrat sableux présentent des concentrations très faibles en métaux. En Charentes, les sols sur substrat calcaire ont des concentrations élevées en cadmium (**Figure 13**). Au niveau du seuil du Poitou, les « terres rouges » sont riches en chrome, nickel, plomb et cobalt. À ces teneurs naturelles s'ajoute l'effet de l'usage des sols. Ainsi, les sols viticoles, arboricoles ou maraîchers présentent aujourd'hui des concentrations élevées à très élevées en cuivre (**Figure 13**) du fait de l'usage, depuis plus de cent ans, de la bouillie bordelaise utilisée comme fongicide contre le mildiou.

Les métaux s'accumulent dans les fractions les plus fines des sols (< 2 µm) par exemple par sorption sur les phyllos silicates (rétention des métaux par effet de charge) ou par complexation sur les oxydes de fer ou manganèse. La matière organique des sols est un autre compartiment particulièrement important du fait de sa forte capacité à fixer les métaux, notamment le cuivre ou le plomb.

39 • Les plans nationaux « santé et environnement » prévoient des objectifs de réduction de 50 % des apports de pesticides.

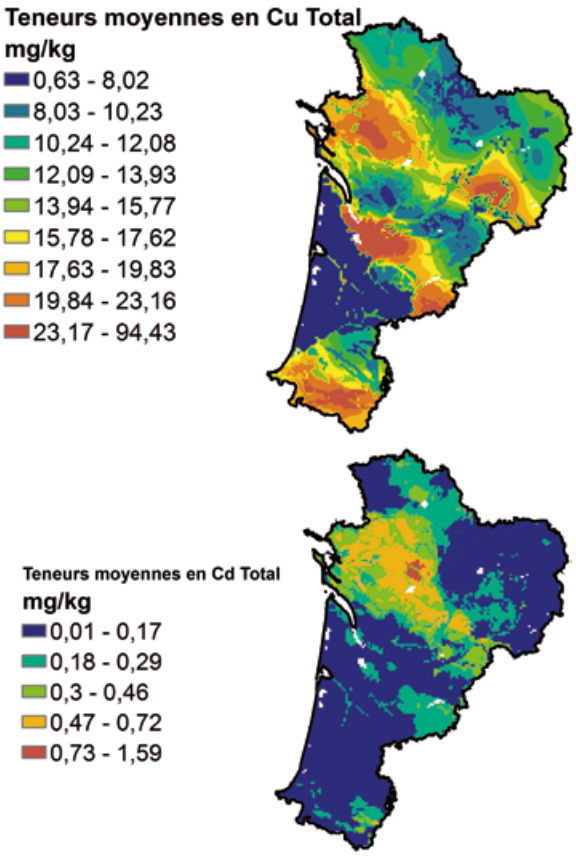


Figure 13 : *Cartes des teneurs en cuivre et en cadmium dans les sols de Nouvelle-Aquitaine (91).*

LES ÉLÉMENTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUVANT INFLUENCER LE DEVENIR DES MÉTAUX

L'effet de la température sur la biodisponibilité des métaux est aujourd'hui mal connu et mal quantifié. Une augmentation de la température du sol peut conduire à augmenter la vitesse ou l'intensité de la minéralisation des matières organiques des sols. Les métaux préalablement fixés seraient alors libérés en solution, ce qui pourrait augmenter leur biodisponibilité. Cependant, si cette minéralisation libère aussi des matières organiques solubles qui complexent les métaux dans la solution du sol, la concentration en ions libres en solution, et donc la biodisponibilité, peut rester stable voire diminuer. Le pH est également un paramètre important, jouant sur la disponibilité des métaux. De manière très générale, en milieu acide les métaux sont plus biodisponibles qu'en milieu alcalin. L'activité biologique, de par la respiration microbienne notamment, peut faire évoluer le pH et jouer ainsi sur la biodisponibilité des métaux.

Les épisodes climatiques extrêmes, tels que des périodes très pluvieuses suivant des sécheresses intenses, conduiront à augmenter l'érosion superficielle et les transferts colloïdaux verticaux[40], et ainsi à diffuser la contamination métallique, soit vers les aquifères superficiels, soit vers la profondeur des sols **[91]**. L'engorgement des sols peut également conduire à la dissolution partielle des oxydes dans des conditions anoxiques (en absence d'oxygène), en libérant les éléments métalliques sous une forme réduite, comme par exemple le fer ou le manganèse.

MICRO-ORGANISMES ET MACROFAUNE DU SOL

La symbiose est considérée comme un mécanisme majeur de l'évolution des espèces, notamment l'association avec les micro-organismes (appelée « microbiome ») qui est particulièrement révélatrice d'un changement conceptuel sur ce qu'est un organisme vivant. Ce changement d'échelle doit être également pris en compte dans le fonctionnement des écosystèmes et plus particulièrement sur les services écosystémiques rendus par la biodiversité. C'est particulièrement crucial pour les agrosystèmes, au vu des enjeux sociétaux actuels (changements globaux incluant les changements climatiques) pour lesquels il convient de trouver des solutions durables[41].

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ABONDANCE ET LA FONCTION DES COMMUNAUTÉS

De par leur physiologie, leur sensibilité à la température et leurs taux de croissance différents **[92] [93] [94]**, les communautés des sols seront affectées par le changement climatique. Leur abondance relative, leurs fonctions et les rôles qu'elles occupent dans l'écosystème pourraient être modifiés, comme par exemple, pour les groupes microbiens spécifiques qui régulent des fonctions telles que la fixation de l'azote, la nitrification **[95]**, la dénitrification **[96] [97]** et la méthanogenèse **[98]**.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES INTERACTIONS PLANTES-MICRO-ORGANISMES

Les conséquences des interactions entre les plantes, leur communauté microbienne associée et le changement climatique sur les fonctions de l'écosystème sont encore mal comprises **[99] [100]**. Toutefois, comme les interactions entre les plantes et les communautés du sol sont des « contrôleurs » importants de l'azote et de la dynamique du carbone (exemple des communautés microbiennes associées à la racine **[101] [102] [103]**), des changements dans la communauté microbienne du sol devrait avoir des effets durables sur l'établissement et l'équilibre du carbone du sol et donc sur les rendements. Par ailleurs, il a été

40 • Transferts verticaux des particules très fines (colloïdales) auxquelles sont associés des métaux.

41 • Le concept émergeant d'agroécologie tend justement à analyser la dynamique des systèmes agricoles en prenant en compte les interactions du vivant à différentes échelles spatiales et temporelles pour en améliorer les performances de production et en garantir leur durabilité et leur résilience face aux perturbations.

montré **[104]** que des changements dans les précipitations altèrent la communauté du sol et sa fonction, mais que cet effet de la précipitation varie selon la plante dont le sol a été prélevé. Enfin, des études récentes suggèrent que les réactions rapides de la communauté des sols environnants peuvent amortir les plantes contre le stress à la sécheresse **[105]**.

INFLUENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES INTERACTIONS MICRO-ORGANISMES-MICRO-ORGANISMES

Les micro-organismes forment des réseaux complexes d'interactions qui répondent continuellement aux changements de ressources. Par exemple, les champignons mycorhiziens[42] peuvent servir à modifier les communautés bactériennes vivantes avec pour conséquence de faire varier le transfert d'azote des mycorhizes à la plante **[106]** ainsi que la décomposition de la matière organique **[107] [108] [109]** *(cf. Webcomplément n° 15 de l'Université de Poitiers).* La hausse des températures conduit à une augmentation de l'attribution du carbone aux organes principaux (que sont les hyphes mycorhiziennes) des champignons colonisateurs des racines des plantes Cette augmentation peut faire passer l'association mycorhizienne de symbiotique à parasitique **[110]**. Les changements dans ces interactions entre les mycorhizes et les plantes peuvent provoquer une altération de la composition microbienne du sol **[111] [112]** et de l'activité **[108],** avec pour conséquence d'exacerber l'interaction négative ou positive entre la plante et sa communauté associée. D'autres interactions entre les bactéries et les champignons dans la communauté de vie libre sont susceptibles de modifier les fonctions de l'écosystème et les réactions de carbone, mais cela a été moins exploré.

MACROFAUNE

Dans une approche systémique, il convient également de prendre en compte les associations symbiotiques présentes chez les tous les organismes, y compris les animaux **[113]**, présents dans les agrosystèmes. La macrofaune du sol est, dans ce cadre, particulièrement intéressante de par ses impacts sur les cultures et sur l'activité biologique du sol **[114]**. Ainsi, de nombreux arthropodes, qu'ils soient auxiliaires ou ravageurs, hébergent des endosymbiotes (symbiotes intracellulaires) qui apportent à l'hôte des nutriments essentiels à son développement. En plus de ces symbiotes nutritionnels de nombreux arthropodes sont également infectés par des symbiotes facultatifs ou secondaires qui contribuent également à des traits écologiques majeurs tels que la reproduction **[115]**, la résistance à des ennemis naturels, la capacité d'adaptation à des changements environnementaux ou l'utilisation de ressources particulières **[116]**. Un exemple intéressant est celui des cloportes qui, à l'égal des vers de terre, constituent d'excellents bio-indicateurs de qualité des agrosystèmes **[117 à 119]** *(cf. Webcomplément n° 16 de l'Université de Poitiers).*

CONCLUSION

La hausse de température entraînera notamment une augmentation de l'activité biologique des sols, donc de la minéralisation de la matière organique présente, conduisant à une perte de carbone plus importante[43] avec répercussions importantes sur la fertilité des sols et sur l'agriculture, ainsi que de probables effets sur le cycle de l'azote. Par ailleurs, la réponse des plantes à l'élévation du CO_2 atmosphérique peut entraîner des risques de manque des nutriments comme l'azote et le phosphore.

Bien que les objectifs de réduction d'utilisation des pesticides et que la demande sociétale devraient advenir sur un temps *a priori* plus court que l'évolution climatique, des périodes plus sèches sur une partie de l'année pourront conduire à une exploitation plus intense des ressources en eaux souterraines, ce qui induirait l'utilisation de ressources qui peuvent contenir plus de pesticides.

Pour les métaux dont les sols sont des milieux accumulateurs, de par leur complexation aux matières minérales et organiques, les effets de la température sur ces matières risquent d'augmenter la biodisponibilité des métaux, donc la toxicité. L'accroissement de la fréquence des précipitations extrêmes contribuera à augmenter leur mobilité. Enfin, les scénarios climatiques futurs peuvent également affecter les populations microbiennes dans le sol avec beaucoup de conséquences potentielles, y compris la perte du carbone du sol, des changements dans le sol aux niveaux de la production de GES et des modifications au niveau des rétroactions sol-plante avec des retombées importantes sur la fertilité du sol.

Globalement, l'évolution de la qualité du sol naturel sous l'impact du changement climatique associée au concept de production agricole durable et sécuritaire reste un domaine qui présente encore de nombreux enjeux majeurs pour la recherche, afin notamment :

- de mieux préciser les niveaux des matières organiques des sols et leur impact sur le stockage du carbone ;
- de trancher entre le scénario de la bombe à retardement « métaux » ou celui de la stabilité de ces contaminants ;
- de mieux comprendre l'ensemble des interactions entre faune, microbiome et plantes, notamment les impacts des interactions sol-microbes sur le changement climatique et sur le cycle du carbone par rapport aux modes d'usages des sols.

42 • La mycorhize est une association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes.

43 • On estime que la canicule que l'Europe a connue en 2003, avec des températures de parfois 6 ºC supérieures aux moyennes, a entraîné la libération de jusqu'à deux fois le montant annuel des émissions de carbone produites par la combustion de carburants fossiles.

5 CONCLUSION

La recherche en physico-chimie analytique de ces trois dernières décennies (à laquelle les équipes de la Région Nouvelle-Aquitaine ont largement contribué) a conduit au développement d'outils tellement sensibles que des ultratraces de polluants chimiques peuvent être aujourd'hui quantifiées, quel que soit le milieu étudié. C'est un atout considérable que les agences et autres organismes en charge du contrôle de l'état des milieux naturels ont mis à profit pour mesurer la pollution (tant dans le biotope que dans la biocénose), même si parfois la communication médiatique qui en découle oublie de relativiser les très faibles échelles de concentrations mesurées. C'est aussi grâce à la recherche en général que les origines de cette pollution (impact des activités anthropiques sur la pollution et réciproquement), les mécanismes d'évolution des polluants dans le milieu naturel, leurs effets écotoxiques et sur la santé humaine… sont globalement connus. C'est ce qui a permis de définir des seuils, normes et autres objectifs à ne pas dépasser ou à atteindre, ainsi que de mettre en œuvre des politiques et des moyens de prévention et de lutte.

Les milieux naturels de la région Nouvelle-Aquitaine, comme dans toutes les régions françaises, sont plus ou moins contaminés par différents polluants. Cette pollution est bien sûr spécifique au milieu considéré et dépendante des zones géographiques (urbaines ou rurales) ainsi que des activités s'y pratiquant (urbanisation intensive, transport, industrie, grandes cultures, viticulture…). On incite le lecteur à se reporter aux conclusions des parties « Eau » et « Air » traitées dans ce chapitre pour plus d'informations sur l'état actuel de ces deux milieux ; les données sur la pollution des sols étant en nombre trop faible pour évoquer précisément leur état sur l'ensemble de la région.

Dans ce domaine des milieux naturels, les efforts nationaux et régionaux en matière de prédiction des impacts du changement climatique portent principalement sur l'augmentation de la température de l'air, la diminution des ressources en eau disponibles, les événements climatiques et hydrologiques extrêmes, l'érosion côtière, la productivité agricole, etc. au sujet desquels la société civile est souvent alertée. On oublie trop souvent d'évoquer les retombées sur la qualité des milieux. On se doute bien que le changement climatique avéré aura des impacts sur cette qualité, puisque certains effets sont déjà visibles, en particulier dans le domaine de l'eau douce superficielle (augmentation de la température, évolution des espèces aquatiques, développement de micro-organismes de type cyanophycées, diminution des débits des cours d'eau et de la dilution des polluants, eutrophisation…) ou de l'air (augmentation de l'index pollinique, effets sur la santé publique, etc.), et que d'autres sont prévisibles, même si non réellement démontrés *in situ* en région (modification de la matière organique des sols, augmentation des teneurs en polluants dans les eaux souterraines, augmentation de l'écotoxicité des milieux aquatiques superficiels, augmentation de la concentration en ozone, des composés organiques volatils et des aérosols dans l'air…). Pour plus de détails, le lecteur se reportera aux conclusions de chaque partie de ce chapitre (eau, air, sol), ainsi qu'à celles d'autres chapitres de cet ouvrage, notamment sur la disponibilité des ressources en eau, la santé et l'agriculture.

Il a été demandé à certains collègues hors région Nouvelle-Aquitaine de relire attentivement ce chapitre sur la qualité des milieux et de donner des avis en suggérant des améliorations, ce qu'ils ont fait et ce dont nous les remercions vivement. Il a été, bien sûr, tenu compte de leurs principales suggestions dans la rédaction finale. Il est toutefois intéressant de mentionner ici que leur première impression générale (que nous partageons en partie) était que ce chapitre s'efforce d'avancer dans un secteur insuffisamment connu tant les modifications, liées au changement climatique, des pollutions (sources, types, évolutions naturelle et provoquée…) et de leurs effets (notamment toxiques) sont multiples et « enchevêtrés ». Cet enchevêtrement rend difficile la mise en place d'une stratégie cohérente et pertinente pour agir efficacement en faveur de la qualité et peut, en outre, morceler les responsabilités, source d'inactions. Faute de vision globale et systémique malgré le potentiel régional important en recherche, le risque à éviter est de ne pas pouvoir répondre aux questions « où est l'ennemi ? » et « où sont les responsabilités ? ». En d'autres termes, un besoin de recherche appliquée au « terrain » de la Nouvelle-Aquitaine est indispensable pour évaluer plus clairement les impacts du changement climatique sur la qualité des milieux, les adaptations à préconiser et les enjeux environnementaux et socio-économiques qui en découleront. Quelques exemples sont cités dans le corps du chapitre. Cette connaissance territoriale est obligatoire, sous peine de ralentir, voire de fausser, tous les plans d'adaptation, d'aménagement du territoire et d'optimisation des usages de l'eau et des sols dans le contexte du changement climatique.

Disponibilité de l'eau et changement climatique

Puits artésien de Bontemps en Dordogne © Hervé Chassain/Sud Ouest

Coordination : **Alain Dupuy, Henri Etcheber, Denis Salles**

Contributeurs "Eau de surface" : **Bruno Coupry, Frederic Montigny, Éric Sauquet**

Contributeurs "Eau souterraine" : **Olivier Cabaret, Fabrice Compère, Alexandra Courtin-Nomade, Hugo Delottier, Olivier Douez, Bruno de Grissac, Emmanuel Joussein, Nicolas Pédron, Gilles Porel, Alexandre Pryet, Moumtaz Razack, Marc Saltel, Arnaud Wuilleumier**

Contributeurs "Gouvernance de l'Eau" : **Benoît Labbouz, Vincent Marquet, Jean-Christophe Pereau, Nicolas Rocle, Mathilde Chaussecourte**

Régionalement, le changement climatique se traduit par une élévation de la température de l'air, une variabilité de la pluviométrie annuelle et par une augmentation globale de l'évapo-transpiration. Ce chapitre aborde la caractérisation des eaux de surface, des eaux souterraines et les orientations de la gouvernance de l'eau sous contrainte du changement climatique. Cette vision hydroclimatique intégrée repose sur trois principes : l'unicité de la ressource en eau ayant vocation à satisfaire durablement et équitablement usages et fonctionnalités écologiques ; la spécificité des ressources en eau par leur origine, leur quantité et leur renouvellement ; le besoin de renouveler les modes de gouvernance de l'eau pour accompagner les défis du changement climatique. Pour les eaux de surface, si les multiples cours d'eaux de la région présentent des différences très prononcées, une diminution de leur disponibilité est prévisible dans les prochaines décennies, accompagnée de transformations des cycles hydrologiques.

La disponibilité de l'eau souterraine peut évoluer du fait d'une variation des conditions hydrologiques. Les aquifères de socle du Limousin présentent des risques d'étiages sévères plus fréquents et intenses. Sur les aquifères libres de Poitou-Charentes déjà fortement sollicités pour l'agriculture irriguée, les variations piézométriques sont largement influencées par la pluviométrie et les températures marquent une tendance à la hausse. Des expertises hydro-climatiques systématiques par territoires et par types de cours d'eau et d'aquifères sont désormais nécessaires pour anticiper les effets socio-économiques et écologiques du changement climatique. L'anticipation du changement climatique doit s'appuyer sur l'évaluation d'expérimentations et d'initiatives innovantes portées par une diversité d'acteurs de la société et sur un accompagnement par des collectifs dédiés (science-politique-économie-société civile) pour assurer la transition socioécologique des territoires régionaux. La gouvernance adaptative doit anticiper les contraintes et les opportunités en satisfaisant les usages et le respect de la qualité des milieux hydriques.

UNICITÉ DE LA RESSOURCE

PROBLÉMATIQUE HYDROCLIMATIQUE

74 000 km
de cours d'eau

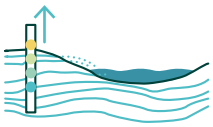
1,5 milliards de m³
D'EAU DOUCE
prélevés en 2015
en Nouvelle-Aquitaine

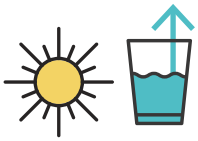
- **46 %** agriculture
- **34 %** eau potable
- **12 %** industrie
- **8 %** énergie

3 TYPES D'EAU DOUCE MONDIALE

69,5 % | 30 % | 0,5 %

1 ▷
ÉTIAGES + SÉVÈRES + LONGS
CYCLE ↓↑ HYDROLOGIQUE perturbé

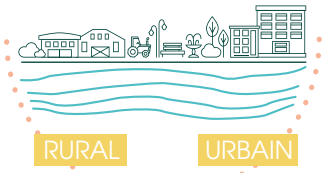
2 ▷ 
-20 % à -40 % DE DÉBITS DES RIVIÈRES
↓↑ SUREXPLOITATION des eaux souterraines

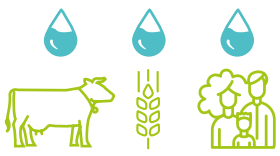
3 ▷ 
+1°C → +1,6 % D'EAU POTABLE consommée

DE L'EAU POUR LES TERRITOIRES ET LES MILIEUX

→ Élargir le cercle des participants

MIX HYDRIQUE





SOLIDARITÉ

Anticipation du changement climatique

1 INTRODUCTION

Dans le premier rapport AcclimaTerra **[1]**, la question de l'eau en Aquitaine face au changement climatique avait fait l'objet de chapitres distincts qui abordaient ***la vulnérabilité de l'eau*** face au changement climatique, ***la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines***. Les effets du changement climatique sur l'évolution de la disponibilité en eaux **[2]**, constituent un enjeu majeur auquel la région Nouvelle Aquitaine est déjà confrontée. Evaluer la quantité d'eau disponible, sa répartition dans l'espace mais aussi en termes de saisonnalité, la manière de la partager, est indispensable pour définir correctement des stratégies d'adaptation. Toutefois, si le changement climatique s'impose comme un important facteur de risques pour la disponibilité en eau, il vient se surajouter aux impacts anthropiques, aux facteurs socio-**économiques et** aux problèmes de gouvernance de l'eau que traverse la gestion de l'eau depuis plusieurs décennies.

L'objectif de cette contribution est d'ouvrir une réflexion transversale sur le mix hydrique en Nouvelle-Aquitaine à l'horizon 2050 : le mix hydrique – en référence au concept de mix énergétique — peut être défini par plusieurs dimensions :

- une combinaison raisonnée de différentes ressources en eau (eaux souterraines, eaux de surface, re-usage, recharge) pour satisfaire les usages et respecter les fonctionnalités écologiques ;
- une combinaison de leviers (scientifique/technique/économique/social/politique) qui permet de déterminer la gouvernance de l'eau sur le territoire régional. La définition d'un mix hydrique nécessite d'aborder de manière intégrée la question des effets du changement climatique à l'échelle territoriale en articulant les aspects hydrologiques, hydrogéologiques, écologiques avec les dimensions socio-économiques, normatives et politiques concernant les usages et les modes de gouvernance de l'eau.

Cette analyse transversale de la « disponibilité de l'eau » repose sur trois principes, le premier affiche l'unicité de la ressource en eau ayant vocation à satisfaire durablement et équitablement usages et fonctionnalités écologiques ; le deuxième considère la spécificité des ressources en eau par leur source, leur quantité et leur renouvellement ; le troisième souligne le besoin de renouveler les modes de gouvernance de l'eau pour accompagner les défis du changement climatique.

Le chapitre est organisé en trois sections. Après un bref rappel des prélèvements en eau en Nouvelle-Aquitaine, la première et la deuxième section visent à établir un diagnostic actualisé de la situation des eaux de surface et des eaux souterraines à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine. La troisième section aborde l'incursion récente et croissante du changement climatique dans la gouvernance territoriale de l'eau. La conclusion énonce quelques principes utiles à la définition du mix hydrique optimum pour la région dans le contexte du changement climatique.

PRÉLÈVEMENTS D'EAU EN NOUVELLE-AQUITAINE

Pour satisfaire les usages domestiques, les besoins des activités industrielles et agricoles, des services ainsi que de production d'énergie, des prélèvements sont effectués dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

En 2014, 29,9 milliards de m^3 d'eau ont ainsi été prélevés en France. Les consommateurs d'eau potable ont utilisé 5,4 milliards de m^3 soit environ 18 % du total prélevé.

L'industrie et l'irrigation occasionnent des prélèvements comparables, autour de 3 milliards de m^3. Le secteur de l'énergie prélève quant à lui 18,8 milliards de m^3 (près de 63 % du total prélevé).

Ces prélèvements se font en majorité dans les eaux de surface (81 %), sauf pour l'eau potable pour laquelle le recours aux eaux souterraines est fréquent à cause de leur meilleure protection vis-à-vis du risque sanitaire. Ces 10 dernières années, la tendance des prélèvements pour ces quatre usages est à la baisse. Cette évolution reste toutefois très dépendante des conditions climatiques et des pratiques de production, notamment agricoles.

Les prélèvements ne représentent que très partiellement les pressions réelles exercées par les activités humaines sur la ressource en eau. En effet, il est important de distinguer le prélèvement (quantité soustraite au milieu à un instant donné) et la consommation (différence entre la quantité prélevée et la quantité restituée dans le milieu ou encore les volumes qui, après usage, ne sont pas restitués au cycle de l'eau continental).

C'est la consommation qui traduit donc véritablement la pression exercée sur le milieu. Elle est variable selon les usages. La consommation d'eau peut donc conduire à des déséquilibres locaux, occasionnels ou chroniques, compromettant le respect du « bon état » des milieux aquatiques et des eaux souterraines ainsi que la satisfaction de besoins futurs.

En 2015, les prélèvements en eau en Nouvelle-Aquitaine, tous usages confondus, s'élèvent à 1,5 milliards de m^3 (hors centrale nucléaire de production d'électricité de Blayais qui prélève dans les eaux saumâtres).

Avec 500 millions de m^3 prélevés, la part des volumes pour les besoins en eau potable est de 34 % (**Figure 1**). Ces volumes se sont stabilisés malgré une augmentation de la population.

Les prélèvements agricoles sont estimés à 674 millions de m^3 (46 % des volumes prélevés). Ils sont très dépendants des situations pluviométriques annuelles. En Nouvelle-Aquitaine, les prélèvements agricoles pour l'irrigation sont réalisés à 65 % dans les eaux souterraines (contre environ 35 % pour la France).

Le secteur industriel prélève 174 millions de m^3 (12 % du volume total). Les prélèvements sont en baisse régulière, le niveau de consommation est relativement faible du fait d'un rejet systématique des eaux après usages. Les prélèvements effectués dans les eaux de surface sont à hauteur de 77 %. Les eaux stockées pour l'énergie hydroélectrique peuvent être mobilisées pour le soutien d'étiage en période critique. Les enjeux du secteur industriel portent davantage sur le traitement des rejets et les impacts sur la qualité des milieux. Les eaux prélevées pour la production d'énergie (refroidissement de la centrale nucléaire de Civaux) se montent à 109 millions de m^3 (8 % du volume prélevé). Les quantités prélevées d'année en année sont stables.

La tendance des prélèvements est à la baisse mais des problèmes persistent en période estivale sur certaines parties du territoire. La coïncidence des étiages (période de plus basse eau des rivières et des nappes) avec l'importance des besoins en eau (irrigation agricole et usages domestiques en particulier) peuvent susciter des problèmes structurels (déficit chronique de la quantité d'eau).

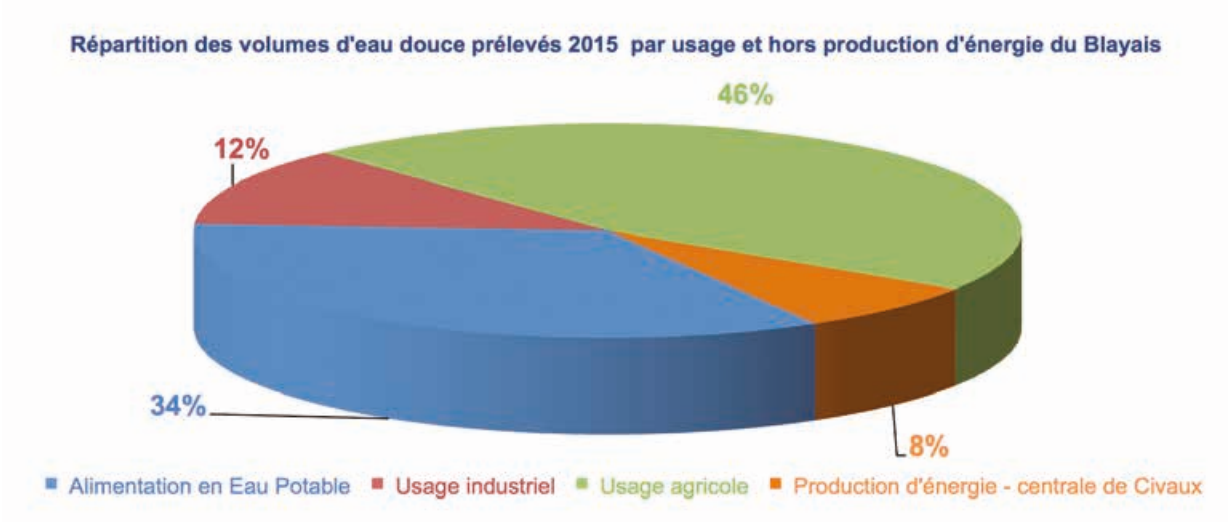


Figure 1 : *Répartition de volumes d'eau douce prélevés en Nouvelle-Aquitaine en 2015 par usage et hors production d'énergie du Blayais. Données source : Agences de l'eau Adour-Garonne et Loire-Bretagne - EDF ; Traitement : ARB NA.*

2 LA DISPONIBILITÉ DES EAUX SUPERFICIELLES

La problématique concernant les eaux de surface, traitée lors de l'ouvrage de 2013 ([1] chapitre 8.2), est renouvelée ici en prenant en compte d'une part, l'extension de la dimension géographique de la région Nouvelle-Aquitaine dont le réseau hydrographique se trouve agrandi ; et d'autre part, les avancées des recherches hydro-climatiques, tant du point de vue théorique [3] que du point de vue des résultats de terrain.

Les objectifs visés et les approches utilisées, strictement identiques à ceux présentés dans l'ouvrage 2013, sont rappelés dans l'encadré ci-dessous.

OBJECTIFS ET MÉTHODES

La hausse des températures et les évolutions des précipitations affectent la totalité du cycle de l'eau d'un bassin versant : extension du manteau neigeux, processus d'évapotranspiration, d'infiltration, de stockage dans les nappes et de ruissellement des eaux sont tous concernés. S'ajoutent à cela les prélèvements d'eaux de surface (et d'eaux souterraines) liés à l'action humaine (irrigation, industrie, alimentation en eau potable). Cet ensemble de problèmes qui affecte directement les fluctuations temporelles des débits des fleuves et rivières en Nouvelle-Aquitaine, pose les questions suivantes :

- Quelles sont les tendances d'évolution des débits des rivières en Nouvelle-Aquitaine ?
- Peut-on bénéficier de projections suffisamment fiables sur leur devenir au cours du XXIe siècle ?
- Quelles conséquences doit-on attendre sur l'évolution de la quantité, de la qualité des eaux de surface, des cycles biologiques des milieux aquatiques et des usages de l'eau ?
- Peut-on remédier à des évolutions qui pourraient sembler négatives et comment ?
- Pour mesurer les effets du climat sur l'hydrosystème, deux approches complémentaires peuvent être mobilisées :

1. L'approche statistique (méthode rétrospective) basée sur l'analyse de séries chronologiques longues, permet de dégager des tendances passées et présentes à la lecture des principales variables du cycle de l'eau (précipitations, température et débit examinés sur différents pas de temps (mois, saison ou année)). Cette analyse permet de comprendre les origines des variations par rapport à leur environnement (phase d'attribution à une cause possible) ; cette démarche permet la mise en évidence d'une relation entre le climat et l'évolution des paramètres examinés ;

2. La modélisation (méthode prospective) propose une simulation de l'évolution future des principales variables relatives au cycle de l'eau et à la gestion de la ressource à partir d'un modèle de fonctionnement de l'hydrosystème validé par des données enregistrées en temps présent. La modélisation climatique est réalisée à grande échelle par les Modèles de Circulation Générale (GCMs). Pour des échelles de gestion plus fines, des méthodes de descente d'échelle (down scaling) visent à représenter des phénomènes météorologiques d'extension géographique limitée. À cette difficulté à décrire le climat à l'échelle spatio-temporelle fine, s'ajoute une connaissance très disparate des actions anthropiques locales, concernant la mesure des prélèvements et de la consommation en eau.

LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE

Aux fleuves et rivières (Adour, Garonne, Dordogne) prenant pour la plupart leur source dans des régions limitrophes (déjà documentées en 2013 **[1]**), s'ajoutent au nord de la Nouvelle-Aquitaine les cours d'eaux majeurs de la Charente et de la Vienne (affluent de la Loire) et des rivières et affluents de moindre importance (Boutonne – affluent de la Charente, Seudre, Sèvre Niortaise).

Le réseau hydrographique de la Nouvelle-Aquitaine, pris dans son ensemble, présente un panel très diversifié de fleuves et rivières aux caractéristiques très tranchées (**Tableau 1, Figure 2**) à cause de l'origine et de l'altitude de leur source (Massif Central, Pyrénées…), leur superficie de bassin versant, la nature géologique des sols traversés, leur pente moyenne et leurs débits. Des régimes hydrologiques différenciés (nival, pluvio-nival, pluvial, océanique) et des spécificités locales très prononcées tant des points de vue climatiques, géologiques (variabilités des apports souterrains diffus le long des berges) que des activités anthropiques ajoutent à la complexité des modèles régionaux à mettre en place pour cerner l'évolution future de ce réseau hydrographique.

FLEUVES ET RIVIÈRES	ALTITUDE SOURCE (m)	SUPERFICIE BASSIN VERSANT (km^2)	LONGUEUR (km)	PENTE (m/km)	Q (m^3/s)	QS ($L/s/km^2$)
Gaves Réunis	1 500	5 030	193	7,7	184	36,7
Nive	1 000	870	79	12,7	31	36
Nivelle	502	165	39	12,9	5	31
Garonne	1 870	51 500	575	3,3	615	12
Adour	1 800	8 900	335	5,4	107	12
Dordogne	1 500	15 000	470	3,2	280	18,6
Vienne	977	21 100	433	2,3	193	9,7
Dropt	174	1 350	132	1,3	4,5	3,7
Isle	380	6 570	255	1,5	65	9,8
Dronne	480	2 820	200	2,4	25	8,9
Midouze	240	2 500	151	1,6	22	8,8
Leyre	106	1 700	116	0,9	19	11,2
Charente	310	9 830	380	0,8	61	8,3
Boutonne	97	1 320	169	0,6	5,5	4,2
Seudre	30	780	71	0,4	1,4	1,8
Sèvre niortaise	11	3 340	246	< 0,1	12	3,6

Tableau 1 : *Diversité des caractéristiques générales des fleuves et rivières majeurs de la région Nouvelle-Aquitaine (Q : débits, moyennes interannuelles aux exutoires ; Qs : débits spécifiques par unité de surface).*

(Données DREAL-Aquitaine, Midi-Pyrénées).

Trois grands types de fleuves et rivières sont répartis sur sept principaux bassins versants hydrographiques à l'échelle du territoire parcouru par 74 000 km de cours d'eau, dont 12 000 km de cours d'eau principaux :

1. Garonne, Adour, Dordogne et Vienne, rivières aux longs cours, issues de sources en altitude des Pyrénées ou du Massif Central, présentant des débits spécifiques de l'ordre d'une à deux dizaines de $L/s.km^2$;
2. Les rivières pyrénéennes du sud de la région Nouvelle-Aquitaine (Gaves, Nive, Nivelle), de longueur très limitée et de sources en altitude, affichant des débits spécifiques de l'ordre de la trentaine de $L/s.km^2$;
3. Les rivières, représentant la majorité de celles de la zone d'extension géographique de la région Nouvelle-Aquitaine, de longueurs moyennes et de sources de basse altitude, associées à des débits spécifiques faibles à très faibles, de l'ordre de la dizaine à quelques unités de $L/s.km^2$.

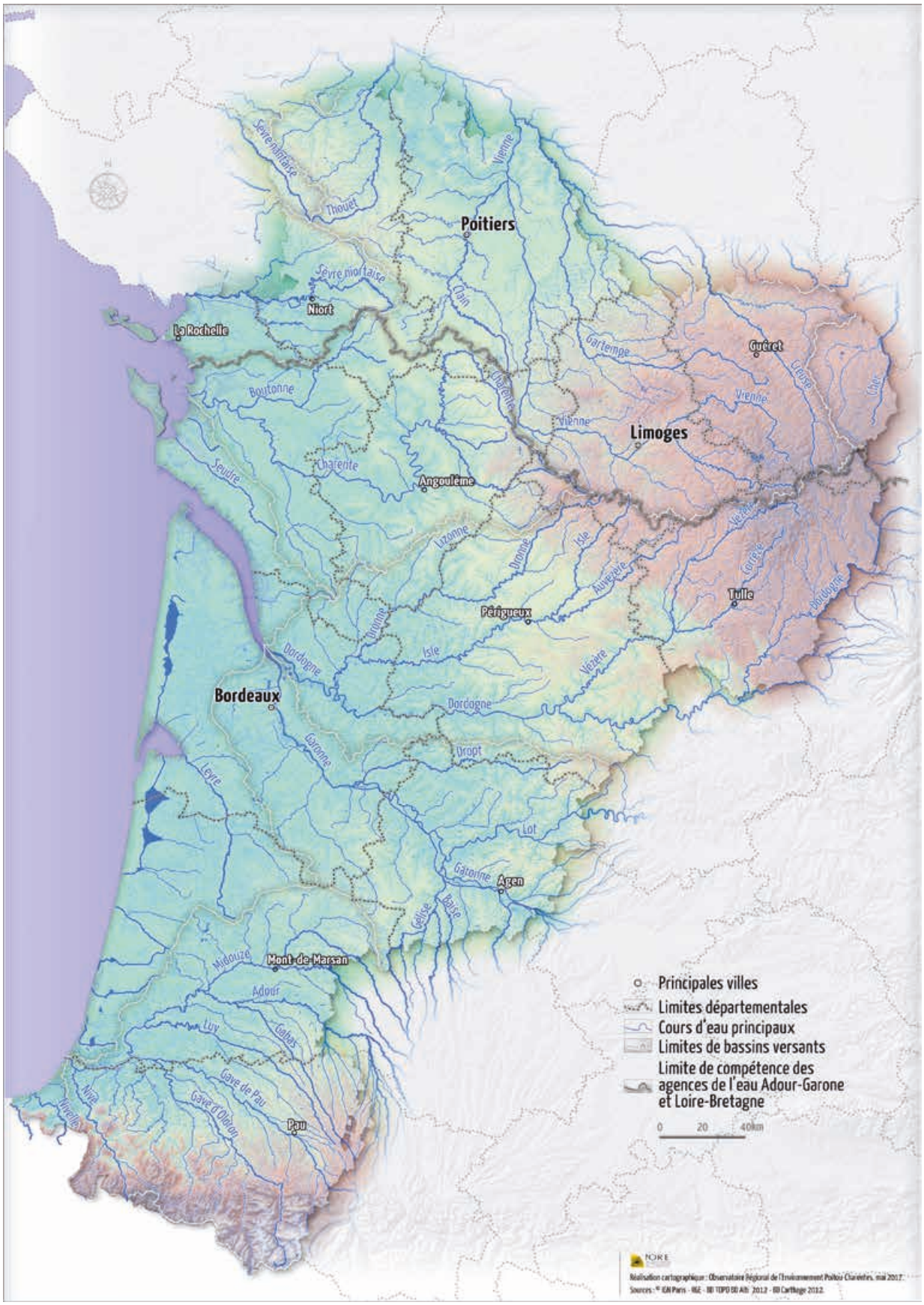


Figure 2 : *Le réseau hydrographique de Nouvelle-Aquitaine. Source : ARB NA.*

Les caractéristiques de ces cours d'eau régionaux auront une influence primordiale sur leur vulnérabilité aux changements globaux (climat et pressions anthropiques).

Pour compléter le tableau, la région Nouvelle-Aquitaine compte également de nombreuses zones humides, notamment d'intérêt communautaire, en particulier dans les têtes de bassin ou à l'extrême aval des systèmes. Le réseau hydrographique est aussi localement parsemé d'étangs et de lagunes, à l'image des étangs du territoire limousin et des étangs littoraux girondins et landais.

LES ÉVOLUTIONS HYDRO-CLIMATIQUES

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, les tendances actuelles d'évolution climatique s'inscrivent dans la lignée de celles observées en France :

- Croissance tendancielle de la température moyenne annuelle, particulièrement marquée au Sud de la région et sur la période estivale ;
- Décroissance globale des précipitations, surtout en période estivale et beaucoup moins nette en hiver, où se dessine toutefois une tendance à une concentration des précipitations hivernales ;
- Augmentation de l'évapotranspiration, assortie d'un assèchement des sols.

Précisons que le signal du changement climatique est plus robuste sur l'évolution de la température que sur celle des précipitations **[4]**.

Les études menées sur la Charente **[5]** confirment bien ces tendances :

- Nette tendance à l'augmentation de la température moyenne sur la période Juin à Octobre (1,5 °C) sur près de 40 ans, mais également de la température moyenne annuelle ;
- Signal peu marqué et hétérogène de l'évolution des précipitations selon les sites présents dans le bassin : légère diminution sur les 40 dernières années à Cognac, semblant d'évolution à la hausse à Marthon et pas de tendance à Nuaillé-Sur-Boutonne ;
- Augmentation du cumul annuel d'évapotranspiration de l'ordre de 200 mm sur 40 ans.

Ce dernier facteur d'évapotranspiration est primordial, car il impacte la végétation, régit les transferts vers les cours d'eau et les nappes souterraines et peut induire un besoin d'irrigation accru des cultures. Aussi fait-on appel à la notion de pluie efficace (pluie – ETR), qui permet d'évaluer la quantité d'eau qui reste potentiellement disponible à la surface du sol, pouvant alimenter nappes et cours d'eau.

La tendance des cumuls de précipitations efficaces est à la baisse de façon très marquée sur ces 40 années, cette évolution n'ayant fait que se renforcer durant la dernière décennie.

Au vu des résultats sur la Charente **[5]** et de ceux acquis par des études réalisées sur les bassins versants des cours d'eau de Midi-Pyrénées (Garonne 2050), apparaît clairement la nécessité de s'appuyer sur les études de vulnérabilité en cours sur les cours d'eau majeurs de la région Nouvelle-Aquitaine (Adour 2050, Dordogne 2050, Charente 2050).

LES TENDANCES ACTUELLES D'ÉVOLUTION DES DÉBITS

Les tendances actuelles d'évolution des débits des cours d'eau de la région Nouvelle-Aquitaine s'inscrivent globalement dans celles des fleuves et rivières français. On observe d'années en années :

- Une baisse des moyennes annuelles des débits de la quasi-totalité des cours d'eau (la **Figure 3** montre cette baisse avec les courbes de tendance linéaire pour la Vienne, la Charente et la Sèvre) ;
- Peu d'évolution nette concernant les phases de crue, tant pour leurs intensités que pour leurs fréquences ;
- Des étiages plus sévères en intensité et en durée.

Ce dernier point souligne la nécessité d'une meilleure anticipation des situations d'étiage dans la région Nouvelle-Aquitaine, notamment du fait de l'importance des besoins en eau pour l'activité agricole à l'étiage. Pour les bassins versants de l'Adour et de la Garonne, près de 70 % des prélèvements d'eau en période d'étiage sont destinés à l'irrigation. Savoir dans quelles conditions l'agriculture irriguée pourra rester une activité économique majeure dans un climat plus chaud et plus sec, et quels sont les changements de pratiques ou les évolutions technologiques nécessaires constitue des questions primordiales pour le futur des deux fleuves.

Au-delà de ces tendances globales, se dégagent des spécificités locales :

- Les rivières pyrénéennes **[6]** connaissent une aggravation des étiages et une baisse de leur module sur la période 1967-2011. Elles subissent également de fortes modifications dans la cyclicité globale des débits clairement liées aux variabilités des rapports saisonniers pluies/chutes de neige ;
- Le régime de la Dordogne, efficacement soutenu par la gestion de ses grands barrages amont par EDF, connaît fréquemment des débits estivaux supérieurs à ceux de la Garonne. Cependant, dans sa portion amont (Limousin), de nombreux petits cours d'eau contributeurs de faibles débits subissent des à secs redoutables ;
- Pour la Charente, les difficultés à mesurer les débits en raison de nombreux tributaires non équipés ajoutées aux problèmes pour réaliser des courbes de tarage sur des rivières à très faibles pentes, ne permettent pas de réaliser une analyse de tendance statistique à proprement parler. Cependant, le Plan de Gestion des Étiages **[7]** a permis de mieux cerner le fonctionnement de ce cours d'eau en prenant en compte la gestion des demandes et le fonctionnement hydrogéologique des ensembles souterrains liés à la géologie du bassin versant à dominante calcaire et à sections à lit quasi-imperméable (socle cristallin).

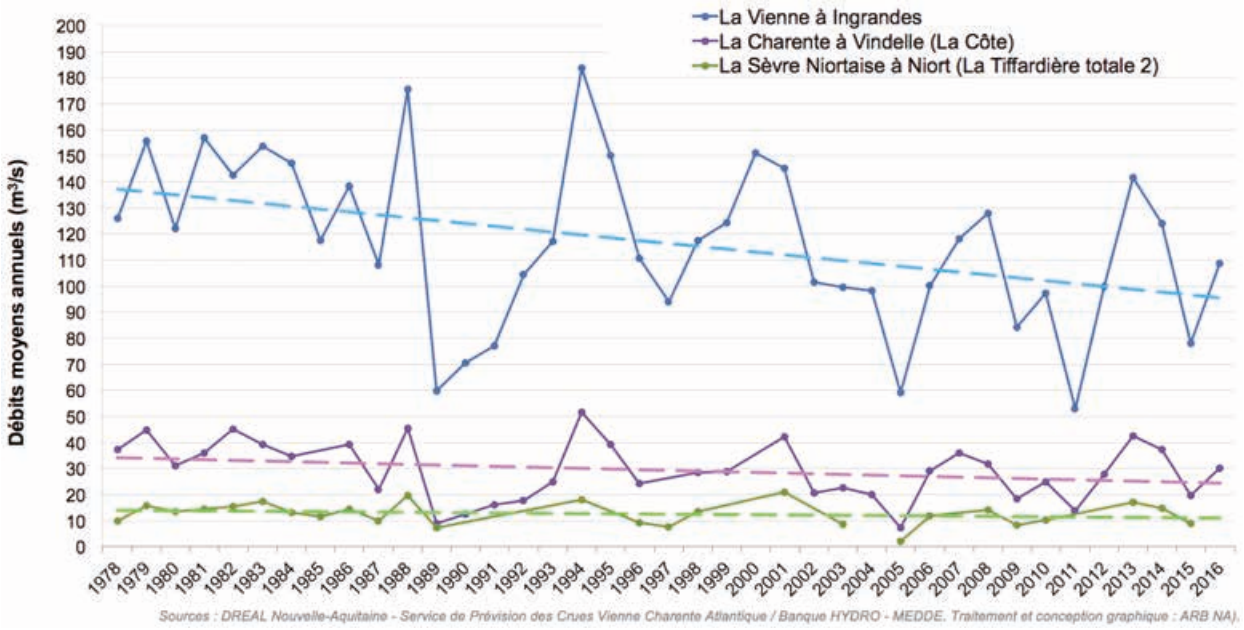


Figure 3 : *Évolution des débits moyens annuels depuis presque 40 dans les cours d'eau du nord de la Nouvelle-Aquitaine (Source : ARB NA).*

PROSPECTIVE HYDRO-CLIMATIQUE POUR ANTICIPER LES CHANGEMENTS GLOBAUX

L'évolution du climat joue sur tous les bilans hydrologiques (équilibre pluie, évapotranspiration, infiltration, ruissellement), sans qu'il y ait la moindre action envisageable pour modifier l'évolution probable des températures et des précipitations.

Cerner les évolutions à venir du cycle hydrologique est donc une priorité et cela passe par l'étude d'impact du changement climatique, obligeant la mise en place de longues chaînes de modélisation, du modèle climatique au modèle d'impact en passant par la régionalisation.

Cette démarche a été adoptée à l'échelle du réseau hydrographique en Midi-Pyrénées (Le Treut, 2013) et les sources d'incertitudes accumulées dans de telles approches ont été récemment mieux cernées **[3]**. Les résultats des modèles régionaux, proposés sur des bassins versants d'autres régions françaises **[8] [9] [10] [11]**, sont perçus comme satisfaisants, même si l'on estime encore que certains paramètres physiques (simulations des précipitations, par exemple) sont sensibles à de telles échelles **[12]**.

Afin de mieux gérer les périodes d'étiage futures, l'EPTB (Établissement Public Territorial de Bassin) Charente a mobilisé des données régionalisées de scénarios climatiques du GIEC, du CERFACS, de Météo-France, qui ont confirmé les tendances climatiques pour l'horizon 2040 :

- Augmentation de la température moyenne annuelle de 1 °C ;
- Évapotranspiration croissante (+ 60 mm) pour la période 2000/2040 par rapport à la période 1960-2000 ;
- Diminution des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 60 à 80 mm ;
- Modification du régime annuel de précipitation, les mois d'hiver étant les plus impactés par cette diminution ;
- Diminution de l'ordre de 50 à 70 mm des précipitations efficaces en moyenne.

Avec l'utilisation d'un modèle pluie-débit (CycleauPE, cycle de l'eau pour la prévision des étiages), il en ressort qu'à l'échelle globale de tout le bassin versant de la Charente, les apports d'eau douce à l'estuaire et au bassin de Marennes-Oléron pourraient diminuer globalement de 20 % à moyen terme.

Cette baisse générale s'accompagnera vraisemblablement d'épisodes de crises plus intenses, notamment au cœur de l'étiage qui est la période de prélèvement majeure de l'ensemble des usages.

PERSPECTIVES

Considérant l'impossibilité à brève échéance de peser sur une évolution rapide du climat (températures, précipitations), l'adaptation à la disponibilité future en eau de surface passera obligatoirement par une gestion optimale des débits des cours d'eau. Cette adaptation sera spécifique à chacun des sous-bassins qui présente des caractéristiques propres très diversifiées, tant du point de vue structurel que du point de vue des usages de l'eau.

Une meilleure lisibilité de l'évolution de la disponibilité de l'eau associe connaissance des impacts du climat et des facteurs anthropiques, sachant que c'est essentiellement sur ces derniers que l'on pourra agir à court et moyen terme. Les études engagées Garonne 2050, Dordogne 2050, Adour 2050, Charente 2050 doivent permettre de mieux anticiper les effets du changement climatique et de préconiser les décisions les mieux adaptées.

Pour passer à une étape d'études hydro-climatiques systématiques sur l'ensemble des cours d'eau de la région, il semble utile de dégager de façon scientifique une typologie des sous-bassins de la Nouvelle-Aquitaine selon un indice de vulnérabilité. La caractérisation proposée constitue à ce stade une base de travail à discuter :

- Rivières à faibles débits spécifiques et soumises à de fortes pressions anthropiques (dont prélèvements agricoles) (Charente, Boutonne, Seudre, Dropt…),
- Rivières à débits spécifiques modérés et soumises à de fortes pressions anthropiques (dont prélèvements agricoles) (Adour, Garonne, Isle, Dronne…),
- Rivière à débits spécifiques plutôt forts et débits régulés par la gestion des barrages EDF mais des petits tributaires amont connaissant à sec sévère (Gaves, Dordogne, Nive…).

3 EAUX SOUTERRAINES EN RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE

En 2013, le premier rapport **[1]** était limité aux systèmes aquifères de l'Aquitaine impactés par le changement climatique, à savoir les aquifères du cœur du bassin (libres ou captifs, de sub-surface ou profonds) ainsi que ceux (fissurés ou karstiques) de la partie occidentale des Pyrénées. Dans cette partie consacrée aux eaux souterraines et aux impacts du changement climatique, l'accent est mis en priorité sur les territoires du Limousin et de Poitou-Charentes. La typologie des systèmes aquifères présents, leur mode de fonctionnement et les impacts du changement climatique sur la disponibilité des ressources seront abordés. Pour la partie Aquitaine, la description hydrogéologique ayant été réalisée dans le premier volume, l'accent est mis sur les résultats de recherches scientifiques engagées sur le fonctionnement des systèmes aquifères sous contrainte du changement climatique. Les différentes approches développées dans cette partie abordent notamment la problématique de la recharge de nappes comme celle de la satisfaction de la demande.

LE LIMOUSIN ET LES AQUIFÈRES DE SOCLE

Depuis le début des années 2000, dans la tendance des observations réalisées à l'échelle nationale, l'est de la région Nouvelle-Aquitaine est confronté à une augmentation des températures par rapport aux enregistrements du début du xx^{e} siècle. À ces épisodes de températures exceptionnelles sont associées des périodes plus déficitaires en précipitations (augmentation de l'aridité et de l'indice de déficit climatique en eau) et des modifications du régime hydrologique. Cette évolution a des répercussions sur la disponibilité de la ressource en eau pour les divers usages associés (eau potable, irrigation, industries…). Les risques d'étiage sévère sont plus fréquents et plus intenses. Dans ces conditions, les réservoirs d'eau se trouvent fragilisés à la fois par une reconstitution plus difficile des stocks et par leur mobilisation pour du soutien d'étiages.

L'année 2015 a été un exemple exceptionnel d'année très déficitaire en précipitations pour trois départements localisés en tête de bassins comprenant la Corrèze, la Creuse et la Haute-Vienne[1]. Ces territoires de la partie occidentale du Massif Central, en raison de leurs contextes géologiques, sont naturellement dépendants des apports pluviométriques, en termes de quantité, de fréquences des épisodes de précipitations et du type de stockage associé (retenue de surface ou aquifère). Leur sous-sol est constitué à plus de 93 % de roches cristallines et cristallophyliennes (granite et gneiss principalement) dont les propriétés hydrodynamiques sont héritées des processus d'altération et de la tectonique. Ces roches de par l'extrême variabilité spatiale de leurs paramètres hydrodynamiques, composent des aquifères composites et discontinus. La partie superficielle et altérée de ces aquifères (altérites) assure la fonction capacitive (stockage de l'eau) alors que la partie fracturée plus profonde est transmissive (circulation des eaux) (**Figure 4**).

1 • Les travaux de recherche du laboratoire GRESE (Groupement de Recherche Eau Sol Environnement) de l'Université de Limoges apportent des connaissances sur les réserves en eau des départements les plus orientaux de la région Nouvelle-Aquitaine.

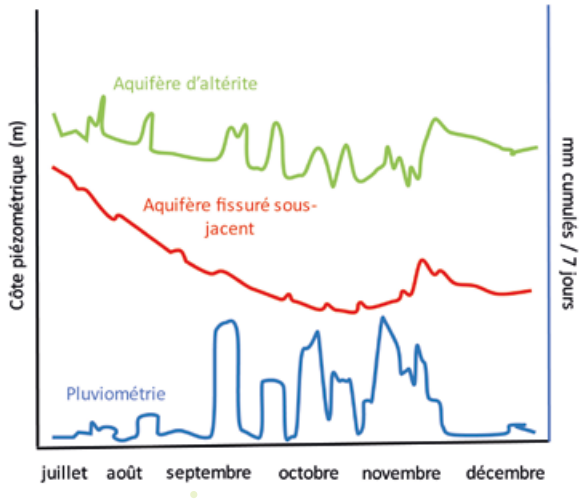


Figure 4 : *Représentation schématique (cote piézométrique en unité métrique arbitraire) de la réponse pluviométrique pour deux ouvrages proches captant distinctement les altérites et le réservoir fissuré sous-jacent. Le signal piézométrique en réponse à ces pluies est bien distinct. Exemple de deux captages de Javerdat (Haute Vienne ; année 2016-2017), GRESE.*

Dans ces conditions, la réponse de la nappe est fonction de l'épaisseur de la couverture des altérites. L'impact des pluies sur la recharge sera fortement retardé par la plus faible perméabilité des premières formations rencontrées lors de l'infiltration. En conséquence, la faible réserve disponible induit un étiage très rapidement marqué pour les sources et les écoulements de surface.

Dans le cas où l'arène est saturée, les aquifères de socle sont exploitables à faibles profondeurs. Toutefois, bien que la porosité de ces aquifères (pourcentage de vide potentiellement rempli d'eau par unité de volume de matériau permettant de quantifier le stock d'eau présent) soit relativement importante, la perméabilité (conductivité hydraulique qui représente la capacité de circulation de l'eau dans le matériau) est quant à elle très hétérogène avec des valeurs relativement faibles. Compte tenu de ces caractéristiques hydrodynamiques (porosité et conductivité hydraulique), les débits de production des aquifères de socle sont modestes, compris entre 2 et 20 m^3/h en moyenne dans la région Nouvelle-Aquitaine. Du fait de leur faible conductivité hydraulique de surface, les aquifères de socle « débordent » sur une grande partie de leur superficie, tout particulièrement dans les dépressions topographiques. Il en résulte une multitude d'émergences (sources) à l'intersection entre la topographie et les discontinuités subverticales. Localement, les bassins versants topographiques et souterrains coïncident particulièrement bien.

Le fonctionnement particulier et complexe des aquifères de socle, ainsi que leur faible réserve en eau disponible impose d'envisager une gestion spécifique à chaque site. Il est donc nécessaire de mieux appréhender les conditions nécessaires à la présence d'un aquifère se développant dans les horizons d'altération (horizons du sous-sol – couches, zones, parties — des formations géologiques qui ont été dégradées par altération physico-chimique, et dont les propriétés mécaniques ont évolué (par exemple un granit sain s'altère en un granit fissuré puis fracturé et continue à se dégrader d'une part en une arène granitique siliceuse et d'autre part en argiles en toute fin de processus par hydrolyse des feldspaths)). Pour cela il est essentiel d'établir une typologie des formations de socle en termes de potentialités aquifères (lithologie favorable au développement d'un horizon fissuré, préservation et non colmatage des fissures, minéralisations), et également de corréler cet aspect avec les caractéristiques pédologiques des sols (régulateur des transferts d'eau à l'échelle du bassin) qui ont un rôle prépondérant sur la qualité de la ressource. Une bonne connaissance des sols permet également de délimiter les zones d'influence sur la qualité des eaux (exemple des alocrisols – sols bruns acides qui jouent sur la teneur en aluminium des captages, rôle du sol sur la contamination des eaux par les pesticides…).

Les ressources en eau de ces territoires de têtes de bassin sont également liées à l'abondance des zones humides dont la qualité et la préservation toujours fragiles requièrent une meilleure gestion et des efforts de restauration. En termes de qualité de la ressource, si les aquifères de socle contiennent une eau peu minéralisée et semi-protégée des agressions de la surface, leur faible profondeur impose cependant une vigilance au niveau de la gestion parcellaire à l'échelle du bassin versant. La présence potentielle de minéralisations naturelles (veines ou fractures) à faible profondeur peut constituer un risque à plus ou moins long terme avec par exemple le dénoyage (désaturation hydrique du milieu, donc mise en contact avec l'oxygène et le CO_2 atmosphériques) de fissures entraînant des changements de conditions d'oxydoréductions et donc un relargage potentiel de contaminants (e.g., arsenic). Dans ce contexte, le recours à des barrages pour le soutien d'étiage dans la gestion hydrologique peut être problématique en raison de qualités dégradées d'eau liées à d'autres processus comme des problèmes d'eutrophisation, de contaminations organiques (e.g., agriculture) ou inorganiques (e.g., fond géochimique naturellement élevé, activités industrielles actuelles ou passées). Enfin ces territoires de la région Nouvelle-Aquitaine correspondent à des zones où l'habitat est dispersé, peu dense, alimenté par une multitude de petites sources vulnérables dont la protection de la ressource et de sa qualité est difficile à sécuriser. En raison de leur attractivité touristique, ces territoires font face à une augmentation estivale de consommation d'eau complexifiant les réponses à apporter tant à la satisfaction des usages qu'à la protection de la ressource.

LE POITOU-CHARENTES ET LES GRANDS AQUIFÈRES LIBRES DU NORD DU BASSIN

Au regard de la complexité et de la spécificité des fonctionnements des têtes de bassin sur socle de l'est de la région Nouvelle-Aquitaine, l'impact des changements climatiques sur la gestion de l'eau représente un enjeu majeur afin de sécuriser qualitativement et quantitativement cette ressource alimentant en partie le Bassin sédimentaire aquitain.

L'agriculture irriguée pratiquée en ex Poitou-Charentes[2] nécessite une importante quantité d'eau, provenant majoritairement des nappes d'eau souterraine. D'un point de vue géologique, cette partie de la région Nouvelle-Aquitaine se déploie de part et d'autre du Seuil du Poitou qui sépare le Bassin d'Aquitaine (au sud-ouest) du Bassin parisien (au nord-est). Symétriquement par rapport à cette ligne de partage des eaux, les couches géologiques sédimentaires du Jurassique et du Crétacé forment une pile sédimentaire qui s'épaissit en direction des centres des bassins. Cette organisation sédimentaire est propice au développement de nombreux aquifères qui sont notamment particulièrement sollicités par l'agriculture pour laquelle l'irrigation représente une garantie de sécurisation du rendement des cultures.

Ces conditions hydrogéologiques et anthropiques soulignent l'intérêt d'analyser la résilience des eaux souterraines face conjointement au changement global et aux pressions auxquelles elles sont soumises[3]. Au niveau du Seuil du Poitou, la couverture sédimentaire est peu épaisse et le Jurassique affleure. L'aquifère du Dogger qui passe de libre à captif, constitué du Bajocien et du Bathonien, représente une épaisseur comprise entre 50 à 150 m. Ses caractéristiques (épaisseur, karstification) en font un aquifère très productif et le plus exploité du département de la Vienne. Il surmonte le Toarcien (marnes imperméables) et l'Infra-Toarcien qui constitue un aquifère essentiellement captif.

À date les conclusions préliminaires suivantes peuvent être dégagées :

- Les températures marquent une tendance à la hausse qui pourrait se situer entre 2 à 3 °C/100 ans ;
- L'accroissement des températures maximales est plus accentué que celui des températures minimales. Ce résultat est corroboré par les observations générales de Météo-France ;
- Les précipitations moyennes annuelles sont fortement variables mais ne manifestent pas de tendance particulière. Ce résultat rejoint également les observations de Météo-France sur l'ensemble de la France ;
- Les débits des deux cours d'eau (Clain, Vienne) marquent une tendance à la baisse (**Figure 5**).

Figure 5 : *Évolution des débits du Clain (station de Dissay) et de la Vienne (station d'Ingrandes), IC2MP (Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers).*

LES AQUIFÈRES DU CENTRE DU BASSIN DE L'AQUITAINE

Sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine différentes études **[13] [14] [15] [16]** ont traité depuis plusieurs années des effets du changement climatique sur les niveaux de nappes et de cours d'eaux, en particulier à l'aide des grands modèles hydrogéologiques régionaux. Les MOdèles Nord Aquitain (MONA) et Sud Adour-Garonne ont été développés pour répondre à des questionnements de gestion de nappes profondes. Le MONA a été utilisé pour évaluer l'impact du changement climatique sur les niveaux piézométriques pour différents modèles climatiques et scénarios d'exploitation en l'Aquitaine. Pour les nappes captives, moins sensibles à court terme aux effets directs des variations climatiques, la hausse des prélèvements induite par l'augmentation de population montre cependant de forts impacts sur la piézométrie.

Les modèles élaborés sur les territoires de Poitou-Charentes ont été conçus pour la gestion de nappes en forte interaction avec les cours d'eau. Les modèles hydrogéologiques du Crétacé et du Jurassique intègrent une partie du réseau hydrographique, respectivement de 900 km et 3 300 km de linéaires de cours d'eau, et visent également à modéliser les débits. Le modèle hydrogéologique Jurassique (Poitou-Charentes) a quant à lui permis de simuler des niveaux piézométriques de nappes et des débits des cours d'eau selon différentes configurations de forçage climatique (scénarios GIEC). D'un point de vue tendanciel à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine, sur les 16 années de la période 2000-2015, 11 présentent une pluie efficace en baisse (inférieure à la médiane calculée sur la période 1975-2015) (**Figure 6**).

2 • En Poitou-Charentes, la surface agricole couvre 73 % du territoire, alors qu'à l'échelle de la France elle est de l'ordre de 50 %.

3 • Le projet GRECPIMA, piloté par l'équipe d'Hydrogéologie de l'IC2MP (U. Poitiers). La zone d'étude en Poitou-Charentes est focalisée sur l'aquifère du Dogger dans l'interfluve Clain-Vienne jusqu'à leur confluence à Châtellerault. Le projet GRECPIMA a démarré en juin 2016 et n'en est qu'à la phase préliminaire de collecte et d'interprétation globale des données.

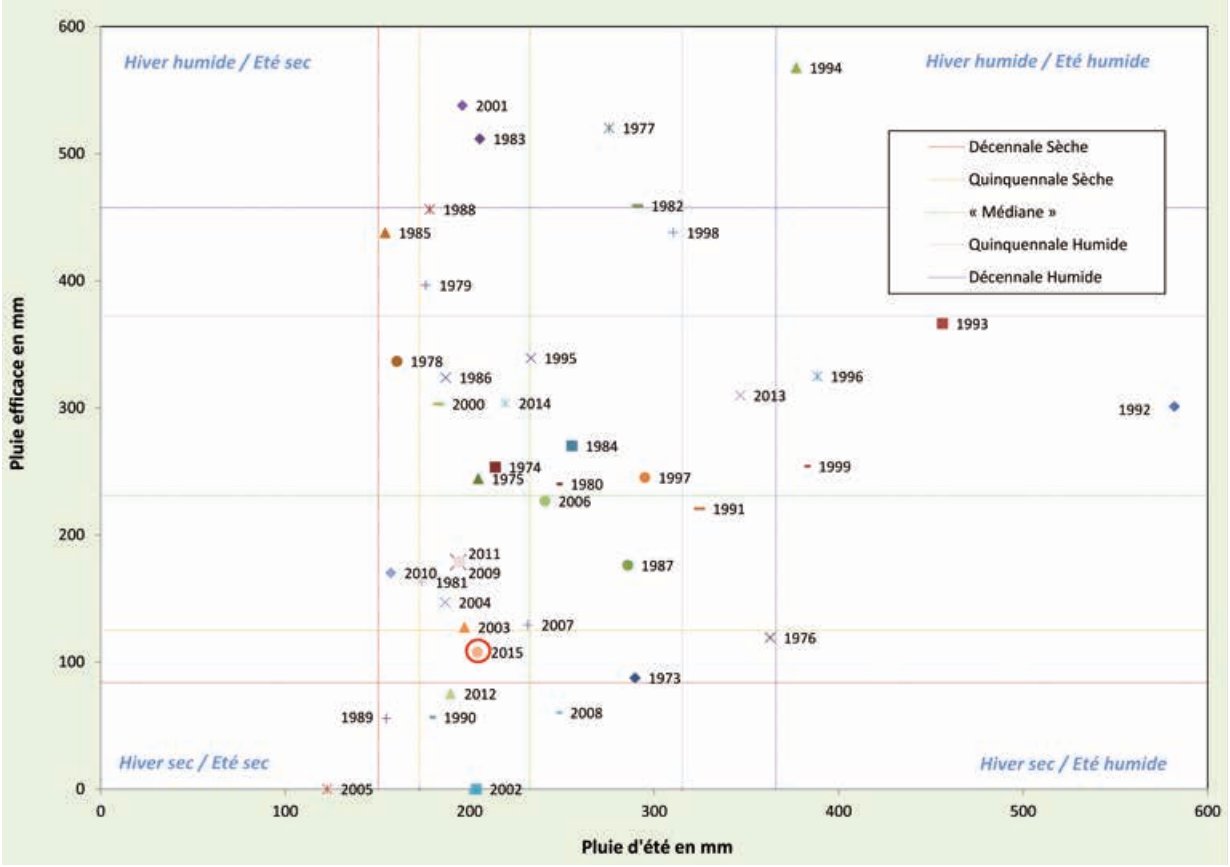


Figure 6 : *Pluie efficace en mm à Mérignac (classée) période 1975-2015 – calcul des périodes de retour moyennes loi de Weibull et Gumbel (17).*

L'analyse indique un déficit global de la pluie efficace et en particulier des précipitations estivales, ce qui laisse augurer un recours à des prélèvements potentiellement plus importants en nappe et en rivière au cours des périodes estivales les plus sèches. Cette variation climatique se constate également sur les niveaux de nappes où les piézomètres montrent globalement une remontée des niveaux piézométriques sur les années « humides » de 2013 et 2014. C'est le cas également pour les débits des cours d'eau.

Dans le cadre d'une réflexion portant sur la recharge des nappes appliquée au modèle MONA une analyse de séries temporelles des pluies, de l'ETP (EvapoTranspiration Potentielle) et des pluies efficaces a été réalisée à partir des données journalières pour six mailles de la grille SAFRAN de MétéoFrance. Pour la pluviométrie, on observe une absence de tendance ou de rupture dans les chroniques[4] (1975-2015). Cependant un calcul de moyennes sur une période de 25 ans indique une légère baisse de la pluviométrie annuelle par comparaison des périodes 1959-1983 et 1990-2014.

Le résultat concernant l'évapotranspiration[5] fait à l'inverse apparaître une tendance à la hausse avec un indice de confiance particulièrement fort. Enfin, l'ETP moyenne annuelle sur la période 1990-2014 est bien supérieure – jusqu'à 25 % – à celle de la période 1959-1983.

En conséquence comme le niveau des nappes d'eau souterraine dépend pour beaucoup d'entre d'elles de l'infiltration des eaux météoriques (eaux de pluies, brumes, brouillards, neige, grêle, etc.) il sera donc nécessairement impacté par le changement climatique si celui-ci provoque des modifications du régime d'infiltration des pluies qui contribuent à la recharge des nappes (intensité, période de recharge).

Le critère principal permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines à partir de l'analyse de la piézométrie est l'absence de pression anthropique sur l'aquifère, où *a minima* une pression que l'on peut considérer comme négligeable par rapport aux fluctuations naturelles du niveau de la nappe.

Un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines a été mis en place. Il se base sur la sélection de points déjà existants en ciblant des aquifères sur la base de leur usage et de leur sensibilité au changement climatique **[18]**. Les ouvrages sélectionnés pour évaluer cet impact doivent donc préférentiellement concerner un aquifère majoritairement libre et peu influencé par des pompages ou la proximité avec un cours d'eau.

4 • Tests statistiques (Mann-Kendall, Pettitt et segmentation d'Hubert) appliqués aux six séries temporelles.

5 • Test de Mann-Kendall appliqué aux six séries temporelles.

L'objectif de mieux appréhender la recharge des aquifères via les précipitations, et le devenir de cette recharge dans le cadre du changement climatique, a conduit à l'étude de la recharge d'un aquifère libre typique du Bassin d'Aquitaine sur une base métrologique, puis de modélisation et enfin de projection[67].

Sur la période d'étude (année hydrologique 2015-2016) la lame d'eau précipitée totale était de 678 mm. En se basant sur les variations de la piézométrie de la nappe, la principale période de recharge a débuté fin décembre 2015 pour se terminer début mars 2016. Il apparaît donc que jusqu'en fin décembre 2015, une part majoritaire des précipitations a été interceptée par la couverture végétale (reprise évapotranspiratoire). Après début mars 2016, les événements pluvieux ne sont plus assez importants pour permettre une recharge et une remontée significative de la nappe (**Figure 7**).

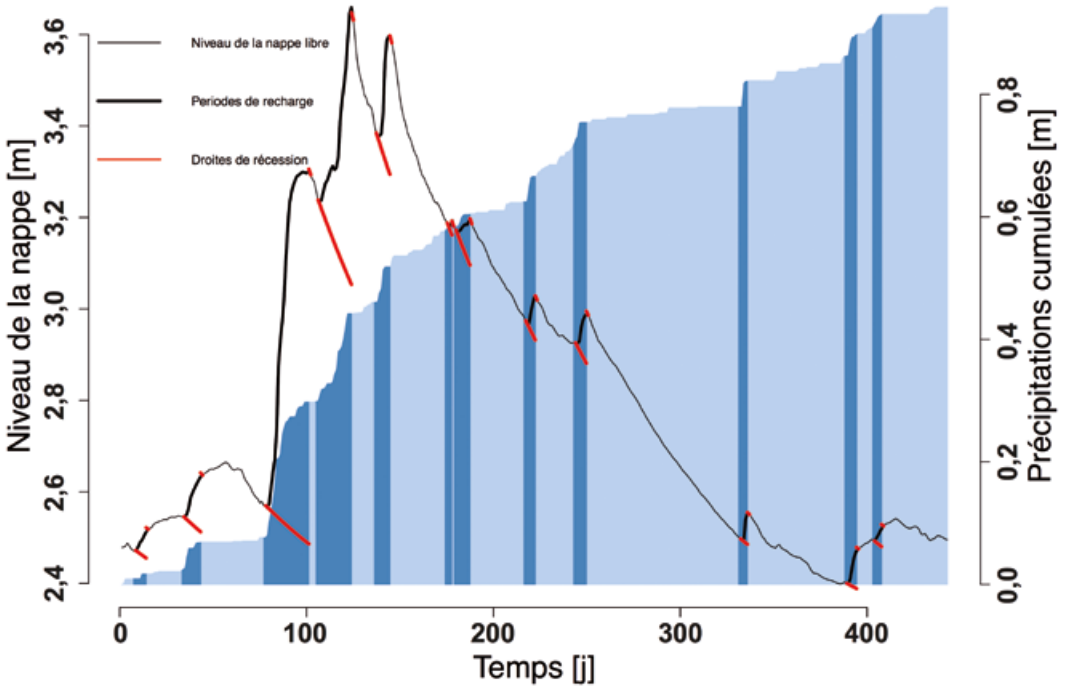


Figure 7 : *Évolution du niveau piézométrique (H) avec extrapolation prograde et rétrograde de la récession naturelle de la nappe pour chaque événement de recharge identifié (19).*

Sur l'ensemble de la chronique mesurée, grâce à l'étude des variations de la nappe, 17 événements de recharge ont été identifiés, avec la mesure des précipitations associées. Les événements de recharge s'étendent en moyenne sur 11 jours – ils sont tous compris entre 3 et 50 jours — et donnent une valeur de 383 mm, soit 56 % des précipitations.

Un modèle prédictif de comportement de la recharge basé sur un couplage modèle canopée/modèle d'humidité du sol a également pu être développé.

Les deux approches, étude des variations de la nappe et modèle prédictif permettent d'estimer et d'étudier les évolutions potentielles de la recharge (avec un intervalle de confiance associé).

De façon à étendre la représentativité spatiale et temporelle des résultats, des stations expérimentales de suivi ont vocation à être répliquées sur les

6 • Le projet OPURES-Climat conduit par le laboratoire Géoressources et Environnement (G&E) de Bordeaux INP est un projet de recherche, soutenu par la Région Nouvelle-Aquitaine et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. La période d'observation qui a servi de support à l'analyse court du 20/09/2015 au 14/05/2016. Le jeu de données recueillies couvre ainsi l'intégralité de la période du processus de recharge pour l'année hydrologique 2015/2016.

7 • Cette recherche a nécessité la mise en place d'une station expérimentale installée sur la commune de Pessac au droit d'une prairie et comprenant un suivi métrologique (station météorologique, piézomètres, station de mesure de l'humidité et de la pression matricielle du sol). Sur ce site, la nappe libre phréatique locale se développe dans l'unité fluvio-glaciaire du Sable des Landes qui couvre 44 % de l'ex région Aquitaine. Elle est d'une épaisseur locale de 6 mètres et repose sur une unité argileuse compacte qui sert de substratum. L'épaisseur de l'aquifère libre varie de 3 à 4,5 mètres. Les variations de la surface libre sont principalement contrôlées par les événements pluvieux locaux. Aucune contrainte externe de surface ou en profondeur (cours d'eau, pompage…) ne vient perturber la dynamique naturelle de la nappe.

différents types de couvertures rencontrées en Nouvelle-Aquitaine. Les résultats à venir de cette recherche seront utilisés pour prendre en compte les variations potentielles de la recharge dans les modèles de gestion hydrogéologique.

PERSPECTIVES ET PROJECTIONS

En termes d'estimation et de projection de la demande, des études menées par le SMEGREG ont montré que la demande unitaire en eau potable des ménages diminue de manière notable en Gironde depuis 2003 sous l'influence :

- d'une tendance nationale à la baisse des consommations d'eau potable par ménage ;
- d'une politique volontariste d'économie d'eau en application du SAGE des Nappes Profondes de Gironde.

Paradoxalement, cette baisse continue de la demande représente une difficulté en matière de projection des besoins dans la mesure où le ratio unitaire est remis en cause chaque année et que l'hypothèse d'une augmentation de la demande sous l'effet du changement climatique (une consommation d'eau de confort liée à l'augmentation de la température estivale +1 ° = + 1,6 %) est prévisible **[20]**. La problématique de la répartition spatiale des besoins et donc des prélèvements se pose également avec acuité.

La question de la disponibilité de l'eau souterraine présente une double dimension puisqu'elle peut évoluer soit du fait d'une variation des conditions hydrologiques (moins de ressource stricto sensu) ; soit d'une plus grande tension sur la ressource par une augmentation des conflits d'usages.

C'est ce deuxième aspect qui peut être redouté pour les nappes profondes qui pourraient être concernées par le transfert des prélèvements des eaux de surface ou de sub-surface (nappes peu profondes) vers les eaux souterraines. Cette tentation de transfert des prélèvements vers les eaux souterraines présente le risque d'une adaptation spontanée et sauvage au changement climatique, qu'il convient d'éviter par une gouvernance planifiée et organisée et également par une reconfiguration des usages et des techniques.

À titre d'illustration, en matière de bilan des nappes souterraines, le modèle dominant d'aménagement du territoire a consisté, depuis plusieurs siècles, à assainir le milieu en favorisant, par des techniques d'aménagement hydraulique (drainage, fossés, crastes), un ruissellement rapide au détriment de la stagnation des eaux et de leur infiltration vers les nappes de sub-surface. Cette réduction artificielle de la recharge des nappes par les pluies efficaces a été renforcée notamment par les politiques de remembrements fonciers agricoles (suppression des haies) et par l'aménagement urbain (imperméabilisation des sols). Une stratégie inverse qui favorise l'infiltration lente plutôt que le ruissellement doit désormais constituer une priorité de l'aménagement du territoire. Si cette orientation d'une recharge « naturelle » des nappes exige une profonde reconfiguration des techniques hydrauliques et des mesures d'aménagement, elle devrait être complémentaire de solutions techniques déjà utilisées comme la réalimentation artificielle de nappes pour lesquelles l'attrait de l'efficacité à court terme ne résout pas fondamentalement le problème quantitatif global ni spatial.

Les eaux souterraines parce qu'elles sont invisibles à la perception immédiate des usagers, sont de ce fait d'autant plus vulnérables tant aux problèmes de recharge potentiellement limités qu'aux risques de surexploitation pour les usages qui se détourneraient des eaux de surfaces, que de l'occultation de leur rôle dans la préservation de fonctionnalités écologiques.

4 POUR UNE GOUVERNANCE DE L'EAU FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

LES MISES EN VISIBILITÉ DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le processus continu d'actualisation des connaissances territorialisées sur le changement climatique **[21]** s'accompagne depuis les années 2000 d'une montée en puissance de la question climatique dans le domaine de la gestion de l'eau **[22]**. Les projections hydro-climatiques prévoient des baisses annuelles de débits de toutes les grandes rivières du sud-ouest, comprises entre 20 et 40 % **[23]**. Plusieurs études prospectives cherchent à anticiper les évolutions futures des ressources en eau, des hydrosystèmes et des dynamiques socio-économiques à l'échelle territoriale (Explore 2070, Imagine2030, Aqua2030).

Cette diffusion rapide de la problématique de l'adaptation au changement climatique dans des politiques sectorielles et territoriales de la gestion de l'eau, historiquement fortement structurées, suscite des difficultés de conception et d'opérationnalisation. En redéfinissant des horizons temporels pour l'action (2030-2050 pour le court terme, 2100 pour le long terme), en invitant à ouvrir des voies alternatives allant au-delà de mesures d'ajustement, en fixant des seuils d'irréversibilité et en suscitant des visions d'anticipation, le changement climatique impose des modifications de références dans les expertises, dans l'état d'esprit des décideurs politiques ainsi que dans les modes de décision et de participation des usagers. Une présentation sommaire des enseignements de plusieurs expertises et recherches récentes[8] sur la prise en compte du changement climatique dans la gestion de l'eau permet de dégager quelques principes structurants d'une gouvernance adaptative pour le futur.

Le Plan de Gestion des Étiages de la Garonne-Ariège (PGE) est un accord conventionnel qui détermine depuis 2004, les règles de partage de la ressource entre les usagers afin d'assurer, pendant la période d'étiage (1er juin-31 octobre) des Débits d'Objectif d'Étiages (D.O.E) dans les cours d'eau. La révision du PGE (2011-2017) par la Commission de concertation et de suivi du PGE Garonne-Ariège et du Syndicat Mixte d'Études et d'Aménagement de la Garonne (SMEAG) s'est appuyée sur une expertise collaborative articulant un diagnostic partagé par un panel d'acteurs et des travaux d'experts. Si les positions des acteurs participant au PGE ont globalement convergé sur le diagnostic des impacts potentiels du changement climatique, en revanche le passage à l'étape de définition des règles de partage a vu ressurgir les positionnements stratégiques d'acteurs défendant leurs intérêts. Les acteurs partie-prenante participant à l'expertise collaborative du PGE sont désormais rompus aux procédures participatives et savent en exploiter de manière stratégique les modalités ou les faiblesses **[22]**.

L'affirmation de l'importance du changement climatique pour la gestion de l'eau dans le Sud Ouest s'est notamment appuyée sur les résultats de Garonne 2050, étude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin de la Garonne, conduite par l'agence de l'eau de 2010 et 2013. Garonne 2050 présente « les impacts du changement

8 • La sélection de dispositifs et d'expertises sur l'eau et le changement climatique ne prétend pas être exhaustive et le choix résulte de l'existence de travaux de recherche à leur sujet : Plan de gestion des étiages de la Garonne (PGE), Garonne 2050 et les expertise en cours Adour 2050, Dordogne 2050, Charente 2050 ; Le Plan d'Adaptation au changement climatique des agences de l'eau (dont celui de Adour-Garonne), la prospective Adapteau.

climatique comme une tendance lourde qui s'impose au Bassin de la Garonne ». Trois scénarios proposent une réponse différenciée à la question : Quel débit souhaitons-nous dans nos rivières l'été et que sommes-nous en capacité de faire ?

LES 3 SCÉNARIOS DE GARONNE 2050[9]

SCÉNARIO 1 : LAISSER FAIRE LA NATURE ET ACCEPTER DES DÉBITS BIEN MOINDRES

Des choix a minima permettent d'assurer ce débit minimum 8 années sur 10. Le soutien des étiages se fait par l'intermédiaire de 75 millions de m³ de nouvelles retenues et grâce à 120 millions de m³ provenant d'accords de déstockage estival des réserves hydroélectriques. Les conséquences socio-économiques et environnementales sont importantes : très forte baisse des activités nautiques et de la pêche, surcoût important pour l'assainissement et la production d'eau potable, disparition probable des poissons migrateurs et des zones humides, bouleversement de la végétation des berges et des paysages de bord de cours d'eau.

SCÉNARIO 2 : CONSERVER LA NATURE D'AUJOURD'HUI, EN COMPENSANT L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La compensation totale implique de très lourds investissements en termes de création de réserves, elle sécurise les activités mais est très coûteuse (réservoirs nouveaux à hauteur de 360 millions de m³ et création de deux stations de transfert d'énergie par pompage permettant en parallèle de bénéficier d'un accord de déstockage estival de 500 millions m³ issus des réserves hydroélectriques). Elle favorise le bon fonctionnement des milieux aquatiques (les zones humides et les migrateurs persistent, les risques de crues sont limités) mais les impacts environnementaux locaux sont très importants.

SCÉNARIO 3 : LIMITER LES VULNÉRABILITÉS EN AGISSANT PARTIELLEMENT SUR LES DÉBITS D'ÉTIAGE

Pour bénéficier en 2050 d'une compensation à hauteur de 75 % du débit objectif d'étiage actuel, les gestionnaires décident de combiner diverses solutions pour trouver 335 millions de m³ supplémentaires. La qualité de l'eau n'est pas dégradée, les effets de l'augmentation de la température sont modérés, les zones humides et une partie des poissons migrateurs résistent. La création d'ouvrages de stockage limite les crues mais a des impacts environnementaux locaux importants. Les activités industrielles et agricoles sont sécurisées. La pêche, les activités piscicoles et nautiques, fragilisées, s'adaptent. Le coût de cette politique ambitieuse, qui permet de limiter les vulnérabilités, est important.

Dans les conditions hydro-climatiques anticipées à l'horizon 2050, le scénario d'un maintien des usages au niveau actuel exigerait de combler un déficit compris entre 750 et 1 200 millions de m³ (S1-source Garonne 2050) ce qui démontre la nécessité de trouver d'autres voies pour satisfaire les usages ou de les modifier. Cependant, en dépit de ces résultats préoccupants anticipant clairement de fortes tensions futures sur la ressource en 2050, quels que soient les scénarios considérés, les modes de gestion de l'eau restent encore marqués par une relative inertie qui tient à plusieurs facteurs **[22]**. Un premier facteur tient au caractère inachevé de la relation entre démarches participatives et décision **[24].** Concernant Garonne 2050, une première phase de prospective participative ouverte (malgré le boycott de la profession agricole lors des premières sessions de travail collectif) a donné lieu à la production de scénarios participatifs dits « caricaturaux ». Dans une deuxième phase, la commission planification de l'Agence de l'eau a recadré Garonne 2050 autour de 3 scénarios « quantifiés » jugés plus réalistes pour la gestion reléguant au second plan la dimension participative. Deuxième facteur, en prenant comme principaux indicateurs les volumes prélevables (VP) et les débits écologiques (DOE), l'étude reprend les principes d'une gestion quantitative classique par les volumes **[25]** ce qui limite l'intégration de facteurs plus qualitatifs relatifs aux attentes sociales, aux transitions socioécologiques, à la qualité de vie, aux projets alternatifs d'aménagement des territoires. Un troisième facteur concerne la relativement faible appropriation de l'étude Garonne 2050 par le Comité de Bassin davantage focalisé sur des enjeux de gestion de crise à court terme que par le temps long de l'anticipation du changement climatique.

Dans la lignée de la démarche Garonne 2050, **trois autres études prospectives sont en cours de réalisation, elles concernent *Adour 2050*** et le lancement prochain de Dordogne 2050 et Charente 2050. Dotées chacune d'une méthodologie spécifique, ces expertises, sans préjuger de leurs conclusions à venir et leurs contributions concrète à la gestion de l'eau, confirment cependant l'importance croissante accordée au changement climatique dans les expertises territoriales.

ADOUR 2050. ANTICIPER LES ENJEUX ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'étude prospective Adour 2050 est portée par l'Institution Adour, avec le soutien de l'Agence de l'eau Adour-Garonne, des Régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie, ainsi que des quatre départements compris dans le bassin versant de l'Adour (32, 40, 64, 65). L'objectif est de comprendre et d'anticiper les enjeux et les impacts futurs du changement climatique et des évolutions socio-économiques sur la ressource en eau sur le bassin de l'Adour et les côtiers basques à l'horizon 2050.

POURQUOI CETTE DÉMARCHE PROSPECTIVE ?

Les effets du changement climatique marqués notamment par des étiages plus longs et plus sévères, risquent d'engendrer des conflits liés à la disponibilité de la ressource et à la qualité de l'eau et des milieux. Visant à dépasser le constat actuel, Adour 2050 propose de réfléchir différemment et d'anticiper l'impact sur la ressource en eau à long terme, pour répondre aux problématiques de demain, en évitant les pièges de la mal-adaptation.

9 • Des visualisations vidéo des scénarios ont été présentées au Comité de Bassin en 2013 et sont disponibles sur le site de l'Agence de l'eau Adour-Garonne : **Scénario 1, Scénario 2, Scénario 3**.

Adour 2050 se déroule en trois phases :

1. La première phase consiste à établir un diagnostic sur le territoire. Il s'agit de déterminer la situation prévisible de la ressource en eau d'ici à 2050, si les dynamiques actuelles de changements globaux persistent (changement climatique, évolutions socio-économiques, aménagement du territoire, aménagement des cours d'eau, etc.…). Ce scénario tendanciel a été élaboré en concertation avec les acteurs du territoire, qui ont assemblé différentes hypothèses thématiques jugées représentatives de l'évolution tendancielle.

2. La deuxième phase vise à établir des scénarios alternatifs sous condition d'une modification de certaines pratiques, et à modéliser l'impact de ces différents scénarios sur la ressource en eau afin de pouvoir les comparer les uns aux autres. Ces scénarios alternatifs sont élaborés par les acteurs du territoire, qui associent différentes hypothèses d'évolutions pour proposer des futurs possibles. La modélisation de l'impact de ces scénarios alternatifs appuiera le choix des acteurs du territoire pour sélectionner le scénario le plus acceptable pour la ressource en eau et pour le contexte social, économique et politique.

3. La troisième phase de l'étude vise à développer des pistes d'adaptation, toujours en concertation avec les acteurs du territoire, pour tendre vers le scénario alternatif acceptable choisi et faciliter l'atteinte d'un futur admissible.

La mobilisation des élus et des acteurs du territoire d'étude tout au long de la démarche Adour 2050 contribue à l'émergence et à la diffusion d'une vision collective partagée sur les futurs possibles.

QUELLE PORTÉE POUR L'ÉTUDE ?

Adour 2050 n'a pas de portée réglementaire, il s'agit d'un outil d'aide à la décision pour venir en appui à l'élaboration des documents de planification (SAGE, SCOT, PLU, etc.) à mettre en œuvre pour éviter la mal-adaptation du territoire aux changements à venir. La démarche prospective Adour 2050 permet aussi d'alimenter les réflexions autour des projets de territoire en cours sur le bassin. La finalité de l'étude n'a pas vocation à fixer une stratégie d'adaptation unique à appliquer sur tout le territoire, l'objectif est d'intégrer les pistes d'adaptation adéquates localement aux documents de planification en fonction des spécificités et des enjeux des territoires concernés.

L'étude permet aussi de développer une sensibilisation du public au changement climatique et à ses impacts sur la ressource en eau, mais aussi une sensibilisation des impacts des usages et pressions sur la ressource causés par l'homme, notamment grâce à un grand espace consacré à la concertation et au débat tout au long de la démarche de prospective.

Le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) Adour-Garonne 2016-2021 mentionne explicitement « l'anticipation des effets du changement climatique » et « l'adaptation au changement climatique » (*page 32 du SDAGE*) comme des priorités à atteindre pour « Améliorer la gestion quantitative » (Orientation C) et pour « Préserver et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques » (Orientation D). A l'image des autres grands bassins hydrographiques français, l'agence de l'eau Adour-Garonne a lancé en 2016 l'élaboration d'un **Plan d'Adaptation au Changement Climatique du Bassin Adour-Garonne.** Réunissant un panel d'une trentaine d'élus du comité de bassin, d'experts des services et du conseil scientifique du Comité de Bassin de l'agence de l'eau, la démarche vise à identifier et à localiser les principaux impacts du changement climatique sur les territoires du BAG (Bassin Adour-Garonne). S'appuyant sur une expertise en modélisation hydro-climatique et en cartographie, l'objectif est d'établir un diagnostic partagé des vulnérabilités territoriales à l'échelle de sous bassins et de définir un plan d'action pour l'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau. Les 6 grands Bassins hydrographiques se sont engagés dans des démarches similaires, le Plan de Bassin d'Adaptation au Changement Climatique - *PACC Rhône Méditerranée* ayant été le premier à être publié en 2014.

Dans le cadre de la **loi NOTRe** les régions peuvent intervenir dans le domaine de l'eau sur la base des compétences partagées au titre du I ter de l'article L. 211-7 CE de la loi NOTRe[10]. Sans préjuger d'une prise de compétence à venir et de l'articulation avec les politiques climatiques, la région Nouvelle-Aquitaine a lancé depuis mars 2017 une concertation publique dans le domaine de l'eau qui s'est ouverte le 18 avril par une conférence scientifique sur les enjeux de l'eau.

10 • Compétences des conseils régionaux dans le domaine de l'eau. Conséquences de la loi NOTRe du 7 août 2015
« I ter. Lorsque l'état des eaux de surface ou des eaux souterraines présente des enjeux sanitaires et environnementaux justifiant une gestion coordonnée des différents sous-bassins hydrographiques de la région, le conseil régional peut se voir attribuer tout ou partie des missions d'animation et de concertation dans le domaine de la gestion et de la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques mentionnées au 12° du I du présent article, par décret, à sa demande et après avis de la conférence territoriale de l'action publique mentionnée à l'article L. 1111-9-1 du Code général des collectivités territoriales ».

CONCERTATION SUR L'EAU EN NOUVELLE-AQUITAINE

Dans le cadre de l'élaboration des nouvelles politiques publiques de la Région Nouvelle-Aquitaine et en regard avec les problématiques liées au changement climatique, une concertation dans le domaine de l'eau a été lancée en mars 2017. Cette concertation doit servir de base en vue de définir une politique régionale de l'eau rénovée et unifiée sur l'ensemble du territoire. Ce travail permettra de positionner la Région Nouvelle-Aquitaine comme partenaire incontournable des acteurs de l'eau au travers d'une politique claire, efficiente et opérationnelle. Cette réflexion transversale et pluridisciplinaire, intégrant aussi bien les questions de biodiversité et de milieux aquatiques (zones humides, poissons migrateurs…), de qualité (pollutions agricoles, micropolluants d'origines urbaines…) que d'usages économiques (irrigation, énergie, industrie…), touristique (littoral, loisir, pêche…) ou de production d'eau potable, mobilise aussi bien des chercheurs et universitaires de la grande région que des acteurs de l'eau de tous les horizons. Cette concertation se veut au plus près des territoires afin de prendre également les spécificités locales (têtes de bassins du Limousin, grandes nappes phréatiques souterraines, spécificités géologiques du Poitou-Charentes, zones littorales…).

Des recherches scientifiques ont également été proposées, aux travers de prospectives **[26] [27]** et de démarches par scénarios, **avec différentes options d'adaptation aux changements globaux. Adapt'eau est une prospective réalisée dans l'Environnement Fluvio-Estuarien (EFE) de la Garonne-Gironde** (*ANR Adapt'eau* **[28]**). Quatre scénarios, prenant en considération les vulnérabilités territoriales, ont été élaborés via une approche intégrative associant sciences du climat, hydrologie, analyse du fonctionnement des écosystèmes, des dynamiques sociales et des modes de gouvernance a été développée (**Tableau 2**).

COMPOSANTES	VARIABLES	DISCIPLINES IMPLIQUÉES
Changement climatique et hydrologie naturelle	Changement climatique et hydrologie naturelle	Climatologie, hydrologie
Fonctionnement de l'écosystème de l'EFE (ECOSYS)	Hydrologie et ressources en eau Hydro-morphologie et héritages Sources, circuits et transferts de matières et de contaminants métalliques Fonctionnalités écologiques Diversité biologique	Hydrologie, géohistoire, biogéochimie, biologie, écologie estuarienne, écologie fluviale, ichtyologie
Dynamiques sociales et territoriales de l'EFE (DYNA)	Démographie de l'EFE Occupation des sols sur l'EFE Qualité de vie des communes de l'EFE Expérience habitante du cours d'eau Usages de l'eau sur l'EFE	Géographie, sociologie, statistique, anthropologie,
Gouvernance de l'EFE (GOUV)	Mise en visibilité du changement climatique Gestion locale des risques liés à l'eau Instruments économiques pour la gestion de la ressource et des milieux aquatiques Conflits et lobbying sur l'EFE Science, expertise et référentiels de gestion Politiques environnementales européennes	Sociologie, géographie, science politique, hydrologie, économie, mathématiques appliquées

Tableau 2 : *Composantes, variables et disciplines associées de la prospective Adapt'eau (28).*

Ces quatre scénarios, contrastés dans leur vision des futurs ont dans un second temps été mis en débat public auprès des acteurs du territoire pour évaluer leur « crédibilité » et leur caractère « souhaitable ».

SCÉNARIOS PROSPECTIFS ADAPT'EAU

SCÉNARIO N° 1 : TOUT BOUGE MAIS RIEN NE CHANGE – UNE ADAPTATION PAR AJUSTEMENT

L'EFE (Environnement Fluvio-Estuarien) Garonne-Gironde connaît en 2050 une dynamique d'urbanisation voisine de celle des années 2010. Le territoire se structure autour de deux types d'espaces qui se développent et se confrontent : des villes qui s'étalent et se densifient autour des deux métropoles régionales (Bordeaux et Toulouse) et une agriculture intensive dont les prélèvements en eau sont conséquents. Malgré ses impacts avérés, le changement climatique n'est toujours pas considéré comme un enjeu central. Les organismes gestionnaires interviennent ponctuellement pour répondre à des situations de crise. L'écosystème est doublement impacté par le mode de développement territorial et par l'absence de décisions politiques proactives en faveur de l'environnement. Ainsi, les débits moyens de la Garonne diminuent et la qualité écologique se dégrade continuellement pour atteindre un état critique en 2050.

SCÉNARIO N° 2 : PUISQU'IL FAUT DE L'EAU – UNE ADAPTATION PAR DÉVELOPPEMENT DE L'OFFRE EN EAU

En 2050, l'agriculture irriguée est considérée comme le facteur principal de développement du territoire Garonne. En réponse aux situations de crise récurrentes, une priorité politique est accordée (notamment par la Politique Agricole Commune) aux surfaces agricoles irriguées ainsi qu'aux aménagements de stockage et de prélèvement d'eau. Les dispositifs de gestion et de gouvernance de l'eau sont contrôlés par les acteurs de la filière agro-industrielle. Les enjeux quantitatifs de la ressource monopolisent la question de l'adaptation au changement climatique. Les outils de gestion de l'eau sont mobilisés pour favoriser la mise à disposition et l'écoulement de l'eau pour satisfaire les usages.
L'anthropisation de l'EFE est renforcée par des aménagements dédiés aux besoins quantitatifs de la ressource, au contrôle et à l'atténuation des événements extrêmes (crues, sécheresses…). En 2050, la Garonne-Gironde est devenue un milieu homogène dont la qualité écologique n'intéresse plus les acteurs : les espèces tolérantes de l'aval colonisent les eaux douces et l'estuaire connaît une marinisation importante.

SCÉNARIO N° 3 : UN FLEUVE APPRIVOISÉ PAR ET POUR SES MÉTROPOLES – UNE ADAPTATION PAR L'ÉCONOMIE VERTE

En 2050, la lutte contre le changement climatique est au cœur des dispositifs de gestion de l'eau. Très interventionnistes, les pouvoirs publics mettent en œuvre des aménagements destinés à contrôler les variations des régimes hydrologiques et à contraindre la dynamique naturelle de l'EFE. Organisés autour de puissantes filières socio-économiques (agriculture, tourisme, industrie, énergie), des acteurs mettent en œuvre des options d'adaptation, dans la mesure où elles sont recevables socialement et économiquement. L'urbanisation se densifie sur une partie du territoire, et certains tronçons du fleuve sont aménagés pour offrir des services aux urbains et favoriser des options d'adaptation. Ce développement permet d'améliorer l'attractivité touristique de l'EFE tout en diminuant les prélèvements en eau par une sobriété collective. L'érosion de la qualité écologique de l'EFE ralentit, la diminution des débits moyens est enrayée et la biodiversité historique se maintient.

SCÉNARIO N° 4 : UNE VOIX POUR L'ÉCOSYSTÈME – UNE ADAPTATION PAR LES PRATIQUES ALTERNATIVES

En 2050, la dynamique du fleuve et ses aléas sont acceptés. Une nouvelle logique de gestion et de gouvernance est partagée sur l'ensemble du territoire : l'adaptation à la nouvelle dynamique de l'EFE s'impose et se substitue à la volonté de la contraindre. Étiages sévères et crues se succèdent pour façonner un EFE qui se régénère périodiquement et dont les débits moyens diminuent « en dents de scie ». La qualité écologique de l'EFE se transforme et reste préoccupante. La variation des régimes hydrologiques est devenue une préoccupation centrale pour la population. Les modes de vie et de consommation changent et les rares aménagements s'effectuent dans le respect de l'environnement. L'adaptation est impulsée par des pionniers dont les pratiques alternatives se diffusent puis servent de modèle sur l'ensemble du territoire. Une nouvelle approche intégrative de l'environnement est prônée par les gestionnaires qui favorisent et soutiennent la mise en œuvre d'options d'adaptation alternatives.

Figure 8 : Scénarios prospectifs Adapt'eau.

D'un point de vue économique chaque scénario renvoie à des modes de gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau qui s'inscrivent dans la règle générale de la politique publique de l'eau : *l'eau doit payer l'eau*. **Cette règle économique applique deux principes dans la fixation du prix de l'eau :** la récupération des coûts et la rémunération des services rendus. Le premier principe considère que les usagers doivent payer un service à hauteur des coûts générés par son utilisation sous une contrainte d'équilibre budgétaire. Selon le second principe - utilisateur-payeur et pollueur-payeur - les usagers de l'eau doivent supporter les coûts liés à leurs prélèvements sur la ressource et à leurs rejets polluants. Les agences de l'eau sont chargées de la collecte des redevances et de la redistribution de financements pour optimiser la gestion quantitative et qualitative de la ressource.

Le scénario 1 s'inscrit dans le prolongement de la politique passée d'approvisionnement en eau pour l'ensemble de la population grâce à la construction d'un réseau d'infrastructures financé par des subventions publiques de l'État et des collectivités territoriales. Cette politique dite d'offre atteint ses limites depuis une vingtaine d'années du fait : de contraintes financières croissantes qui pèsent sur les gestionnaires publics de l'eau, du déplacement des enjeux de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (Directive Eaux Résiduaires Urbaines) vers la sécurisation quantitative et qualitative de la ressource (pollutions diffuses, Directive Cadre Européenne sur l'Eau DCE-2000) ; du débat sociétal virulent autour de la nécessité de construire de nouvelles infrastructures de stockage **[29]**.

Le scénario 2 se fonde également sur une politique d'offre mais suppose une modification radicale du système de péréquation entre les redevances et les usages pour assurer le financement des nouvelles infrastructures. Le système actuel ne traduit pas la hiérarchie des pressions provenant des différents usages sur la rareté de la ressource. En 2013 dans le Bassin Adour Garonne, 83 % des redevances perçues par l'Agence de l'eau étaient supportées par les usagers domestiques et assimilés, 11 % par les usagers du secteur agricole et 5 % par l'industrie. Ces contributions, rapportées aux volumes prélevés et consommés par les différents secteurs, montrent des écarts importants (**Tableau 3**) Selon ce modèle économique, le financement d'éventuelles nouvelles infrastructures ne pourrait résulter que d'un effort plus important des usagers non domestiques et en particulier du secteur agricole.

	VOLUME PRÉLEVÉ		VOLUME CONSOMMÉ	
USAGE	MILIARDS m³	%	MILIARDS m³	%
Production d'énergie	21,4	64	1,3	22
Industrie	3,3	10	0,4	6
Irrigation	3,0	9	2,9	48
Eau potable	5,7	17	1,4	24
Total	33,4	100	6,0	100

Tableau 3 : Prélèvements et consommations d'eau par usage en France en 2009. Source : Agences de l'eau.

Le scénario 3 propose un renversement de logique économique par le passage d'une politique de l'offre à une politique de la demande visant une gestion plus efficiente de la ressource en eau. Ce scénario se fonde sur la mise en œuvre de la réforme des *Volumes Prélevables (VP)* par la création d'un système d'autorisation de prélèvement d'eau pour l'irrigation comme le prévoit l'Article 21 de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) de 2006. Cette gestion de volumes prélevables pour l'agriculture par sous-bassins versants est assurée par des Organismes Uniques de Gestion Collective (OUGC) désignés par les préfets. L'objectif du dispositif est d'optimiser et de garantir des quotas de prélèvement pour les irriguant tout en assurant le respect de débits écologiques (DOE) 8 années sur 10 **[30]**[11]. L'enjeu central d'une future répartition par quota sera la transparence sur le niveau des prélèvements et les critères d'allocation. En outre, le spectre de création d'un marché de quotas d'eau où les autorisations de prélèvement peuvent faire l'objet d'un échange marchand comme cela se passe dans de nombreux pays (Australie, Canada, Angleterre, États-Unis…) suscite de nombreuses réticences. La France a privilégié une logique d'allocation non marchande en privilégiant une gestion collective des VP à l'image des quotas de pêches. Ce choix s'avère questionnable tant sur le plan de l'efficience économique que celui de l'équité puisque dans le cas de la pêche les professionnels eux-mêmes ont dénoncé des atteintes à la concurrence[12].

Le scénario 4 accentue la logique d'une politique de gestion de l'eau par la demande en visant à la fois une optimisation des prélèvements, une diminution drastique de la consommation pour tous les usagers, et une nouvelle tarification des prélèvements proportionnelle aux pressions exercées sur le milieu, en s'affranchissant de la distinction entre volumes prélevés et consommés.

LES PRINCIPES PARTAGÉS DU FUTUR MIX HYDRIQUE

Les enjeux sur la disponibilité future de l'eau à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine nécessitent de croiser des connaissances sur les eaux superficielles et les eaux souterraines avec celles sur la gouvernance de l'eau et l'expression des attentes sociétales. Le rapport « Prévoir pour agir » de 2013 indiquait déjà que le changement climatique conduirait « à penser différemment » la gestion des ressources en eau. L'affirmation continue de la problématique climatique dans le domaine de l'eau, invite à dégager quelques principes partagés par différentes expertises et conduit à des visions des modes de gouvernance.

Du global aux territoires

Depuis les premiers travaux du GIEC dans les années 1980 la question du changement d'échelle de l'adaptation au changement climatique qui s'est affirmée dans les relations internationales a progressivement pris davantage en considération l'importance de l'échelon territorial. Parallèlement au mouvement de globalisation, s'observe une autonomisation croissante des territoires (plus particulièrement des villes). De ce double mouvement, naît *« une des questions stratégiques des prochaines décennies »* qui est la *« réinvention des solidarités entre territoires ruraux et urbains à la lumière de la question écologique. »* **[31]**. Ce « *moment territorial* » affiché dans les expertises hydro-climatiques conduit à penser l'adaptation au changement climatique à l'échelle des territoires de vie. La gestion traditionnellement sectorielle de l'eau (« *de l'eau pour les usages* ») doit laisser place à une gestion territoriale de l'eau (« *de l'eau pour les territoires et les milieux* »). Le changement climatique affiche de manière plus visible les interdépendances territoriales (eau des villes-eau des champs/agriculture-milieux/zones inondables-zones expansions de crues/transferts de contaminants amont-aval, rural-urbain, pollutions diffuses).

Le croisement d'expertises et de prospectives hydro-territoriales avec les projets de territoires portés par différentes partie-prenantes doit permettre d'esquisser diverses voies d'adaptation au changement climatique et de peser sur les choix politiques. Les initiatives associatives, professionnelles et citoyennes pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique en Nouvelle-Aquitaine sont porteuses d'un fort potentiel d'innovation. Leur accorder une meilleure considération passe par leur inventaire, l'évaluation de leur potentiel et de leur pertinence, l'accompagnement d'expérimentations locales **[32]**.

Considérer l'unicité de la ressource en eau

L'eau doit être considérée comme une ressource finie et unique ce qui conduit à prendre en compte les interactions entre eaux superficielles, eaux souterraines et zones humides dans la gestion de l'eau. Les eaux souterraines par nature invisibles seront désormais davantage convoitées ; elles restent trop souvent exclues d'une vision globale des ressources hydriques, ce qui met en défaut les approches surfaciques et nuit à une bonne gestion du problème. Avant d'envisager la planification d'éventuels ouvrages de stockages contestés socialement et écologiquement, il convient de mieux valoriser le potentiel des têtes de bassin et des zones humides, de favoriser l'infiltration lente et ralentir le ruissellement pour rétablir une bonne alimentation naturelle, de préciser collectivement la notion et les critères des débits écologiques acceptables, d'expérimenter et de tester la pertinence de techniques d'ingénierie écologique (ex : recharge

11 • Dans la réalité, en réponse aux revendications de la profession agricole, en 2011, l'application de la réforme des Volumes Prelevables (initialement programmée à 2015 puis 2017) a été reportée à 2021 et des autorisations dérogatoires de prélèvement ont été accordées à des zones déficitaires du Bassin de la Garonne ; maintenant l'actuel système de gestion par l'offre.

12 • Avis n° 15-A-19 du 16 décembre 2015 relatif aux effets sur la concurrence du mécanisme de répartition des quotas de pêche en France. Autorité de la concurrence.

artificielle de nappes d'accompagnement, recharge artificielle des aquifères profonds stratégiques). De même certains usages et modes de gestion conventionnels (comme par exemple le drainage des eaux superficielles de surface et souterraine) doivent être mieux évalués afin d'estimer leur impact sur le bilan hydrique global et être éventuellement modifiés.

Rendre visibles les impacts du changement climatique

La « mise en visibilité » du changement climatique et de ses effets emprunte diverses voies (expertise, expérience, représentations, récits…) qui contribuent à le rendre tangible ou à le discréditer. En plus d'une connaissance fine des tendances et des processus hydro-climatiques, penser l'adaptation des territoires nécessite de mobiliser des savoirs sur les changements socio-économiques, les vulnérabilités et les capacités d'adaptation des territoires, des activités et des populations **[33]**. L'affirmation que la sensibilisation et l'éducation du public seraient les conditions nécessaires et suffisantes pour l'adaptation au changement climatique tend d'une part à survaloriser les savoirs des experts et à assigner les publics à un déficit supposé de connaissances **[34] [35]**. Concernant, par exemple le fleuve Garonne les *récits* des riverains s'accordent localement sur le constat d'une variation à la baisse des régimes hydrologiques du fleuve depuis l'après-guerre.

L'alternance d'épisodes de crues violentes et d'étiages plus sévères, plus longs et plus tardifs est communément admise et correspond aux tendances attendues pour le futur. Cependant, ces transformations observées en Garonne-Gironde sont prioritairement attribuées aux impacts anthropiques des dernières décennies (extraction de granulat, endiguement, agriculture irriguée, destruction des zones humides) plus qu'au changement climatique lui-même **[36]**. Un tel *récit* oriente nécessairement les scénarios d'adaptation à privilégier. En termes d'effort d'objectivation, les scénarios tirés d'études prospectives participent d'une *mise en modèles* des dynamiques des écosystèmes face au changement climatique. Cette mise en visibilité par la modélisation et la mise en images (cartes, vidéo, schémas) est présente dans les études PGE, Adour 2050, Garonne 2050 et PACC Adour-Garonne. Elle est aujourd'hui présentée comme le mode de représentation le plus abouti de la complexité hydroclimatique. En revanche, une des limites est que ces analyses conçoivent l'adaptation des territoires trop exclusivement du point de vue du facteur climatique et indépendamment des vulnérabilités et des visions différenciées des territoires, des activités, des populations **[22] [37]**.

Entre une *mise en récits* discréditée, une *mise en modèles* toute puissante et une *mise en images* réductrice, la communication sur l'adaptation au changement climatique est à la recherche de la *bonne distance*. Les *récits* indispensables pour accompagner l'anticipation du changement climatique relèvent d'une alchimie complexe qui requiert tout autant des savoirs scientifiques les plus élaborés de la modélisation climatique, des sciences du vivant et des sciences de la société, tout comme les savoirs d'expérience des connaisseurs (élus, professionnels, amateurs…).

Un impératif de participation

Complémentaire de la territorialisation et du partage de connaissances intégratives, la concertation et la participation sont devenues un passage obligé de la gouvernance de l'eau. Les politiques de l'eau ont d'ailleurs intégré ces standards affichant concertation, objectif de coconstruction, transparence en réponse aux besoins d'appropriation par les acteurs. Cependant le recours systématique à des procédures participatives, souvent assimilé à une quête d'acceptabilité sociale, ne doit pas dissimuler le désenchantement voire la défiance qu'elles suscitent parmi les participants **[24] [38]**. Soumise à l'analyse critique, la dimension participative des prospectives hydroclimatiques laisse entrevoir des écarts persistants entre les ambitions affichées, la conduite des démarches et les compromis atteints. L'apprentissage d'une gouvernance hydro-climatique requiert une organisation originale, inclusive et participative qui reste à imaginer pour déterminer le futur mix hydrique sur les territoires de la région Nouvelle-Aquitaine. Laisser ouverte la possibilité d'étudier diverses solutions alternatives possibles est une condition indispensable pour garantir la confiance entre les partenaires.

Une gestion durable partagée

Une gestion durable de la ressource en eau fait référence à des niveaux de prélèvement garantis dans le temps et compatibles avec les conséquences sociales, environnementales et économiques. Une gestion durable des aquifères renouvelables requiert d'intégrer les flux en direction des écosystèmes qui en dépendent à travers le drainage naturel et donc d'utiliser le débit durable d'exploitation (stock à prévoir et dégradation maitrisée des écosystèmes dépendant) comme règle de gestion. La durabilité, comme accord négocié entre usagers et gestionnaires, constitue un problème de résolution de contraintes entre usages et requiert une estimation du coût des arbitrages intra et inter-temporels entre les différents objectifs.

L'anticipation du changement climatique

La réalité du changement hydro-climatique invite désormais à raisonner de manière indissociable et intégrée les relations entre climat, hydrologie, usages et gouvernance de l'eau. Des savoirs scientifiques sont développés aux échelles territoriales pertinentes pour appréhender la complexité et lever les incertitudes liées au changement climatique. Des projets territoriaux durables et solidaires doivent se fonder conjointement sur une estimation partagée des besoins en eau, sur des récits qui leur donnent du sens et sur des expertises qui fondent leur crédibilité. Pour éviter un accroissement des tensions sur l'eau, il s'agit de réencastrer l'expertise scientifique et technique, dans la qualité de vie, le social et la politique des territoires. En réunissant ces conditions les acteurs de la région Nouvelle-Aquitaine sont en mesure de jouer un rôle pionnier dans le développement d'outils d'anticipation du changement climatique permettant d'anticiper et d'éviter des crises coûteuses sur les plans économiques, écologique, social et politique.

L'énergie régionale et la transition énergétique

Centrale de Cestas ©Région Nouvelle-Aquitaine Francoise Roch

Coordination : **Sébastien Chailleux, Michel Combarnous**

Rédacteurs : **Roland de Lary, Alain Dupuy, Christine Faure, Benoît de Guillebon, Guillaume Laloge, François Larroque, Morgan Le Lous, Jean-Rodolphe Puiggali, Benoît Thomazo**

Contributeurs : **Rafik Belarbi, Yohana Cabaret, Michel Pouchard, Didier Roux, Laurent Thibaud**

Ce chapitre est consacré à la place des enjeux énergétiques pour la Nouvelle-Aquitaine. L'analyse se situe dans un contexte de lutte contre les changements climatiques et de transition énergétique. Elle place la région au cœur de ce processus de transformation en questionnant les ressources et les opportunités qui lui sont offertes, tout en pointant les contraintes que font peser l'injonction à la transition et les caractéristiques locales sur les projets de transition énergétique. Ainsi, le chapitre poursuit trois objectifs : fournir un panorama des sources de production d'énergie, présenter les enjeux de la consommation d'énergie et ouvrir des pistes d'investigation sur les modalités de la transition en Nouvelle-Aquitaine. D'abord, il s'agit de développer un panorama le plus large possible des sources de production d'énergie dans la région. Une part importante du travail consiste en la présentation des diverses sources d'énergies renouvelables, cependant le chapitre prend soin de souligner la domination de sources d'énergie non renouvelable dans le mix énergétique régional que sont le nucléaire mais aussi les hydrocarbures. Les différentes filières sont interrogées quant à leur contribution à la réduction des émissions de GES mais aussi sur leur faisabilité, leur généralisation et leur acceptation territoriale. Ensuite, un travail de synthèse de la documentation existante a été réalisé sur les modes de consommation de l'énergie dans la région. Au-delà de la répartition des centres de consommation selon les types d'énergie, il semblait nécessaire de questionner la faible intégration des travaux sur les usagers de l'énergie dans la conception des réponses à la transition énergétique. Enfin, de manière transversale, le chapitre vise à engager des réflexions sur les politiques locales de l'énergie en Nouvelle-Aquitaine. Il est rappelé en introduction de quelle manière les actions régionales et locales s'intègrent dans une politique nationale et internationale de lutte contre le réchauffement climatique mais aussi dans un marché de l'énergie. En miroir, il est conclu sur la nécessité de repenser les modes de gouvernance de la transition énergétique afin de concevoir un modèle énergétique nouveau et non uniquement d'adapter le système actuel aux dangers climatiques.

OBJECTIF : « FACTEUR 4 »
(RÉDUCTION PAR 4 DES ÉMISSIONS) POUR 2050

NOUVELLE-AQUITAINE

Consommation d'énergie par l'utilisateur final
10,6 %
de la consommation nationale (AREC, 2017)

Les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon)
62 %

L'électricité et les EnR (dont le bois)
33 %

Les produits pétroliers
73,9 %
de la consommation du secteur des transports

L'agriculture et la pêche
10,1 %

Tertiaire
6,9 %

Résidentiel
5,6 %

Industrie
3,5 %

+20 %
des émissions de GES
EXPLOSION DU TRAFIC POIDS LOURD
entre 1990 et 2015

AUGMENTATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE
pour les transports personnels

CONSOMMATION ET PRODUCTION

84 % de la production
représente 104 % de la consommation

+400 %
1960-2000

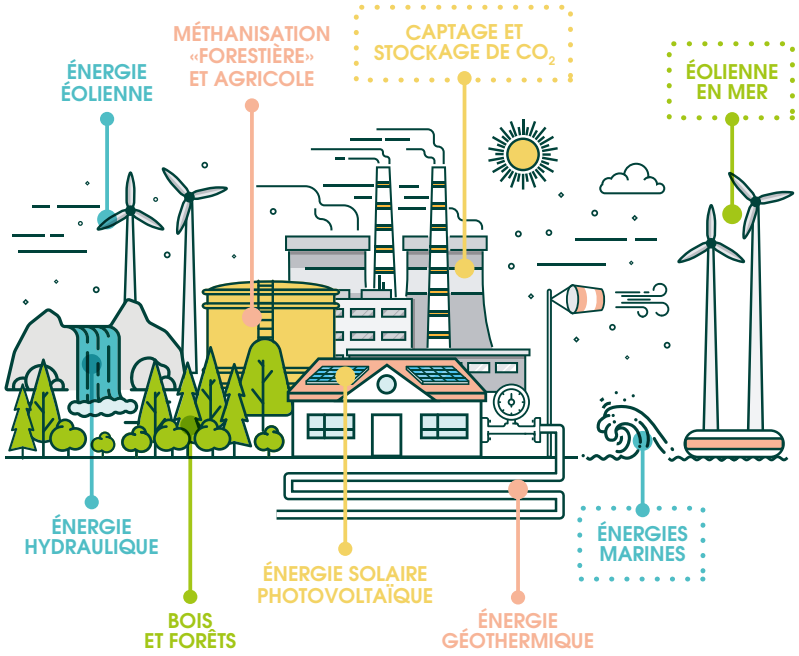
RT2020
Norme bâtiments énergie positive

45 %

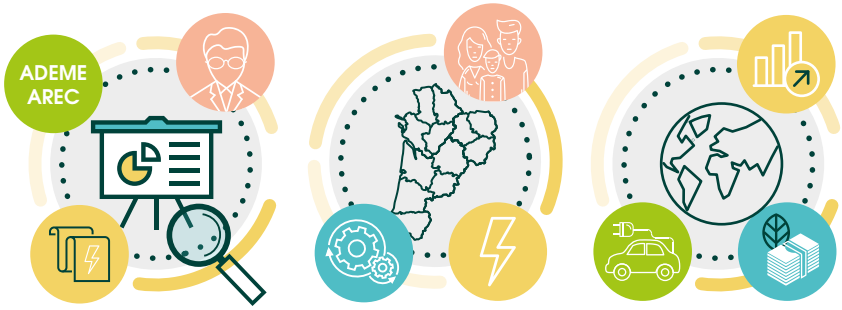
Innovation technique

Formation
des professionnels

MIX ÉNERGÉTIQUE RÉGIONAL



VIVRE MIEUX EN CONSOMMANT MOINS D'ÉNERGIE ET DE MATIÈRE



1 INTRODUCTION

La première édition du rapport sur le changement climatique en région [1] ne comportait pas de chapitre exclusivement dédié à l'énergie bien que le thème soit évoqué de manière transversale. Dans cette seconde édition, un chapitre spécial y est consacré. L'énergie est en effet un sujet central dans la lutte contre le changement climatique puisque c'est une ressource essentielle pour l'économie mais dont les usages engendrent des émissions de GES responsables de l'augmentation de la température globale. Depuis la conférence de Copenhague en 2009, chaque État a la responsabilité de définir un objectif de maîtrise de ces émissions qui passe par une transition énergétique vers des sources moins émettrices de carbone. Dans ce cadre, la France affiche l'objectif du « Facteur 4 » (réduction par 4 des émissions) pour 2050. L'appropriation de cet objectif par les acteurs scientifiques, économiques et institutionnels à différentes échelles, montre cependant que de nombreux débats persistent sur la ou les trajectoires qui permettront de porter un tel changement de modèle dont les contours sont largement discutés.

En France, la transition énergétique a dans un premier temps fait l'objet de débats et de politiques à l'échelle nationale. Le caractère centralisé historique de la production d'électricité et de la gestion des réseaux par l'opérateur national ou encore le marché international de l'énergie favorisent initialement peu une gestion décentralisée de l'énergie. Les politiques de l'énergie offrent néanmoins aujourd'hui un appui considérable aux initiatives locales de transition. Il apparaît donc nécessaire de prendre en considération les interdépendances entre les différentes échelles de régulation politique qui participent à forger une définition de la transition énergétique.

Les politiques nationales forment un cadre général d'action publique régionale et fournissent des ressources financières et légales pour que les territoires se saisissent des enjeux de transition énergétique. Les lois Grenelle de 2009 et 2010 affirment des objectifs importants d'efficacité énergétique et en 2010, le gouvernement confie à l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) la gestion des fonds du programme d'investissements d'avenir sur les énergies décarbonées et la sobriété énergétique. Ces investissements sont notamment engagés en partenariat avec les régions. Dans la même période, l'association Négawatt publie un scénario valorisant la sobriété énergétique considérée comme une solution pour limiter le réchauffement climatique. Il vient appuyer des initiatives locales qui émergent notamment à partir de 2010 grâce au travail du Comité de liaison pour les énergies renouvelables (CLER, aujourd'hui Réseau pour la transition énergétique) qui met en avant les Territoires à énergie positive (TEPOS), concept qui définit un territoire qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Les énergies renouvelables connaissent un essor sur cette période notamment au regard de politiques nationales incitatives comme sur le photovoltaïque mais dont les aléas peuvent conduire à une chute brutale du soutien financier [2]. La Loi sur la transition énergétique et la croissance verte (TECV) de 2015 met en place la planification pluriannuelle de l'énergie (PPE), document stratégique fixant pour les objectifs énergétiques pour cinq ans.

Parallèlement, le Ministère de l'écologie met en place en 2014 un comité national de la transition énergétique regroupant les différents acteurs du « développement durable » et chargé de rendre des avis sur les projets du ministère. Il met aussi en œuvre un financement de projets pour les Territoires à énergie positive pour la croissance verte (TEPCV) qui font écho aux projets TEPOS.

Parallèlement, notamment avec l'exemple des TEPOS, la transition énergétique émerge aussi des territoires où elle s'inscrit autour de projets concrets dans des configurations territoriales spécifiques. La transition énergétique ouvre la voie à l'expérimentation et à des formes innovantes de projets énergétiques allant des éoliennes collaboratives **[3]** aux projets d'autonomie énergétique **[4]**. Les incitations nationales sont saisies par des acteurs locaux pour porter des projets de transition sur leur territoire dont l'exemple-type est celui des tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque qui ont permis l'émergence rapide de la filière et le développement des capacités d'innovation locale **[2]**. Mais la transition fait aussi figure d'impératif pour certains territoires en reconversion. Elle est alors intégrée dans le discours des décideurs politiques locaux qui tentent de renouveler l'économie locale en s'appuyant sur le passé énergétique des territoires, et notamment le charbon **[5] [6]**. D'autre part, cet impératif ne s'accompagne pas nécessairement des délégations de compétences adéquates et des moyens suffisants **[7] [8]**.

Placer des politiques publiques locales sous le signe de la « transition » n'est donc pas forcément synonyme de transformation du territoire, de réorientation des échanges sociaux ou même d'un avènement de la proximité. Les travaux entrepris en sociologie de l'énergie **[4]** suggèrent de considérer comment les configurations territoriales forgent des trajectoires de transition différenciées. Pour la Nouvelle-Aquitaine, le défi de la transition énergétique passe donc par une connaissance fine de son territoire qui permet, tout autant qu'il contraint, le développement de filières nouvelles et de nouveaux modes de consommation, de transport et d'habitation reposant sur l'engagement des acteurs locaux.

L'action publique distingue régulièrement deux types de politiques en matière d'énergie, celles concernant la production d'énergie, et celles concernant la consommation d'énergie. Ces deux aspects ont structuré l'action publique en matière de transition énergétique vers les énergies renouvelables depuis une vingtaine d'années, une structure similaire pour la présentation des enjeux énergétiques régionaux est suivie.

2 LES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE EN NOUVELLE-AQUITAINE

En Nouvelle-Aquitaine, la consommation d'énergie par l'utilisateur final (c'est-à-dire en prenant en considération l'ensemble de la chaîne de transformation des énergies primaires) en 2015 était de 182 719 GWh, c'est-à-dire 15 489 ktep, soit 10,6 % de la consommation nationale **[9]**. Les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) émettrices de GES (gaz à effet de serre), représentent 62 % de cette consommation ; l'électricité et les énergies renouvelables (EnR) (dont le bois) 33 %. Les études menées par l'AREC (Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat)[1] permettent de souligner deux tendances en matière de consommation d'énergie dans la région.

D'une part, la part de la consommation conjointe des secteurs des transports et du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est de 76 % pour la Nouvelle-Aquitaine (**Figure 1**). Cette importance accentue l'intérêt pour les politiques régionales en matière de transport et d'habitat notamment du fait de la croissance continue des émissions de GES dans ces secteurs (**Figure 2**).

D'autre part, les produits pétroliers représentent près de la moitié de la consommation du fait de l'importance du transport (**Figure 1**), et particulièrement de l'explosion du trafic de poids lourd (**Figure 2**). Ce poids relativise les actions engagées en termes de production d'électricité plus neutre en carbone.

LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FOSSILE

Les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz) représentent plus de la moitié de la consommation d'énergie de la région (**Figure 1**). Les produits pétroliers sont en très grande majorité utilisés dans le secteur du transport (73,9 % de la consommation). Loin derrière, le deuxième secteur consommateur de produits pétroliers est l'agriculture et la pêche (10,1 %) devant le tertiaire (6,9 %), le résidentiel (5,6 %), et l'industrie (3,5 %). Les secteurs de l'industrie, du résidentiel et du tertiaire disposent des mix énergétiques plus diversifiés. L'industrie concentre l'ensemble de la consommation de charbon et se partage avec le secteur résidentiel la consommation de bois, tandis que l'agriculture est plus directement concernée par l'autoconsommation de biomasse **[9]**.

L'importance des énergies fossiles dans le mix de consommation régionale d'énergie est soutenue par la croissance des transports. D'une part, l'explosion du trafic poids lourd engendre une hausse de plus de 20 % des émissions de GES de ce secteur entre 1990 et 2015 (**Figure 2**). Toutefois, ce secteur a tendance à se stabiliser depuis 2015. D'autre part, la croissance démographique, l'habitat isolé dans certains territoires et l'augmentation de la mobilité des particuliers soutiennent une augmentation continue de la consommation d'énergie pour les transports personnels qui engendre une hausse des émissions de GES de ce secteur (**Figure 2**). En particulier, les déplacements entre la maison et le travail sont pour les premiers responsables de cette forte hausse sur la période.

1• L'ensemble des données concernant les énergies par grandes masses a été rassemblé par l'AREC, Association Régionale d'Évaluation environnement et Climat, basée à Poitiers depuis de plus de 20 ans. Financée par l'ADEME et les Région (s), l'AREC a mis en place de 1995 à 2009 plusieurs dispositifs d'observation et de suivi sur des sujets tels que déchets, gaz à effet de serre, biomasse… S'est ajoutée, en 2016, la mission de fourniture de données à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine.

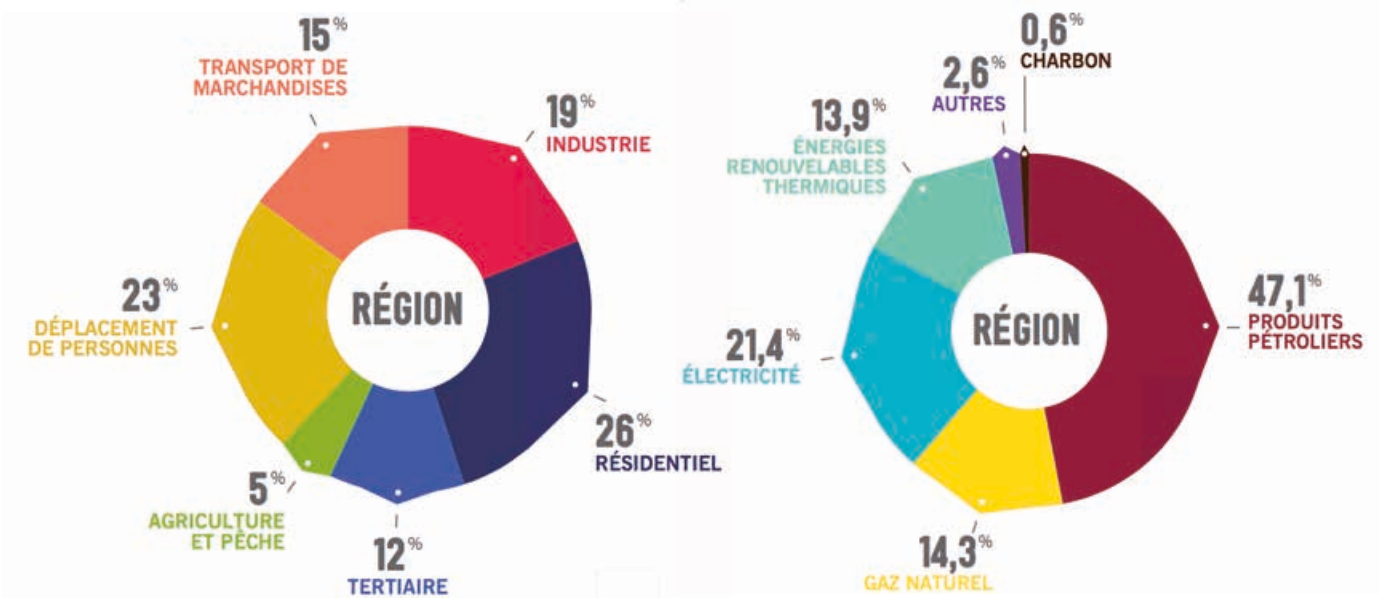


Figure 1 : *Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur et par source (Source : AREC (9)).*

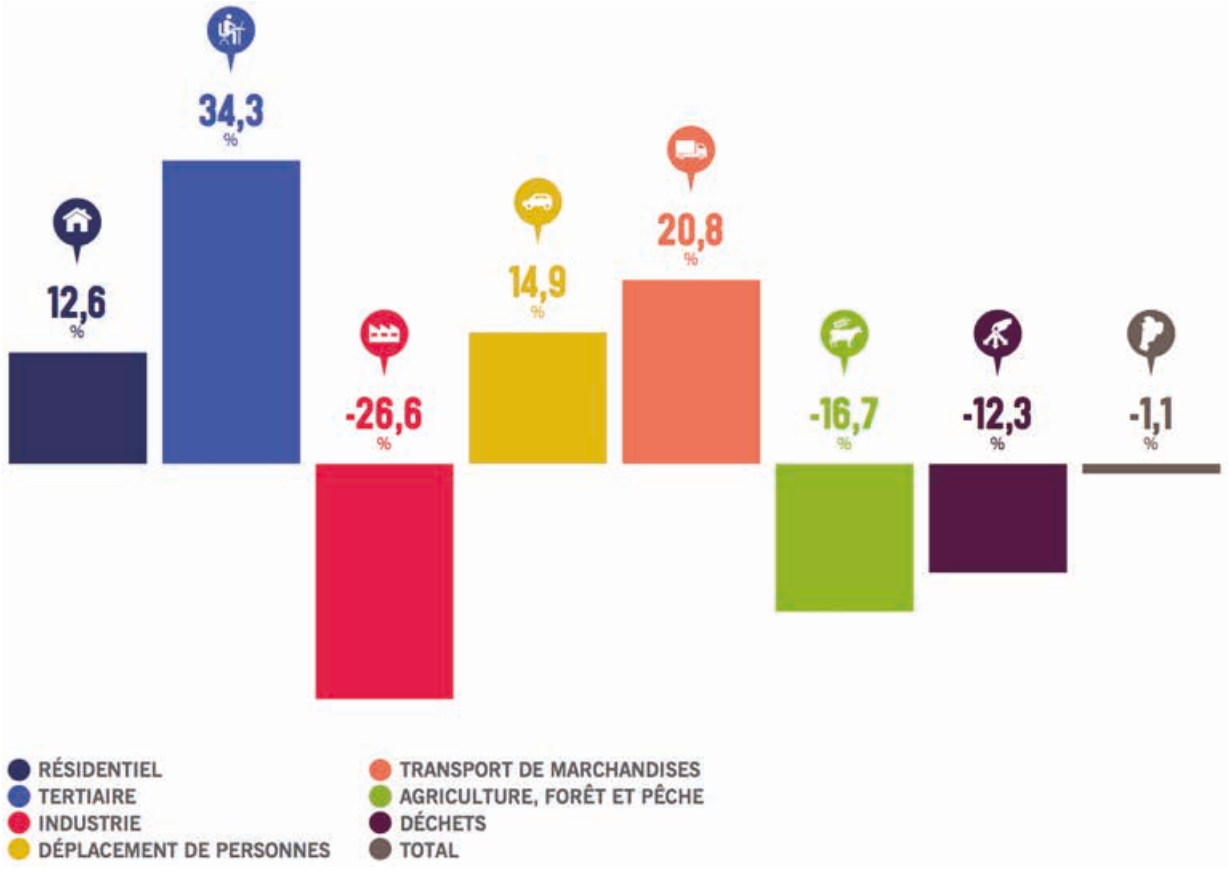


Figure 2 : *Évolution sectorielle des émissions de GES entre 1990 et 2015 (source : AREC (9)).*

LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

L'électricité constitue le principal vecteur d'énergie privilégié. Un vecteur énergétique est une méthode de transport de l'énergie. Les énergies primaires sont des sources d'énergie mais elles ne sont pas facilement transportables. La région Nouvelle-Aquitaine produit plus d'électricité qu'elle n'en consomme. Ceci est possible grâce à l'énergie nucléaire qui représente 59 % de la puissance installée et 84 % de la production régionale d'électricité, soit 104 % de la consommation d'électricité de la Nouvelle-Aquitaine **[10]**.

Coté transport de l'énergie, parmi les investissements constants réalisés pour l'amélioration et l'extension du réseau, il faut noter un projet majeur d'interconnexion entre la France et l'Espagne : la création d'une liaison électrique en courant continu entre Bilbao et Bordeaux *via* le golfe de Gascogne. Cet ouvrage de 400 km dont 280 km en liaison sous-marine pourrait être mis en service en 2020.

Ce projet est qualifié « d'intérêt commun » par l'Union Européenne et a déjà fait l'objet d'une présentation au Conseil Maritime de Façade Sud-Atlantique. Il s'agirait de deux liaisons de 1 000 MW en courant continu. Des études approfondies des caractéristiques du « Gouffre de Capbreton », canyon sous-marin important qu'il faudra franchir, sont en cours.

L'évolution de la consommation électrique en région Nouvelle-Aquitaine, par habitant, a suivi sensiblement la consommation nationale : après une augmentation très forte, d'environ 400 % entre 1960 et 2000 on observe une relative stabilisation depuis 2000. Cependant, en Nouvelle-Aquitaine entre 2006 et 2016 la consommation finale croît plus rapidement (+8,6 %) qu'en France (+3,1 %). Cette différence peut s'expliquer principalement par la forte croissance démographique de la région Nouvelle-Aquitaine devenue la région plus étendue de France en superficie, et à la quatrième place en termes de population **[10]**. En 2016, la Nouvelle-Aquitaine a consommé 39 368 GWh (**Figure 3**) ce qui représente 8,8 % de la consommation finale française.

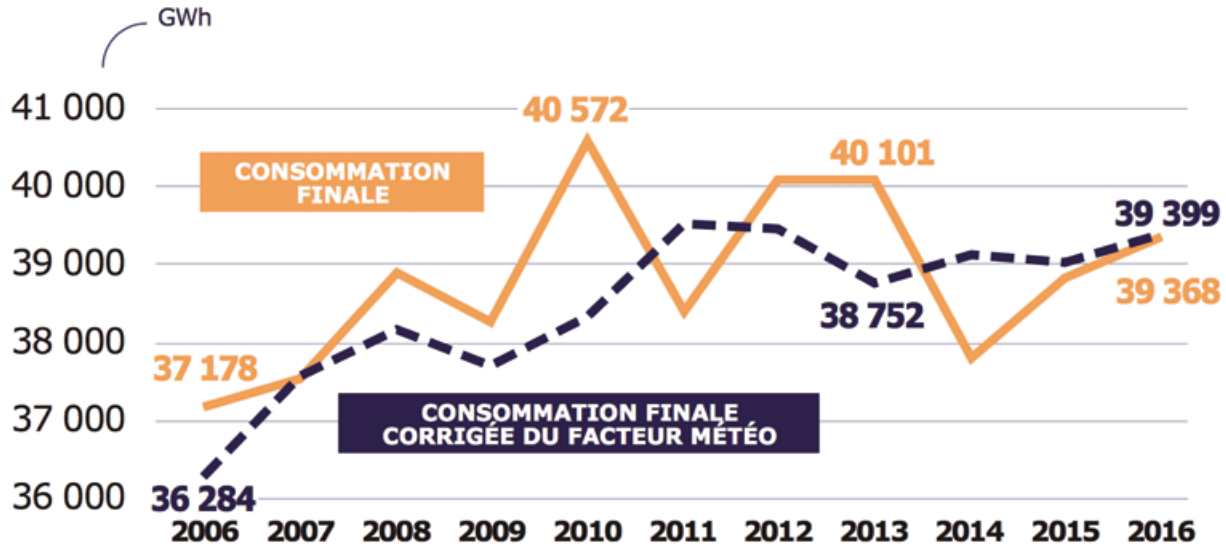


Figure 3 : *Consommations annuelles finales d'électricité en Nouvelle-Aquitaine, en GWh (RTE (10)).*

En 2016, la consommation croissante des professionnels et des particuliers représentait 54 % de la consommation régionale d'électricité (**Figure 4**) tandis que celle des PME/PMI et de la grande industrie tend plutôt à se stabiliser.

Par ailleurs, s'il existe peu de données sur la consommation d'électricité des PME/PMI, la consommation de l'industrie est largement dominée par la filière papier et carton suivi par la chimie (**Figure 5**). Ces grands consommateurs d'énergie ne participent toutefois que pour une faible part de la consommation régionale. Plus encore, la participation des filières industrielles aux émissions de GES s'est fortement réduite depuis 1990 (**Figure 2**).

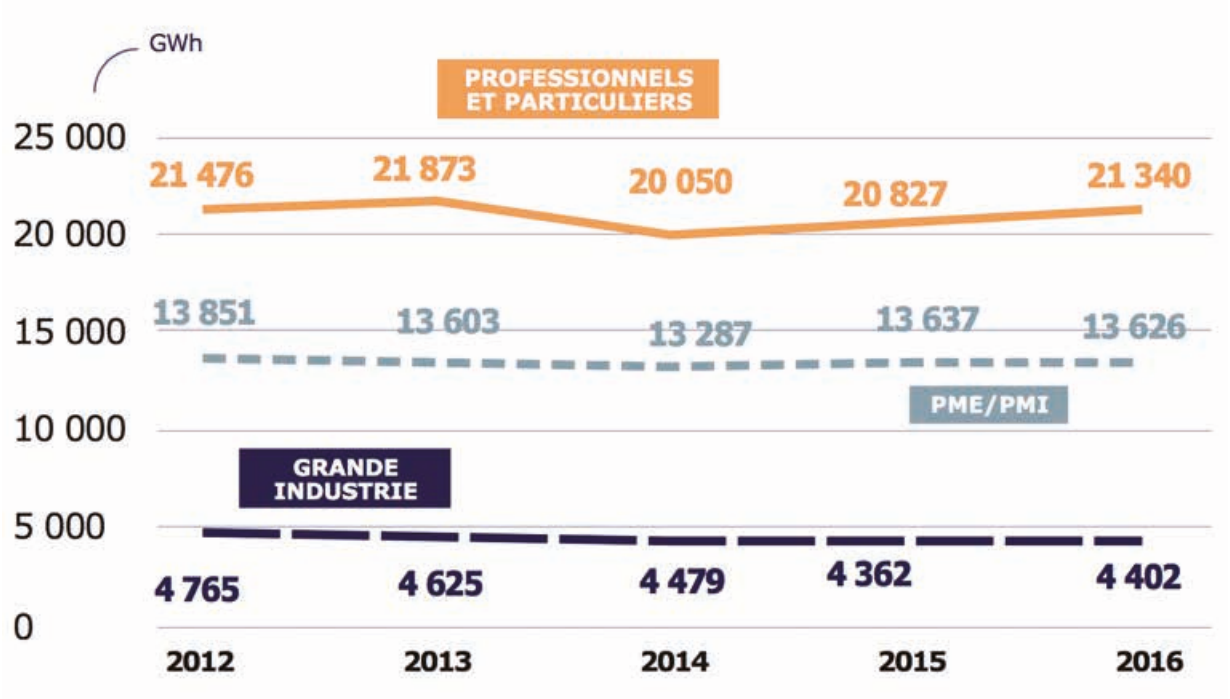


Figure 4 : *Évolution de la consommation différenciée dans la région (source RTE (10)).*

L'importance de la consommation individuelle met en exergue l'intérêt des politiques relatives à l'habitat et à l'efficacité énergétique. Environ 45 % de la consommation énergétique en France se fait dans les bâtiments, résidences et locaux tertiaires. Pour ces secteurs, les améliorations en matière de performance énergétique des bâtiments et les changements d'énergie ne permettent pas de compenser la forte augmentation des surfaces construites, notamment dans le secteur tertiaire (**Figure 2**). Il convient donc d'envisager la transition énergétique non seulement à travers la promotion de l'efficacité énergétique des bâtiments mais aussi travers leur emprise au sol et la régulation de l'expansion urbaine.

Pour les constructions neuves, la réglementation thermique RT2012 issue du Grenelle de l'Environnement de 2007 a fixé un objectif de 50 kWh/m²/an pour les 5 postes que sont le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires de ventilation. La norme actuelle pour la construction (RT2020) affiche l'objectif de bâtiments à énergie positive (BEPOS) qui produisent plus d'énergie (chaleur, électricité) qu'ils n'en consomment. Une étude menée par l'Ademe en juin 2012 montre que pour la centaine de réalisations à énergie positive en France (65 % dans le tertiaire, 29 % en pavillons individuels et 6 % en logements collectifs) la consommation est d'environ 50 kWh/m²/an, performances qui peuvent encore être améliorées, rendant l'objectif 2020 de 3x20 possible, par la généralisation d'un éclairage à détection et des LEDs.

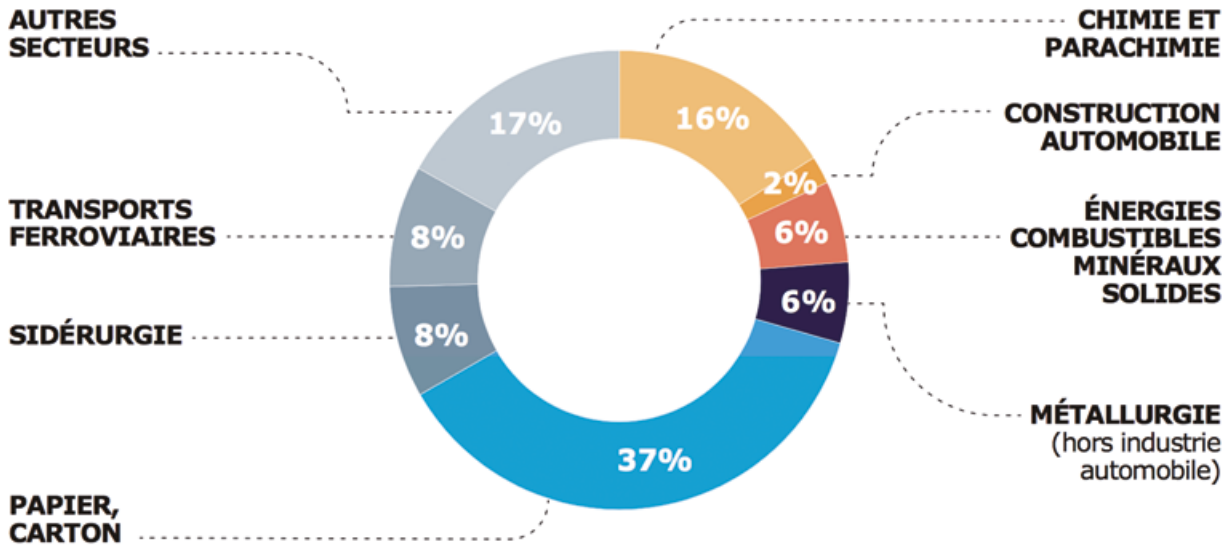


Figure 5 : *Répartition sectorielle de la consommation finale d'électricité industrielle (source : RTE (10)).*

Les logements neufs ne représentant que 1 % du parc immobilier français, la priorité est donc la rénovation de l'ancien dont la consommation moyenne est de l'ordre de 300 kWh/m²/an (**Figure 6**). La rénovation permet d'obtenir un gain de 200 kWh/m²/an en moyenne soit une économie d'environ 10 à 30 % de la consommation totale en fonction de la taille du parc rénové. La rénovation énergétique des bâtiments anciens soulève des enjeux d'innovation technique à la fois en termes de matériaux (isolants minces par exemple) ainsi que de formation des professionnels du bâtiment.

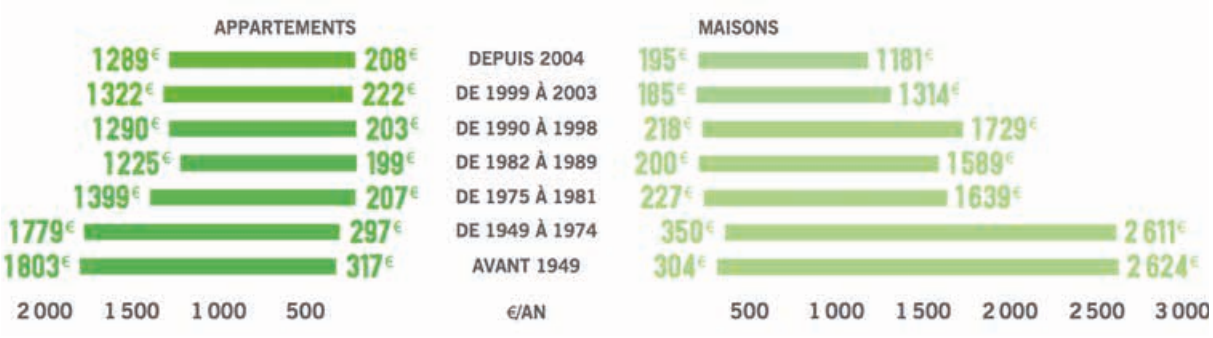


Figure 6: *dépenses énergétiques annuelles dans le logement selon la période de construction (AREC (9)).*

Les objectifs de rénovation énergétique des bâtiments existants ont été renforcés dans le cadre de la Loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) en 2015 avec l'objectif de viser un parc de « bâtiments basse consommation » à l'horizon 2050. À l'échelle de notre région, 1,5 million de logements sur les 3,3 millions ont été construits avant 1975, date de la première réglementation thermique, soit 56 % du parc. Avec une part de 26 %, le secteur résidentiel représente le 2e secteur consommateur d'énergie. En partenariat avec l'Ademe, la Région se donne donc pour objectif de développer massivement des actions de rénovation, en visant une rénovation énergétique globale performante, qui permet un gain énergétique d'environ 40 %. Dès 2016, la région s'est fixée comme objectif de développer 12 territoires à énergie positive. L'Agence régionale pour les travaux d'économie d'énergie (Artée) a été créée en 2017 afin de participer au tiers financement des projets de rénovation énergétique.

La région Nouvelle-Aquitaine fait face à de nombreux défis (habitat rural isolé au nord, habitat résidentiel dispersé autour des villes moyennes et des métropoles). Face à ces défis, la région bénéficie de nombreux atouts : la mobilisation de nombreux pôles et instituts techniques du bâtiment, la plateforme TIPEE de l'Université de La Rochelle (*Technological and Innovative Platform for Environmental Efficiency*), le cluster Éco-Habitat regroupant 174 adhérents, Nobatek (Institut pour la transition énergétique), le CREAHd (Construction Ressources Environnement Aménagement et Habitat durables qui est le pôle régional de la construction et de l'aménagement durables en Aquitaine) ou encore nouveau cluster régional Énergies et stockage créé en 2017.

Pour autant, l'approche technique de l'habitat à travers les performances énergétiques ne doit pas faire oublier l'importance de considérer aussi les usages concrets et les problématiques de gouvernance de l'innovation. D'abord, les travaux de sociologie sur l'intégration des usages et la précarité énergétique **[4]** donnent à voir une acceptabilité et une appropriation flexibles des innovations techniques de Maîtrise de la demande d'énergie. Le script initial formulé par les ingénieurs en matière de température intérieure ou de réglage des appareils ne prend souvent pas en compte les dimensions humaines et le contexte d'utilisation réelle. L'exemple de la norme des 19 °C montre bien qu'alors que le calcul de la performance énergétique d'un logement est calculé selon cette norme, peu d'usagers la respectent **[4]**. L'habitat demeure en effet un secteur dans lequel on observe un effet rebond, à savoir : *« la façon dont certains gains environnementaux obtenus grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique vont être annulés par une augmentation des usages ».* La pédagogie engagée par la région et par l'Ademe sur ces thématiques doit ainsi viser non seulement l'apprentissage des technologies mais permettre des échanges de représentations des usages valorisés par chacun des acteurs. Ensuite, la promotion de l'efficacité énergétique par l'innovation laisse souvent dans l'ombre la question du modèle de gouvernance de la performance énergétique. Les politiques technologiques reposant sur des démonstrateurs ne sont pas exemptes d'effets contradictoires quant aux objectifs hétérogènes selon l'échelle considérée (locale, nationale ou européenne), conduisant à une complexité dans la gouvernance locale des projets **[11]**. Plus largement, il s'agit de questionner à la fois les innovations techniques et organisationnelles soutenant les projets de performance énergétique des bâtiments puisqu'au-delà de la maîtrise de compétences techniques nouvelles, c'est la coordination entre acteurs, la prise de décision et donc la gouvernance des projets qui contribuent à atteindre les objectifs énergétiques et environnementaux **[12]**.

3 LES ÉNERGIES PRODUITES EN NOUVELLE-AQUITAINE

Il n'existe aucune étude rassemblant l'ensemble des sources de production d'énergie en Nouvelle-Aquitaine. Les données disponibles focalisent soit sur la production d'électricité, soit sur celle d'énergies renouvelables. Il est toutefois nécessaire de distinguer les productions d'énergies fossiles et renouvelables ainsi que de mettre en avant les spécificités de la production électronucléaire régionale.

LE LENT DÉCLIN DES HYDROCARBURES EN NOUVELLE-AQUITAINE

La production régionale des combustibles fossiles, charbon, gaz et pétrole, est en forte baisse, et représente moins d'1 % des consommations nationales. Les Houillères d'Aquitaine, dont les principaux gisements de Decazeville et de Carmaux, ont depuis longtemps fermé leurs portes et la production de charbon dans la région, tout comme au niveau national, est aujourd'hui terminée à cause de l'absence de rentabilité. Le gisement de gaz de Lacq, découvert en 1951, a produit environ 245 milliards de m^3 de gaz depuis 1957 et celui de Meillon, découvert en 1966, environ 57,7 milliards de m^3 de 1968 jusqu'à leur fermeture en septembre 2013. En 2013, la production de gaz a baissé de 30 % par rapport à 2012. Cette baisse s'inscrit dans le cadre du projet Lacq Cluster Chimie 2030 visant à poursuivre l'exploitation de gaz brut afin de fournir de l'H_2S et des utilitaires produits à partir du gaz extrait aux sociétés utilisatrices implantées sur le bassin industriel de Lacq **[13]**. En Nouvelle-Aquitaine, les principaux gisements fossiles concernent aujourd'hui le pétrole. Ils se trouvent notamment dans certains lacs côtiers aquitains, comme celui de Cazaux et Sanguinet ou celui de Parentis. La production totale du champ de Parentis, s'élève à plus de 220 millions de barils de pétrole à fin 2014. En 2016, le bassin Aquitain assurait 36,9 % de la production nationale du pétrole **[14]**.

Malgré un intérêt renouvelé pour les hydrocarbures, notamment non conventionnels, depuis la fin des années 2000 sur le territoire français, la Loi Hulot de 2017 signe une fin programmée pour l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures à l'horizon 2040. Les projets sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine ne visaient pas directement des hydrocarbures non conventionnels dont la principale technique d'exploitation, la fracturation hydraulique, est interdite en France depuis 2011 **[15]**. Cependant, certains, comme le Permis de Saint Griède, ont été contestés localement et ont pu conduire à des actions juridiques de la part de collectifs de citoyens. La société Gas2Grid était en attente de réponse du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire pour plusieurs demandes de permis de recherche sur une large bande sud ouest de la région. À la suite du vote de la Loi Hulot, l'ensemble des demandes devraient être rejetées. Pour autant, la région connaît deux expériences intéressantes soutenues par la société pétrolière canadienne Vermilion dont les sous-produits de chaleur issus de la production de pétrole servent à chauffer des serres agricoles (Landes) ou un écoquartier (Gironde).

Les données sur les énergies fossiles au niveau régional sont parcellaires. Il est néanmoins possible d'estimer l'importance de la production régionale en comparaison de celle au niveau nationale. Le **Tableau 1** montre ainsi le poids relatif des différentes sources d'énergie primaire. La production de gaz français étant presqu'entièrement réalisée dans la région, on peut ainsi noter la marginalité de celle-ci au regard de la part des autres sources primaires dont au premier chef le nucléaire, mais aussi les EnR.

SOURCE	1990	%	2000	%	2010	%	2015	% 2015
CHARBON	8,24	7,4	2,48	1,9	0,16	0,1	0	0
PÉTROLE	3,47	3,1	1,81	1,4	1,07	0,8	0,97	0,7
GAZ NATUREL	2,52	2,2	1,50	1,2	0,65	0,5	0,02	0,01
TOTAL FOSSILES	14,23	12,7	5,80	4,4	1,88	1,4	0,99	0,7
NUCLÉAIRE	81,85	73,2	108,19	82,8	111,67	82,5	114,00	82,8
HYDRAULIQUE	4,63	4,1	5,71	4,4	5,39	4,0	4,68	3,4
BIOMASSE-DÉCHETS	10,99	9,8	10,76	8,2	15,42	11,4	15,27	11,1
SOLAIRE, ÉOLIEN, GÉOTH.	0,18	0,2	0,20	0,2	1,19	0,9	2,81	2,0
TOTAL ENR	15,80	14,1	16,67	12,8	22,00	16,2	22,77	16,5
TOTAL	111,87	100	130,66	100	135,40	100	137,76	100

Tableau 1 : *Production d'énergie primaire en France en MTEP (Source : adapté de AIE (16)).*

VERS UNE RÉDUCTION DE LA PART D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Dans le monde, la part relative du nucléaire dans la production d'électricité est en baisse (16,0 % en 2004, 11,2 % en 2012), avant même la catastrophe de Fukushima en mars 2011. Le nombre de réacteurs (environ 450) plafonne avec un vieillissement « tranquille » du parc : âge moyen de 29 ans en 2015, près de 40 réacteurs a plus de 40 ans. En France le nucléaire est la principale source d'énergie consommée avec 42,3 %, suivie par les produits pétroliers (30,1 %), le gaz (14,2 %) et ensuite les EnR (9,4 %) **[17]**. La filière nucléaire fait face à des enjeux importants, sécuritaires, financiers, techniques et démocratiques, notamment à propos des travaux liés au démantèlement des centres de production et au stockage des déchets radioactifs. En France, le gouvernement a récemment annoncé le report de l'objectif de la loi de Transition Énergétique de 2015 d'une réduction de 75 % à 50 % de la part de l'énergie nucléaire en 2025. Dans ce contexte, sans le moindre esprit polémique, on peut s'interroger sur l'avenir, à long terme, à 50-60 ans par exemple, de l'énergie nucléaire.

La Nouvelle-Aquitaine abrite les centres de production nucléaire du Blayais et de Civaux. Deux autres, Chinon (Indre-et-Loire) et Golfech (Tarn et Garonne), sont situées dans un voisinage proche.

- La centrale du Blayais, en bord de Gironde, comprend 4 réacteurs, de production unitaire de 900 MWe, construits en 1977 et 1978, connectés au réseau entre 1981 et 1983, d'un âge supérieur à 35 ans. La centrale utilise 15 millions de m^3 d'eau par jour pour son refroidissement provenant depuis les eaux de l'estuaire **[18]**.
- La centrale de Civaux, comprend 2 réacteurs de 1 500 MWe, construits en 1997 et 1999, et mis en service en 2002 et utilise les eaux de la Vienne pour son refroidissement.

Malgré l'accroissement des capacités renouvelables, le nucléaire répond encore pour une large majorité de la production d'électricité régionale (**Figure 7**).

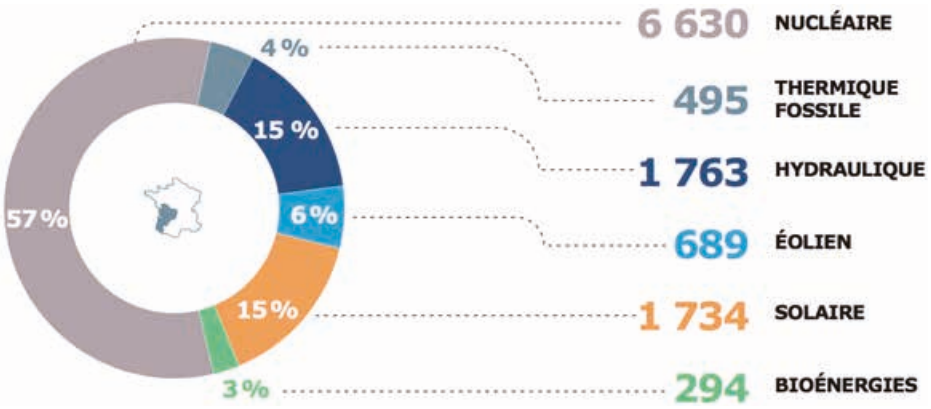


Figure 7 : *Répartition de la production régionale d'électricité (source RTE (10)).*

Néanmoins, les changements dans la disponibilité de l'eau et la température de l'eau de surface affectent directement le fonctionnement des centrales nucléaires **[19]** et cela peut avoir un impact dans le prix de l'électricité **[20]**. La centrale de Civaux pourrait voir sa capacité de production à l'horizon 2040 diminuer. Concernant l'engagement avec l'environnement, elle doit garantir un débit moyen journalier minimum à la Vienne à l'aval du rejet de la centrale supérieur à 10 m^3/s. Si la température amont de la Vienne est inférieure à 25 °C, les rejets thermiques de la centrale ne doivent pas élever la température de la Vienne de plus de 2 °C, avec une température maximale de l'eau mesurée en aval de 25 °C **[21]**. Le SMIDDEST propose dans ce sens un accès aux données sur l'estuaire de la Gironde et le fleuve afin de permettre aux maîtres d'ouvrage d'anticiper les effets des aménagements sur le lit du fleuve **[22]**.

Les centrales françaises dont celles de Civaux et du Blayais sont relativement modulables, pouvant de ce fait soutenir l'intermittence des énergies renouvelables et être un appui pour le développement des EnR. Comme ailleurs, à l'horizon 2030-2040-2050, la question de l'avenir à « long terme » du nucléaire en région va se poser. La centrale du Blayais devra subir dans quelques années sa quatrième visite décennale, la prolongation de son fonctionnement, conformément à la loi sur la transition énergétique et la croissance verte sera soumise à enquête publique et à une autorisation de l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

La base des énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine reste l'hydraulique, mais les nouvelles énergies renouvelables (solaire, bioénergie, éolien…) prennent désormais leur place dans le mix énergétique régional (**Figure 7**). La production renouvelable est en hausse, hormis l'éolien, et elle couvre ainsi 19,2 % de la consommation régionale. La région Nouvelle-Aquitaine dispose aujourd'hui la puissance installée en photovoltaïque la plus importante de France avec 1 734 MW principalement située dans les Landes et en Gironde. En Nouvelle-Aquitaine, le secteur des EnR thermiques est marqué par le poids significatif des biomasses (bois et biocarburants) qui représentent 61 % du secteur, ce qui souligne en retour la faiblesse relative du photovoltaïque et de l'éolien (**Figure 8**). La tendance à la hausse de l'ensemble des énergies renouvelables dans la région démontre toutefois que la part relative des EnR thermiques tend à diminuer puisque la filière bois représentait 82 % des EnR en 2005 et elle tombe aujourd'hui à 61 % (**Figure 8 et 9**).

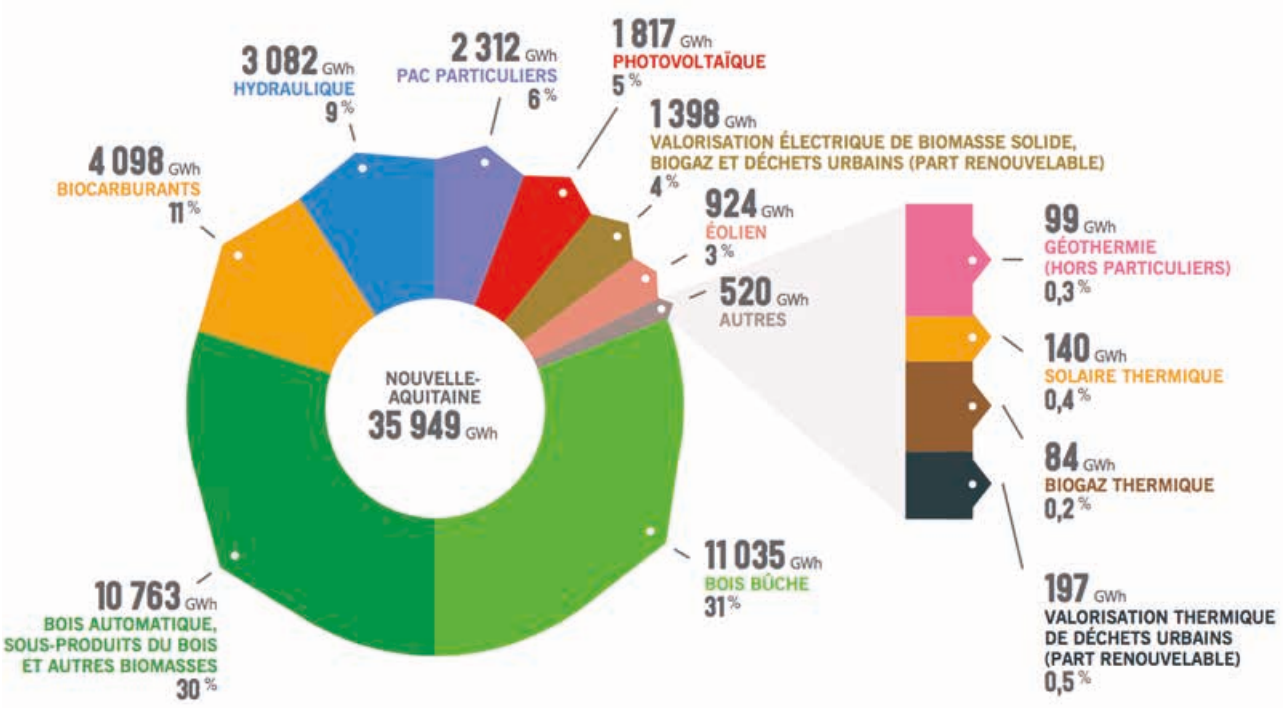


Figure 8 : *Production d'origine renouvelable en 2015, répartition par filière en Nouvelle-Aquitaine (AREC (9)).*

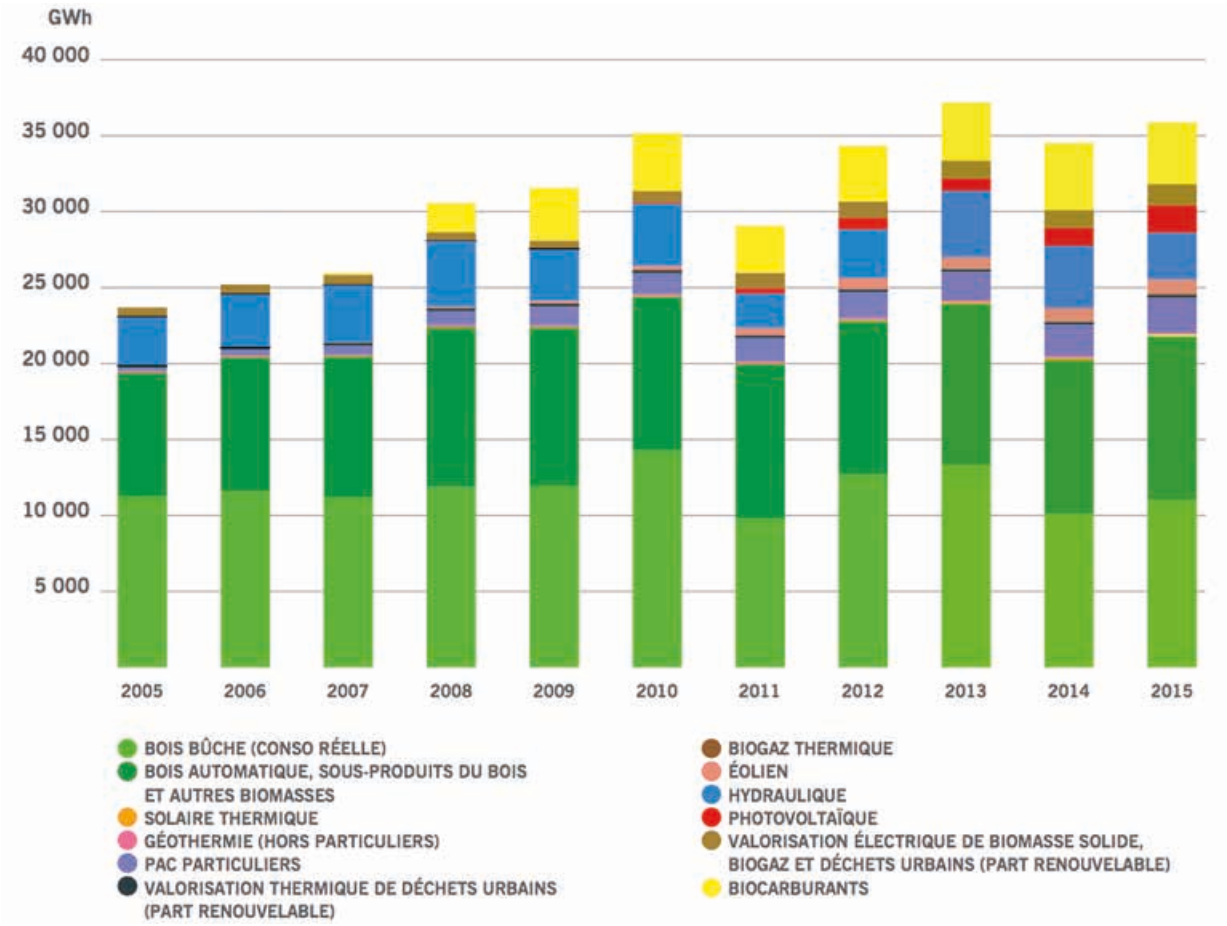


Figure 9 : *Évolution de la production énergétique renouvelable (source : AREC (9)).*

Avant d'entreprendre un panorama détaillé des différentes filières renouvelables, il faut distinguer deux catégories de productions renouvelables. D'un côté, les énergies renouvelables électriques et d'un autre les énergies renouvelables thermiques. Ces dernières comprennent le bois de chauffage, commercialisé ou non, les déchets urbains et industriels renouvelables, la géothermie valorisée sous forme de chaleur, le solaire thermique, les résidus de bois et de récoltes, le biogaz, les biocarburants et les pompes à chaleur. Cette distinction apparaît pertinente au regard des émissions de GES qui ne sont pas les mêmes dans chacun des cas. Il convient ensuite de distinguer les sources d'énergie effectives des sources potentielles et en développement dans la région.

LES RENOUVELABLES THERMIQUES : BOIS ET FORÊTS

La filière bois constitue un levier régional important de lutte contre le changement climatique mais l'augmentation des prélèvements de bois ne doit pas réduire le stock forestier au risque de limiter les effets de la filière sur les émissions de GES. En effet, les forêts et les produits du bois ont deux rôles principaux dans la lutte contre le changement climatique. Le premier est la séquestration du carbone dans le bois et les sols. Or, dès que le bois est récolté ou qu'il meurt, le carbone capturé est libéré dans l'atmosphère, de manière immédiate si le bois est brûlé, de manière différée si le bois dépérit en forêt. Le second rôle est celui de la substitution d'une source d'énergie ou de matériaux fossiles par une source forestière. D'une part, en utilisant des matériaux bois à la place de ceux issus des énergies fossiles, ou nécessitant une forte utilisation d'énergie fossile, on économise des émissions de GES. D'autre part, en substituant une production thermique issue d'énergies fossiles par le bois, on réduit également les émissions de GES **[23]**. Toutefois, si certains acteurs de la filière mettent en avant le bilan carbone nul de la filière bois **[24]**, le gain en termes d'émission de GES reste variable en fonction du type de biomasse utilisée et du procès de transformation **[25]**. Ainsi, l'AREC **[9]** évalue à 55 000 le nombre d'installations utilisant le bois comme source de chaleur dans la région dont une grande part d'installations individuelles. Or, ces installations individuelles non seulement ne représentent qu'une part infime de la production d'énergie mais elles sont beaucoup moins performantes que les installations collectives et industrielles **[25]**. Les efforts de l'Ademe de soutien à la rénovation du parc de chaudière domestique laissent toutefois apparaître une amélioration des émissions de GES et de poussières depuis 2005.

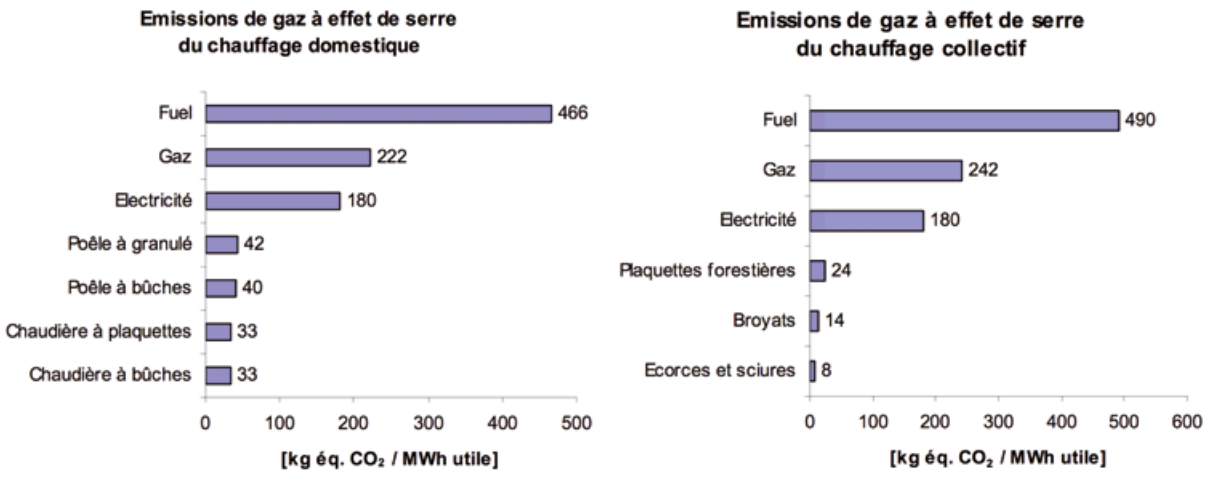


Figure 10 - Bilan des émissions de GES en 2005 (ADEME (25)).

La filière biomasse forestière primaire assure l'exploitation de plus de 5 millions de m³ annuels. La première utilisation de cette biomasse est l'autoconsommation de bois de chauffage qui représente 3 millions de m³. Ce sont 80 % des propriétaires de plus de 4 hectares qui sont concernés et qui sécurisent d'abord leurs besoins en bois, commercialisant éventuellement le surplus.

La deuxième utilisation de cette biomasse est celle qui valorise les bois de faible valeur en plaquettes forestières. Ce volume est estimé également à 2,3 millions de m³. Depuis une quinzaine d'années une nouvelle génération de chaudières automatiques pour chauffage collectif a été installée en Nouvelle-Aquitaine (8 chaudières couplées à une cogénération électrique consomment 60 % du volume, 750 chaudières collectives et industrielles 40 % du volume)

D'après les nombreuses études sur la ressource en bois, la Nouvelle-Aquitaine pourrait fournir 2 millions de m³ supplémentaires (0,6 Mtep/an) pour répondre aux enjeux des énergies renouvelables. Les nouveaux projets de réseaux de chaleurs urbains ou de chaudières industrielles sont certes confrontés actuellement aux prix très faibles des énergies fossiles mais la montée en puissance de la bioéconomie dans les faits comme dans les mentalités pourrait remettre en cause ces équilibres.

La remise en valeur de peuplements pauvres ou dépérissants est un enjeu majeur pour lutter contre le réchauffement climatique et répondre aux attentes des sylviculteurs qui souhaitent mettre en place des peuplements adaptés et productifs. Le bois énergie devient ainsi la clef de voûte d'un nouveau dynamisme étant à la fois prétexte à une remise en valeur de parcelles et réponse à une réduction de la consommation des énergies fossiles.

LES RENOUVELABLES THERMIQUES : MÉTHANISATION « FORESTIÈRE » ET AGRICOLE

La méthanisation souffre de limites similaires à la filière bois puisque malgré ses avantages, elle génère des émissions de GES, tout comme la chimie « verte » qui est encore largement narrative et au stade des promesses **[26]**. La méthanisation est un processus biologique naturel qui permet, à partir de matière organique, de produire un gaz, le biogaz, très proche du gaz naturel extrait du sous-sol. La matière organique utilisable pour la méthanisation est extrêmement variée, mais il s'agit souvent de résidus agricoles et agroalimentaires. Toute la matière organique n'étant pas transformée en gaz, il reste un résidu solide (le digestat) qui peut être utilisé comme fertilisant. La méthanisation permet donc à la fois de valoriser en circuit court des résidus agricoles ou agroalimentaires, de produire une énergie renouvelable et d'avoir un produit fertilisant qui peut retourner à la terre.

En France, la filière méthanisation se développe à un rythme d'une cinquantaine d'installations par an depuis 2011 pour atteindre en 2015 environ 400 installations et avec un objectif de 1 000 méthaniseurs en 2020. En ce qui concerne à la Nouvelle-Aquitaine, à la fin de 2016, 27 unités de méthanisation sont actives (14 sites sont en construction et 66 projets en phase avancée de développement) faisant ainsi de la région l'une des plus dynamiques de France dans le secteur de la méthanisation. Début 2016, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) est venue renforcer ces premiers objectifs. La PPE fixe des objectifs de développement à l'horizon 2018 et 2023 pour l'électricité, la chaleur et l'injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel. Par exemple, les objectifs à l'horizon 2023 sont de 237 MWe pour l'électricité et de 8 TWh pour l'injection.

Le monde agricole, par la valorisation des résidus, l'utilisation du digestat, voire de l'énergie produite, apparaît comme un des acteurs clés du développement de la méthanisation aux côtés des collectivités et d'autres collectifs.

Un projet de méthanisation associe dans un cercle vertueux d'une part, des résidus issus de multiples sources (du lisier de porc, des graisses, des déchets de fruits, des boues de station d'épuration…), et d'autre part, énergie produite et digestat, sont très souvent valorisés par des acteurs autres que les propriétaires de l'unité de méthanisation. Il faut toutefois s'interroger sur les dimensions sociales de cette filière prometteuse puisqu'elle met en débat les représentations de la profession agricole dont l'intéressement est nécessaire au déploiement des installations de biométhanisation et de chaufferie par la biomasse **[27]**.

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, première région agricole et agroalimentaire française, le développement de la méthanisation est extrêmement important à plusieurs titres : d'une part, pour approvisionner le territoire en énergie renouvelable (biogaz) et retourner au sol un résidu fertilisant stabilisé, mais aussi pour éviter que des déchets organiques mal maîtrisés n'émettent naturellement dans l'atmosphère des tonnes de méthane (CH_4), gaz beaucoup plus puissant que le CO_2 pour renforcer l'effet de serre. En effet, si la méthanisation n'est pas exempte d'une pollution en GES, elle permet néanmoins de réduire la pollution atmosphérique. Des démonstrateurs de captage de CO_2 issu de la méthanisation sont en développement afin d'envisager son stockage géologique et ainsi de permettre des émissions négatives, puisque dans ce cas, la substitution de source d'énergies fossiles par le biométhane dont le CO_2 serait séquestré dans le sous-sol permettrait un gain net d'émissions de GES.

LES RENOUVELABLES EFFECTIVES : L'ÉNERGIE ÉOLIENNE TERRESTRE

L'éolien, avec près de 550 GW installés en 2016 dans le monde, correspond maintenant à plus de 130 unités produisant 1 000 MW, sans aucun arrêt. La production d'électricité d'origine éolienne se caractérise par un très faible taux d'émission de CO_2 : 12,7 gCO_2/kWh pour le parc installé en France **[28]**. Dans l'hexagone, la Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) de production électrique donnait en 2009 comme objectif pour la filière éolienne 25 GW sur le territoire national d'ici le 31 décembre 2020, dont la répartition est de 19 GW sur terre et 6 GW en mer. Fin 2015, la filière éolienne ne représente que 3 % de la production énergétique d'origine renouvelable en Nouvelle-Aquitaine. Les 50 parcs aquitains totalisent 551 MW en 2015 **[9]**. La **Figure 11** montre clairement la disparité de la distribution des parcs éoliens en Nouvelle-Aquitaine.

Le développement de cette filière est, en effet, assez récent puisque les premiers parcs éoliens de la région n'ont été mis en service qu'en 2004. Pour respecter l'objectif national d'atteindre 21 % de production d'électricité en 2010, à partir d'énergies renouvelables, l'ex région Poitou-Charentes s'était fixée, après évaluation de son potentiel (700 MW), un objectif de développement de l'éolien à hauteur de 330 MW installés. Cette puissance qui représente environ 25 à 40 parcs éoliens et une emprise au sol de 0,06 % du territoire devrait permettre de fournir 1/3 de la consommation des ménages et donc 10 % de la consommation électrique régionale. Pour aider la mise en place des projets éoliens, dans un souci de cohérence territoriale, un Comité Régional Éolien (CRE) a été créé à l'initiative du Conseil Régional Poitou-Charentes et de l'Ademe. Le territoire nord de la Nouvelle-Aquitaine, l'ex-région Poitou-Charentes bénéficie d'un gisement éolien favorable. Sur de nombreuses zones, la vitesse moyenne des vents est en effet supérieure à 5,5 m/s. Certains départements sont plus appropriés que d'autres tels les Deux-Sèvres où 45,4 % du territoire est soumis à des vents de plus de 6 m/s à 50 m d'altitude. Les 330 MW pourraient se répartir de la façon suivante : 160 MW en Deux-Sèvres, 80 MW en Charente-Maritime, 60 MW dans la Vienne et 30 MW en Charente **[29]**.

En ce qui concerne l'ex région du Limousin, la production d'électricité provenant de l'éolien est de 42,4 MW. La région est sous équipée en installations de grande production. Même si la loi prévoit des zones de développement de l'éolien (ZDE) définies « en fonction de leur potentiel éolien, des possibilités de raccordement aux réseaux électriques et de la protection des paysages, des monuments historiques et des sites remarquables et protégés », les obstacles pour le développement de l'éolien dans cette partie de la Nouvelle-Aquitaine sont multiples, liés par exemple aux impacts acoustiques et paysagers **[30] [31]**.

Pour l'ex région Aquitaine, aucun parc n'est installé. En effet, le Schéma Régional Éolien a été annulé en février 2015 car « il ne fait pas l'objet d'une évaluation environnementale » **[32]**. Cet échec peut être rapproché des critiques faites au modèle de développement éolien qui s'appuie sur la capacité de grands parcs à répondre au besoin électrique et qui ne manque pas de cristalliser des oppositions au niveau local **[33] [34]**.

LES RENOUVELABLES EFFECTIVES : L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'unité commode pour apprécier les aptitudes à produire de l'énergie en photovoltaïque est le Wc (watt crête), correspondant à la production électrique de l'élément ou du dispositif considéré, dans les circonstances les plus favorables, en termes d'incidence du rayonnement solaire par exemple. Le « taux de charge » correspond alors à une production moyenne répartie uniformément dans le temps : ainsi, 1 Wc correspond à 0,12 W continu. Le photovoltaïque, à l'échelle de la planète, a dépassé en 2016, 400 GWc, correspondant ces dernières années à des accroissements supérieurs à 40 %/an. En France cette filière s'est fortement développée à partir de 2009, grâce à une politique de tarifs d'achat très avantageuse, avec une production de 7,7 TWh en 2015. La **Figure 12** montre la distribution des installations photovoltaïques dans le pays mettant en évidence les régions les plus ensoleillées de l'hexagone.

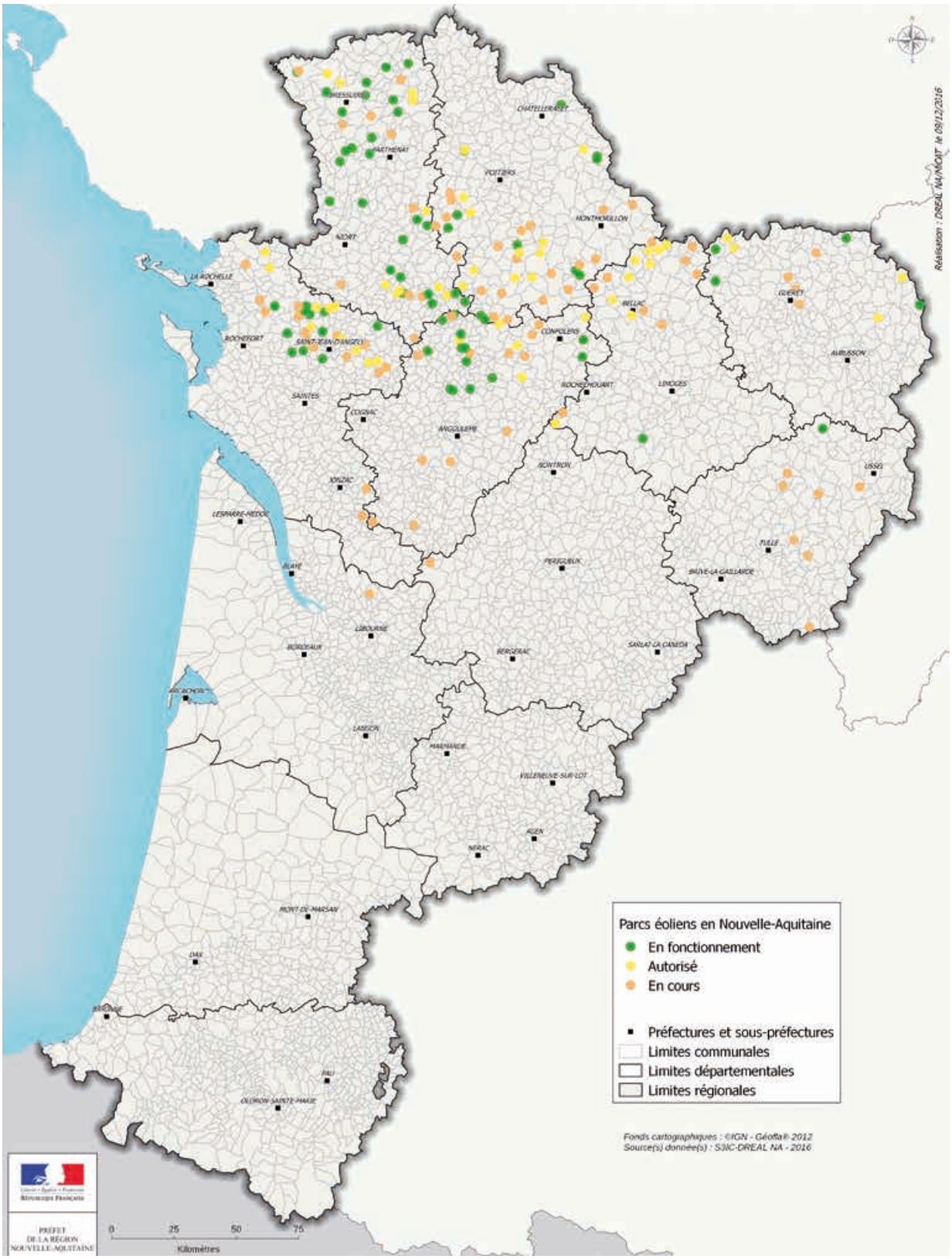


Figure 11 : *Parcs éoliens en service, autorisés et en cours dans la région Nouvelle-Aquitaine fin 2015 (DREAL).*

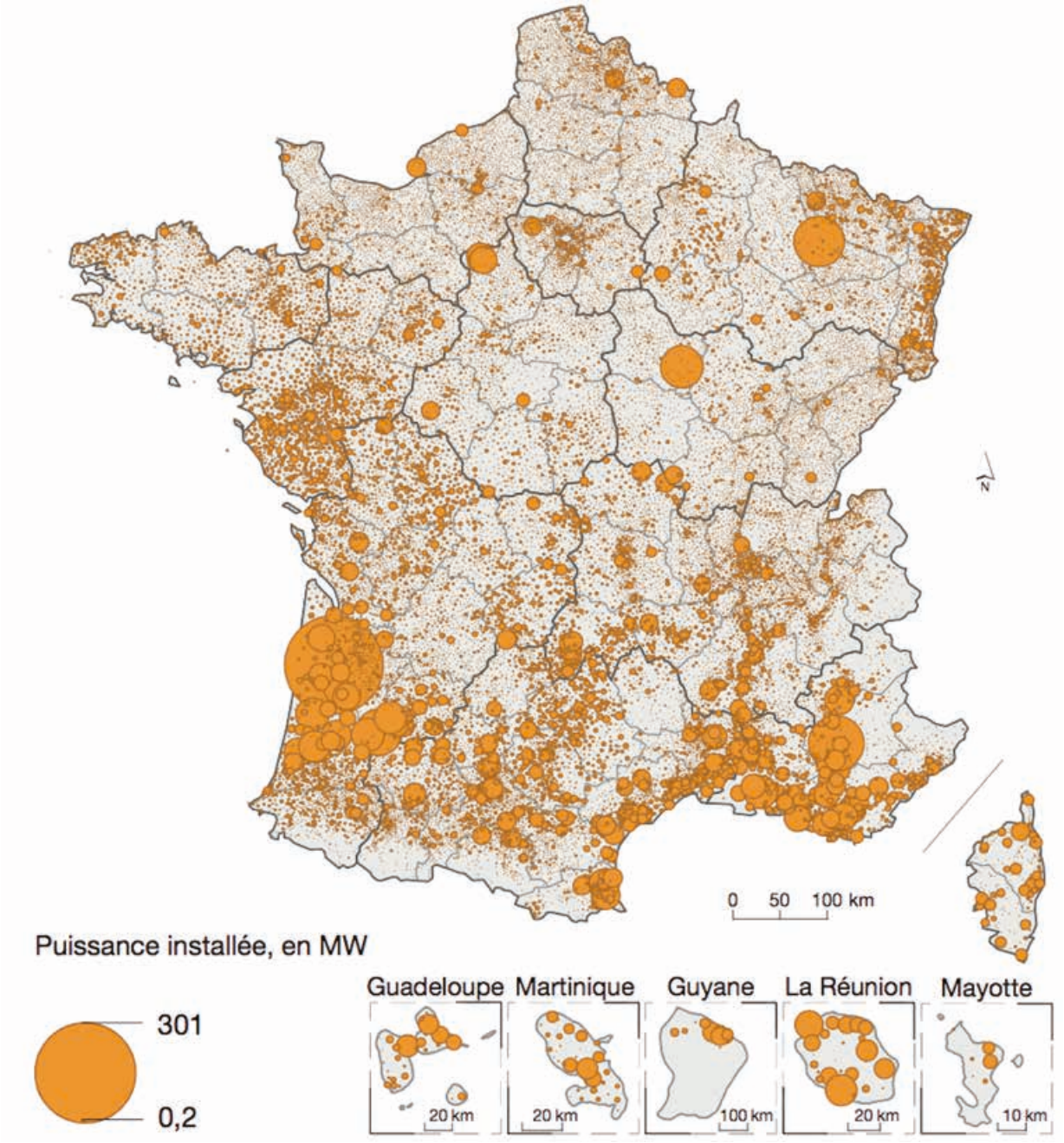


Figure 12 : *Puissance des installations photovoltaïques par commune au 31 décembre 2014 (DATALAB (17)).*

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, de nombreux parcs solaires existent. La centrale solaire plus grande ampleur est celle Cestas, située à une trentaine de kilomètres au sud de Bordeaux, sur une superficie de 260 hectares, elle était à son inauguration le 1er décembre 2015, la plus grande d'Europe, avec une puissance globale de 300 MWc. La région accueille ainsi 26 % du parc solaire national avec plus de 1 734 MW raccordés au réseau électrique **[10]**.

Si l'implantation de centrales électriques photovoltaïques sur de grandes surfaces « inutiles » telles que les toitures et certaines terrasses ne pose pas de problème, les autres situations doivent faire l'objet d'une attention sur la balance bénéfices-coûts en termes de réduction de forêt (et donc de captage de CO_2) et d'artificialisation de terres cultivées.

LES RENOUVELABLES EFFECTIVES : L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

L'eau a toujours joué un rôle important dans la mise en forme d'énergies utilisées par l'homme **[35]**. En Nouvelle-Aquitaine, de grands chantiers d'ouvrages hydrauliques édifiés à la fin du XIXe et au début du XXe siècle produisent une puissance de 1 761 MW. Seules quelques petites installations ont été mises en service sur la période 2005-2015. En 2015, la production d'hydroélectricité atteint 3 082 GWh en Nouvelle-Aquitaine. Cette production, directement impactée par les niveaux de précipitations, peut varier fortement d'une année sur l'autre. La production normalisée est en moyenne de 3 632 GWh sur les dix dernières années.

À lui seul, le département de la Corrèze représente plus de la moitié des capacités hydroélectriques de la région **[9]**.

La filière hydroélectrique est essentielle pour la transition du système électrique : il s'agit d'une filière renouvelable prédictible sur la base des précipitations ; sa flexibilité (installations de lacs et d'éclusée) permet d'assurer l'équilibre offre/demande lors des périodes de tension sur le système électrique, à la place de moyens thermiques coûteux et fortement émetteurs de gaz à effet de serre ; le stockage hydraulique permet de lisser la production pour suivre la consommation sur une période hebdomadaire (stockage le week-end et production en semaine) ; enfin, la flexibilité des installations de lac et d'éclusée permet de répondre aux besoins d'ajustement du système électrique à la place d'autres moyens de production moins flexibles pour optimiser globalement le système électrique. La PPE se fixe donc comme objectif de préserver la capacité de flexibilité de l'hydroélectricité, essentielle pour contribuer à la flexibilité du système électrique et faciliter l›intégration de capacités accrues d›énergies.

Une double contribution à la lutte contre le changement climatique est donc attendue de l'hydroélectricité : augmenter la production d'électricité sans émission de GES, et, plus essentiellement encore, faciliter de l'intégration des autres énergies renouvelables intermittentes sans GES (éolien, solaire) dans le système électrique. En revanche la question de nouveaux barrages se pose car leur construction aurait un impact écologique et social discutable.

LES RENOUVELABLES EFFECTIVES : L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

La géothermie représente près de 7 % des énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine et un fort potentiel de développement. Du grec géo (terre) et thermos (chaud), la géothermie est l'utilisation de la chaleur naturelle de la Terre, en tant que source d'énergie locale, concurrentielle, durable et acceptable du point de vue écologique et social, pour produire de l'électricité et pour les applications directes de la chaleur. La géothermie repose sur l'exploitation de la chaleur présente dans le sous-sol, aussi bien dans la roche que dans les fluides ou gaz emprisonnés **[36]**. L'énergie géothermique peut être utilisée directement sous forme de chaleur **[37]** ou transformée en électricité si la température de la source chaude est suffisante **[38]**.

On distingue la géothermie très basse énergie (sous-sols de moins de 30 °C), basse énergie (entre 30 et 100 °C) et haute énergie (jusqu'à 250 °C).

La France (2 347 MWt) est placée en 6e position mondiale. La Chine (17 870 MWt), les États-Unis (17 416 MWt) et la Suède (5 600 MWt) composent le podium **[37]**. La **Figure 13** montre la distribution des installations d'énergie dans les bassins sédimentaires de France. Ces installations ont été développées dans les années 1980 pour le chauffage de bâtiments (tertiaire et logements). De nombreux autres sites géothermiques ont été installés à des fins de chauffage d'installations agricoles ou industrielles mais toujours de relativement faibles puissances.

Depuis 2014, les avancées technologiques de la géothermie EGS (*Enhanced Geothermal System* – développé notamment dans le projet pilote de Soultz en Alsace) et la recherche de nouvelles sources d'énergie à faible empreinte carbone ont conduit au développement d'un projet de géothermie très grande profondeur et haute enthalpie dans le sud de la Nouvelle-Aquitaine appelé FONGEOSEC. Ce projet vise à produire 5,5MW d'électricité à partir de la géothermie grâce à un Cycle Organique de Rankin (ORC) (Système qui permet de transformer des sources de chaleur basse et moyenne température en électricité).

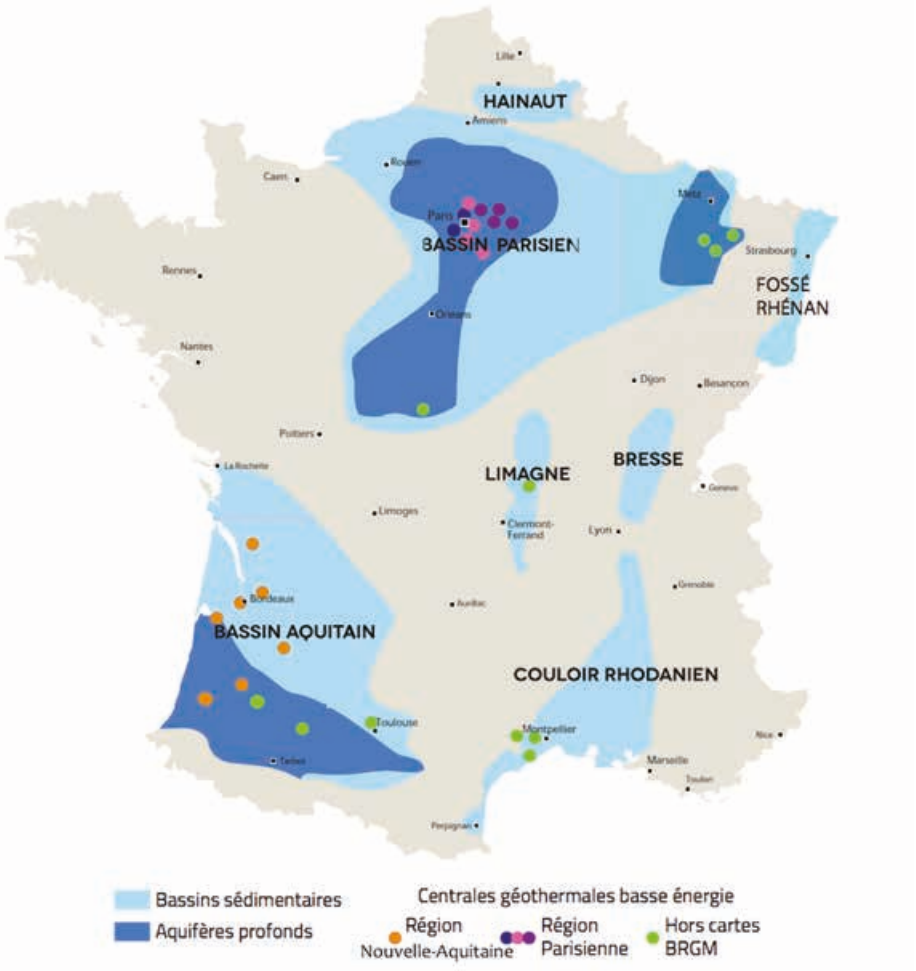


Figure 13 : *Installations de géothermie de basse énergie dans les bassins sédimentaires français (modifié d'après le BRGM et l'AFPG) – AFPG (39).*

Le territoire français comprend deux grandes zones dont les possibilités en matière géothermique sont importantes, le Bassin parisien (qui recouvre plusieurs régions françaises), avec des formations profondes très étendues, très chaudes, d'eau salée exploitées par la méthode des « doublets » (c'est-à-dire, un forage de production et un forage de réinjection), et le Bassin aquitain (qui comprend actuellement la majorité de l'ancienne région Aquitaine et s'étend vers le nord à l'ancienne région Poitou-Charentes et une infime partie de l'ex région du Limousin), qui recèle des nappes d'eau douce particulièrement intéressantes. Dans le Bassin aquitain de nombreux forages exploitent le potentiel géothermique du sous-sol notamment par l'exploitation géothermale des aquifères de l'Eocène (sud du bassin aquitain) ou du Crétacé (région bordelaise). Il s'agit notamment de l'exploitation de ressources de basse et très basse énergie **[40]**.

LES RENOUVELABLES POTENTIELLES : L'ÉOLIENNE EN MER OU OFFSHORE

La Nouvelle-Aquitaine possède enfin un potentiel de développement pour des énergies renouvelables qui n'en sont encore qu'au stade du développement et de prospective. Les parcs éoliens offshore produisent une électricité plus chère due à l'éloignement à la côte, à la profondeur des eaux ou encore à la vitesse des vents. Cependant la production d'électricité est meilleure en termes de vent et l'impact paysager génère moins de conflits que les éoliennes terrestres. Deux types d'éoliennes existent : celles « posées » qui sont ancrées au fond de la mer et assez robustes pour résister aux conditions marines difficiles et d'autre part les éoliennes « flottantes » dont les turbines sont solidaires d'un support flottant à la surface de l'océan. Néanmoins, les premiers parcs de ce genre dans l'hexagone n'entreront en production qu'à la fin de la décennie.

Le GIP Littoral Aquitain a mené une étude en 2012 sur les énergies marines renouvelables (EMR) afin d'avoir un socle des connaissances indispensables qui permettrait une meilleure prise de décision. Cette étude montre le fort potentiel de la côte néo-aquitaine pour le développement de ce type d'énergies et l'implantation éolienne au large de l'estuaire de la Gironde. Sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine, une zone au large de l'île d'Oléron a été retenue par l'État pour un projet d'éoliennes offshore « posées » qui pourrait être d'environ 500 MW. Ces études sont en cours, une telle installation contribuerait significativement à l'augmentation des EnR dans la région.

LES RENOUVELABLES POTENTIELLES : LES ÉNERGIES MARINES

Ce type d'énergie désigne l'ensemble des technologies qui permettent la production d'électricité à partir de différentes forces ou ressources du milieu marin. En effet, la mer est une source inépuisable de par les vents, les vagues, les marées, les gradients de température et de salinité pour n'en nommer que quelqu'un. En plus de l'énergie éolienne en mer, d'autres types d'énergie peuvent être produits à partir de la mer telles que l'énergie hydrolienne, l'énergie houlomotrice, l'énergie marémotrice, l'énergie osmotique, l'énergie thermique ou encore la biomasse algale. Bien que tous ces types d'énergies soient connus, tous n'ont pas le même degré de maturité aux niveaux techniques, économiques ou industriels. En dehors de l'énergie éolienne offshore, l'énergie marémotrice est la filière d'énergie la mieux maîtrisée techniquement à l'heure actuelle. Pour les autres types d'énergie, les capacités installées sont pour l'instant négligeables au regard de la quantité d'énergie produite.

La côte atlantique néo-aquitaine avec ses près de 1 100 km de linéaire côtier (prenant en compte également le Bassin d'Arcachon, l'estuaire de la Gironde et les îles – données non publiées de l'Observatoire de la Côte Aquitaine) offre un potentiel important pour la région en matière d'énergies marines renouvelables. Toutefois, dans la partie de l'ancienne région Poitou-Charentes, ce type d'énergie est encore au stade de la recherche et développement. Sur la partie de la côte de l'ex région Aquitaine, l'étude du GIP Littoral Aquitain **[41] [42]**, montre de manière détaillée (7 cartes sont disponibles) les possibles points d'installation susceptibles d'accueillir différents types de structures pour permettre de développer les énergies houlomotrices, hydroliennes et éoliennes. Cette étude montre aussi qu'il y a eu des tests pour des houlomoteurs et hydroliennes en Gironde. Sur le ponton Richelieu à Bordeaux, une hydrolienne expérimentale est en place depuis 2011 et produit de l'énergie 24h/24h pour éclairer le pont sur lequel il est ancré. La plateforme d'expérimentation SEENEOH installée au niveau du Pont de Pierre à Bordeaux accueille depuis de début 2018 les premiers tests d'hydroliennes. De même sur la Garonne une hydrolienne flottante expérimentale fait ses preuves depuis juillet 2015 avec une capacité de production de 2 à 70 kW. Par ailleurs, des études sont en cours pour identifier des zones favorables au développement du houlomoteur au niveau de la côte basque.

LE CAPTAGE ET STOCKAGE DE CO_2

La capture et le stockage de CO_2 (CSC) font partie des instruments technologiques mis en avant par le GIEC pour atténuer le réchauffement climatique. La technique consiste à capter les émissions de CO_2 issues d'installations polluantes de type centrales à charbon, aciéries ou cimenteries, et à les injecter dans des réservoirs géologiques. Le déploiement de cette technologie est promu par l'Agence Internationale de l'Énergie, mais elle demeure coûteuse à mettre en place et le faible prix du carbone sur le marché ne favorise pas son développement. C'est principalement en Amérique du Nord que ces projets se développent notamment grâce à l'utilisation du CO_2 comme fluide de stimulation pétrolière et afin de permettre de réduire les émissions de CO_2 des centrales à charbon. En Europe, mis à part deux projets en Norvège, il n'existe que peu de sites de CSC.

La région Nouvelle-Aquitaine accueille sur son territoire le site pilote de capture et stockage de CO_2 de Chapelle-de-Rousse (Pyrénées-Atlantiques). Depuis 2013, Lacq, le plus grand gisement gazier de France métropolitaine, a été fermé et Total, la compagnie exploitante, a cessé son activité de production. Il s'agit de reconvertir les réservoirs gaziers en sites de stockage de carbone. Le site pilote de Lacq constitue pour Total un démonstrateur de la faisabilité de ce type de stockage et de sa technologie particulière : l'oxycombustion. À ce jour, les phases d'injection (2010-2013) et de d'évaluation (2013-2016) sont terminées, et Total étudie la possibilité de développer d'autres sites de démonstration sur le territoire français. Tout comme les projets de production d'énergie, le développement de ces projets de stockage dans les anciens réservoirs d'hydrocarbures de la région doit être envisagé au regard des projets de territoire puisque les sites de stockage sont également potentiellement conflictuels **[43]**.

4 CONCLUSION

La transition énergétique pose un certain nombre de défis pour la région Nouvelle-Aquitaine aussi bien en termes de consommation que de production. Ce chapitre suggère un premier panorama des chantiers régionaux de l'énergie. Le travail de collecte de données énergétiques engagé par l'Ademe et divers observatoires régionaux comme l'AREC est efficace mais il demande à mieux-être valorisé notamment au regard du changement climatique. Il s'agit alors de prendre en considération les objectifs poursuivis dans la mise en œuvre d'une activité énergétique. L'exemple de la filière bois montre bien qu'il s'agit de ne pas perdre de vue les équilibres à conserver entre développement des énergies renouvelables et émissions de GES. Les autres domaines de production illustrent toute la diversité du territoire de la Nouvelle-Aquitaine et l'importance de soutenir de multiples modèles locaux répondants aux contraintes et opportunités des territoires. Alors que les sources de production sont bien identifiées, un travail d'analyse plus fine des types de consommation doit être mis en œuvre afin de permettre de mesurer l'ampleur des transformations nécessaires à l'atteinte des objectifs de la transition énergétique. Ce sont notamment les usages concrets de l'énergie qui demandent à être mieux intégrés aux modèles techniciens qui sont aujourd'hui dominants aussi bien concernant l'habitat que le transport. L'accent porté sur la précarité énergétique est en cela porteur d'attentes en matière de réduction des inégalités environnementales **[44]**.

L'existence de contestation au niveau local de certains projets de transition énergétique (voir **[33]** sur l'éolien ; **[45]** sur la géothermie) met en exergue la nécessité d'une réflexion non seulement les modalités d'appropriation par le territoire des projets énergétiques mais aussi sur leur sens pour les acteurs de ce territoire et sur le modèle de développement encadrant la transition **[46]**.

En effet, la transition énergétique implique également une transformation plus profonde de la société dès lors qu'elle est comprise dans la transition écologique **[47] [48]**. Il ne s'agit plus alors seulement de changer les modes de production d'énergie mais de transformer la forme des projets et leur gouvernance. La transition ne pourra se faire sans la prise en compte de ses dimensions politiques, sociales et territoriales. Une transition énergétique qui reproduirait les modèles antérieurs semble ainsi très limitée dans ses effets sociaux et politiques **[34] [49] [50]**. Le potentiel de transformation sociale dépendra donc d'une part des capacités d'action auxquelles les collectifs ont accès et de leur ancrage avec les réseaux d'acteurs du territoire où ils évoluent, mais tiendra aussi à « une action publique qui centrerait son rôle sur les questions de justice environnementale et de redistribution quant aux inégalités des territoires de manière à affronter la crise sociale et écologique » **[51]**. En présence de changements climatiques, les modifications qui affectent tous les compartiments de la biosphère ne laissent pas de côté les territoires et leurs composantes indemnes quelle que soit l'échelle considérée **[1]**.

Enfin, la transition écologique implique un changement de cap dans la prise en compte des enjeux environnementaux au sens large incluant la transition énergétique ainsi que la sobriété énergétique et matérielle. En effet, la transition énergétique ne permettra pas de faire face aux enjeux globaux (changement climatique, épuisement des ressources naturelles et des sols, raréfaction des terres, etc.) si l'on maintient le modèle actuel de développement. Au rythme actuel de la croissance mondiale, la production d'énergies renouvelables exigera des quantités considérables de métaux, de terres voire de ressources carbonées (ex : fabrication de voitures électriques, biocarburants, etc.).

Même lorsqu'il se veut durable **[52]**, le modèle actuel conduit donc à une consommation de ressources et à des émissions de gaz à effet de serre toujours croissantes. D'où l'intérêt porté au développement de la bioéconomie qui ouvre d'importantes perspectives vers l'économie décarbonée. La transition écologique doit être rapprochée de l'économie circulaire, qui est une approche globale dont l'objectif principal est de moins puiser dans le capital naturel pour réaliser l'activité humaine. Autrement dit, faire en sorte de vivre mieux en consommant moins d'énergie et de matière. Il s'agit alors de découpler la croissance économique de la consommation de ressources naturelles. Cette approche est formalisée par McDunough et Braungart **[53]** à partir de 2002 et se stabilise autour de l'idée « *cradle to cradle* » afin d'insister sur le cycle de vie des consommations humaines. L'existence de transformations irréversibles de la géochimie de l'environnement causées par le système productif de la société permet de comprendre la logique à l'œuvre à travers l'extraction des ressources naturelles de la lithosphère : l'énergie, les combustibles fossiles surtout, et la matière utilisable (les minéraux utiles), sont transformées, utilisées, usées et finalement rejetées dans l'environnement terrestre limité **[54]**. Ainsi, les enjeux de l'énergie pour la région dépassent les considérations restreintes d'efficacité énergétique et de développement des EnR, la transition dont il s'agit comprend une réflexion générale sur le modèle économique et politique soutenant notre capacité à lutter contre le changement climatique.

Les ressources exploitées par la pêche et la conchyliculture

Détail de bord photographié sur un navire de Capbreton © Florence Sanchez - Ifremer

Coordination : **Nathalie Caill-Milly**

Rédacteurs : **Nathalie Caill-Milly, Gilles Morandeau, Iker Castège, Florence Sanchez, Muriel Lissardy, Guillem Chust, Angel Borja, Isabelle Auby, Sylvie Lapègue, Jean Prou, Hélène Oger-Jeanneret, Géraldine Lassalle, Etienne Prévost, Mathieu Buoro, Jérémy Lobry, Hélène de Pontual, Marie-Noëlle de Casamajor, Gérard Biais, Jean d'Elbée**

Contributeurs : **Patrick Lambert, Hilaire Drouineau, Françoise Daverat, Marie-Laure Acolas, Philippe Jatteau, Christian Rigaud**

L'exploitation des ressources par la pêche professionnelle et par la conchyliculture repose sur des ressources vivantes sauvages ou domestiquées qui sont présentes dans différents milieux aquatiques depuis les rivières jusqu'au large en mer. L'état de ces populations dépend non seulement des choix d'exploitation au regard des capacités de renouvellement des stocks mais aussi des caractéristiques environnementales qui impactent les différentes phases des cycles biologiques des espèces et jouent donc sur leur bon déroulement. Ces conditions du milieu sont tributaires pour partie des activités anthropiques (qualité et quantité d'eau disponible, obstacles au franchissement, autres perturbations) et peuvent être soumises aux effets du changement climatique.

Ce chapitre s'intéresse à quinze espèces d'importance pour la pêche et la conchyliculture en Nouvelle-Aquitaine : l'algue rouge, l'anchois commun, l'anguille européenne, le bar commun, les baudroies d'Europe, la dorade royale, la grande alose, le maigre, le maquereau commun, le merlu européen, la palourde japonaise, le saumon atlantique, la sole commune, l'huître creuse japonaise et la moule bleue. Après une présentation des activités et des habitats essentiels pour les populations naturelles, une synthèse des changements de l'environnement et des impacts sur ces espèces déjà observés et attendus est présentée. Il s'ensuit un état des lieux des impacts déjà constatés sur les pêcheries et sur les entreprises conchylicoles. Le chapitre s'achève par une discussion sur les adaptations pour les entreprises et des enjeux associés.

1 100 entreprises conchylicoles

535 navires actifs à la pêche

484 M€

4 600 emplois directs

2 200 ha de concessions ostréicoles

270 km de bouchots et filières de moules

PRODUCTION ANNUELLE

43 000 t d'huîtres

13 000 t de moules

1re PLACE CAPTAGE

NOUVELLE-AQUITAINE
1re région française
pour le captage de naissain d'huître

PRODUCTION ANNUELLE

55 000 t de produits de la pêche

Merlu
Baudroies
Maquereau
Cardines
Seiche
Sole
...

69 % constitués de 6 espèces

66 % soumis à quotas

MIGRATIONS SAISONNIÈRES

RÉPARTITION des espèces DÉPASSANT LES LIMITES DE LA RÉGION

MODIFICATION DES MILIEUX DE VIE

- TEMPÉRATURE DE L'EAU
- DÉBIT DES FLEUVES
- PRODUCTIVITÉ MARINE
- PRESSIONS ANTHROPIQUES

- Déplacement des espèces
- Nouvelles espèces
- Phénologie modifiée

ADAPTER

- ÉVOLUTION RÉGLEMENTAIRE
- CULTURE ALIMENTAIRE
- CHANGEMENT DE MÉTHODES ET DE CYCLE D'ÉLEVAGE
- QUALITÉ DE L'EAU
- DIVERSIFICATION

LES ACTIVITÉS : ÉCOTOURISME
Dégustation des produits
Sorties en mer

PÊCHE
Les espèces cibles
Les techniques de pêche

+

RÔLE DE SENTINELLE DES PÊCHEURS ET DES CONCHYLICULTEURS

1 RESSOURCES EXPLOITÉES PAR LA PÊCHE PROFESSIONNELLE

NAVIRES DE LA NOUVELLE-AQUITAINE ET EXPLOITATION DES RESSOURCES

En Nouvelle-Aquitaine, la pêche maritime compte 535 navires de pêche en activité en 2016 (source : CRPMEM Nouvelle-Aquitaine). En termes d'emplois, ce sont 1 648 marins pêcheurs dont 281 qui exercent la double activité de pêche et de conchyliculture, soit 10 % de l'effectif total des marins français **[1]**. S'ajoute une activité de pêche à pied professionnelle avec respectivement une cinquantaine et une trentaine de permis de pêche à pied enregistrés par les Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM) de Gironde et de Charente-Maritime en 2015. Les chiffres détaillés dans la suite du document sont une moyenne des années 2013 à 2015 et concernent 502 navires en moyenne par an.

En termes de chiffre d'affaires annuel à la première vente (à la criée ou en direct), la pêche maritime représente une valeur de l'ordre de 175 millions d'euros. Le navire néo-aquitain actif moyen mesure 12 m, a une puissance de 170 kW, une jauge brute de 37 UMS (Universal Measurement System - unité de mesure conventionnelle permettant de renseigner sur la capacité de stockage du navire) et est âgé de 26 ans. En moyenne, les unités les plus petites ont pour ports d'immatriculation Bordeaux, Arcachon et Marennes. Les unités de gabarit moyen sont rattachées à l'Île d'Oléron et à La Rochelle et sont les plus âgées en moyenne. Bayonne présente les navires les plus longs. Ces moyennes masquent cependant de fortes disparités au sein des ports d'immatriculation (**Tableau 1**).

Quartier maritime de rattachement	Longueur moyenne (m)	Puissance moyenne (kW)	Jauge brute moyenne (UMS)	Ancienneté moyenne (années)
LR (La Rochelle)	12,5 (5,7)	157 (130)	31 (55)	30 (9)
IO (Île d'Oléron)	12,0 (2,6)	138 (71)	18 (17)	30 (11)
MN (Marennes)	10,4 (3,5)	103 (76)	14 (26)	29 (12)
BX (Bordeaux)	8,1 (2,0)	71 (35)	4 (3)	23 (14)
AC (Arcachon)	9,5 (4,1)	135 (113)	15 (28)	20 (10)
BA (Bayonne)	16,4 (10,1)	282 (250)	88 (124)	24 (12)
Total	12,3 (7,0)	170 (173)	37 (78)	26 (12)

Tableau 1 : *Caractéristiques moyennes (et écart-type entre parenthèses) des navires néo-aquitains actifs en pêche maritime (source : référentiel SIH).*

Les captures sont essentiellement réalisées au filet maillant, au chalut de fond et à la palangre (pour un total de 87 et 92 % des apports cumulés en tonnages et en valeurs respectivement sur 2013-2015) (**Figure 1**), viennent ensuite la senne coulissante (bolinche) et le chalut pélagique (en tonnages).

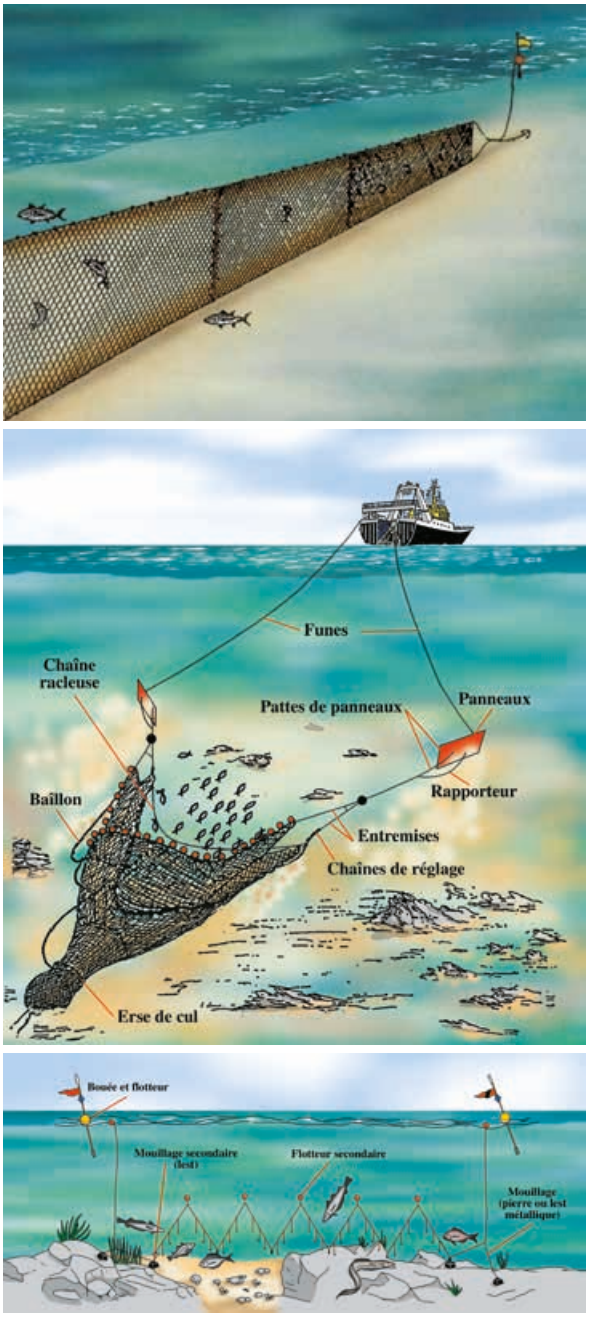


Figure 1 : *Illustration du filet maillant (a), du chalut de fond (b) et de la palangre (c) - source : wwz.ifremer.fr/peche/Le-monde-de-la-peche/La-peche/comment/Les-engins*
© Ifremer/Deschamps.

En termes de richesse débarquée au cours des trois dernières années, 41 % proviennent des rectangles statistiques côtiers (cf. **Figure 2**) compris entre l'Adour et le sud des Sables d'Olonne. Le golfe de Gascogne contribue pour environ 59 % aux apports des navires de la Nouvelle-Aquitaine avec par conséquent une forte dépendance à la côte de ces derniers dans cet espace. Les autres zones de pêche fréquentées par les navires de la Nouvelle-Aquitaine sont essentiellement Grande Sole (sud-ouest de l'Irlande, 21 %), Banc Porcupine (6 %), Ouest Irlande (4 %) et Ouest Grande Sole (3 %) (**Figure 2**).

Figure 2 : *Localisation des zones de pêches des navires néo-aquitains représentées par rectangle statistique.*
Source carte du haut : CIEM
Source carte du bas : World Imagery
Source : Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community, CIEM, Shom, GEOFLA®.

Les débarquements enregistrent une hausse ces dernières années et sont estimés à 54 200 tonnes en moyenne sur ces trois dernières années (2013-2015). Ils se composent d'environ 220 espèces, largement dominées en tonnages par le merlu européen (*Merluccius merluccius*) et par les baudroies (*Lophius piscatorius*, *Lophius budegassa*) avec respectivement 46 % et 11 % des apports cumulés entre 2013 et 2015. Viennent ensuite le maquereau commun (*Scomber scombrus*), les cardines (*Lepidorhombus spp*), la seiche commune (*Sepia officinalis*), la sole commune (*Solea solea*), la sardine commune (*Sardina pilchardus*), le bar européen (*Dicentrarchus labrax*) et le thon blanc (germon - *Thunnus alalunga*).

En valeur, les apports sont estimés à 175 millions d'euros en moyenne sur ces trois dernières années. Le merlu européen, les baudroies et la sole commune dominent avec respectivement 33 %, 15 % et 10 % des apports cumulés entre 2013 et 2015. Viennent ensuite le bar européen, la seiche commune, le maigre commun (*Argyrosomus regius*), les cardines, les calamars côtiers (majoritairement *Loligo vulgaris*), le maquereau commun, le céteau (*Dicologoglossa cuneata*) et la dorade royale (*Sparus aurata*) (**Figure 3**).

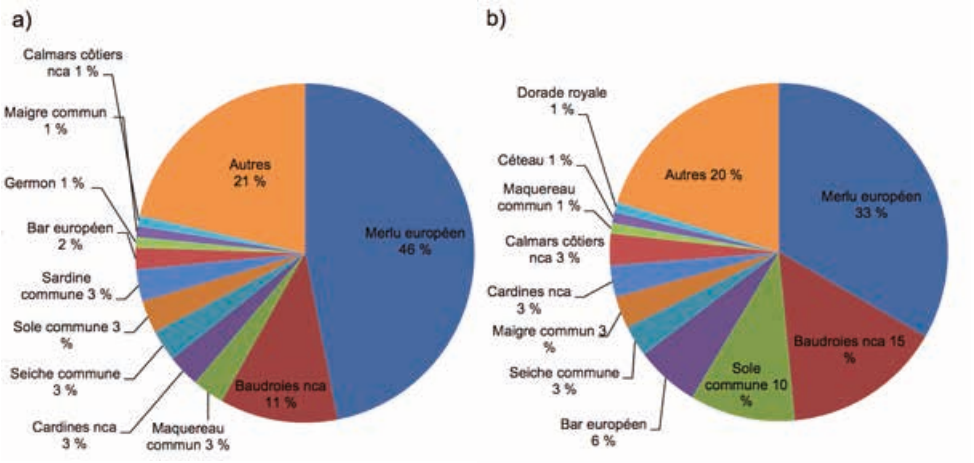


Figure 3 : *Ventilation des apports des navires néo-aquitains en tonnage a) et en valeur b) (moyenne 2013-2015, sources : base Harmonie - données SACROIS - années 2013-2015 (extraction 10/2016) et Base Pêche Aquitaine).*

À ces apports s'ajoutent des débarquements d'algue rouge (*Gelidium corneum*) à hauteur de 1 000 à 1 500 tonnes annuelles. Il s'agit de rameaux d'algues qui se sont détachés du fond sous l'effet de la houle (principalement en automne et en hiver) et qui dérivent. Ils sont pêchés par une petite dizaine de navires de Saint-Jean-de-Luz à l'aide d'une drague flottante au niveau de zones d'accumulation comme la baie de Saint-Jean-de-Luz, la plage de Lafitenia, en face de l'Uhabia à Bidart. Ces apports sont destinés à la production d'agar agar, un gélifiant d'origine naturelle.

© Institution Adour

PÊCHE EN ESTUAIRE

Les estuaires de la Gironde et de l'Adour comptent parmi les derniers estuaires français à avoir une activité de pêche professionnelle exercée par des marins pêcheurs et des pêcheurs fluviaux en plus d'une activité de pêche amateur (aux filets et aux engins). Le nombre de pêcheurs professionnels est estimé à 110 pour la Gironde **[2]** et 27 pour l'Adour *(Source : SIH/Calendriers d'activité 2016)* mais la tendance est à la décroissance des effectifs.

La pêche estuarienne est une activité artisanale et traditionnelle **[3]**. Les entreprises reposent pour la plupart sur l'activité d'une personne, avec des embarcations de petite taille. Les pêcheurs opèrent entre la limite transversale de la mer et la limite amont de la marée dynamique à l'aide de filets, de nasses, de lignes, de tamis, et de carrelets (uniquement pour la Gironde). L'activité est extrêmement saisonnière ; elle dépend de l'influence du climat sur les phénomènes biologiques périodiques relatifs aux espèces (la phénologie) qui induit des périodes de présence ou de plus forte abondance dans le milieu estuarien.

Pour la Gironde, historiquement, la pêche estuarienne reposait sur une grande diversité d'espèces : poissons amphihalins (la grande alose jusqu'en 2008, les alevins d'anguille (civelles), l'anguille jaune, la lamproie marine voire l'esturgeon européen jusqu'en 1982), crustacés euryhalins résidents (crevette blanche) ou poissons marins (bars, maigre, soles). Aujourd'hui le spectre s'est réduit. En 2014, cette activité repose en volume à plus de 80 % sur le maigre et la lamproie. En valeur, le chiffre d'affaires (CA) reste très soutenu par le commerce de la civelle qui représente encore 30 % du CA total de la filière, même si aujourd'hui le maigre constitue la principale ressource (près de 40 % du CA).
Sur l'estuaire de l'Adour, l'activité des « couralins » se répartit en deux saisons : une entre novembre et février où les bateaux ciblent la civelle avec les tamis, l'autre entre mars et juillet avec la mise en œuvre du filet maillant dérivant pour cibler l'alose, le saumon, la truite de mer ou la lamproie. En 2016, seuls 16 navires sur les 27 ont pratiqué la pêche au filet maillant dérivant (Source : SIH/Calendriers d'activité 2016). Certains patrons ont deux navires ; un en aval et l'autre en amont du fleuve et parfois pratiquent la pêche à pied au tamis sur les courants landais (pêche « à la vague ») pour optimiser les captures en fonction de l'intensité de la remontée des amphihalins. La filière est très fortement dépendante de la civelle en termes d'abondance et de valeurs **[4]**.
La production en volume était en 2015 de 21 tonnes pour l'Adour et 70 tonnes pour la Gironde (Source CRPMEM Nouvelle-Aquitaine).

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ESPÈCES EXPLOITÉES PAR LA PÊCHE

Préambule : concernant les espèces importantes pour les pêcheurs néo-aquitains, des fiches espèces sont disponibles sur le site ***www.acclimaterra.fr***. Elles détaillent la distribution, l'écologie, les zones fonctionnelles présentes à l'échelle de la région, les impacts attendus et observés du changement climatique, les aspects réglementaires, l'état du stock et l'importance de l'espèce pour les pêcheurs néo-aquitains. La suite du chapitre synthétise les informations issues des 13 fiches[1] et un exemple est présenté avec la fiche consacrée au merlu européen.

RESSOURCES EXPLOITÉES ET HABITATS

Les ressources exploitées par les pêcheurs de Nouvelle-Aquitaine sont constituées de populations présentes au sein de vastes aires de répartition, dépassant largement les limites de la région, et vivant dans des habitats variés. Il s'agit aussi bien de populations « locales » avec un cycle de vie intégralement réalisé au sein d'un seul type d'habitat (lagunes pour la palourde japonaise, substrats rocheux du plateau continental pour l'algue rouge…) que de populations fréquentant plusieurs habitats éloignés parfois de milliers de kilomètres au cours d'un cycle de vie complexe (cas de l'anguille européenne, du saumon atlantique…).

Pour les espèces marines, les zones côtières (embouchures d'estuaires, espaces abrités type pertuis, lagunes, eaux littorales du plateau continental interne) sont souvent des zones de concentration pour les juvéniles alors que les zones plus profondes sont fréquentées par les stades plus âgés notamment au moment de la reproduction **[5]**. Ce schéma classique s'applique par exemple pour la sole commune, la dorade royale ou le bar commun. À cela peut s'ajouter l'existence de migrations saisonnières entre la côte et le large ou entre le nord et le sud pour les individus matures (exemples : sole commune, maquereau commun, anchois commun).

Il faut citer le cas spécifique des espèces migratrices amphihalines dont les cycles de vie intègrent des phases en milieu marin et en milieu continental, parfois se déroulant très en amont dans les bassins versants (e.g. saumon atlantique, grande alose, anguille européenne). Cette particularité dans leur cycle de vie rend primordiale la bonne continuité écologique au sein des réseaux hydrographiques.

La fréquentation de ces divers habitats permet la réalisation des différentes fonctions biologiques qui assurent la survie, la croissance et la reproduction des individus **[6]**. Une typologie du rôle de ces habitats peut être définie ainsi **[7]** : alimentation, reproduction, transit, nourricerie, refuge. Les fonctionnalités des habitats marins et continentaux sont répertoriées pour les espèces principales[2] à l'échelle du territoire de la Nouvelle-Aquitaine et de ses eaux adjacentes (**Figure 4** et **Tableau 2**).

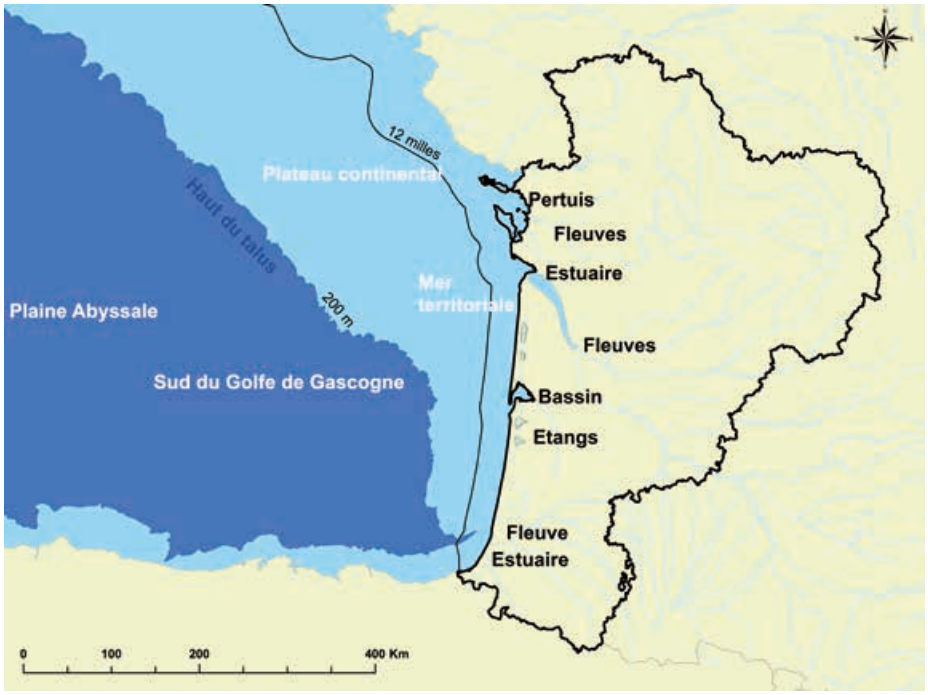


Figure 4 : *Localisation des espaces maritimes et fluviaux de la Nouvelle-Aquitaine et de ses eaux adjacentes. (Source : Ifremer).*

1 • Des fiches ont vocation à être créées ultérieurement pour d'autres espèces.

2 • Seules les 13 espèces ayant fait l'objet d'une fiche sont considérées ici mais il est entendu que d'autres espèces (seiche par exemple) fréquentent certains de ces espaces.

	TALUS	PLATEAU ET MER TERRITORIALE	EAUX INTÉRIEURES dont			
			Pertuis	Lagune/ étangs	Estuaires	Fleuves/ rivières
Reproduction	Merlu européen Maquereau commun Anchois commun	Sole commune Maquereau commun Baudroies d'Europe Bar commun Algue rouge Dorade royale Anchois commun		Palourde japonaise	Maigre	Saumon atlantique Grande alose
Nourricerie (alimentation des juvéniles)		Sole commune Maigre Algue rouge Merlu européen Anchois commun Maigre Anguille européenne	Sole commune Bar commun Maigre Anguille européenne	Palourde japonaise Sole commune Anguille européenne Bar commun Dorade royale	Sole commune Maigre Anguille européenne Bar commun Dorade royale Grande alose	Saumon atlantique Anguille européenne Grande alose
Alimentation (sub-adultes et adultes)	Baudroies d'Europe Merlu européen	Merlu européen Algue rouge Dorade royale Grande alose Bar commun Sole commune Anchois commun Maigre	Sole commune Bar commun Dorade royale Maigre Grande alose Anguille européenne	Palourde japonaise Anguille européenne Dorade royale	Maigre	
Refuge			Sole commune	Bar commun Dorade royale	Bar commun Dorade royale Sole commune	
Transit	Anguille européenne	Anguille européenne Saumon atlantique	Anguille européenne Grande alose	Anguille européenne	Anguille européenne Saumon atlantique Grande alose	

Tableau 2 : *Rôles des différents espaces maritimes et fluviaux du territoire de la Nouvelle-Aquitaine et de ses eaux adjacentes pour 13 espèces d'importance pour les pêcheurs néo-aquitains.*

En conséquence pour la gestion, une importance particulière est à porter aux lieux de reproduction, d'alimentation ou de croissance des jeunes jusqu'à la maturité sexuelle. Il s'agit en effet de zones souvent limitées spatialement, sensibles aux changements (naturels et anthropiques) et ayant un rôle clé au sein des écosystèmes **[8]**.

Dans les espaces maritimes et fluviaux du territoire de la Nouvelle-Aquitaine, la présence d'habitats essentiels (la plupart côtiers, estuariens et lagunaires) est forte non seulement pour les ressources vivant constamment en zone côtière mais aussi pour des ressources exploitées plus au large. Ces éléments montrent que les écosystèmes aquitains ont, au-delà de leurs fonctions écologiques, un rôle important en termes d'approvisionnement (alimentation en protéines animales) au côté d'autres services rendus aux sociétés humaines tels que les services culturels (d'ordre patrimonial par exemple).

Pour les populations dont l'étendue spatiale est limitée au sein de la Nouvelle-Aquitaine, leur maintien dépendra intégralement de l'existence, de la disponibilité, de la qualité et de l'accessibilité de ces zones en région **[7]**. Pour des populations plus étendues, il est nécessaire de considérer l'importance (qualitative et quantitative) de ces habitats présents en Nouvelle-Aquitaine par rapport à l'ensemble des habitats qu'elles fréquentent. Par exemple pour le maigre, la Gironde est la seule zone de reproduction connue dans le golfe de Gascogne **[9]**. La Gironde est aussi propice à être une nourricerie pour la sole (***www.ifremer.fr/climatologie-gascogne/index.php***) qui se développe particulièrement bien dans un panache fluvial conséquent **[10]**. Cependant, les performances écologiques de la Gironde, en termes de croissance et de densité de juvéniles de sole pourraient être limitées par une contamination métallique (au cadmium) **[10]**, qui impacterait aussi les secteurs adjacents (Pertuis Charentais). Des travaux récents sur des signaux géochimiques se sont intéressés à la contribution de la Gironde aux flux de particules en suspension au sein de la baie de Marennes-Oléron. Les concentrations en cadmium de la baie correspondent bien à une signature girondine ; une signature de la Charente aurait abouti à des concentrations supérieures **[11]**. Ces éléments illustrent l'intérêt de considérer la contribution de chaque nourricerie au renouvellement de la population mais indiquent que l'évaluation de la qualité des habitats et des conséquences des impacts anthropiques est plus pertinente à l'échelle des perturbations subies, à savoir à des échelles plus fines **[12] [10]**. Dans le cas du saumon atlantique, la défragmentation des cours d'eau, grâce à l'aménagement de passes à poissons au niveau de seuils et de barrages, contribue à la restauration de la libre circulation des poissons et a rendu plus accessibles pour l'espèce au cours des dernières années les habitats essentiels de Nouvelle-Aquitaine, en têtes de bassins. Cela a eu un effet positif sur l'état de conservation des populations naturelles des cours d'eau du fond du golfe de Gascogne (Nivelle, Nive, Gaves Pyrénéens), dernier refuge du saumon sauvage dans la région **[13]**. Aujourd'hui, la gestion de la bande côtière prend en compte de manière limitée les problèmes d'environnement et la préservation des habitats halieutiques essentiels **[5]**. La meilleure connaissance de ces habitats et la compréhension des processus impliqués constituent des enjeux en termes de recherche et de leur transposition dans le domaine juridique. Un cadre est donné par le 2e cycle (2018-2024) de la directive - cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) qui prévoit la détermination des enjeux écologiques pour les différentes sous-régions marines.

CHANGEMENTS DE L'ENVIRONNEMENT ATTENDUS ET ÉTUDIÉS

La présence des ressources exploitées en un lieu dépend fortement des propriétés physiques (température, circulation du courant Nord Atlantique, stratification des masses d'eau, niveau de la mer, régimes hydriques…), géochimiques (salinité, pH, oxygène dissous aux différentes profondeurs…) et biologiques (assemblages d'espèces) des masses d'eau. Ces propriétés, qui conditionnent la dynamique des océans (et qui, pour certaines, s'appliquent aux eaux continentales), sont modifiées par le changement climatique mais aussi par les pressions anthropiques (telles que les pollutions, l'exploitation, les prélèvements d'eau pour différents usages et qui interviennent sur les flux parvenant à l'océan…). Il est souvent très difficile de distinguer le rôle de chacun de ces facteurs notamment parce que leurs impacts s'appliquent à des pas de temps distincts ; c'est pourquoi le terme de changement global est souvent utilisé. Les changements peuvent induire des modifications rapides des milieux de vie des espèces et des relations entre les espèces, notamment les relations proies/prédateurs, et *in fine* le fonctionnement des écosystèmes.

L'essentiel des travaux dédiés aux modifications des caractéristiques de l'environnement se rapporte aux **éco-régions marines européennes** (selon la définition du CIEM - Conseil International pour l'Exploration de la Mer). Dans ce cadre, le golfe de Gascogne qui ne représente que 0,2 % de l'océan Atlantique en termes de superficie, fait partie de l'entité « plateau continental atlantique sud-européen » **(éco-région G).** Considérant les modifications déjà observées et/ou celles attendues, les changements devraient se traduire principalement par :

- une hausse de la température de l'eau de surface (jusqu'à 100 m de profondeur) et des eaux littorales comprise entre +0,03 °C et +0,07 °C par décennie (observations sur les 30 à 40 dernières années, **[14] [15] [16]**). Pour la partie nord du Golfe et le plateau Celtique, une augmentation de la température de l'eau comprise entre 1,5 °C et 5 °C est attendue à l'horizon d'un siècle **[17]**, et de 2,2-3,5 ºC pour le Golfe en moyenne **[18]**. À la différence d'autres zones telles que la mer du Nord **[19]**, l'amplitude de cette variation attendue est cependant moindre dans le golfe de Gascogne en raison de la présence de zones d'upwelling notamment le long des côtes landaises et des côtes espagnoles **[20]** ;

- une modification de la circulation océanique. Plusieurs travaux indiquent une modification possible de la circulation thermohaline conduisant à un affaiblissement du Gulf Stream avec des discussions sur la distinction entre l'effet du changement climatique et les oscillations naturelles **[17] [21]**. Dans cette hypothèse, des hivers plus froids pourraient être observés avec possiblement des rééquilibrages rapides favorables aux assemblages biologiques du Nord. Cela a été observé pour la partie nord du golfe de Gascogne après l'hiver extrêmement rigoureux de 1962-1963 **[22] [23]** ;

- une augmentation du niveau de la mer de l'ordre du mètre d'ici 2100 et une évolution potentielle du régime de tempête ;

- une baisse possible de la productivité marine. Pour l'Atlantique nord, en raison des modifications attendues de l'épaisseur de la couche de mélange et des concentrations de nutriments en surface, une diminution probable de la production phytoplanctonique est projetée par différents modèles d'ici la fin du XXIe siècle **[24]**. À l'échelle du golfe de Gascogne, les prévisions de ce type font cependant défaut ;

- une acidification des eaux. La diminution moyenne annuelle de pH est de -0,0032 entre 1990 et 2006 pour le golfe de Gascogne et les eaux ibériques **[25] [26]**. Elle est estimée à -0,0020 entre 1991 et 2011 pour les mers celtiques **[27]** ;

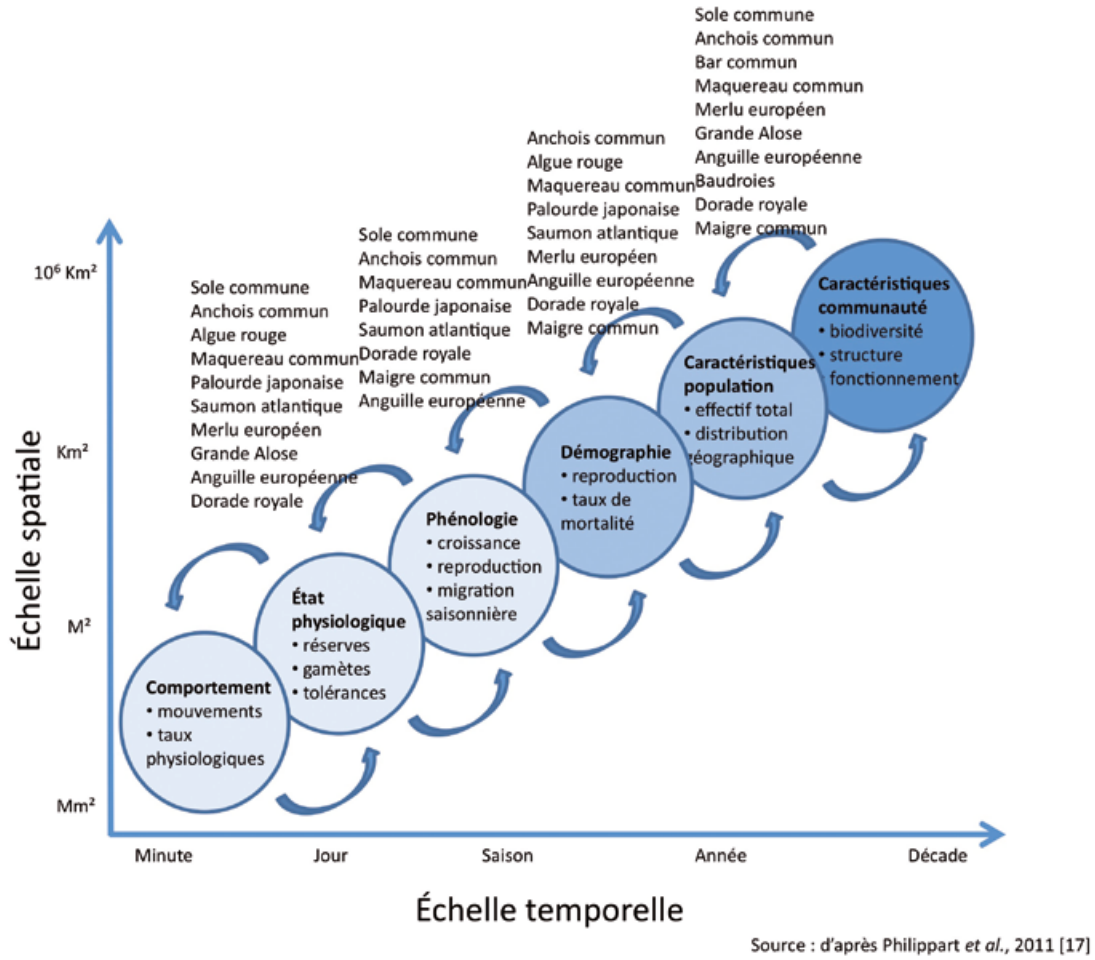
- une modification des régimes de débit des fleuves. En Nouvelle-Aquitaine, une baisse des débits annuels de l'ordre de 20 à 30 % est attendue à un horizon de 30 ans avec des périodes estivales d'étiage plus marqué, mais aussi des crues hivernales plus soutenues **[28]**.

Concernant les espèces d'importance pour les pêcheurs de la Nouvelle-Aquitaine, les modifications étudiées au niveau des stocks exploités et selon le prisme du changement climatique concernent surtout la température ; viennent ensuite la productivité marine (appréhendée par les conditions trophiques), les régimes de débit des fleuves et plus accessoirement les régimes de courant et de houle (**Tableau 3**).

	Température	Courants	Régime de houle/niveau de la mer	Productivité marine	Acidification	Débit des fleuves	Références issues des fiches espèces
Algue rouge	X		X	X			[29] [30] [31]
Anchois commun	X			X			[32] [33] [34] [35]
Anguille européenne	X	X		X		X	[36] [37] [38] [39]
Bar commun	X						[40] [41]
Baudroies d'Europe	X						[42]
Dorade royale	X						[43] [44] [45] [46]
Grande alose	X					X	[47] [48] [49]
Maigre commun	X				X		[50] [51] [52]
Maquereau commun	X			X			[53] [54]
Merlu européen	X	X		X			[55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62]
Palourde japonaise	X			X			[63] [64] [65]
Saumon atlantique	X			X		X	[66] [67]
Sole commune	X			X		X	[68] [69] [70]

Tableau 3 : *Modifications des conditions environnementales étudiées selon le prisme du changement climatique pour 13 espèces d'importance pour les pêcheurs néo-aquitains.*

IMPACTS SUR LES ESPÈCES DÉJÀ OBSERVÉS ET ATTENDUS



Source : d'après Philippart *et al.*, 2011 [17]

Figure 5 : *Impacts observés ou attendus de la variabilité climatique sur les espèces (bleu clair), les populations (bleu moyen) et les communautés (bleu foncé) à des échelles temporelles et spatiales variées. Recensement des travaux existants relevés uniquement dans les 13 fiches espèces. Reproduit avec la permission d'Elsevier.*

Toutes les espèces considérées ici sont impactées de différentes manières par les variations climatiques (**Figure 5**). Parmi les modifications, **les déplacements de limites biogéographiques vers le nord** sont les mieux documentés et touchent bon nombre des espèces marines étudiées. En particulier, des travaux ont montré qu'en raison de conditions thermiques moins favorables au sud, les zones de frai du maquereau commun remontent vers le nord à raison de 28 km par degré Celsius de réchauffement de la mer (16 km par décennie) **[54]**. Les scénarios issus d'un modèle de simulation appliqué aux zones de frai du maquereau commun indiquent un déplacement jusqu'à 328 km vers le nord pour la fin de siècle **[54]**. Une colonisation de nouveaux habitats est aussi observée pour d'autres espèces comme la dorade royale dans les eaux irlandaises **[71]**, le merlu européen en mer du Nord **[72]** ou encore la baudroie commune. Chez cette dernière, une augmentation de la surface colonisée en lien avec des conditions de plus en plus favorables dans les eaux profondes islandaises a été mise en évidence **[42]**. La modélisation de la dispersion des juvéniles de baudroie (âge 60 jours) montre que cette extension s'accompagne d'un transfert de populations des zones de reproduction d'Ouest Hébrides et Rockall (situées à l'ouest de l'Écosse) vers les eaux islandaises et la mer du Nord **[73]**.

L'anchois commun présente une expansion en mer du Nord depuis le stade œuf **[32]** jusqu'au stade adulte **[74]** **[34]** **[75]** en relation avec les changements des habitats thermiques dans le secteur **[33]** **[35]**. À l'échelle mondiale, le déplacement médian des limites de distribution des espèces de poissons et d'invertébrés marins est estimé à 45-59 km par décennie entre les périodes 2001-2005 et 2040-2060 **[76]**.

Bon nombre d'espèces exploitées par les navires de la région Nouvelle-Aquitaine se situent au centre de leur aire de répartition et donc dans des conditions bioclimatiques proches de leur optimum. Cela contribue à rendre les effets des changements (climatiques, globaux) plus difficiles à appréhender. En effet, ceux-ci sont généralement plus facilement observables dans l'espace proche des limites biogéographiques. La question de l'échelle d'observation est alors cruciale si l'on veut étudier, observer à l'échelle des populations.

Parallèlement, des conséquences sur **la phénologie** sont notées sur la sole commune dont la période de ponte est avancée en mer du Nord, en Irlande et en Manche lors d'années chaudes **[77] [78] [79]**.

La température influe grandement sur la ponte et la vitesse d'éclosion de la dorade royale **[80]**. Par comparaison avec la flexibilité de la date de frai du maigre observée en Mauritanie **[81]** et en Égypte **[82]**, il est supposé qu'une augmentation de la température de l'eau de la Gironde pourrait avoir un effet sur la période de reproduction dans cette zone. Enfin, les scénarios issus d'un modèle de simulation appliqué au stock de palourde japonaise du bassin d'Arcachon montrent un raccourcissement de la période de ponte sous l'effet de l'augmentation des températures **[63]**.

Parmi **les risques physiologiques**, la température apparaît comme un facteur essentiel agissant par exemple sur la mortalité larvaire du merlu européen **[83]** ou la croissance des palourdes japonaises (optimale entre 12 et 20 °C et nulle en dessous de 6 °C) **[65]**. Chez les espèces amphihalines, une détérioration des conditions de croissance marine du saumon atlantique est observée **[84]**, entraînant une altération de la survie en mer et l'allongement du temps de séjour en mer. Si la grande alose apparaît relativement tolérante à de fortes températures en milieu contrôlé **[48]**, les juvéniles (3 mois) sont cependant plus sensibles à l'hypoxie en conditions de températures plus élevées **[85]**. Cette sensibilité pourrait s'avérer problématique dans certains fleuves en période estivale, notamment dans les zones de transition entre les eaux douces et les eaux salées en raison de la présence de secteurs hypoxiques induits par la biodégradation de matières organiques et associés à une accumulation de matière fine (turbidité élevée) **[86]**.

Concernant **l'adaptation à l'acidification** des eaux marines, les connaissances sont rudimentaires **[87]**. Une acidification (ΔpH = 0,5) associée à une augmentation de température diminue le succès des éclosions et la survie des larves de maigre **[51]**. Par ailleurs, des travaux sur la palourde européenne ont singulièrement mis en évidence l'absence d'effet de pH réduits sur la croissance larvaire de cette espèce **[88]**.

Globalement, les changements climatiques peuvent agir sur **la dynamique des populations** avec des effets contrastés en fonction des espèces. Sur la période 1993-2012, la baisse de la biomasse de l'algue rouge sur la côte nord espagnole semble être liée à la diminution de l'ensoleillement et **à la modification du régime de houle,** avec l'augmentation de la fréquence des vagues supérieures à 5 m **[29]**. Dans le cas du merlu européen, une amélioration de la productivité (fort recrutement) a été observée ces dernières années alors que la biomasse des reproducteurs était faible **[55]**. Cette augmentation a été associée à une modification est-ouest dans le transport d'Ekman (déplacement horizontal des couches d'eaux superficielles de l'océan par la seule action de la friction du vent à la surface) au niveau du banc de Porcupine au large de l'Irlande, à une augmentation des températures dans le golfe de Gascogne et à l'abondance des copépodes (proies des juvéniles). Concernant le saumon atlantique, les changements climatiques fragiliseraient des populations naturelles déjà marquées par un statut précaire **[66]**. À l'inverse, l'augmentation de la température de surface semble se répercuter de manière positive sur les abondances de dorade royale capturées dans le golfe de Gascogne **[46]**.

Les effets du changement climatique sont ainsi bien documentés pour certaines espèces (e.g. sole commune, merlu européen, anchois commun, grande alose) mais d'autres, comme le bar commun, n'ont fait l'objet que de peu d'études, voire d'aucune **à l'échelle du golfe de Gascogne**. De plus, pour une même population, les effets peuvent être difficiles à caractériser car contrastés en fonction du secteur géographique, du moment du cycle de vie des espèces, des interactions possibles entre les sources de stress, et dépendent également des modèles utilisés pour réaliser les simulations. Par exemple, le merlu européen semble bénéficier de l'augmentation des températures, avec un recrutement accru observé en mer du Nord **[55]**, ainsi qu'une augmentation des abondances exprimées en nombre d'individus **[72]**. Cependant, d'autres études en milieu contrôlé indiquent une mortalité importante des œufs de l'espèce en dehors de la plage optimale de température 10-13 °C **[83],** une augmentation des températures pouvant ainsi agir négativement sur les premiers stades du cycle de vie en limite sud de répartition.

De même, concernant l'impact de la température sur le recrutement de la sole commune, des effets divergents ont été observés : négatif en mer du Nord **[89]** et positif dans le Canal de Bristol **[90]**. Un effet additionnel du débit fluvial, structurant sur cette espèce lorsqu'elle est située en limite de sa répartition, masquerait l'effet supposé de la température. En conséquence, à l'heure actuelle, il n'existe pas de connaissance transférable à la Nouvelle-Aquitaine pour la sole commune.

Pour sa part, l'anguille européenne aurait bénéficié de l'augmentation des températures lors de sa phase de croissance en milieu continental **[36]** au cours des dernières décennies. Cependant des effets négatifs sont suspectés lors de la dévalaison **[39]** en lien avec le changement de régime des précipitations, ainsi que sur les jeunes stades et le recrutement dans la partie océanique du cycle de vie de l'espèce **[38] [37]** en lien avec la courantologie et la productivité des masses d'eau.

Il faut donc souligner que ces approches sont aujourd'hui essentiellement mono-factorielles et s'intéressent à une phase du cycle de vie en milieu naturel ou contrôlé. À notre connaissance, il n'existe pas d'études intégratives sur l'ensemble des fonctions et qui prennent en compte les effets combinés, cumulatifs pouvant survenir et ce, pour aucune des espèces. Cela constitue un défi en termes de recherche.

Notons enfin que les considérations précédentes ne s'intéressent qu'à une espèce à la fois, mais que des **changements d'assemblages** (à l'échelle des communautés) sont également attendus. Ils sont documentés pour le nord du golfe de Gascogne et la mer Celtique. D'ici à 2025, même en appliquant des scénarios avec faibles émissions de gaz à effet de serre,

les assemblages benthiques des **côtes rocheuses devraient ressembler aux assemblages actuels du sud de la péninsule ibérique** [91] [22] [23] [17]. La **chaîne trophique** peut aussi être impactée depuis le plancton jusqu'aux prédateurs supérieurs [92] [93]. Des travaux sur les œufs et larves de poissons (qui composent l'ichtyoplancton) ont été conduits dans la province néritique du sud du golfe de Gascogne [94] [95] [96]. Durant la période 2000-2006, il n'y a pas eu d'évolution significative à la hausse ou à la baisse dans l'abondance des deux stades œufs et larves. Dans une étude antérieure (1986-1987), une présence restreinte de l'ichtyoplancton aux seules périodes printanière et estivale avait été observée [97]. Plus récemment sur la période 2000-2006, cette présence semble être devenue pérenne puisque l'ichtyoplancton est présent toute l'année avec une richesse spécifique des œufs maximale en hiver (15 espèces en décembre) et une richesse spécifique maximale des larves au printemps (20 espèces en mai).

FICHE ESPÈCE

MERLU EUROPÉEN *(MERLUCCIUS MERLUCCIUS)*

© Stefano Guerrieri

AIRE DE RÉPARTITION

Distribué dans l'Atlantique nord est, le merlu européen est présent le long des côtes de la Norvège à la Mauritanie. On le retrouve également en mer Méditerranée et en mer Adriatique.

UNITÉ(S) DE GESTION INTÉRESSANT LES NAVIRES NÉO-AQUITAINS

Pour sa gestion, deux stocks sont communément distingués : le « stock nord » depuis le fond du golfe de Gascogne jusqu'en Norvège et le « stock sud » occupant les côtes du nord de l'Espagne et du Portugal.

ÉCOLOGIE

En Atlantique, le merlu occupe le plateau continental de la côte jusqu'à 1 000 m de profondeur. Ses migrations entre la côte et le large sont fonction de l'âge et de la saison, les mouvements verticaux étant plutôt liés à la recherche de nourriture (petits crustacés pour les juvéniles, poissons pour les adultes). La reproduction a lieu principalement le long des accores du plateau continental et s'étend de janvier à mai avec un pic en mars. Les merlus se reproduisent vers 40 cm pour les mâles (2 ans) et vers 50-60 cm pour les femelles (3-4 ans). Une température comprise entre 10 °C et 13 °C est nécessaire à la reproduction qui se déroule à des profondeurs allant de 50 à 200 m **[98]**. Les deux premières années de leur vie, les juvéniles rejoignent les nourriceries sur les fonds vaseux entre 75 et 125 m, les plus importantes étant situées en mer Celtique et dans le golfe de Gascogne (Grande vasière). La troisième année, ils migrent vers la côte pour ensuite se disperser sur le plateau continental en automne. Les adultes vivent sur le talus ne revenant sur le plateau continental que pour se reproduire **[99]**. Les zones de canyons et de fonds rocheux constituent des concentrations d'adultes **[56]**. Pour la Nouvelle-Aquitaine, le canyon de Capbreton est une zone de pêche importante de merlus adultes.

ZONES FONCTIONNELLES FRÉQUENTÉES DANS LES EAUX CÔTIÈRES DE LA NOUVELLE-AQUITAINE

En Nouvelle-Aquitaine, les principales vasières sont localisées devant l'embouchure de la Gironde et plus secondairement au large des Landes. Une autre zone de nourricerie est mentionnée plus sud (2° W) **[100] [101] (Figure 6)**.

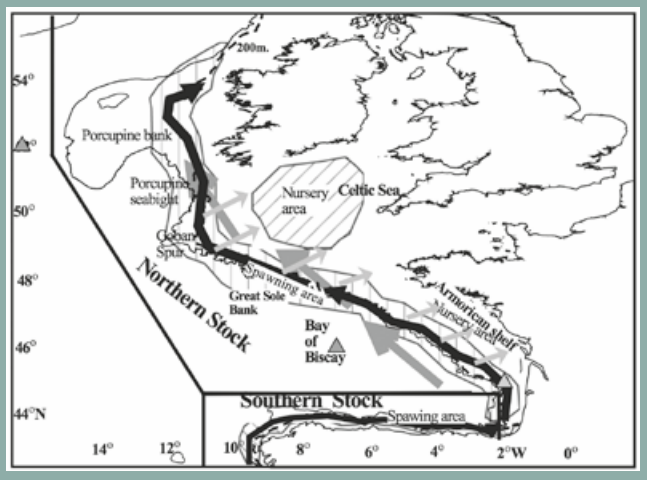


Figure 6 : *Zones hachurées - Principales aires de pontes et nourriceries du merlu européen Merluccius merluccius en Atlantique Nord Est. Le triangle gris - Station NOAA (mesures du vent) ; isobathes 200 m ; (1) courants de pente ; (2) circulation géostrophique ; (3) circulation résiduelle sur le plateau (Source : Alvarez et al., 2004* **[57]**). *Reproduit avec la permission d'Oxford University Press.*

IMPACT CONNU DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans le golfe de Gascogne, le transport des larves de merlu vers les zones de nourriceries dépend du régime des courants **[56] [57]**. Les variations dans les conditions environnementales au moment de la dérive des larves constituent une étape critique **[100].** La température est aussi un facteur qui affecte les premiers stades de vie des poissons. Des expériences de développement des œufs de merlu en milieu contrôlé à différentes températures ont montré des mortalités importantes en dehors de la plage optimale 10-13 °C **[83]**. En Méditerranée, des travaux ayant recours à des modèles d'habitats montrent que les nourriceries nécessitent des températures de fond stables (11,8-15 °C), de faibles vitesses de courant de fond (< 3,4 $cm.s^{-1}$) et des fronts productifs en plancton **[59]**. L'alimentation joue aussi un rôle clé sur la qualité des zones de nourriceries des juvéniles de merlu **[60] [102] [103] [104]**.

La croissance et la survie des juvéniles de merlu augmentent en fonction de la disponibilité d'une alimentation adéquate. Des changements dans les conditions océaniques peuvent modifier la disponibilité des proies et ainsi affecter le comportement de migration et la croissance du merlu **[60]**.
Les travaux de Goikoetxea et Irigoien **[55]** en Atlantique Nord-Est sur le merlu ont mis en évidence le rôle de l'Oscillation Nord Atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO) dans la réussite du recrutement du merlu depuis plusieurs années. Le réchauffement a été particulièrement intense en mer du Nord où le changement d'état de l'écosystème est le plus visible **[61] [87]**, avec l'augmentation de l'abondance de certaines espèces comme le merlu, l'anchois ou encore le rouget **[72] [105]**. Les changements de régime (dus à une modification de la courantologie) peuvent affecter la structure spatiale de l'habitat du merlu avec des changements sur sa distribution et son abondance **[60] [104] [62]**.

ÉTAT CONNU DU STOCK

Le diagnostic provient des expertises scientifiques établies par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM). L'évaluation du stock nord est établie à partir d'un modèle structuré en taille et repose sur deux types de données : les données de captures commerciales et les indices d'abondance obtenus à partir de 4 campagnes scientifiques. Le diagnostic actuel fait état d'une bonne situation du stock nord en raison d'une forte augmentation de la biomasse féconde ces dernières années (300 000 t en 2015) liée à l'arrivée en nombre de juvéniles en 2008 **[106]**, désormais adultes et exploités, et d'une diminution de la mortalité par pêche.

DIMENSION RÉGLEMENTAIRE

La taille minimale des débarquements est de 27 cm. Le stock de merlu est géré par un TAC (« Total Admissible de Captures ») réparti en quotas nationaux. Le TAC est fixé pour le stock nord à 108 700 t en 2016 dont 40 300 t pour le golfe de Gascogne (zones VIIIa,b,d,e) avec un quota pour la France de 27 910 t. La restauration du stock est attribuée aux mesures de gestion mises en place depuis 2001 avec un plan d'urgence, puis un plan de restauration en 2004. Deux « box » (zones d'interdiction de pêche pour certaines caractéristiques d'engin) ont également été définis, l'une dans le golfe de Gascogne, l'autre en mer Celtique pour diminuer les captures de juvéniles **[106]**. Aujourd'hui, le CIEM préconise une gestion au Rendement Maximum Durable (RMD).

IMPORTANCE POUR LES PÊCHEURS NÉO-AQUITAINS [MOYENNE 2013-2015]

Tonnages : 25 160 tonnes
Valeur : 57 472 k€
Nombre de navires concernés (toutes quantités) : 300
Nombre de navires concernés (seuil 5 tonnes/navire) : 132
Principaux engins mis en œuvre pour la capture : filets (essentiellement filets droits), palangre et chalut de fond

IMPACTS DÉJÀ CONSTATÉS SUR LES PÊCHERIES ET EXEMPLES D'ADAPTATIONS

Dans le golfe de Gascogne, pour le maquereau commun, une diminution de la production d'œufs et de la biomasse des reproducteurs est observée en lien avec le décalage de la zone de ponte vers le nord-ouest de l'Europe **[53]**. L'impact pour les flottilles de la région Nouvelle-Aquitaine n'est pas actuellement significatif. Concernant l'anchois commun, un déplacement vers le nord et en particulier vers la Manche et la mer du Nord est aussi constaté **[32]**. Dans les années 1990, cette espèce était importante pour certaines flottilles régionales (bolincheurs et chalutiers pélagiques) du sud du golfe de Gascogne. Aujourd'hui l'anchois est surtout exploité par les navires de la Loire-Atlantique et nettement moins par ceux de la Nouvelle-Aquitaine. Ces derniers se sont redéployés vers d'autres espèces pélagiques (maquereaux, chinchards, germon **[107]**) ou ont changé de métier et/ou de quartier maritime ou encore, sont sortis de la flotte.

Pour la baudroie commune dont la surface colonisée s'étend vers les eaux profondes islandaises **[42]** avec un transfert de populations juvéniles atlantiques vers la mer du Nord et les eaux islandaises **[73]**, aucune étude ne montre que ce phénomène s'opère au dépend des populations du golfe de Gascogne ou de mer Celtique, secteurs fréquentés par des flottilles de la Nouvelle-Aquitaine. À terme, la présence plus abondante de baudroie commune dans les eaux du nord de l'Europe pourrait créer un effet d'opportunité pour certains navires et avoir des conséquences économiques, en exacerbant la concurrence entre les flottilles européennes et celles non-membres de l'Union Européenne (U.E.). Ce type de situation s'est déjà rencontré dans un passé récent (2010 à 2013) pour le maquereau commun. Elle avait conduit à des tensions diplomatiques entre l'U.E. et les îles Féroé, l'Islande et la Norvège, sur la question du niveau du Total Admissible de Captures (TAC) et de sa répartition en quotas nationaux ; en effet ces derniers ont une composante spatiale (zones CIEM) basée sur les antériorités historiques des différentes flottilles et répartis selon un principe de stabilité.

Le merlu européen a vu sa productivité s'améliorer sous l'effet de changements des courants, de l'augmentation des températures dans le golfe de Gascogne et de l'abondance de proies pour les juvéniles. L'augmentation de biomasse est concomitante d'une augmentation des rendements des flottilles spécialisées de la Nouvelle-Aquitaine (source base de données Harmonie, Ifremer/DPMA).

Des travaux récents sur la dorade royale ont mis en avant une forte corrélation entre l'augmentation des captures et des ventes et l'augmentation des températures observées dans le golfe de Gascogne. Elle semble traduire une augmentation de l'abondance de cette espèce, en particulier dans le nord du golfe de Gascogne mais aussi au sud **[46]**, ce qui aurait profité aux navires néo-aquitains.

Les changements dans la répartition spatiale des espèces interrogent les armements sur la révision des droits de pêche et le redéploiement géographique des flottilles **[108]**. Or les TAC et quotas sont répartis spatialement, annuellement et, dans le cas français, selon les organisations de producteurs (avec possibilité d'échanges entre ces dernières), induisant de fait dans la plupart des cas une compétition plus tendue entre les bateaux. De plus, le choix d'un changement de zone de pêche est aussi contraint par des questions liées à l'autonomie (longueur, puissance…) et à la sécurité des navires, réduisant ainsi les possibilités de déplacement sur des zones de pêche plus éloignées des ports d'attache, plus particulièrement pour les navires inférieurs à 12 mètres (76 % des effectifs de la région Nouvelle-Aquitaine en 2014).

Dans l'hypothèse d'une diminution de la productivité, les capacités d'adaptation pourraient porter aussi sur l'apparition de nouveaux métiers (engin + espèce ciblée), une rationalisation de la pêche par une diminution des pertes et des coûts, la mise en place d'écolabels pour une meilleure valorisation et une diversification de l'activité comme le pescatourisme **[109]**.

Actuellement, certaines flottilles ont une forte dépendance économique à une ou deux espèces cibles par le biais de la spécialisation. Cela représente un risque en matière d'adaptation, surtout si les espèces sont directement ou indirectement sensibles aux changements. Dès lors, la polyvalence pourrait être recherchée pour diminuer l'exposition aux effets du changement climatique des flottilles. Il faut cependant tenir compte du fait que cette possibilité de polyvalence peut être affectée par les droits de pêche et les antériorités de captures (les années 2000 à 2003 ayant été retenues pour la répartition des quotas dans le cas des navires français). Autrement dit, un navire sans antériorité de captures sur une espèce soumise à quota, n'a pas ou peu accès à la pêche de cette espèce.

AUTRES ESPÈCES CAPTURÉES PAR LA PÊCHE PROFESSIONNELLE

LES CÉPHALOPODES

Les céphalopodes (seiches, calmars…) sont fortement exploités par les flottilles néo-aquitaines. Ces espèces ont une croissance rapide et sont très sensibles aux variations de paramètres environnementaux. Elles présentent une grande variabilité interannuelle dans l'abondance, avec absence de stock d'adultes pour faire tampon face aux perturbations, mais aussi avec une grande capacité de résilience. Ces espèces pourraient être utilisées comme indicateurs de changement **[110]**, bien que la recherche s'y intéresse encore trop peu.

LES SPARIDÉS AUTRES QUE LA DORADE ROYALE

Les sparidés constituent une famille d'intérêt pour la pêche professionnelle avec 18 espèces présentes sur les côtes du golfe de Gascogne dont 9 en limite de répartition et 4 spécifiquement dans le sud du golfe *Diplodus cervinus*, *Diplodus vulgaris*, *Oblada melanura* et *Pagellus bellottii*. Cette dernière est observée pour la première fois au large des Landes en 2014 **[111]**.

LES ESPÈCES INHABITUELLES

Outre les espèces déjà connues de la zone, des captures par la pêche professionnelle d'espèces à affinité tropicale sont également observées au large des côtes d'Aquitaine. Parmi ces espèces, les Tétraodontiformes et les Carangidés sont particulièrement bien représentés **[112] [113]**. On peut d'ailleurs signaler la capture récente du Tétraodontiforme *Sphoeroides pachygaster* à Capbreton. De même, un certain nombre d'espèces méridionales ont été observées au cours de ces dernières années, par exemple le grondeur rayé africain de la famille des Haemulidés, *Parapristipoma octolineatum* (première observation en France) dans une grotte sous-marine de la côte basque rocheuse **[114]**. Il est intéressant aussi de signaler la capture d'un mérou blanc *Epinephelus aereus* ainsi que celles de requins marteaux communs *Sphyrna zygaena*.

Des modifications induites dans la répartition spatiale d'espèces sont donc relevées depuis plusieurs années. Cependant, la diversité des débarquements ne semble pas avoir été modifiée pour l'instant.

BILAN ET ENJEUX POUR LA PÊCHE

À l'heure actuelle, **l'Union Européenne intègre explicitement les objectifs d'atténuation des effets du changement climatique et d'adaptation à celui-ci dans le secteur de la planification de l'espace maritime et de la gestion intégrée des zones côtières.** La Politique Commune de la Pêche[3] réaffirme les obligations liées à ces engagements internationaux et renforce les dispositifs existants.

Elle met aussi en avant une approche plus régionale pour une optimisation des différents dispositifs, en vue d'atteindre notamment le Rendement Maximum Durable (RMD) d'ici 2020 au plus tard et assurer le maintien de la biodiversité. L'obtention de retombées économiques et sociales positives ainsi que la sécurité alimentaire, sont aussi recherchées.

3 • Reg. U.E. 1380/2013 du 11/12/2013.

L'arrivée de nouveaux prédateurs soulève la question de la compétition entre les espèces pour les proies et donc de l'intérêt d'avoir une **é**valuation de stocks via une approche multispécifique **[105]**. Par exemple, le merlu européen dont une population s'installe en mer du Nord se nourrit de tacaud norvégien au détriment du lieu noir qui est son prédateur « local » **[55]**. D'autres auteurs soulignent aussi la nécessité de la mise en œuvre de **l'approche écosystémique** pour favoriser la durabilité des entreprises de pêche **[115] [116]**. Or aujourd'hui, les indicateurs d'état des stocks (recrutement, biomasse des reproducteurs, mortalité par pêche…) qui sont le socle de la définition des TAC et quotas, sont mono-spécifiques. Le CIEM est la principale source d'avis en matière de gestion des environnements marins de l'Atlantique nord-est et des mers adjacentes, qui fondent les propositions de règlement soumises à la décision du Conseil des ministres de l'Union Européenne dans ces domaines. Les méthodes d'évaluation de chaque espèce sont établies annuellement lors de groupes de travail internationaux et doivent faire l'objet d'un consensus avant leur application. Même s'il y a une volonté d'intégrer des informations concernant l'écosystème dans son ensemble (travaux du CIEM menés par le « Working Group on Multispecies Assesment Methods »), les scientifiques se réunissent principalement par groupe d'espèces et les diagnostics concernent alors une ou plusieurs espèces.

Les TAC sont la clé de voûte de la gestion des pêches au sein de l'Union Européenne. Bien que fixés annuellement, ils peuvent aussi être définis dans le cadre de plans de gestion répondant à un objectif de moyen terme. Leur **répartition** en quotas est soumise au principe de stabilité relative. D'autres outils de gestion comme des « quotas d'effort de pêche par zone » pourraient être plus mobilisés. Leur mise en œuvre plus intensive obligerait probablement à faire évoluer l'observation de l'exploitation, en intégrant dans une zone les différents usages, les interactions et les conséquences en cascade, etc., avec une vision spatio-temporelle plus à l'échelle des impacts du changement climatique et du fonctionnement des écosystèmes. Le challenge est donc important pour la science et les gestionnaires, pour une meilleure compréhension du système et donc d'une gestion plus pertinente, plus **« écosystémique »**, mais aussi possiblement plus sophistiquée, des ressources marines et de leur exploitation. Certains auteurs **[117]** proposent une vision, une approche adaptative encore plus systémique, **« émergentiste »**, faisant appel au dialogue permanent entre le système et son environnement, car toute nouvelle organisation du système (liée à des facteurs anthropiques, comme la pêche par exemple) entraîne une modification de son environnement, laquelle en retour suscite un ajustement (voire un enrichissement) de la structure antérieure. Pour illustrer cette approche, on peut faire le parallèle avec la construction d'une digue, qui peut modifier la circulation hydrologique, la sédimentation, le réseau trophique d'un milieu aquatique, etc. et *in fine* altérer ou améliorer le fonctionnement d'une zone de nourricerie et donc celui des pêcheries, diminuer ou augmenter la surface du cordon dunaire, mettre en péril ou non des constructions urbaines…

Une vision « émergentiste » ne suppose aucune solution « inscrite dans le marbre », mais bien un questionnement permanent, évolutif et nécessairement une réflexion sur la place que l'Homme entend s'octroyer dans le système.

L'objectif actuel de stocks exploités au RMD devrait permettre une moins grande sensibilité des ressources halieutiques aux impacts de changements environnementaux même si l'incertitude sur ceux-ci demeure forte. Mais dans un tel contexte, la fixation des TAC et quotas annuels subordonne en grande partie et dans les faits la gestion des entreprises de pêche à une vision à court terme. Or les réponses des ressources halieutiques au réchauffement climatique s'opèrent sur un terme plus long. La gestion des pêches et les changements climatiques sont perçus, y compris par les pêcheurs, comme ayant des temporalités distinctes. Cependant, certaines modifications commencent à être mesurées (cas du maquereau commun, de l'anchois, du merlu).

L'accès à la ressource halieutique reste très encadré : selon les flottilles, les droits à produire sont différenciés (quota, licence), des interdictions de pêche pour certaines espèces, temporaires ou définitives, ont été ou sont appliquées. Certains engins sont interdits et les maillages des filets sont encadrés. Un aperçu des différents niveaux réglementaires (du local à l'européen) est donné au travers des fiches espèces sur ***www.acclimaterra.fr.*** La définition des frontières et des droits d'accès est une question commune aux ressources naturelles en mer. Dans le cas des ressources halieutiques, le changement climatique pose un nouveau challenge et des nouvelles conceptions notamment institutionnelles du fait de leur mobilité et des changements induits **[118]**. Ainsi la gouvernance des ressources dont la présence et l'abondance sont et seront plus variables dans et hors des zones économiques exclusives de l'U.E., devrait évoluer notamment en vue d'anticiper, faciliter et adapter les capacités et les stratégies d'exploitation.

2 RESSOURCES EXPLOITÉES PAR LA CONCHYLICULTURE

ENTREPRISES CONCHYLICOLES DE LA NOUVELLE-AQUITAINE ET EXPLOITATION DES RESSOURCES

La région Nouvelle-Aquitaine compte 1 091 entreprises conchylicoles, soit 38 % des entreprises françaises de conchyliculture. La baisse régulière du nombre d'entreprises s'accompagne d'une augmentation de leur taille moyenne. Cette activité occupe 2 177 hectares localisés sur le domaine public maritime auxquels s'ajoutent 1 691 hectares de claires entièrement situés sur le domaine privé en Charente Maritime (**Figure 7**). Les bouchots et les filières (cf. pages suivantes) occupent 268 kilomètres exclusivement en Charente Maritime **[119].**

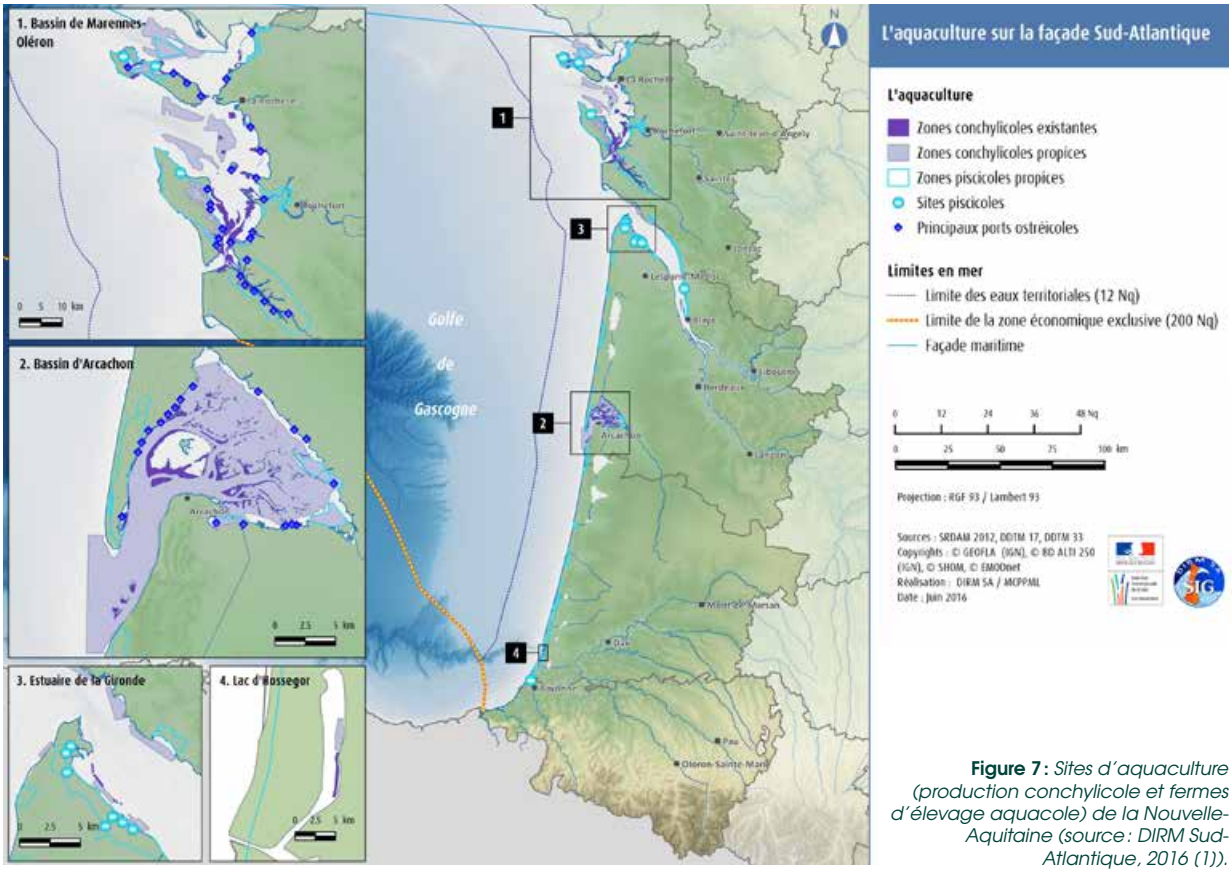


Figure 7 : *Sites d'aquaculture (production conchylicole et fermes d'élevage aquacole) de la Nouvelle-Aquitaine (source : DIRM Sud-Atlantique, 2016 (1)).*

Les entreprises conchylicoles représentent 3 192 unités de travail annuel non familiales (UTA – travail à temps plein) et pour lesquelles 2/3 sont des hommes. Le travail saisonnier concerne 3 909 personnes équivalant à 438 UTA dont la moitié est des femmes. Le travail familial représente 1 935 personnes. Par ailleurs, 40 % des chefs d'entreprises ont moins de 45 ans.

La conchyliculture de la Nouvelle-Aquitaine est principalement représentée par la culture de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (appelée aussi depuis peu *Magallana gigas*) et de la moule bleue *Mytilus edulis*, et plus accessoirement par celles de l'huître plate *Ostrea edulis*, de la palourde *Ruditapes philippinarum* et de la coque *Cardium edule*.

La production globale annuelle de coquillages de la façade est estimée à un peu plus de 56 000 tonnes : 13 000 tonnes de moules (soit 22 % de la production nationale) et 43 400 tonnes d'huîtres creuses (soit 55 % de la production nationale) (**Tableau 4**).

	Nombre d'entreprises	Nombre d'emplois directs	Surfaces exploitées (ha)	Production annuelle (t)	Chiffre d'affaires annuel (M€)
Moule	1 091 (38 %)	3 192 (37 %)	709 (17 %)	13 000 (22 %)	32 (23 %)
Huître			3 868 (34 %)	43 400 (55 %)	277 (49 %)

(%) du total national

Tableau 4 : *Production et nombre d'entreprises conchylicoles pour la façade Sud-Atlantique (source : Agreste, 2015 (119)).*

En ce qui concerne l'huître commercialisée pour la consommation, les sites de Marennes-Oléron et d'Arcachon représentent en 2012 **[119]**, avec 43 442 tonnes, 58 % du tonnage commercialisé en France. La commercialisation est effectuée par 898 entreprises expéditrices (soit 41 % des expéditeurs français) qui commercialisent 57 467 tonnes de coquillages (36 % des coquillages commercialisés en France).

La dégustation et les sorties en mer sont des activités lucratives liées aux loisirs et sont pratiquées par environ 15 % des entreprises.

Le négoce des coquillages est pratiqué aussi par 15 % des entreprises (40 % des entreprises françaises).

Le chiffre d'affaires de la conchyliculture de la région Nouvelle-Aquitaine représente 326 millions d'euros soit 37 % du chiffre d'affaires HT de la conchyliculture française.

Les deux fiches suivantes synthétisent les sites, les cycles et les pratiques d'élevage en Nouvelle-Aquitaine pour l'huître creuse japonaise et la moule bleue.

FICHE ESPÈCE

HUÎTRE CREUSE JAPONAISE *(CRASSOSTREA GIGAS)*

L'huître japonaise (*Crassostrea gigas*) a été introduite massivement en France, notamment dans les bassins ostréicoles de Marennes-Oléron et d'Arcachon, ainsi que dans l'estuaire de la Gironde, dans le but de subvenir au remplacement de l'élevage de l'huître portugaise (*Crassostrea angulata*) décimée par une maladie causée par un iridovirus. Ces importations effectuées de 1971 à 1975 concernaient des huîtres adultes en capacité de se reproduire provenant de Colombie Britannique (Canada) et du naissain en provenance du Japon **[120].**

© Ifremer

SITES D'ÉLEVAGE

En région Nouvelle-Aquitaine, les huîtres creuses japonaises sont cultivées principalement dans le pertuis Breton, le pertuis d'Antioche, le bassin d'Arcachon, le lac d'Hossegor et l'embouchure de la Gironde (affinage dans les marais médocains et captage à Bonne Anse). Les élevages sont situés sur les vasières ou bancs de sables découvrant à marée basse. Cependant quelques élevages sur filières en haute mer sont présents aux embouchures des pertuis d'Antioche (Malconche) et Breton.

CYCLES D'ÉLEVAGE

La région Nouvelle-Aquitaine possède les sites de production de naissain par collectage les plus importants de France. Le collectage de larves d'huîtres en milieu naturel (appelé communément « captage ») est favorisé par les hautes températures estivales du bassin d'Arcachon et des pertuis Charentais. Le naissain d'huîtres collecté est une base historique et importante du développement de la filière et représente encore aujourd'hui une ressource stratégique pour l'ostréiculture de la région Nouvelle-Aquitaine. De la phase naissain jusqu'à la taille commerciale (entre 2 et 4 ans), l'élevage proprement dit s'effectue en partie dans la région et pour une autre partie dans d'autres secteurs tels que la Bretagne, la Normandie, la Vendée ou la Méditerranée.

PRATIQUES D'ÉLEVAGE

© Ifremer

Le collectage de naissain est effectué sur des collecteurs en PVC (coupelles, tubes crénelés…) ou sur des tuiles chaulées que les ostréiculteurs déposent, en été, au moment du frai (période du cycle de reproduction pendant laquelle les cellules reproductrices mâles et femelles sont émises dans l'eau). Après une phase libre d'une vingtaine de jours, les larves d'huîtres se fixent sur les collecteurs. Traditionnellement après moins d'une année sur le collecteur, les naissains sont « détroqués » de leur support et mis en élevage dans des poches maillées d'un demi-mètre carré, elles-mêmes posées sur des tables en fer pouvant supporter six de ces poches. Une réglementation consignée dans le Schéma des Structures de chaque département fixe les densités à l'are ou à l'hectare ainsi que la manière de poser les tables pour faciliter leur accès et la circulation de l'eau. Chaque concessionnaire possède ainsi plusieurs parcs pour le captage ou l'élevage et un acte de concession fixe entre l'État et l'exploitant les conditions d'entretien des terrains mis à disposition. L'ostréiculteur peut aussi acheter du naissain dans des écloseries-nurseries. Ces entreprises sont majoritairement situées en dehors de la région Nouvelle-Aquitaine et fournissent un produit qui est domestiqué et potentiellement le résultat d'une sélection génétique.

FICHE ESPÈCE

MOULE BLEUE *(MYTILUS EDULIS)*

BIOLOGIE

© Stéphane Lesbats - Ifremer

Les moules présentes dans le golfe de Gascogne appartiennent à l'espèce *Mytilus edulis*. Cependant de part et d'autre, des zones dites hybrides sont recensées avec l'espèce *Mytilus galloprovincialis* présente en Espagne et en Bretagne **[121]**.

SITES D'ÉLEVAGE

L'élevage de la moule *Mytilus edulis* est largement pratiqué dans les pertuis Breton et d'Antioche. Historiquement la culture des moules s'est développée autour de la baie de l'Aiguillon (estuaire de la sèvre Niortaise), autour de l'embouchure de la Charente (île d'Aix, île Madame, platin de Brouage) et sur la côte nord-est de l'île d'Oléron au sud de Boyardville. La technique utilisée est l'élevage sur bouchots. Le collectage des jeunes moules s'effectue principalement sur la côte nord-est de l'île d'Oléron, aux Saumonards. Plus récemment, le collectage et l'élevage des moules en pleine eau s'effectuent aussi dans le pertuis Breton et dans le pertuis d'Antioche (site de la baie d'Yves) en utilisant la technique des filières. Un dernier développement de la culture sur filières est en cours au large des Saumonards, au nord de l'île d'Oléron.
L'élevage des moules n'est pas pratiqué à Arcachon. Pendant quelques années, une activité de captage sur cordes y a été réalisée avec succès. Toutefois, les naissains produits dans cette zone se révélaient être des hybrides des espèces *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis.* La différence de croissance entre ces deux espèces offrait des lots très variables en taille et donc peu adaptés à l'élevage.

CYCLES D'ÉLEVAGE

La moule *Mytilus edulis* a un cycle d'élevage compris entre 15 et 24 mois. En Nouvelle-Aquitaine, son élevage est totalement concentré dans les pertuis Charentais. L'élevage sur pieux de bois alignés en « bouchots » sur l'estran et l'élevage sur filières dans les pertuis sont caractéristiques de la mytiliculture régionale. Après un collectage au printemps sur cordes de coco (année n), les moules sont élevées sur bouchots et filières. La commercialisation a lieu de la mi-mai (moules de filières ou de cordes), et de la mi-juin (moules de bouchots) de l'année n +1 jusqu'en février de l'année n +2. L'été est la période de grande consommation des moules.

PRATIQUES D'ÉLEVAGE

La moule de bouchot est le fruit d'un mode de culture ancestral qui consiste à planter des pieux de bois dans les vases découvertes par la marée. Distants de quelques décimètres, et alignés sur plusieurs centaines de mètres, ils sont garnis au début de l'été par les cordes qui ont servi à collecter le naissain. La croissance s'effectue rapidement et la récolte s'effectue à l'aide de machines qui raclent le pieu.
Les filières sont situées en pleine mer mais abritées des fortes houles. Des cordes porteuses maintenues juste sous le niveau de la mer par des bouées sont garnies de cordes verticales appelées suspentes sur lesquelles il est posé des cordes garnies de naissains ou des « boudins » de moules.
La culture sur filières permet une immersion constante des animaux. La croissance plus rapide que sur bouchots permet ainsi une mise sur le marché anticipée, au milieu du mois de mai, avant les bouchots en juin.

IMPACTS DÉJÀ CONSTATÉS SUR LA CONCHYLICULTURE ET EXEMPLES D'ADAPTATION

La production de juvéniles est un des points-clefs du développement de l'ostréiculture et de la mytiliculture. Le naissain issu du collectage est une des forces de la conchyliculture régionale. Depuis une vingtaine d'années, cette force est partagée avec la production de naissain en écloserie (pour l'huître uniquement). En ce qui concerne les secteurs de captage traditionnels (Arcachon et pertuis Charentais), l'acidification des océans liée à l'augmentation de la concentration en CO_2 ne parait pas, à ce jour, de nature à perturber notablement la production de naissains.

La maturation des huîtres adultes est dépendante de la température (pour sa vitesse) et de la quantité de phytoplancton (pour son intensité) **[122]**. Cette relation à la température ne s'est pas modifiée au cours du temps dans le bassin de Marennes-Oléron, mais a évolué dans le bassin d'Arcachon **[123]**, les pontes survenant actuellement environ un mois plus tard que par le passé **[124]**. Des modifications de la population phytoplanctonique et/ou la présence de contaminants dans le milieu pourraient expliquer cette situation.

Par contre, la durée de développement et le taux de survie des larves sont toujours influencés positivement par la température de l'eau **[124]**.

Les capacités de production de naissain, issu du captage naturel (moule et huître) ou des écloseries (huître) restent actuellement supérieures aux besoins de la production.

Cependant l'évolution de l'aire de répartition de l'huître vers le nord (qu'elle soit due au changement climatique et/ou au caractère invasif de l'huître japonaise *Crassostrea gigas* depuis 1970), démontre une capacité de certains sites (Vendée, Bretagne sud, rade de Brest) à produire des huîtres matures et conséquemment un captage pouvant concurrencer le naissain de la Nouvelle-Aquitaine **[125]**. Pour d'autres sites, du nord de l'Europe en particulier, ce captage n'est pas considéré comme une opportunité, puisque cette espèce est considérée comme invasive, créant des déséquilibres dans les écosystèmes de certaines baies.

La croissance et la survie des coquillages sont aussi des points importants de l'évolution récente de la conchyliculture. Les ostréiculteurs charentais et arcachonnais ont largement délocalisé leurs élevages vers d'autres secteurs en France ou dans d'autres pays. Plusieurs raisons peuvent être invoquées : la recherche de meilleures croissances tant en qualité de chair qu'en coquille, ou des taux de survie augmentés (par rapport aux sites soumis à l'effet des maladies). Pour autant, la diversification spatiale des entreprises correspond à un ajustement économique aux contraintes du marché (produit désaisonnalisé) et à une stratégie visant à se rendre moins vulnérable dans un système de plus en plus variable (accidents climatiques, maladies, crises dystrophiques, etc.) dont le changement climatique peut être un des éléments forçant.

Les épisodes de mortalités affectant l'économie des entreprises peuvent sembler s'accélérer au vu des mortalités survenues sur les huîtres adultes ou juvéniles (notamment depuis 2008 pour ce stade) et sur les moules (depuis 2014).

Parc à huîtres, Baie d'Arcachon, France.

© E. & S. Cowez

Cependant les mortalités de coquillages ont toujours existé. Elles ont constitué un facteur d'évolution de la profession ostréicole notamment par l'élevage de 3 espèces (*Ostrea edulis*, *Crassostrea angulata*, *Crassostrea gigas*) depuis sa création au milieu du XIXe siècle. Ces changements d'espèces, accompagnés d'évolutions des pratiques (plat, surélevé, filières) et des sites d'élevage (marais, estran, eau profonde) ont constamment soumis les espèces à des contraintes fortes d'adaptation.

La diversité génétique de l'huître creuse en France est importante **[126]** et comparable à celle observée au Japon, dont elle est originaire, mais avec une homogénéité des populations présentes en France. Cette variabilité génétique importante est un réservoir intéressant de résistance face aux différentes agressions que peuvent subir les huîtres. En effet, la survie face à des infections bactériennes ou virales est héritable **[127]**, permettant d'envisager une sélection naturelle ou artificielle, comme celle réalisée par différentes écloseries françaises, d'individus plus résistants. Les effets du changement climatique, mais également les interactions avec d'autres paramètres biotiques, tels que des agents pathogènes, eux-mêmes soumis aux évolutions climatiques, peuvent s'ajouter à ces facteurs d'adaptation et faire évoluer les caractéristiques des huîtres.

BILAN ET ENJEUX POUR LA CONCHYLICULTURE

La conchyliculture de la région Nouvelle-Aquitaine est économiquement très dynamique. Cette situation est aussi portée par une capacité du secteur professionnel à s'adapter constamment dans des environnements physiques et biologiques extrêmement variables aussi bien dans le temps que dans l'espace. Il ne faut pas ignorer malgré tout, les défis que représentent les maladies, recensées ou en émergence, et ceux des effets des changements globaux. Si le dynamisme et la capacité d'adaptation des secteurs professionnels ont été montrés dans la capacité à surmonter plusieurs épisodes de mortalités, une limite peut être atteinte si l'écosystème lui-même évolue de telle manière que sa résilience est menacée. Dans ces écosystèmes littoraux si variables par définition (zones de rencontre entre terre et mer), la recherche peine à identifier des manifestations claires et directes de l'effet du changement climatique au-delà de l'augmentation de la température, ce qui s'explique par le fait que ce paramètre physique est facile à suivre sur le long terme et avec une grande précision. Peu de paramètres relatifs à l'écologie des invertébrés marins font l'objet d'aussi longues séries chronologiques ; seules existent des séries sur les abondances larvaires de certaines espèces d'intérêt aquacole et leur durée est relativement limitée dans le temps. Ce manque est préjudiciable pour démontrer et identifier les mécanismes en jeu. À l'opposé, les effets indirects sont très visibles et, entre autres, la dynamique temporelle et spatiale de la salinité, reflet des apports d'eau douce à la zone littorale, sont perceptibles et impactent directement la conchyliculture. Ainsi la marinisation des estuaires est de nature à changer le statut de ces zones au-delà de la valeur absolue du mélange eau douce eau salée. C'est la variabilité qui est altérée, c'est-à-dire la diversité des conditions de salure des eaux, elle-même porteuse des diversités biologiques, tant pour ce qui est de la richesse spécifique que pour ce qui est des habitats.

Les acquis de la recherche pour lutter ponctuellement sur les questions de mortalités, en particulier les avancées des connaissances en pathologie et en génétique, restent à ancrer plus formellement dans le contexte environnemental de l'écosystème lui-même sous les effets directs et indirects du changement climatique. La prise en compte de la biodiversité dans toutes ses composantes et ses évolutions doit être renforcée afin d'intégrer les adaptations conjointes des usages et de leurs environnements physiques et biologiques. L'extrême dépendance des coquillages et des producteurs aux variations de l'environnement littoral nécessite de suivre très finement les évolutions des éléments physiques, biologiques et sociologiques, et aussi que le secteur professionnel, les gestionnaires des usages et des espaces naturels et les chercheurs y recensent les ruptures potentielles. La conchyliculture a déjà connu des crises brutales qui l'ont décidée à changer d'espèce. Il convient d'étudier si cela est encore possible et sous quelles conditions. De la même manière, les mutations technologiques et économiques ne sont pas sans effet sur les écosystèmes eux-mêmes ; il est nécessaire de les identifier et d'en analyser les risques aussi bien pour l'activité de production et de commercialisation que pour la préservation des équilibres de l'écosystème. Enfin, la commercialisation des coquillages nécessite une garantie sanitaire toujours plus grande. Il convient d'examiner si les adaptations à venir ne sont pas de nature à changer les termes de cette question. La proximité spatiale des sources de pollution et de l'activité conchylicole est-elle de nature à changer ? La délocalisation des élevages est une question qui mérite aussi d'être abordée.

L'ostréiculture de la région Nouvelle-Aquitaine, à Arcachon ou dans les pertuis Charentais, voit conjointement, pour un volume de commercialisation relativement constant, une diminution du nombre d'entreprises et une augmentation de la taille de chacune d'elles. Ceci peut être relié à la recherche de nouveaux marchés à l'export qui nécessite de plus en plus, pour certaines entreprises, et par souci de stabiliser la qualité des produits, une délocalisation des élevages hors de la région d'origine des entreprises. Le lien traditionnel entre le produit, le terroir et l'ostréiculteur semble maintenant être complété par une ostréiculture soucieuse d'une qualité de produits constante (taux de chair en particulier) et propre à conquérir des consommateurs plus éloignés et moins connaisseurs des vertus de la saisonnalité et des variations interannuelles de cette qualité. Devant cette double évolution de la conchyliculture qui s'affranchit ou qui revendique le lien formel avec l'écosystème, les contraintes du changement climatique sont un des termes qu'il convient de mieux définir afin de prévoir sinon d'anticiper l'accompagnement de ces professions dans le cadre de la région Nouvelle-Aquitaine.

3 CONCLUSION

Dans les relations de causes à effets, il est souvent difficile de différencier ce qui est lié à la variabilité naturelle du climat, aux activités anthropiques, aux différentes interactions de ce qui est la conséquence d'un phénomène ponctuel (type événement extrême) ou de tendances lourdes liées au changement climatique.

Des travaux récents montrent une sensibilité de certaines espèces à l'augmentation de la température de l'eau, une présence de plus en plus importante au nord (Manche, mer du Nord) pour l'anchois, ou un décalage vers le nord-ouest du golfe de Gascogne de la zone de reproduction du maquereau commun.

Huîtres dans un marché dans les rues de Bordeaux.

© Alvaro German Vilela

Mais, rapporté à l'échelle des communautés exploitées (et non exploitées), il reste beaucoup à faire en termes de connaissances.

L'adaptabilité des entreprises de pêche et de conchyliculture en réponse aux changements possède une dimension prospective. Elle suppose des choix fortement liés à l'expérience et aux savoirs mais aussi des paris sur un avenir dépendant de l'état de la ressource (y compris de ses habitats) et de son évolution à court et long termes, auxquels il faut rajouter les contraintes institutionnelles et extérieures au système. Les changements globaux incitent davantage à la réflexion les pêcheurs, les conchyliculteurs mais aussi les scientifiques et les gestionnaires, pour pérenniser le système pêche et les élevages marins.

Concernant les « gens de mer », leurs analyses de la situation, leurs contraintes, leurs suggestions en matière de gestion, ainsi que leur perception en matière de capacité d'adaptation passée et à venir sont importantes. Ainsi les conchyliculteurs, en introduisant de nouvelles espèces d'huîtres, en changeant leurs méthodes et sites d'élevage, ont réussi à s'adapter à des conditions défavorables même si le nombre d'ostréiculteurs a diminué dans certaines zones.

Pour les pêcheurs, les marges de manœuvre semblent avoir été plus restreintes et le constat est que les effectifs de la flotte française ont diminué de plus de 50 % depuis les années 1990 (SIH/Synthèse des flottilles de pêches : Flotte mer du Nord-Manche-Atlantique), même si cette diminution est surtout liée à la surpêche et aux plans de sortie de flotte. Pour les scientifiques, l'amélioration des connaissances sur les espèces, les interactions et le fonctionnement des écosystèmes constituent des éléments essentiels pour adapter les outils d'évaluation des ressources halieutiques et d'aide à la gestion aux contraintes présentes et à venir. Pour les gestionnaires, une vision à plus long terme et pluriannuelle devrait être favorisée afin d'éviter les crises ou en diminuer les impacts ; cela passe probablement par des évolutions et adaptations des politiques publiques et de la réglementation qui est aujourd'hui très axée sur la gestion d'une rente (les quotas), qui varie déjà et va continuer à varier, en raison des effets du changement climatique.

Départ pour une journée de pêche.

© Marie-Noëlle de Casamajor Ifremer

Nouvelles forêts et nouvelles attentes ?

Mont Gargan, Limousin, France © Ivonne Wierink

Coordination : **Antoine Kremer**

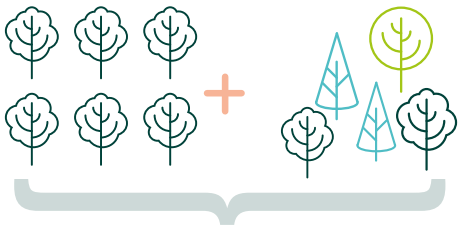
Rédacteurs : **Marta Benito Garzón, Thomas Caignard, Philippe Deuffic, Antoine Kremer, Christophe Orazio, Annabel J. Porté, Cécile Robin, Arnaud Sergent**

Contributeurs : **Alain Bailly, Vincent Banos, Anaïs Barbarin, Fabienne Benest, Frédéric Bernier, Ingrid Bonheme, Gotzon Boudou-Aguirre, Xavier P. Bouteiller, Elodie Brahic, Stéphane Buyle, Rebeca Cordero, Laurent Degrave, Sylvain Delzon, François Didolot, Juan Fernández-Manjarrés, Thibaut Fréjaville, Laurent J. Lamarque, Nastasia R. Merceron, Eric Paillassa, Josette Roudie, Raphaël Ségura**

La présente contribution s'interroge sur ce que seront les forêts de demain en Nouvelle-Aquitaine dans le contexte du changement climatique, et sur les attentes des pouvoirs publics et des propriétaires forestiers : Quelles espèces peupleront nos forêts ? Faut-il s'attendre à de profonds changements dans leur composition ? Comment l'action humaine peut-elle accompagner cette transition de composition ? Elle met l'accent sur les actions anthropiques permettant de maintenir et de renouveler les espèces autochtones, et elle s'interroge sur l'introduction passée et future d'espèces exotiques pour anticiper les exigences adaptatives imposées par le changement climatique. Dans une seconde partie sont traitées les politiques préconisées par l'Union Européenne et la France dans le domaine forêt-bois, pour ce qui concerne leur adaptation au changement climatique et leur rôle dans son atténuation. Enfin, cette seconde partie évoque également les attentes des propriétaires forestières privés face au changement climatique, à la suite d'une enquête réalisée auprès d'eux sur ce sujet.

DIVERSITÉ DES FORÊTS

FORT IMPACT SUR LES FORÊTS



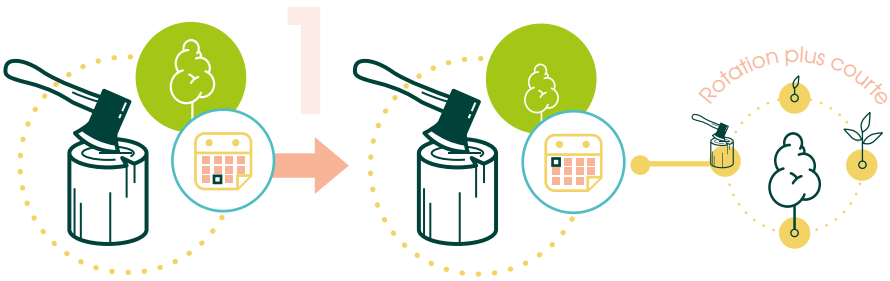
34 % de la surface NOUVELLE AQUITAINE

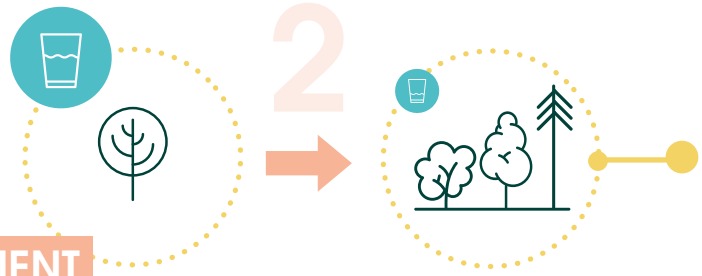
1re RÉGION FORESTIÈRE FRANÇAISE

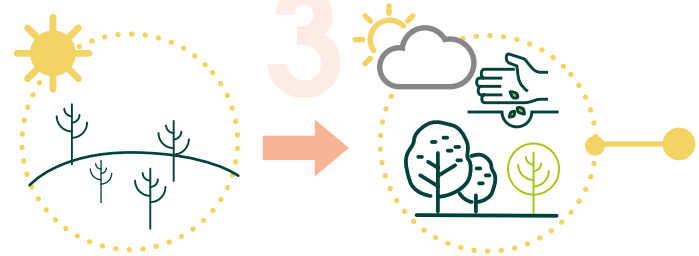
2,8 millions d'ha DE FÔRETS

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

CHOISIR DES ESPÈCES PLUS RÉSISTANTES







GESTION ADAPTATIVE

44 % des propriétaires FORESTIERS ne voient pas le changement climatique comme UN PROBLÈME

41 % des propriétaires FORESTIERS repoussent la mise en oeuvre de solutions À PLUS TARD

13 % des propriétaires FORESTIERS déclarent AGIR

Enquête CNPF 2014, 592 propriétaires forestiers du Limousin et du Sud du Massif Central)

1 INTRODUCTION

Les statistiques relatives à la Nouvelle-Aquitaine indiquent que la forêt y occupe une place prépondérante, non seulement par sa surface mais également par son rôle dans l'économie et l'écologie de la région. Avec 2,8 millions d'ha de forêts, la Nouvelle-Aquitaine est la première région forestière de France (17 % de la forêt française), avec une variation importante du taux de boisement selon les départements, depuis les plus boisés (Landes, Gironde, Dordogne et Corrèze) jusqu'aux départements les plus agricoles (Lot et Garonne, les deux Charentes, les Deux Sèvres et la Vienne). Cette variation de la répartition correspond aussi à la diversité des formations forestières présentes dans la nouvelle région. Il ne s'agit pas d'une forêt, mais de plusieurs forêts :

- Les forêts du plateau landais constituées principalement de pin maritime, mais aussi de chêne pédonculé et de chêne tauzin ;
- Les forêts du bassin de l'Adour et des Pyrénées, qui sont surtout composées d'espèces feuillues (chêne pédonculé, chêne rouge d'Amérique, hêtre, châtaignier, frêne, aulne) ;
- Les forêts des affleurements calcaires de Dordogne, du Lot et Garonne, des Charentes composées d'espèces feuillues (chêne pédonculé, chêne sessile, chêne vert, chêne pubescent) souvent en mélange avec du pin maritime, notamment dans la partie la plus occidentale.
- Les forêts des massifs granitiques du Haut Limousin constituées surtout de résineux (douglas, épicéa, pin sylvestre) mais également d'espèces feuillues (chêne, hêtre, châtaignier)
- Les plantations de peupliers situées dans les plaines alluviales de la Garonne, Charente, Dordogne, Adour, des deux Sèvres.

Globalement les forêts couvrent 34 % de la surface de la Nouvelle-Aquitaine, qui se décompose en 62 % de forêts feuillues (chêne, châtaignier, peuplier, hêtre…) et 38 % de forêts résineuses (pin, épicéa, douglas…). À cette diversité de composition et d'espèces des forêts de la Nouvelle-Aquitaine s'ajoute une diversité de fonctions et de services. D'un côté, il y a les forêts à courte rotation faisant l'objet de culture intensive, orientées vers une production de bois et de biomasse, illustrées par les pinèdes de pin maritime ou les peupleraies. À l'autre extrémité, on distingue des forêts feuillues mixtes, peu gérées, souvent issues de taillis anciens ou plus récents à partir d'accrus spontanés, et pour lesquelles les aménités diverses (chasse, récolte de champignons, ...) constituent les revenus principaux. Ce contraste est appelé à se réduire avec l'évolution de la demande de plus en plus forte en bois énergie et la volonté de valoriser au plan économique les massifs feuillus, notamment du contrefort du massif central et du piémont pyrénéen. Cette évolution traduit l'augmentation actuelle des services de production escomptés des forêts (bois d'œuvre, bois industrie, bois énergie) auxquelles s'ajoutent désormais aussi les services écosystémiques de conservation notamment de la biodiversité, et enfin les services d'atténuation du changement climatique. Les forêts de la Nouvelle-Aquitaine pourront-elles répondre à l'ensemble de ces services et fonctions dans le contexte actuel des modifications environnementales ? Cette préoccupation, sociétale et scientifique, a suscité de nombreuses recherches au cours des deux dernières décennies, qui ont fait l'objet d'une revue de synthèse dans l'ouvrage « Impacts du changement climatique en Aquitaine » **[1]**. Cette revue répondait à une triple interrogation concernant les forêts. D'une part elle faisait le point des connaissances acquises sur les impacts déjà perceptibles, et d'autre part elle évoquait les tendances prévisibles à court terme. Enfin elle décrivait les mesures d'adaptation et d'atténuation qui pouvaient être mises en œuvre.

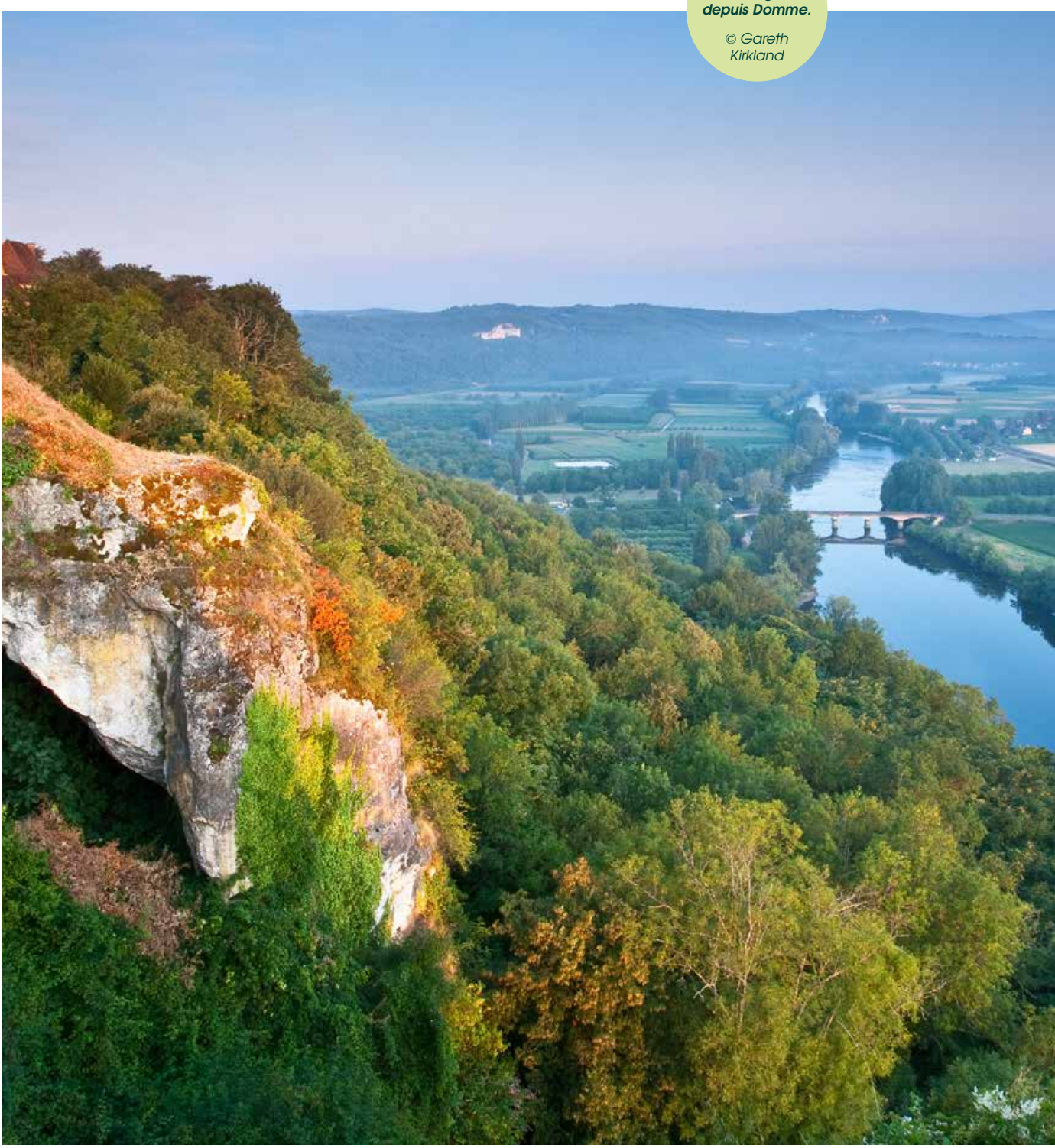
Cette revue factuelle et documentée à partir de résultats expérimentaux était complétée par un second chapitre traitant de la vulnérabilité et des risques auxquels est exposée la forêt.

La présente contribution s'interroge sur ce que seront les forêts de demain en Nouvelle-Aquitaine dans le contexte du changement climatique, et sur les attentes des pouvoirs publics et des propriétaires forestiers : Quelles espèces peupleront nos forêts ? Faut-il s'attendre à de profonds changements dans leur composition ? Comment l'action humaine peut-elle accompagner cette transition de composition ?

Ce chapitre donne moins de place aux résultats expérimentaux relatifs aux impacts déjà visibles, mais il se place délibérément dans une perspective future et à un niveau plus générique. Il peut donc donner plus facilement prise aux interrogations et polémiques : autant de questions et de débats qui méritent d'être ouverts dès aujourd'hui.

Vue de la Dordogne depuis Domme.

© Gareth Kirkland



2 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET COMPOSITION ACTUELLE ET FUTURE DES FORÊTS DE LA NOUVELLE-AQUITAINE

On considère généralement que les espèces peuvent répondre aux changements environnementaux en faisant appel à deux mécanismes : l'adaptation locale ou la migration vers d'autres milieux plus cléments, quand elles ne disparaissent pas par extinction. En une même région donnée, telle que la Nouvelle-Aquitaine, la composition future des forêts résultera donc de la conjonction de ces deux processus, auxquels contribue très largement l'action de l'homme. Ce dernier peut d'une part modifier la sylviculture pour faciliter l'adaptation ou contribuer à la migration par la transplantation d'espèces, voire faire appel à d'autres espèces non autochtones. Adaptation locale et migration ont donc une double origine : naturelle et anthropique. Cette partie aborde de manière très générale les changements prévisibles de composition résultant de l'action conjointe de l'adaptation locale et de la migration, en considérant d'une part les espèces autochtones et d'autre part les espèces introduites. Elle met l'accent sur les actions anthropiques permettant de maintenir et de renouveler les espèces autochtones, et elle s'interroge sur l'introduction passée et future d'espèces exotiques pour anticiper les exigences adaptatives imposées par le changement climatique.

CHANGEMENTS DE DISTRIBUTION DES ESPÈCES AUTOCHTONES

Au niveau national, la Nouvelle-Aquitaine est l'une des régions ou le changement climatique est le plus prononcé, dont témoigne l'augmentation de 1 °C de température enregistré au siècle dernier, selon les observations de Météo France. Les prévisions climatiques prévoient jusqu'à +4 °C d'augmentation des températures moyennes à la fin du siècle, pour les scénarios socio-économiques du GIEC les plus pessimistes (***www.drias-climat.fr***). Ces changements climatiques devraient s'accompagner de changements importants dans la composition des forêts, du fait de leur situation écologique et géographique particulière. À l'interface entre la zone tempérée et la zone méditerranéenne, les forêts de la Nouvelle-Aquitaine sont dominées par des espèces qui se retrouvent en limite de leur aire de répartition, et qui seraient ainsi particulièrement sensibles au changement climatique. La remontée en altitude et en latitude de l'écotone entre zone tempérée et méditerranéenne pourrait s'accompagner d'une remontée des espèces méditerranéennes au détriment des espèces tempérées.

En Nouvelle-Aquitaine les espèces méditerranéennes comme le pin maritime (*Pinus pinaster*), le chêne-liège (*Quercus suber*), le chêne vert (*Quercus ilex*) et le chêne tauzin (*Quercus pyrenaica*) se situent en limite septentrionale de leur aire de répartition, tandis que les espèces tempérées comme le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le chêne sessile (*Quercus petraea*) se situent en limite méridionale. Le degré d'extension des espèces se situant en limite Nord, et le maintien de celles se situant en limite Sud, seront dépendants de leurs réponses aux changements climatiques et de l'adaptation des pratiques de gestion forestière qui ont façonné ces forêts depuis des siècles. Prédire la composition future des forêts et gérer leur diversité de manière à maintenir leur fonctionnement écologique, et ainsi les biens et services rendus, passent par l'étude des changements récents dans la composition en espèces et la simulation de la réponse des populations d'arbres aux changements climatiques.

Au cours des dernières années, nous avons observé que les espèces d'arbres méditerranéens comme le chêne-liège et le chêne vert et subméditerranéens comme le chêne pubescent remontent vers le Nord de la Nouvelle-Aquitaine **[2] [3]**. Actuellement, des modèles temporels permettent d'analyser le changement de composition et de structure de la communauté forestière entre 1993 à 2015 en utilisant l'abondance des espèces arborées et les données de croissance (augmentation de surface terrière par hectare) de l'Inventaire Forestier National. Les résultats utilisant des modèles Huisman-Olff-Fresco **[4]** basés sur l'évaluation des habitats favorables à ces espèces le long d'un gradient climatique en Nouvelle-Aquitaine montrent qu'il y a eu un changement réel dans les gradients de distribution des espèces méditerranéennes avec l'augmentation de la température (**Figure 1**, avant (en bleu) et après (en rouge) 2005).

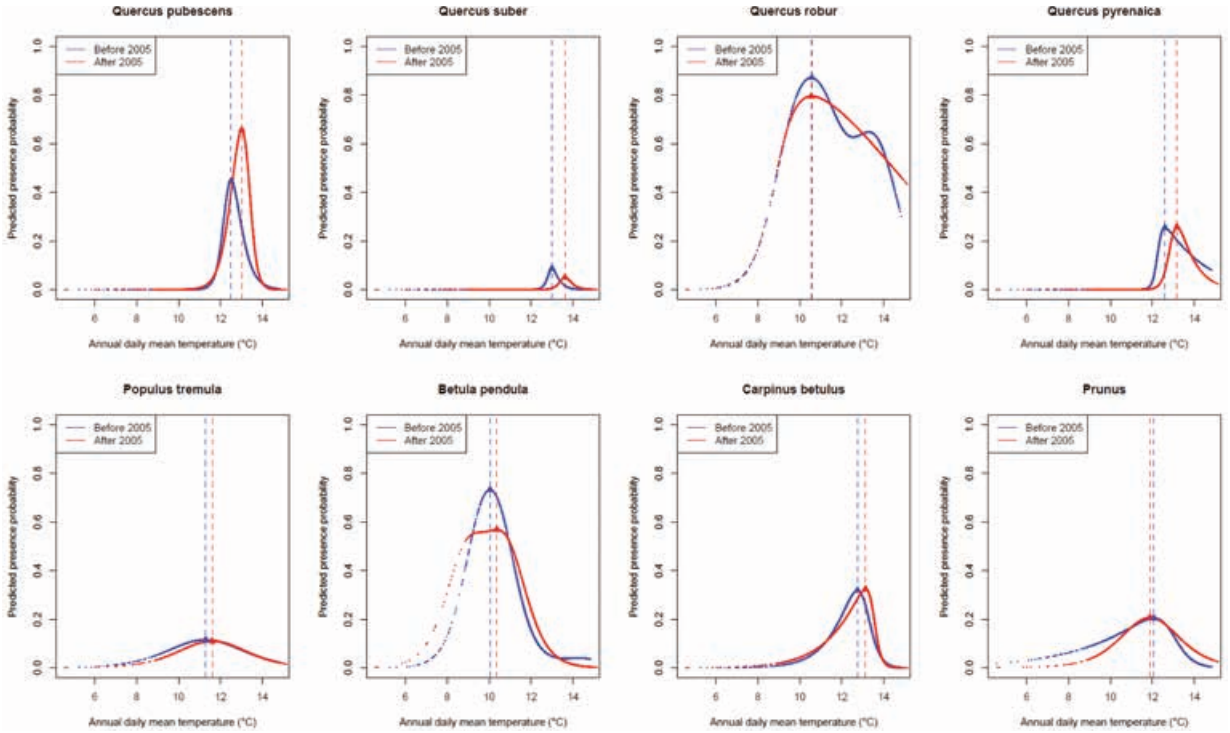


Figure 1 : *Modèles de répartition le long d'un gradient thermique des principales espèces méditerranéennes (*Quercus pubescens, Q. suber, Q. pyrenaica*) et tempérées (*Q. robur, Populus tremula, Betula pendula, Carpinus betulus, Prunus *sp.) de Nouvelle-Aquitaine. Les répartitions ont été évaluées avant et après 2005 (5).*

Ces modèles représentent les distributions actuelles et passées en fonction des températures moyennes annuelles journalières et montrent un décalage de l'optimum de présence vers des températures plus élevées pour l'ensemble des espèces. On observe un décalage plus important pour les espèces méditerranéennes ou subméditerranéennes telles que *Quercus pubescens* (chêne pubescent), *Quercus suber* (chêne-liège) ou *Quercus pyrenaica* (chêne tauzin)

Le décalage observé pour la plupart des espèces dans les modèles est probablement dû au réchauffement général de la région Nouvelle-Aquitaine. Cependant, le décalage plus important pour les espèces méditerranéennes et subméditerranéennes pourrait correspondre à la conjonction de deux phénomènes : d'une part, les zones où ces espèces sont présentes pourraient s'être plus réchauffées que celles où se développent les espèces tempérées, d'où le décalage plus important d'optimum observé ; d'autre part, en réponse au réchauffement, ces espèces peuvent s'être d'avantage développées, préférentiellement dans les zones les plus chaudes, en opposition avec les espèces plus tempérées.

Ces observations confirment que le changement climatique en cours aura des répercussions différentes sur les espèces tempérées et les espèces subméditerranéennes, ce qui occasionnera probablement des changements d'aires de répartition des différents groupes d'espèces. La question cruciale est donc de déterminer si les changements naturels d'aire de répartition seront suffisants pour maintenir les espèces d'intérêt écologique et/ou économique, par rapport à la rapidité du changement climatique attendu.

L'OPTION DE LA MIGRATION ASSISTÉE POUR LE PIN MARITIME

Des résultats récents montrent que de nombreuses espèces d'arbres ne migreront pas assez vite pour suivre la remontée du climat vers le nord, comme en témoigne l'exemple du chêne vert **[2]**. La vitesse de migration de chêne vert ne peut compenser le déplacement de son enveloppe bioclimatique prédite par les modèles de niche. Dans certains cas, une intervention humaine sera donc nécessaire pour les « accompagner » dans leur migration. On parle de « migration assistée » pour ce type d'intervention. Cependant, les opérations de migration assistée peuvent exposer les peuplements qui en résultent à de nouveaux risques. Par exemple les importations de graines de Pin maritime en France suite aux grands incendies survenus en Aquitaine en 1949 et 1950 ont eu des conséquences inattendues (**Figure 2**).

Figure 2 : *Direction de la translocation des graines de pin maritime depuis le Portugal vers la Nouvelle-Aquitaine en 1949 et 1950. L'aire de répartition du pin maritime est illustrée en hachure sur la carte. Reproduit avec la permission de John Wiley & Sons Inc (6).*

Les gels de janvier 1985 ont été à l'origine de mortalités élevées constatées dans les peuplements de pins issus d'origine ibérique, alors que les populations locales étaient beaucoup moins affectées **[6]**. En effet, ces dégâts de gel ont affecté 300-400 km² de forêts des Landes de Gascogne, touchant environ 1,4 millions de mètres cubes de bois. Cette énorme perte économique a eu pour conséquence la mise en place par l'Union européenne d'une interdiction d'utilisation de graines d'origine étrangère (directive 1999/105/CE du Conseil du 22 décembre 1999) pour les boisements de pin maritime. Le rappel de ces événements met en évidence le danger de translocation de populations d'arbres adaptées à des climats plus chauds vers le nord et donc des climats plus froids. Une telle expérience incite à la prudence et souligne la nécessité d'expérimentations et de simulations préalables à une pratique généralisée de migration assistée.

Les simulations permettent d'évaluer les risques des translocations à partir de résultats issus de dispositifs expérimentaux où la même source de graines est plantée et évaluée sous différents climats. Les bases des données issues de ces dispositifs regroupent plusieurs traits choisis pour mieux comprendre les effets de la translocation d'une population sur sa croissance et sa survie. Cependant, toute migration, altitudinale ou latitudinale ne peut que compenser partiellement le changement climatique, car nous sommes en face de conditions climatiques sans analogues dans le passé **[7]**. En conséquence, c'est la recherche et l'acceptation d'un compromis entre une croissance plus modérée et une probabilité de survie plus élevée, qui s'impose. Ainsi, le paradigme de l'optimisation de la production se trouve remplacé par un paradigme de robustesse face aux nouvelles conditions climatiques.

Les inventaires forestiers nationaux permettent d'établir des modèles de volume sur pied et de mortalité pour simuler l'évolution de la répartition des espèces (voir un exemple des différences de volume de bois sur pied et de mortalité par écorégion entre maintenant et 2050 en **Figure 3**). Ces modèles permettent de prévoir les besoins ou non de migration assistée pour une région et pour une espèce cible. La **Figure 3** montre, pour les différentes régions de provenance, la réponse, à un des scénarios du GIEC, du pin maritime en termes de survie et d'évolution de volume. La survie et l'évolution de volume n'étant pas corrélés, les gestionnaires devront nécessairement prendre des décisions en faveur de l'un ou l'autre de ces critères.

Ce type de modèle permet de tester des scénarios de migration assistée en considérant toutes les possibilités : utilisation de graines locales, de graines de provenances externes à la région de plantation ou une combinaison des deux possibilités. Dans les cas du pin maritime qu'on illustre ici, les Landes de Gascogne montrent le maintien d'un volume sur pied supérieur à la moyenne de son aire et une mortalité moyenne, suggérant qu'une migration assistée ne sera pas nécessaire au moins dans le cadre du scénario climatique (A1B) considéré d'ici 2050.

En conclusion, à court terme (2050), ce sont les populations de *Pinus pinaster* de l'intérieur de l'Espagne qui seraient les plus affectées par le changement climatique et pour lesquelles une migration assistée pourrait être pertinente. Par contre, des simulations à plus long terme avec les climats attendus pour 2100 peuvent donner une image totalement différente. Ce résultat souligne aussi le fait qu'il existe des populations pour lesquelles il sera très difficile de trouver une autre population de la même espèce permettant de compenser les effets du changement climatique.

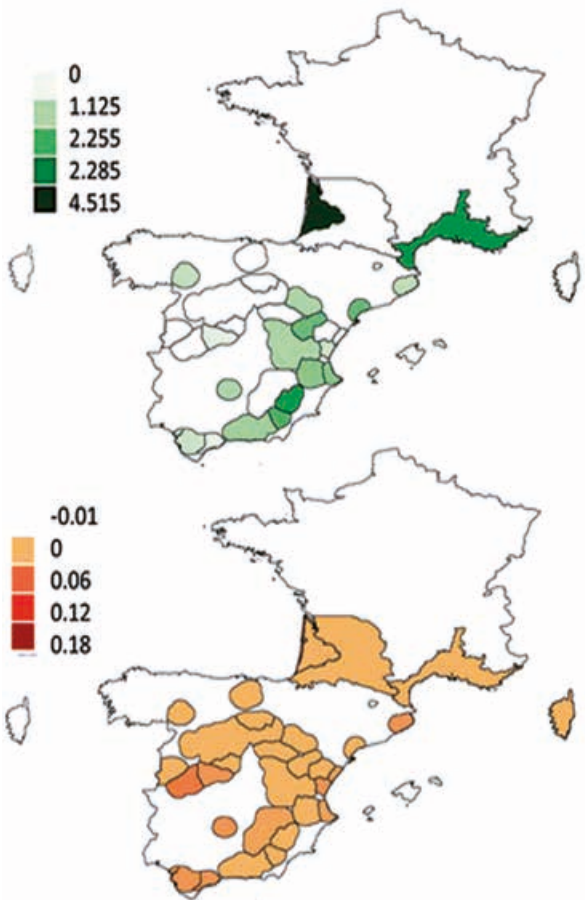


Figure 3 : *Différences projetées de volume de bois sur pied en m³/ha (vert) et de pourcentage de mortalité (orange) pour le pin maritime (*Pinus pinaster*), entre les conditions climatiques actuelles et celles prédites en 2050 par le scénario A1B du GIEC. Les modèles sont basés sur les données des inventaires forestiers nationaux français et espagnols. Les cartes finales de volume et mortalité sont calculées en moyenne par région de provenance. Reproduit avec la permission de Spinger (8). Si l'on juge par le risque de mortalité, ce sont les populations du Plateau Central (indiqué par une flèche rouge) qui sont prioritaires pour recevoir des populations d'ailleurs (migration assistée).*

COMMENT MAINTENIR ET RENOUVELER LES PEUPLEMENTS ?

Comment amender la sylviculture pour accroître l'adaptation des espèces aux changements environnementaux en cours ? La situation est différente selon qu'il s'agit de peuplements loin de leur âge de récolte (à récolter dans 30-80 ans) ou de peuplements en cours de régénération (phase de renouvellement des peuplements). Les mesures évoquées dans ce paragraphe s'adressent aux risques abiotiques générés par les modifications de température et de précipitation, et ne traitent pas des risques biotiques indirectement engendrés par le changement climatique, notamment les événements climatiques extrêmes (voir **ENCADRÉ 1**).

Les peuplements très jeunes, ont besoin d'être protégés des effets défavorables induits par l'augmentation des températures et l'accroissement des périodes de sécheresse. En effet, les températures plus élevées peuvent générer des mortalités plus élevées dans les jeunes régénérations, notamment pour les espèces ombrophiles. Plusieurs études ont montré qu'en favorisant des régénérations sous abri (à l'abri d'arbres plus âgés), et en faisant des trouées de régénération de taille variable, on réduit efficacement les variations de température et d'hygrométrie dans le sous-bois et on limite les risques de mortalité.

Pour les peuplements plus âgés, l'enjeu réside dans l'économie de l'eau et la mise en œuvre de règles sylvicoles qui y sont favorables. On peut mentionner à cet égard la conduite de peuplements en plus faible densité pour réduire la compétition pour l'eau entre arbres. Cette conduite devra être accompagnée de mesures compensatoires telles que l'élagage et la sélection d'arbres sur leur aptitude à résister au climat à venir et non pas seulement sur la qualité des produits. La réduction des densités risque par ailleurs d'aboutir à un développement plus important du sous-bois (qui bénéficie de plus de lumière) pour lequel un entretien régulier devra faire partie des mesures de lutte contre la sécheresse. D'autre part, des travaux du sol visant à mieux maintenir l'eau sont possibles, et peuvent augmenter sa réserve utile. Au-delà de la sylviculture d'amélioration des peuplements (phase des éclaircies), la phase de renouvellement (régénération) mérite une attention particulière dans le contexte du changement climatique. Pour les peuplements régénérés naturellement (qui représentent encore la majorité des forêts en Nouvelle-Aquitaine, notamment toutes les forêts mixtes de chênes, châtaigniers), le pari tient dans l'occurrence régulière de fructification. En effet, le suivi régulier de la reproduction au cours des 14 dernières années chez les chênes, montre une tendance nette à l'augmentation des niveaux de fructification avec l'accroissement des températures (voir **ENCADRÉ 2**). Pour ce qui est du développement des semis naturels, l'adoption des règles évoquées au début de ce paragraphe est recommandée : utilisation de coupe d'abri ou réalisation de trouées de régénération de taille réduite.

En ce qui concerne la régénération artificielle par plantation, le choix de la technique d'installation par les gestionnaires est primordial. En effet, l'environnement hydrique des jeunes plants devra être optimisé, de manière à éviter l'érosion dans les zones les plus torrentielles et de manière à améliorer la conservation de l'eau dans les zones où les périodes de sécheresses seront plus longues.

Des techniques ayant fait leur preuve telle que le paillage et la plantation en godet devront être favorisées, pendant que d'autres solutions plus expérimentales permettant d'améliorer la capacité hydrique des sols autour des plants devront faire l'objet de validation (charbon, boules d'argiles, gel de silicate…). Enfin, pour se prémunir des vents forts (par exemple vent d'est en Aquitaine) et en prévenir les conséquences, les techniques de plantation devront contribuer à un ancrage racinaire équilibré, développé dans toutes les directions. L'efficacité des techniques de préparation de sols, type sous-solage, devra être validée vis-à-vis de la stabilité des plants, en prenant en compte les impacts associés (coûts, effets sur la biodiversité, la teneur en carbone des sols, etc.).

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET INTRODUCTION D'ESPÈCES

Pour certains auteurs le changement climatique pourrait être d'une telle ampleur qu'il conduise à la mise en place de communautés nouvelles, sans analogues **[9] [10]**. Un regard rétrospectif et historique porté sur la nouveauté biologique, même éphémère, apparue en réponse aux changements environnementaux, met en exergue son rôle évolutif pouvant aboutir à une meilleure adaptation des nouvelles communautés aux nouvelles conditions **[11]**. C'est ce raisonnement qui est à la base de la translocation d'espèces ou de populations, un des moyens décrit précédemment pour anticiper les conséquences du changement climatique **[12]**. Cette option est actuellement intensément débattue dans la communauté scientifique. Les partisans à sa mise en œuvre évoquent l'enrichissement de la diversité locale permettant une sélection pour une meilleure adaptation aux conditions générées par le changement climatique **[13]** et la diversité des services écosystémiques associés aux forêts **[14]**. Les adversaires en revanche, mettent en avant l'exposition, dans le contexte du changement climatique à de nouveaux risques beaucoup plus élevés que ceux déjà encourus, tels que le potentiel invasif des espèces introduites **[15]** ou une vulnérabilité accrue à de nouveaux pathogènes ou champignons (voir **ENCADRÉ 1**). Nous évoquerons les deux facettes de ce débat dans le contexte régional de la Nouvelle-Aquitaine. Des travaux sont effectivement en cours visant à identifier des espèces mieux adaptées au climat futur, alors que d'autres recherches visent à limiter l'expansion de certaines espèces exotiques, dont le tempérament est jugé invasif. Dans ce paragraphe nous ferons également un état des lieux des introductions passées, accidentelles ou volontaires.

ENCADRÉ 1 : MORTALITÉS ET DÉPÉRISSEMENTS OBSERVÉS À LA SUITE D'ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES RÉCENTS

DANS LES FORÊTS PLANTÉES DU DOUGLAS

Alors que la sécheresse et la canicule de 2003 n'ont pas provoqué dans une grande partie de la Nouvelle-Aquitaine des dépérissements importants à l'inverse d'autres régions forestières **[16],** les plantations de douglas ont subi des dégâts notables. Les symptômes les plus visibles sont la perte d'aiguilles et le rougissement de nombreux arbres en lisière ou à l'intérieur des peuplements. D'après les études réalisées par le Département de la Santé des Forêts (DSF) sur l'incidence visuelle de la sécheresse-canicule de 2003, le douglas est apparu comme l'essence résineuse pour laquelle les symptômes immédiats après la canicule ont été les plus forts **[17]** (Département de la Santé des Forêts - DSF). Chez cette essence, une diminution de la croissance radiale est induite par les sécheresses **[18]**. Il faut noter également, la possibilité d'infections par un champignon pathogène (*Phaeocryptopus gaeumannii,* agent de la maladie dite « rouille suisse ») qui, lorsqu'elles interviennent en interaction avec des stress abiotiques (suite à des périodes de gel intense en hiver suivies d'un redoux très sensible), peuvent causer des symptômes spectaculaires de pertes d'aiguilles. D'après les observations du DSF, le climat pourrait influencer l'abondance de la rouille suisse qui est liée à l'humidité de l'air au printemps et à la hausse des températures hivernales **[19]**

DANS LES CHÂTAIGNERAIES DE DORDOGNE ET DU LIMOUSIN

En 2016, à la faveur de la sécheresse, les signalements d'encre, causée par *Phytophthora cinnamomi*, sur châtaignier **(Figure 4)** ont redoublé alors qu'ils étaient déjà en progression les années précédentes. Une grande partie occidentale du pays est concernée ; en région Nouvelle-Aquitaine, ces dépérissements sont observés en Dordogne, Charente, Charente-Maritime et en Limousin. Dans le cadre des mesures compensatoires liées à des défrichements, en Dordogne où la situation de l'essence reste très critique, des programmes de substitution d'essences sont réfléchis **[20]**. Même si des facteurs stationnels sont souvent impliqués, l'interaction de l'encre et des sécheresses peut entraîner des mortalités parfois sur plusieurs hectares d'un seul tenant mais aussi des taches de plus petite taille et des individus isolés. Ceci peut s'expliquer par l'effet des infections par Phytophthora sp sur l'écophysiologie de leurs hôtes ligneux. En effet, chez les espèces les plus sensibles à l'encre, comme le châtaignier européen, les infections des racines fines par *Phytophthora* sp entraînent une altération du statut hydrique de l'arbre. Chez les arbres normalement arrosés, une diminution linéaire de la conductance stomatique et de la transpiration avec la proportion de racines nécrosées est observée. Cependant, la conductance hydraulique de l'arbre et le potentiel hydrique foliaire ne sont affectés qu'à partir de 90 % de racines nécrosées. En conditions naturelles, l'alternance des périodes humides qui sont favorables à l'infection à *P. cinnamomi*, et qui donc affaiblissent l'arbre, et des périodes sèches qui aggravent les effets de stress hydriques peuvent conduire au dépérissement

Figure 4 : *Maladie de l'encre sur châtaignier (Photo de Cécile Robin).*

de l'arbre **[21] [22]**. De plus, suite à la perte foliaire provoquée par les infections, des modifications de températures au niveau du sol peuvent résulter en des modifications de la litière et de l'activité microbienne des sols, dont celle des mycorhizes. Ceci peut favoriser l'activité et le développement des Phytophthora pathogènes. Dans des sols uniformément humides ou des sols périodiquement humides infestés par *P. cinnamomi*, la nécrose des grandes racines ou de la région du collet peut parfois se produire, et après ceinturation du tronc conduire à une mort relativement soudaine des arbres.

ARRIVÉE DE LA CHALAROSE DU FRÊNE EN NOUVELLE-AQUITAINE :

Une nouvelle maladie, la chalarose du frêne, affecte de nombreux peuplements en Europe. Causée par un champignon phytopathogène *Hyménoscyphus fraxineus,* elle a été détectée dans le Nord Est de la France en 2008, et l'épidémie s'est rapidement propagée et a atteint en 2014 les Charentes. Les exigences climatiques du champignon pourraient limiter son extension vers le Sud.

ENCADRÉ 2 : VARIATION DU NIVEAU DE FRUCTIFICATION DES CHÊNES EN RÉPONSE À L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES

La fitness ou valeur adaptative caractérise la capacité d'un arbre à survivre et transmettre ses gènes à la génération suivante. Elle peut être appréhendée via l'étude de traits fonctionnels liés à la croissance, à la survie ou à la reproduction. Les traits phénologiques (e.g. débourrement et sénescence foliaire), étroitement liés à la survie et à la croissance des arbres, ont déjà fait l'objet de nombreuses études en réponse au changement climatique **[23]** et, en ce qui concerne l'Aquitaine, dans la synthèse publiée en 2013 **[1]**. L'effort de reproduction, du fait de sa difficulté de mesure, a au contraire été très peu étudié à ce jour. En effet, aucun suivi à long terme de la fructification forestière n'a été analysé dans le but de prédire l'évolution de la reproduction sous l'effet du changement climatique. Le maintien d'une fructification régulière conditionne pourtant le renouvellement de toutes les forêts, qui ne font pas l'objet de plantation, et qui représente les deux tiers de la surface forestière en Nouvelle-Aquitaine (toutes les forêts feuillues mixtes).

Grâce à un jeu de données unique mis à disposition par l'ONF, et un suivi intensif de la reproduction le long de gradients altitudinaux dans les Pyrénées, l'unité de recherche BioGeCo a pu caractériser la réponse de l'effort de reproduction du chêne sessile et pédonculé à la température **[24]**. La fructification de 19 populations de chênes sessiles et de 9 populations de chênes pédonculés a été suivie pendant 14 ans, de 1994 à 2007. Ces populations sont réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain, dont le Sud-Ouest de la France. Au cours des deux dernières décennies, nous avons observé une augmentation significative de la production fruitière moyenne pour ces deux espèces de chênes tempérés. Cette accentuation de l'effort de reproduction des chênes est significativement et positivement corrélée à l'augmentation des températures printanières observée durant la même période **(Figure 5)**. L'effet positif de la température sur le niveau moyen de reproduction du chêne a également été observé le long de gradients altitudinaux dans les Pyrénées. Ce dispositif a permis de mettre en évidence une forte variabilité des glandées et de la masse moyenne des fruits entre les populations, révélant une augmentation significative de l'effort de reproduction avec l'augmentation des températures. Nos résultats suggèrent donc que le changement climatique devrait accroître l'intensité des glandées chez les chênes tempérés européens contrairement à ce qui a été observé en milieu méditerranéen où les étés chauds et secs réduisent drastiquement la production de glands **[25] [26].**

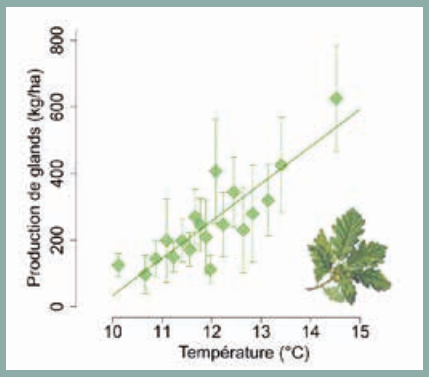


Figure 5 : *Relations entre la production de glands du chêne sessile et la température moyenne d'avril et mai. Les données proviennent d'un suivi des récoltes de 14 ans dans 19 forêts de chêne sessile couvrant le territoire métropolitain (24).*

INTRODUCTIONS PASSÉES ET FUTURES

L'introduction d'arbres en Europe s'est faite avec le développement des échanges commerciaux entre les différents continents. Elle s'est surtout accélérée, notamment avec l'Amérique du Nord, après la révolution française. Le scénario de l'introduction a souvent été le même dans les différents pays, ou pour les différentes espèces. Au début, elle a été l'œuvre de botanistes pour enrichir les collections botaniques de leurs pays. Quand les implantations en parcs botaniques ou en collections privées ont été couronnées de succès, elles ont été suivies d'implantations plus étendues en forêts. Les besoins en graines pour les plantations ont alors motivé des récoltes dans l'aire naturelle des espèces.

Après deux siècles d'implantation en Europe, trois espèces forestières sont aujourd'hui considérées comme acclimatées en Nouvelle-Aquitaine, et jouent un rôle important dans l'économie de la filière bois (douglas, chêne rouge d'Amérique et robinier faux acacia). Elles font d'ailleurs l'objet de programme d'amélioration génétique, témoignant ainsi des besoins en matériel de reproduction pour les plantations, même si les deux dernières espèces (chêne rouge d'Amérique et robinier *pseudoacacia*) font aujourd'hui l'objet de réserves liées à leur caractère potentiellement invasif.

Le douglas (Pseudotsuga menziesii)

Introduit en 1842 en France, le douglas a fait l'objet de plantations forestières dès la fin du XIXe siècle ***www.france-douglas.com/le-douglas***. Les reboisements ont été beaucoup plus intensifs à la suite des moyens incitatifs développés dès la fin de la seconde guerre mondiale par le Fonds Forestier National notamment sur la bordure nord et ouest du Massif central (Limousin, Morvan, Beaujolais). Le douglas est devenu l'espèce principale de reboisement du Massif central et la 5e espèce résineuse en France en surface (404 000 ha selon **[27]**). En Nouvelle-Aquitaine, les plantations de douglas couvrent 80 000 ha, et se trouvent surtout sur les massifs granitiques du Limousin, et de façon plus anecdotique sur le piémont pyrénéen.

Le chêne rouge d'Amérique (Quercus rubra L.)

Les premières introductions en Europe sont datées de 1691 ; des données historiques mentionnent sa présence dans des parcs privés en Limousin dès la moitié du XVIIIe siècle **[28]**. Mais son extension forestière en Nouvelle-Aquitaine remonte au début du XXe siècle, sur tout le piémont pyrénéen (Pays Basque, Béarn, Bigorre) et en Limousin, généralement sur des sols plutôt acides. Ponctuellement, il a fait l'objet également de plantations sur le plateau landais, dans des landes mésophiles. En France – le chêne rouge est surtout présent dans le Nord Est, Bourgogne, Bretagne - les statistiques évaluent la surface occupée par le chêne rouge à 42 000 ha **[27]** dont 3 000 ha en Aquitaine ***www.foret-aquitaine.com/6chap2g.htm***

Le robinier faux acacia (Robinia pseudoacacia L.)

Introduit par l'arboriste d'Henri IV en France en 1601, le robinier fut progressivement planté dans toute l'Europe et particulièrement en Europe de l'Est (Hongrie, Roumanie Ukraine…) **[29]**. Selon l'inventaire forestier national, les surfaces plantées en robinier représentent 191 000 ha en France **[27]** réparties majoritairement en Aquitaine, Bourgogne et Rhône Alpes. En Nouvelle-Aquitaine, les peuplements les plus importants, représentant 36 000 ha, se trouvent entre le plateau landais et le sauternais (où il est planté pour la production de piquets de vigne) et en Chalosse.

Au-delà de ces espèces acclimatées et installées sur de grandes surfaces, d'autres plantations plus ponctuelles ont été faites avec des espèces qui pourraient s'avérer particulièrement prometteuses dans le contexte du changement climatique comme le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica*, en Dordogne, Lot et Garonne, bordure sud et ouest du Massif Central, jusqu'en Poitou-Charentes **[30]** ou les pins noirs (*Pinus nigra*, pin noir d'Autriche ou pin Laricio de Corse, notamment en Dordogne et en Poitou-Charentes) et le pin à l'encens (*Pinus taeda*) dans les Landes. Signalons enfin qu'il y eut aussi des introductions qui se sont avérées être des échecs en Nouvelle-Aquitaine, comme cela a été le cas du cèdre du Japon (*Cryptomeria japonica*), de l'épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*) ou encore du pin de Monterey (*Pinus radiata*).

La question de l'introduction d'espèces exotiques a connu un regain d'intérêt dans le contexte du changement climatique. Une expérience de grande envergure a été installée à l'initiative de l'EFI-ATLANTIC (projet REINFFORCE). Trente-huit espèces, issues principalement d'Amérique du Nord mais également d'Asie ont été implantées dans un réseau de 38 *arboreta* distribués sur tout l'arc atlantique depuis l'Écosse jusqu'au Portugal. Sept *arboreta* se trouvent en Nouvelle-Aquitaine (**Figure 6**). Dans chaque *arboretum* chaque espèce est représentée par au moins 3 provenances issues de parties contrastées de l'aire d'origine, en tout ce sont plus de 150 unités génétiques représentées sur l'ensemble des 38 sites du réseau. Le gradient climatique nord/sud du réseau correspond à une variation de la température moyenne annuelle de plus de 6 °C, de l'ordre du réchauffement associé aux scénarios de changement climatique les plus sévères **[31]**. À une échelle plus réduite et dans le contexte Aquitain, le projet CLIMAQ, soutenu par la région ex-Aquitaine, l'Union Européenne et l'État français, a contribué à mettre en place des essais de même nature, au début des années 2010. Quarante-cinq espèces (résineuses et feuillues) ont été installées dans 6 sites expérimentaux implantés dans 3 massifs forestiers (2 en Dordogne/Garonne, 2 sur le massif Landais et 2 sur le massif Adour/Pyrénées). Ces deux dispositifs (REINFFORCE et CLIMAQ) devraient fournir de précieuses indications sur les capacités d'adaptation d'un grand nombre d'espèces aux nouvelles conditions climatiques.

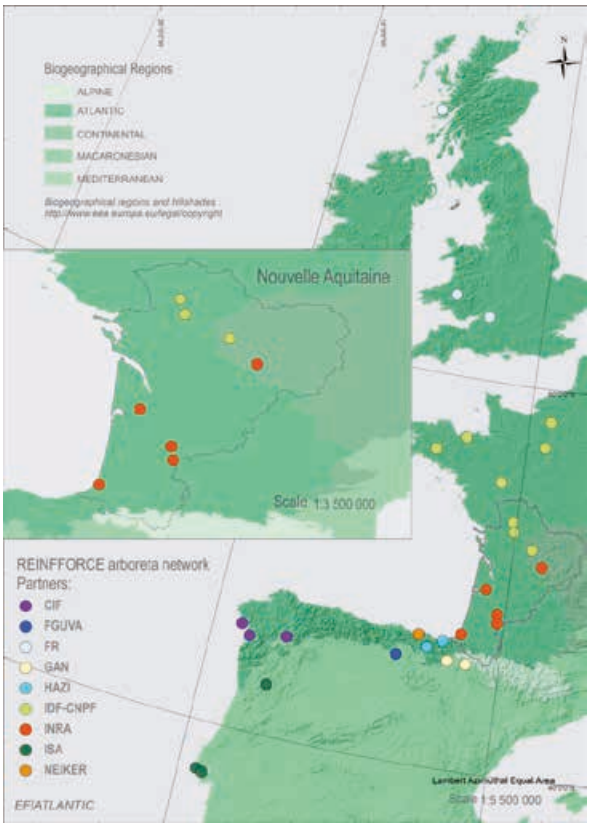


Figure 6 : *Distribution des* arboreta *du réseau REINFFORCE en Europe et en Nouvelle-Aquitaine. Chaque site comprend 38 espèces d'arbres, d'après (31).*

À l'échelle du plateau landais tout particulièrement, l'introduction de nouvelles espèces, alternatives au pin maritime, a toujours été un sujet de préoccupation face aux risques phytosanitaires suscités par la monoculture du pin maritime. Dès les années 1950, Jacques Guinaudeau, premier directeur de la station de recherches forestières de Pierroton, avait installé des *arboreta* comprenant surtout des pins, des eucalyptus et nombre d'autres espèces résineuses et feuillues. Ces essais ont été complétés dans les années 1980 **[32]**. Au total plus d'une cinquantaine d'espèces ont été installées dans ce réseau expérimental. Globalement, ces essais n'ont pas permis d'aboutir à des alternatives crédibles et durables au plan économique, à l'exception de certains pins comme le pin à l'encens (*Pinus taeda*). Au plan écologique, ces résultats mériteraient d'être réanalysés dans le contexte de l'évolution climatique, en envisageant un sacrifice de productivité.

ESPÈCES INTRODUITES ET ESPÈCES INVASIVES EN NOUVELLE-AQUITAINE

Parmi les changements globaux liés aux activités humaines récentes, l'essor des voyages intercontinentaux a permis l'échange et l'introduction volontaire ou involontaire de nombreuses espèces animales et végétales. Alors que la plupart sont bénéfiques ou neutres pour l'Homme et son environnement, environ une espèce introduite sur mille présente une dynamique naturelle de forte expansion dans sa nouvelle aire : on les appelle espèces invasives ou espèces exotiques envahissantes. La migration d'espèces est un processus naturel, notamment dans la reconquête des continents après les cycles de glaciation et déglaciation. Les mouvements migratoires plus récents, facilités depuis 300-400 ans par l'Homme, diffèrent cependant par leur rapidité et leur ampleur et soulèvent des questions de gestion des territoires colonisés, lorsque les espèces nouvelles perturbent le fonctionnement écologique et économique.

En vertu de la Convention de Rio qu'elle a ratifié, la France a le devoir de contrôler et d'éradiquer les espèces menaçant la biodiversité sur son territoire, et donc, notamment, les plantes invasives. En 2015, l'Union Européenne a adopté la première législation sur les espèces exotiques envahissantes (Régulation U.E. 2014) dont la mise en application au sein de chaque territoire nécessite l'élaboration de listes d'espèces considérées comme invasives.

En Europe, la communauté scientifique **[33]** a proposé un plan d'action pour aider la gestion des espèces invasives ; ce collectif propose de (i) quantifier les niveaux d'invasion des espèces dans les territoires afin notamment de fournir un cadre et un argumentaire aux actions des gestionnaires, (ii) de soutenir les recherches et pratiques de contrôle des invasions par l'établissement et la diffusion de méthodologies communes de gestion (iii) afin de fournir une évaluation à base scientifique des risques liés à l'introduction et l'expansion des espèces invasives. Comprendre le comportement et l'invasion de ces espèces est donc devenu aujourd'hui une des priorités de la communauté scientifique.

Les recherches entreprises depuis une dizaine d'années à l'INRA Université de Bordeaux (UMR Biogeco) visent à comprendre les processus écologiques et évolutifs liés au développement de populations d'arbres exotiques envahissants, à caractériser leur dynamique in situ et à proposer des éléments d'aide à leur gestion. Quatre espèces sont principalement étudiées (**Figure 7**) : deux espèces à usage forestier, le chêne rouge (*Quercus rubra*) et le robinier faux acacia appelé localement « Acacia » (*Robinia pseudoacacia*), deux espèces à usage ornemental, l'érable negundo (*Acer negundo*) et l'ailante ou faux-vernis du Japon (*Ailanthus altissima*), également utilisée pour la stabilisation de talus.

La dynamique d'expansion varie selon les espèces, fortement liée à leur capacité à faire des graines pour le chêne rouge et l'érable negundo, mais aussi à leur capacité à drageonner, c'est-à-dire à produire de jeunes tiges à plusieurs dizaines de mètres de distance de l'arbre mère, à partir des racines, pour le robinier et le vaux-vernis. Bien qu'invasives en Europe, les connaissances concernant ces espèces restent cependant encore limitées. Le chêne rouge, envisagé comme essence de reboisement dans les années quatre-vingt-90s est maintenant délaissé par les forestiers : la qualité de son bois est diminuée par la maladie de l'encre et sa régénération agressive empêche celle des chênes blancs (sessile ou pédonculé) dans les piémonts pyrénéens et les forêts du Limousin. Le robinier est une essence déjà largement utilisée dans les bois de Gironde (piquets de vigne) et plébiscitée à l'heure actuelle par les forestiers de Nouvelle-Aquitaine notamment, mais les gestionnaires des milieux naturels souhaitent s'en débarrasser. En effet, sa dynamique forte, ferme des milieux ouverts protégés ou modifie la composition des forêts ; de plus sa capacité à fixer de l'azote modifie les caractéristiques du sol envahi. Un projet de recherche a débuté en 2016 sur l'utilisation du robinier et sa perception par les différents acteurs.

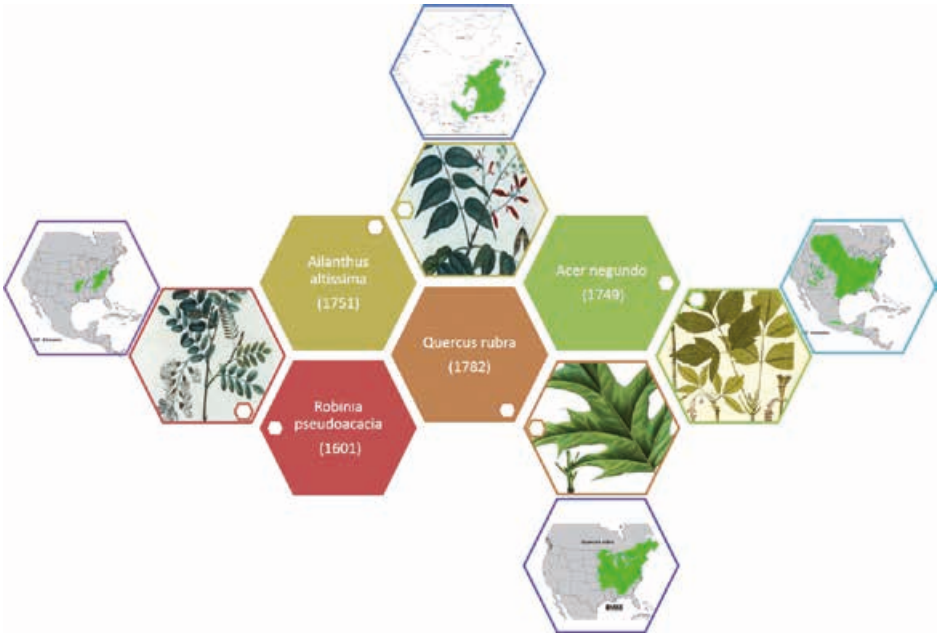


Figure 7 : *Les 4 espèces étudiées, indiquant leur date d'introduction en France et leur aire d'origine (en vert sur la carte). Ailanthus altissima est originaire de Chine et Nord-Vietnam ; Acer negundo, Quercus rubra et Robinia pseudoacacia sont originaires d'Amérique du Nord (USA et/ou Canada).*

Ailante : comprendre sa dynamique d'expansion et tester des méthodes de contrôle

Le rapport « La biodiversité en Poitou-Charentes » établi en 2011 (Poitou-Charentes Nature, sous l'égide de la Région) indique un développement récent des invasions par les deux arbres ailante et robinier : « on assiste depuis peu à une expansion rapide en direction des friches, des jachères et des milieux dunaires, de l'ailante, du robinier faux acacia, du buddleia ». Sur le littoral atlantique (Charente-Maritime, Gironde), et de façon plus large en région Nouvelle-Aquitaine, l'ailante est devenu un problème de premier ordre en milieux naturels (**Figure 8**, prairies ouvertes, habitats dunaires) où son expansion de type exponentielle transforme rapidement la zone envahie en peuplement pur d'ailante, empêchant le développement de toute autre plante. Cette extension s'observe ainsi en milieux boisés (forêts dunaires et ripisylves), mais aussi en milieux urbains et commence à gagner les vignes (Cognac en Charente et Graves en Gironde).

Figure 8 : *Extension de l'ailante dans une prairie à partir d'un bosquet adulte (Ambarès, 33) et en milieu forestier dans un bois de pin et chêne (Île de Ré, 17). Photo : Annabel Porté.*

Les Écogardes de la Communauté de Communes de l'Île de Ré ont lancé un programme de suivi de la dynamique d'extension de l'ailante sur leur territoire, ainsi que des essais de gestion pour contrôler son expansion. L'analyse de ces données montre une augmentation de la surface envahie de 116 % en seulement 2 ans (2010 à 2012), le nombre de points inventoriés (maille carrée de 50x50 m²) passant de 485 à 1 046 (**Figure 9**). Une analyse plus fine prenant en compte la taille des arbres et les nouveaux relevés acquis en 2016 devrait permettre de quantifier les taux d'expansion.

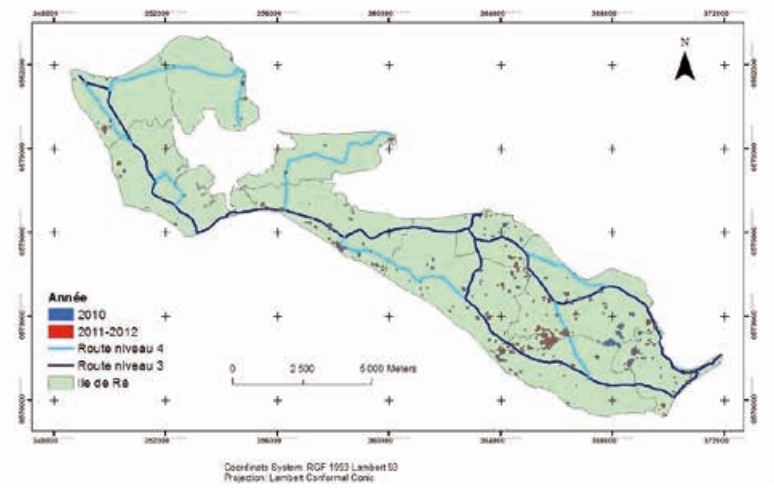


Figure 9 : *Distribution de l'ailante sur l'île de Ré en 2010 (bleu) et 2012 (rouge). La surface totale a plus que doublé en 2 ans (Relevés Écogardes CDC Île de Ré). Source : Xavier P. Bouteiller.*

Les densités les plus fortes s'observent au sud-est de l'île, zone la plus urbanisée ; cela traduit sans doute le fait que l'arbre est planté pour l'ornement, en villes et jardins, avant de s'installer naturellement en milieu naturel et d'autre part, cela peut venir de la plus forte proportion de marais salants au nord de l'île. En effet, il existe 9 principaux types d'occupation des sols sur le territoire de l'île de Ré, et en dehors des marais maritimes, tous présentent de l'ailante (**Figure 10**). Cette multiplicité d'environnements de croissance reflète bien le caractère de l'espèce, capable de se développer aussi bien en milieu fortement que faiblement anthropisé.

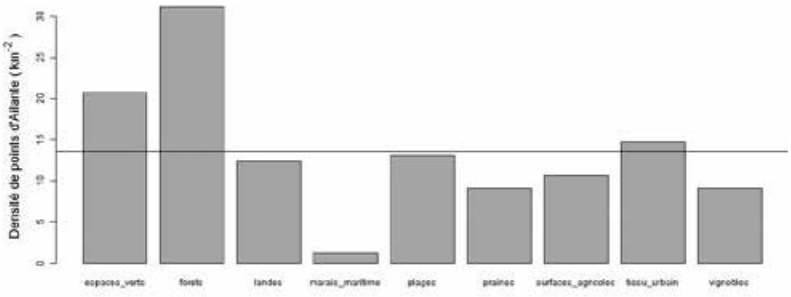


Figure 10 : *Répartition de l'ailante en fonction des types d'occupation des sols de l'île de Ré. La ligne représente la densité moyenne par km² sur toute l'île. Source : Xavier Bouteiller.*

Une analyse spatiale intra-île montre le rôle prépondérant des routes dans la répartition. En effet, 85 % des points sont situés à moins de 50 m d'un axe routier. Cette répartition n'est pas liée au hasard, comme le souligne la comparaison A une distribution aléatoire ($\chi^2 = 648.98$, df = 1, $p < 0.0001$). Cette distribution proche des routes peut résulter d'une part du processus naturel de dispersion des graines, fortement facilité par les courants d'air générés par les voitures, amenant à une colonisation progressive du Sud-Est (zone urbaine à forte densité) au Nord-Ouest de l'île ; et d'autre part des pratiques de dépôts sauvages de déchets de jardins, ou d'apport de matériaux pour l'aménagement et l'entretien des routes.

Compte tenu de sa forte vitesse de dispersion et de sa capacité à s'installer dans tous types d'environnement, la dynamique de l'ailante risque de se poursuivre sur ce territoire, et de façon générale en Nouvelle-Aquitaine. Le défi est actuellement de trouver un mode de gestion adapté, permettant de contrôler l'arbre localement, lorsque sa trop forte densité modifie les fonctions écosystémiques souhaitées. Des essais de gestion sur cette plante sont en cours d'expérimentation sur l'île de Ré et bénéficient d'un suivi attentif de la part des écogardes. Certaines techniques se sont avérées plus efficaces que d'autres (arrachage manuel, étrépage) mais nécessitent une gestion très régulière. De manière générale, la plante se multiplie d'autant plus lorsque la perturbation, y compris les travaux de gestion, est trop forte. Aux États-Unis, où l'arbre est également invasif, un champignon pathogène *Verticillium nonalfafae* a été identifié comme à l'origine de mortalités naturelles et est en cours d'essai en tant qu'organisme de biocontrôle **[34]**. Une mortalité naturelle observée sur plusieurs peuplements de l'Île de Ré, pourrait ainsi ouvrir une piste à tester pour de nouvelles possibilités de gestion sur le territoire français.

Érable negundo : comparer ses performances dans l'aire d'origine et dans l'aire d'utilisation pour proposer des méthodes de gestion.

L'érable negundo a été introduit d'Amérique du Nord (USA, Canada) en Europe aux alentours de 1749. Il est généralement planté comme espèce ornementale en milieu urbanisé (cours, trottoirs, jardins) mais se dissémine dans les forêts de berge de rivière (ripisylves, **Figure 11**), où il s'installe facilement en sous-bois. Des problèmes écologiques et économiques sont posés lorsque son abondance modifie les habitats des oiseaux nicheurs (ex. milan), induit un remplacement d'espèces exploitées (peuplier, saule) ou conduit à des effondrements de berge dans les cours d'eau.

Figure 11 : *Érable negundo planté en ombrage sur un parking de l'Université de Bordeaux (Talence, 33) et à l'état naturel en ripisylve de La Baïse (Baïse, 47). On reconnaît l'érable à son feuillage très clair, d'un vert presque jaune ou blanc. Photo : Annabel Porté.*

Pour comprendre le caractère invasif de cette espèce, nous avons associé des études d'inventaires sur le terrain et d'expérimentations contrôlées en serre, en le comparant à des espèces natives, ou en comparant les populations de l'aire native à celles de l'aire d'invasion. L'inventaire réalisé par point d'échantillonnage aléatoire le long d'une dizaine de cours d'eau en Aquitaine révèle qu'il est présent sur tout type de cours d'eau, sauf l'Estuaire de la Gironde. On observe aussi que son développement en milieu naturel conduit à des peuplements denses, alors qu'au Canada, les mêmes mesures montrent qu'il n'est quasiment jamais dominant, mais représente une fraction modérée de la composition des peuplements (**Figure 12**).

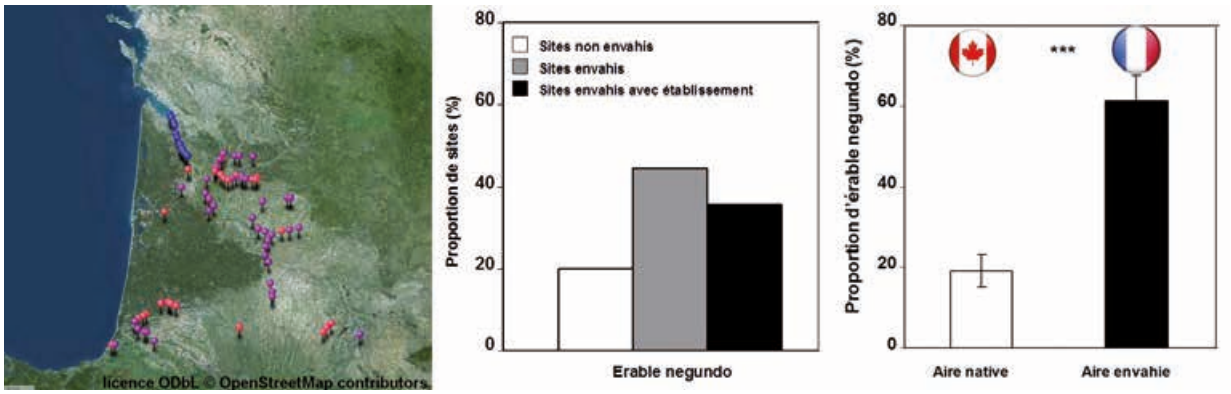


Figure 12 : *Points d'échantillonnage des berges de rivières d'Aquitaine indiquant l'absence (bleu), la présence envahissante (rose) et avec établissement (rouge) de l'érable negundo. L'absence a été constatée sur 20 % des sites uniquement. À partir des inventaires sur les points d'échantillonnage, on montre que l'érable constitue en moyenne 60 % des arbres dans les peuplements envahis alors qu'il ne constitue que 20 % des arbres des peuplements où il se développe au Canada (adapté de Lamarque et al. (35)).*

Ces différences de comportement entre les deux aires sont en partie liées à des différences d'origine génétique, les populations françaises ayant une croissance plus forte que les populations canadiennes, lorsqu'elles sont dans les conditions environnementales françaises (**Figure 13**). À biomasse égale, les érables des populations invasives allouent proportionnellement plus de ressources carbonées au feuillage au détriment des racines (RSR : root shoot ratio plus faible). Leur débourrement est aussi plus précoce, ce qui peut induire une saison de végétation plus longue. Ces deux éléments peuvent expliquer la croissance plus élevée des érables des populations invasives.

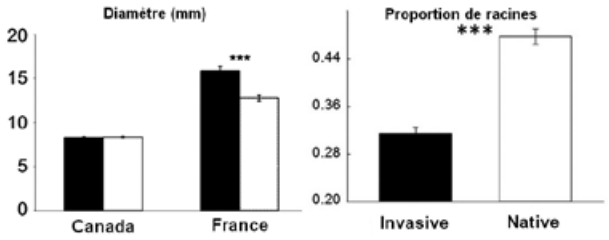


Figure 13 : *Diamètre des arbres mesurés en test comparatif de provenance : dans le premier test installé au Canada, les populations natives (blanc) et invasives (noir) ont eu la même croissance, alors que dans l'aire d'introduction (France), les populations invasives présentent une plus forte croissance en diamètre (adapté de Lamarque et al. (36)). Cette croissance aérienne peut s'expliquer en partie par le fait que les populations invasives allouent très peu de ressource à la partie racinaire contrairement aux populations natives (37).*

Ainsi au sein de l'aire d'introduction, cette espèce est plus performante que les espèces natives (frênes, saule, peuplier) avec lesquelles elle est en compétition dans les milieux humides où elle s'installe. On constate aussi que l'érable negundo est beaucoup plus plastique que ces espèces (frêne : *Fraxinus excelsior, Fraxinus angustifolia ;* peuplier noir : *Populus nigra* et saule : *Salix alba)* : sa très grande plasticité lui permet de profiter d'une mise en lumière pour accroître sa croissance aérienne, notamment en produisant une forte surface foliaire (**Figure 14**).

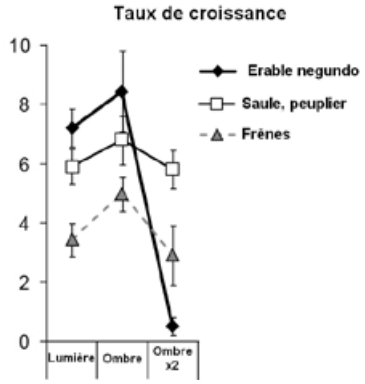


Figure 14 : *Accroissement relatif en hauteur ($mm.mm^{-1}.j^{-1}.10^{-3}$) chez l'espèce invasive érable negundo (noir) comparativement aux espèces natives (gris : frêne ; blanc : saule, peuplier) en fonction du niveau d'éclairement : pleine lumière, ombre, double-ombrage (adapté de Porté et al. (38)). En conditions très ombragées (double ombrage), l'érable pousse très peu en comparaison des espèces natives. Une réduction de l'ombrage ou une mise en pleine lumière modifie peu la croissance des espèces natives, tandis que l'érable accroît fortement sa croissance, jusqu'à dépasser celle des autres espèces.*

Cette stratégie mise en évidence lors d'expérimentations en conditions contrôlées permet de comprendre comment, suite à une ouverture du peuplement d'origine (coupe ou chablis de tempête), l'érable negundo peut gagner la compétition face aux espèces natives et conduire à des peuplements établis dominés par l'érable, voire mono-spécifique. Ainsi des chercheurs de l'INRA **[39]** proposent que les opérations de contrôle local soient mises en œuvre au préalable à une coupe ou après un chablis, pour permettre aux espèces locales de s'installer sans la compétition de l'érable, qui ainsi restera dominé en sous-bois. Une technique de contrôle local a été testée qui consiste à écorcer le tronc sur toute sa périphérie, sur 20 cm de hauteur minimum, permettant ainsi d'épuiser l'arbre en 2-3 ans maximum **[39] [40]**. Cette méthode est cependant à tester prudemment sur d'autres arbres invasifs, car elle peut au contraire déclencher la dynamique d'invasion chez des arbres tels que l'ailante et le robinier en stimulant l'émission de drageons.

La dynamique des espèces exotiques envahissantes est soumise aux mêmes changements climatiques que les espèces natives.

En Nouvelle-Aquitaine, on a observé que ces changements pouvaient conduire à une disparition progressive d'espèces locales, comme par exemple le chêne pédonculé en forêt dunaire, fortement concurrencé par la dynamique du chêne vert, méditerranéen plus adapté aux conditions chaudes et sèches **[41]**. On peut se demander si grâce à leur forte dynamique, ces arbres invasifs pourront aussi remplir ces niches vacantes. À partir de modèles de niches élaborés pour le chêne rouge, le robinier et l'érable negundo, les simulations (**Figure 15**) montrent les changements attendus en 2050 en termes de conditions climatiques favorables à chaque espèce. Selon les projections des changements attendus en Europe occidentale pour 2050 (scénario de changement climatique RCP4.5 de l'IPCC, 2013), en Nouvelle-Aquitaine, les conditions climatiques deviennent très légèrement défavorables au chêne rouge, mais changent peu pour le robinier et l'érable negundo. À moyen terme, la dynamique de ces arbres ne devrait donc pas être modifiée par les changements climatiques. Ces résultats préliminaires seront étoffés dans les années à venir, grâce au développement de modèles incluant des processus écologiques, notamment de croissance et survie, intégrant la variabilité de réponse aux changements climatiques des populations du Nord et du Sud de l'aire de répartition.

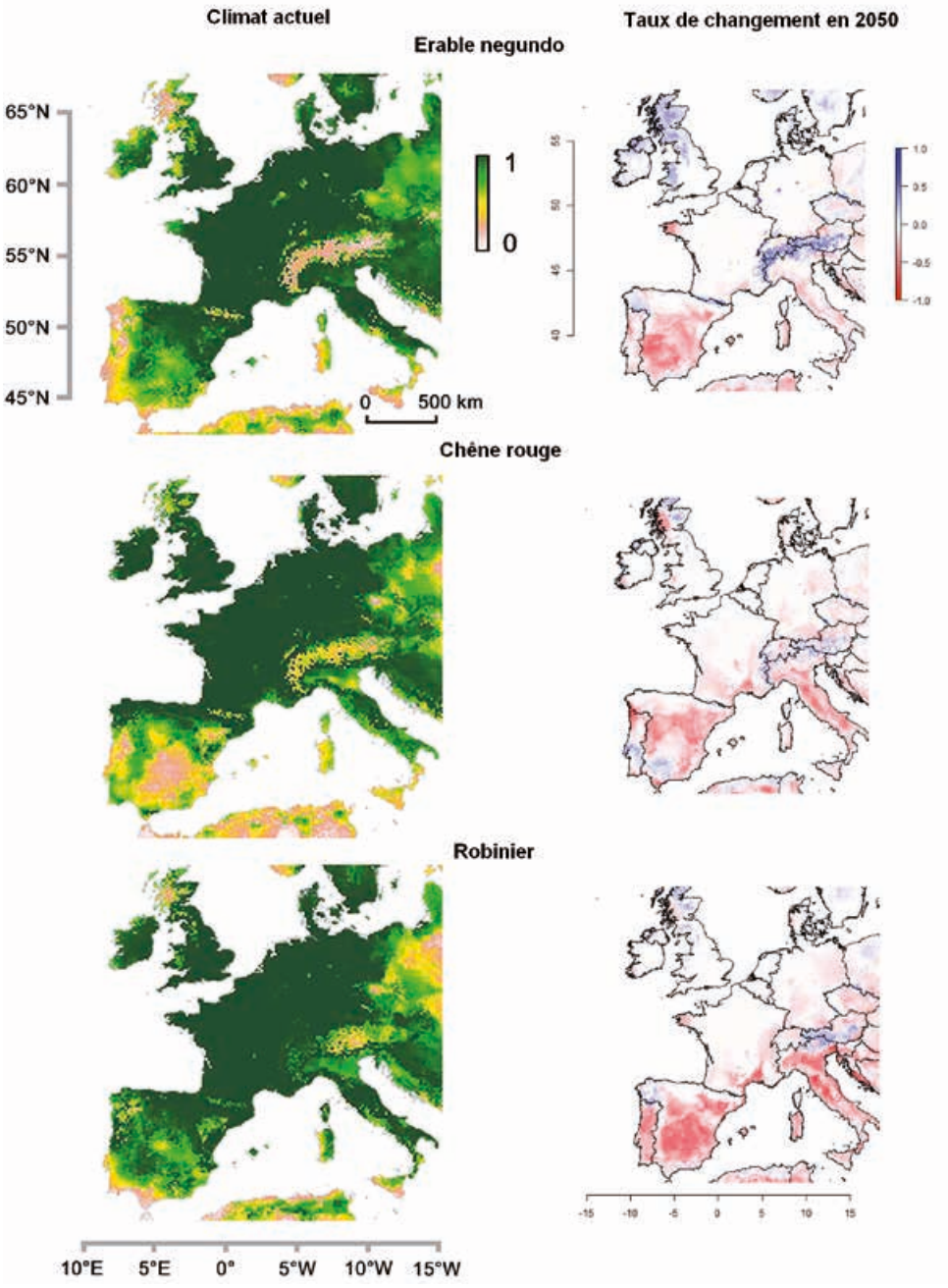


Figure 15 : *Enveloppe bioclimatique actuelle (figures de gauche) et changements d'enveloppe (figures de droite). Les données actuelles montrent que le climat en Europe occidentale est favorable actuellement (2016) à l'érable negundo, au chêne rouge et au robinier. Les modèles de niches montrent l'adéquation entre la présence de l'espèce et les conditions climatiques : un indice de 0 indique un climat totalement défavorable, et un indice de 1 un climat très favorable à l'espèce. Les simulations sous le scénario de changement climatique de l'IPCC pour 2050 (RCP4.5) présentent les taux de variations attendus : un indice négatif indique une dégradation des conditions climatiques pour l'espèce, un indice positif une amélioration de ces conditions. En Nouvelle-Aquitaine, à l'échéance des décisions de gestion de 2050, seul le Chêne rouge présente une détérioration des conditions favorables à sa dynamique. Adapté de Camenen et al. (42).*

3 ACTEURS ET POLITIQUES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN FORÊT

Si l'amélioration des modèles climatiques, écologiques et forestiers permet d'éclairer la prise de décision, d'autres facteurs, politiques, économiques, juridiques et sociaux interviennent aussi. Or tous ces facteurs ne vont pas toujours dans le même sens et ce qui peut apparaître comme une bonne décision sur le plan technique peut s'avérer difficile à mettre en œuvre sur le plan économique ou social, voire en contradiction avec les politiques publiques existantes. Cela nous amène donc à soulever dans un premier temps la question de la gouvernance des politiques publiques climatiques qui interfèrent dans le secteur de la forêt et du bois, de leur mise en cohérence et de leur efficacité. De même les acteurs de terrain éprouvent parfois une confiance très mesurée dans les modèles de transmission des connaissances et d'élaboration de solutions de type « *command and control* », au profit de processus de prises de décision plus participatifs et négociés **[43]**. Cette méfiance, qui n'est pas seulement due à un manque de connaissance, a ainsi alimenté une part de climatoscepticisme, y compris chez les propriétaires forestiers qui possèdent près de 90 % de la surface forestière en Nouvelle-Aquitaine. Nous verrons donc dans un second temps comment les propriétaires forestiers intègrent ou pas la question du changement climatique dans leurs pratiques de gestion forestière.

GOUVERNANCE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DOMAINE FORÊT-BOIS

Les politiques élaborées et mises en œuvre dans le domaine forêt-bois sont aujourd'hui fortement influencées par les enjeux climatiques à tous les échelons de gouvernement.

À l'échelle de l'Union Européenne le volet adaptation est peu développé, il n'apparaît que dans le cadre d'une mesure du programme de soutien au développement rural (FEADER). Le volet atténuation est en revanche fortement présent au sein du « paquet climat-énergie 2020 » où par exemple le bois énergie est censé contribuer à plus de 40 % des objectifs de développement des énergies renouvelables des états membres. En l'occurrence, depuis l'entrée en vigueur de cette politique en 2009, la stratégie de l'U.E. en matière de contribution de la forêt à la réduction des émissions de GES est principalement axée sur la substitution aux ressources fossiles dans le domaine de l'énergie, et non sur le stockage de carbone en forêt ou dans les produits bois **[44]**. La forêt occupe donc un rôle prépondérant en vue de la réduction des GES (40 % par rapport à 1990), à l'instar du secteur des terres, dans le cadre des engagements pour 2030. C'est pourquoi, il va exister à l'avenir un enjeu fort – au niveau des politiques européennes mais surtout des politiques des différents états membres – d'arbitrage entre stratégie de substitution énergie, stratégie de gestion du stock en forêt et stratégie de stockage/substitution à travers le développement des produits bois. En effet, de plus en plus de travaux convergent autour de l'idée que la stratégie de développement intensif du bois énergie n'est pas nécessairement la plus performante du point de vue économique **[45] [46]**, ni du point de vue du bénéfice climatique à long terme **[47]**. Pour beaucoup de scientifiques la bonne stratégie pour la politique forestière en matière d'atténuation comme d'adaptation au changement climatique consisterait donc à envisager des mesures adaptées aux contextes régionaux et locaux, en cohérence avec les grandes orientations pour la biodiversité et la bioéconomie **[48]**.

En France le récent Programme National Forêt Bois se positionne de manière relativement proactive

mais prudente au regard des enjeux d'adaptation. Il propose l'adoption d'une stratégie d'adaptation active concomitante à l'effort d'accroissement de renouvellement forestier associé aux ambitions d'augmentation de la mobilisation de bois. Dans cette perspective il est recommandé de privilégier dans les années qui viennent le recours à la recherche et à l'expérimentation tout en encourageant la mise en œuvre d'une gestion sylvicole adaptative. Cette orientation est donc fortement convergente avec la politique d'atténuation qui prévoit une mise à contribution très importante de la ressource forestière pour l'atteinte des objectifs énergétiques. Ainsi, pour la partie forestière, la stratégie nationale est cohérente vis-à-vis de l'enjeu climatique mais elle est conditionnée à un renforcement notable de l'investissement dans la gestion forestière (et notamment dans la plantation). Pour ce faire, les leviers d'action publique sont multiples (aides directes, actions collectives, fiscalité) mais dans un contexte de crise des finances publiques, il est aussi fait le pari d'un accroissement de l'investissement privé. Afin de stimuler cet investissement l'État met en place des programmes de soutien à l'animation et à l'investissement forestier (Fond stratégique filière bois et crédits du Fond Chaleur) dont la pérennité est incertaine ou en tout cas encore à stabiliser. De nombreux espoirs portent aussi sur la possibilité de fléchage de financements carbone à travers des logiques de redistribution nationale ou encore des dispositifs de compensation volontaires. Enfin il existe une volonté de plus en plus affirmée de promouvoir l'usage des produits biosourcés et tout particulièrement de développer le bois construction à travers la mise en place de labels et la reconnaissance de l'impact carbone des activités.

Dans cette configuration multiniveaux, l'échelon régional tend à s'imposer de plus en plus comme un cadre d'ajustement stratégique et de déclinaison opérationnelle de la politique forestière. En effet, une part importante des dispositions nationales se déclinent en stratégies régionales afin de s'adapter aux spécificités territoriales mais aussi et surtout d'entrer en résonance avec les compétences des collectivités, et tout particulièrement des conseils régionaux. En Nouvelle-Aquitaine la plupart de ces instruments (Plans Régionaux de la Forêt et du Bois, SRADDET, Schéma régional biomasse) sont en cours d'élaboration, ils doivent relever le défi du nouveau périmètre régional. Le PRFB (Programme Régional de la Forêt et du Bois) doit en principe faire office de cadre pour la mise en cohérence entre tous les autres documents régionaux en posant les bases de la stratégie forestière pour les 10 prochaines années. À ce stade trois défis majeurs sont posés aux acteurs régionaux en matière de gouvernance forestière. Le premier consiste à organiser les conditions d'une harmonisation et d'une coordination des dispositifs d'accompagnement à l'investissement forestier. L'enjeu est d'un côté d'articuler les actions nationales, régionales et éventuellement locales, voire privées (financements carbone) et de l'autre de travailler à la cohérence entre les différents dispositifs territoriaux tout en privilégiant l'ajustement aux spécificités forestières locales. Le deuxième concerne la capacité des instances régionales à instaurer un espace de dialogue avec les collectivités locales en matière d'aménagement du territoire, de développement économique et de promotion du bois. La stratégie régionale doit en effet non seulement intégrer les éventuelles stratégies territoriales spécifiques (TEPOS par exemple, devenus récemment TEPCV) mais aussi et surtout les associer au projet forêt-bois afin qu'elles appuient sa mise en œuvre. Enfin le troisième défi réside dans la constitution d'une interprofession régionale forte et organisée. L'enjeu est d'importance dans la mesure où la Nouvelle-Aquitaine abrite de nombreuses organisations syndicales et professionnelles, de l'amont comme de l'aval. Ce dernier défi est un élément essentiel dans un contexte d'incertitude important pour garantir la légitimité et l'efficacité d'une politique qui veut faire de la promotion du développement économique de la filière bois un levier d'atténuation et un moteur de l'adaptation.

LES PROPRIÉTAIRES FORESTIERS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : DU DÉNI À L'ENGAGEMENT

Bien que la question du changement climatique soit inscrite à l'agenda scientifique médiatique et politique depuis trois décennies, les propriétaires forestiers qui possèdent 90 % des forêts de Nouvelle-Aquitaine ont pris conscience de ce sujet tardivement. Cet enjeu s'est en fait souvent confondu avec la question des risques, plus familière aux yeux des propriétaires forestiers **[49]**. Ainsi, lors d'une enquête nationale réalisée en 2011 **[50]**, à la question « quels risques craignez-vous pour vos bois ? » seuls 4,6 % des propriétaires forestiers considéraient le changement climatique comme un risque en soi alors qu'ils identifiaient clairement les tempêtes (42 %) et les incendies (36 %) comme les deux premiers risques majeurs, loin devant les risques sanitaires (17 %). De fait la question du changement climatique semble indissociable de la question plus générale de la perception des risques comme l'ont montré les enquêtes réalisées récemment en Limousin **[51]** et en Aquitaine **[52] [53]**.

UN RISQUE DÉJÀ LÀ OU À VENIR ?

L'enquête réalisée en 2014 **[51]** auprès d'un échantillon de 592 propriétaires forestiers du Limousin et du Sud du Massif Central montre que les propriétaires forestiers sont partagés entre déni, procrastination et engagement (**Figure 16**). Cette diversité d'opinion s'explique en partie par les caractéristiques socio-démographiques et culturelles des propriétaires forestiers néo-aquitains.

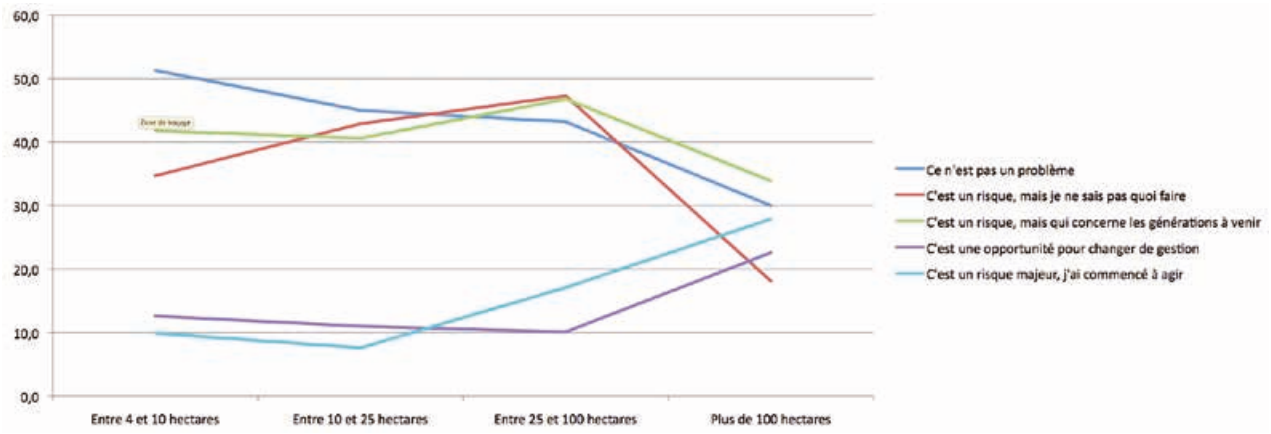


Figure 16 : *Pourcentage de propriétaires par classe de taille d'exploitations, en fonction de la réponse à la question « Comment percevez-vous le changement climatique pour votre forêt ? » par classe de surface (54).*

L'enquête montre ainsi que 44 % des propriétaires forestiers ne considèrent pas le changement climatique comme un problème. Ces propriétaires sont en général plus âgés et possèdent des surfaces plus petites que la moyenne de l'échantillon, profil également observé dans d'autres contextes francophones **[55]**. Cette attitude de déni peut s'expliquer par les controverses scientifiques, relayées par les médias et qui entretiennent le doute auprès des propriétaires forestiers. Ceux-ci ne sont pas forcément « climatosceptiques » mais ils pensent que la forêt pourra s'adapter seule au changement climatique. 41 % des propriétaires forestiers considèrent en revanche le changement climatique comme un problème mais pas dans l'immédiat puisqu'ils reportent ce risque aux générations futures. Ce comportement qui consiste à avoir conscience du problème mais à repousser la mise en œuvre de solutions à plus tard a été également observé lors des opérations de reboisement qui ont suivi la tempête Klaus en Aquitaine. Les propriétaires forestiers landais interprètent ainsi la succession d'événements climatiques extrêmes (tempête Martin de 1999, sécheresse de 2003, tempête Klaus de 2009) comme des signes tangibles du changement climatique. Convaincus que le changement climatique est d'ores et déjà un problème, ils sont en revanche beaucoup plus prudents quant aux solutions à adopter. Ils ont ainsi reboisé à l'identique – c'est-à-dire à 90 % de pin maritime – et 63 % d'entre eux privilégient toujours des itinéraires sylvicoles standards ou à haute qualité **[56]**. Seuls 14 % d'entre eux envisagent de raccourcir les itinéraires à 35 ou 25 ans comme proposé par les institutions forestières locales. Pour expliquer cette réticence à mettre en œuvre dès aujourd'hui le raccourcissement des rotations, les propriétaires forestiers, souvent âgés, préfèrent laisser leur descendant décider des actions à mener le moment venu, c'est-à-dire dans 25 ou 30 ans. Cette tendance à remettre à plus tard des décisions qui pourraient être prises dès maintenant trahit un malaise et une difficulté des propriétaires forestiers à gérer l'incertitude climatique et la multiplicité des risques associés. La combinaison de ces deux facteurs alimente des incertitudes « en cascade » **[57]** qui paralysent à leur tour la prise de décision. Pourtant les propriétaires forestiers sont confrontés depuis toujours à une part d'incertitude, mais celles introduites par le changement climatique sont d'une autre ampleur car elles sont à la fois globales et très difficiles à appréhender au niveau local. Les scientifiques rappellent en effet que les modèles actuels de prédiction des effets du changement climatique à l'échelle locale restent encore largement à améliorer **[1]**. Dans ce cas, la prise de décision devient d'autant plus difficile que les propriétaires forestiers ont été habitués pendant longtemps à faire leur choix en fonction de modèles déterministes et prédictifs qui réduisaient l'incertitude de manière probabiliste. Avec le changement climatique, ils doivent changer radicalement de paradigme en acceptant une part d'incertitude irréductible plus importante. Ils doivent aussi se forger une conviction en composant à la fois avec les dernières avancées de la science et leurs propres expériences pratiques **[43]**.

ADAPTER LA GESTION FORESTIÈRE EST AUSSI UNE QUESTION DE CAPITAL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

Malgré ces incertitudes, 13 % des propriétaires forestiers interrogés dans le Limousin déclarent avoir commencé à agir. Ces propriétaires sont en général plus jeunes et un niveau d'étude plus élevée que la moyenne et ils possèdent également des surfaces de bois plus grandes. De même 22 % des propriétaires forestiers landais sont prêts à changer significativement d'itinéraires prioritaires soit en adoptant les courtes rotations (14 %) ou des peuplements semi-dédiés de pin maritime (3 %) soit en plantant d'autres essences (5 %). Là aussi le profil social de ces propriétaires est particulier car ils appartiennent plus que les autres à des organismes professionnels forestiers (syndicats, coopératives, associations, etc.) ou ont une activité professionnelle en lien avec la filière forêt-bois. Le choix de ces itinéraires est motivé par le changement climatique mais aussi par le coût des travaux, les bénéfices espérés, la réversibilité de ces itinéraires et la minimisation des risques. De fait, ces propriétaires défendent avant tout leur revenu futur qui reste un objectif majeur de leur gestion forestière. On distingue ainsi trois types de stratégies visant à adapter la gestion forestière aux changements climatiques : les uns parient sur des modes de production

plus intensifs et optent pour des cycles de production raccourcis, d'autres favorisent à l'inverse, sur un mode plus extensif, la résilience des peuplements. D'autres enfin opèrent des changements très graduels et au coup par coup. Mais tous les propriétaires ne disposent pas des mêmes moyens financiers, techniques et cognitifs pour mettre en œuvre ces différentes stratégies sylvicoles. Le risque n'est donc pas négligeable que cette diversité d'itinéraires se réduise au fil du temps, les propriétaires optant alors pour une solution unique, plus simple à mettre en œuvre et/ou moins coûteuse, plus rentable au moins à court terme et plus conforme aux discours normatifs en vigueur au sein de la communauté forestière. Ces résultats soulignent aussi les limites des stratégies individuelles et la nécessité de proposer des solutions collectives pour accompagner les changements de pratiques, en s'appuyant sur des politiques incitatives visant à structurer les marchés du bois pour intégrer de nouvelles essences, former et informer les propriétaires forestiers sur les nouveaux itinéraires, adapter les offres d'assurance aux nouveaux risques climatiques, intégrer les services écosystémiques qui apportent de la résilience aux peuplements, faire évoluer les normes et les indicateurs de performance de la gestion forestière, etc.

STRATÉGIE ENVISAGÉE	PRINCIPE GÉNÉRAL	MODALITÉS PRATIQUES
Intensification	Réduire le temps d'exposition aux risques. Raccourcir les rotations	Couper plus tôt Planter des variétés à croissance rapide Limiter la diversité aux espèces plus productives
Extensification	Absorber les effets des perturbations	Favoriser la diversité des espèces et des itinéraires à haute valeur ajoutée Favoriser les essences locales Équilibrer ravageurs/prédateurs de ravageurs
Adaptation progressive	S'adapter progressivement en procédant par essai/erreur	Tester les innovations avant leur généralisation Choisir des itinéraires à coût moyen ou faible Laisser le choix des orientations stratégiques à la génération suivante
Valorisation non ligneuse	Valoriser des aménités moins vulnérables	Abandonner les objectifs de production de bois Valoriser des produits à cycle annuel (champignon, baies, chasse)
Non-anticipation	Voir et laisser venir	Ne pallier les effets du changement climatique que dans la limite de ce qui est réglementaire
Renoncement	Investir hors forêt	Diversifier ses revenus hors forêt

Tableau 1 : *Exemples de stratégies évoquées par les propriétaires forestiers landais (54).*

Adapter la forêt au changement climatique est donc aussi pour les propriétaires forestiers de la Nouvelle-Aquitaine une question de capital et de ressources économique, sociale et culturelle mobilisables. Les facteurs constitutifs de leur capacité à s'adapter ne diffèrent guère de ceux identifiés par Van Gameren et al. **[55]**. Il apparaît ainsi clairement que, plus les propriétaires possèdent de surface, plus il leur est possible d'expérimenter des itinéraires sylvicoles variés et innovants et donc de commencer à adapter leur gestion. De même, le fait de fréquenter et d'être intégré dans des réseaux d'information diversifiés offre une pluralité de point de vue sur les impacts du changement climatique. Cette profusion d'information ne simplifie pas forcément la prise de décision finale mais elle permet de faire des choix plus éclairés. Enfin le cadrage institutionnel – via des aides publiques, un accompagnement soutenu des propriétaires forestiers – permet d'inciter le propriétaire forestier à adapter sa gestion.

Cependant, il n'est pas un dispositif miracle comme montre le plan Chablis lancé après la tempête Klaus en 2009.

Ce dispositif a permis de nettoyer 97 % des 205 000 ha visés par le plan et prévoit d'en reconstituer à terme 90 %. Mais il n'a pas forcément fait évoluer les comportements de manière radicale pour l'instant puisque la très grande majorité des propriétaires forestiers optent pour des itinéraires standards ou légèrement raccourcis et à 95 % à base de pin maritime. Il faut donc d'abord que le propriétaire forestier soit lui-même convaincu que le changement climatique a lieu, ce que la succession d'événements climatiques commence à faire. Mais comme tout changement sociotechnique, celui-ci sera probablement très long.

4 CONCLUSION

Cette contribution met l'accent sur les mécanismes qui conditionnent les réponses des forêts au changement climatique (migration – naturelle, assistée ou provoquée – et adaptation locale) en anticipant les changements de composition des forêts. Ces réponses pondèrent évidemment le rôle que pourraient jouer les forêts dans l'atténuation du changement climatique, dont se préoccupent plus les pouvoirs publics aujourd'hui **[58] [59]**, comme le rappelle le paragraphe sur la gouvernance. Quels que soient les leviers possibles par lesquels les forêts peuvent contribuer à stocker du carbone (stockage dans l'écosystème forestier, stockage dans les produits bois, effets de substitution liés à l'usage du bois) la forêt et plus généralement la filière forêt-bois est appelée à jouer un rôle prépondérant dans une économie plus décarbonée **[59]**. Ces auteurs montrent notamment que l'importance respective de ces leviers dépendra en grande partie de la gestion adaptative mise en œuvre par les forestiers selon un gradient extensification-intensification. Sous un scénario d'extensification, le stockage dans l'écosystème forestier prendra un rôle majeur, alors que sous le scénario intensification les bénéfices porteront plus sur les effets de substitution liés à l'usage du bois.

Les forêts de la Nouvelle-Aquitaine contribuent aujourd'hui aux deux leviers. D'une part les forêts de plantation (pin maritime, douglas, peupliers, soit un tiers de la surface forestière) offrent une ressource et des produits de substitution à d'autres matériaux plus producteurs de carbone. D'autre part les forêts mixtes feuillues (plus des deux tiers de la surface) auraient plutôt vocation à stocker du carbone dans l'écosystème forestier, même si le vieillissement de certaines de ces forêts en limiterait leur puits de carbone. Ces prédictions se basent toutes sur l'état et la composition actuelle des forêts mais ne prennent pas en compte les changements d'espèces que nous avons évoqués en début de chapitre et dont les effets ne seront perceptibles qu'à plus long terme. Les approches les plus récentes **[59]** prennent cependant en compte les événements extrêmes (tempête ou feux) qui pourraient remettre en cause l'un ou l'autre des leviers d'atténuation (voir **ENCADRÉ 1**). Les modèles incluant changement d'espèces, adaptation locale et exposition aux risques d'une part et leviers d'atténuation d'autre part restent à construire. C'est tout l'enjeu des travaux actuels de prendre simultanément en compte les réponses adaptatives, naturelles ou induites par l'homme, dans les modèles et scénarios d'atténuation.

Pins maritimes, forêt des Landes, France.
© Pack-Shot

Quelle agriculture demain en Nouvelle-Aquitaine ?

Agriculture en Limousin, France © Ivonne Wierink

Coordination : **Nathalie Ollat, François Gastal, Sylvain Pellerin**

Rédacteurs : **Romain Barillot, Agnès Calonnec, Philippe Chéry, Béatrice Denoyes, Jean-Louis Durand, Marie-Pierre Elliès, Inaki Garcia de Cortazar, Bénédicte Wenden, Magali Willaume**

Contributeurs : **Jean-Pascal Goutouly, Hervé Jacob Cornelis van Leeuwen**

La région Nouvelle-Aquitaine est l'une des plus grandes régions agricoles en Europe. Elle abrite une agriculture très diversifiée avec de nombreuses productions emblématiques comme le vin et le cognac, le maïs et le blé ou encore les fruits, et un élevage de haute qualité. Le secteur agricole sera d'autant plus affecté par le changement climatique que la hausse des températures pourrait être plus importante dans le quart Sud Ouest de la France. Les ressources de base, à savoir le sol et l'eau, tout comme l'élevage et les cultures sont sensibles aux changements climatiques et sociétaux ; la recrudescence des risques sanitaires en est un contrecoup. En fonction des cultures et des productions animales considérées, les répercussions seront variées, quelquefois positives mais le plus souvent négatives, avec des constantes sur la précocité, le rendement, et la qualité des produits récoltés. Pour chacune de ces productions, il existe des adaptations possibles qui doivent être combinées pour maintenir le potentiel productif et qualitatif, tout en minimisant l'impact environnemental. Les mesures contribuant à la fois à réduire l'émission de gaz à effet de serre par le secteur agricole et à s'adapter aux changements irrémédiables du climat devront être favorisées. L'irrigation devra être questionnée et gérée en adéquation avec l'ensemble des usages de l'eau. Pour répondre aux enjeux auxquels doit faire face l'agriculture en Nouvelle-Aquitaine, il sera important de mobiliser tous les acteurs du monde agricole, des filières et des territoires, et de la recherche.

42 000 km²
QUI COUVRENT 50 %
de la surface de la région

1re PLACE ÉCONOMIQUE
des régions agricoles
nationales et européennes

*de la production nationale

3 MILIEUX TOUCHÉS

LE SOL

MODIFICATION
augmentation intensité pluie

▽ ÉROSION

L'EAU

RÉDUCTION
des pluies

AUGMENTATION
de l'évaporation

▽ DÉFICIT HYDRIQUE ESTIVAL

LE VIVANT

AUGMENTATION
insectes, champignons ... pathogènes, ravageurs ou bénéfiques

▽ IMPRÉDICTIBILITÉ

CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

PHÉNOLOGIE • RENDEMENT • QUALITÉ

VÉGÉTAL
10 jours d'avance par °C sup.

ANIMAL
-25 % de lait à partir de 32-38 °C

PRODUITS
fruits malformés, qualité du vin altérée

3 PRINCIPES SYSTÉMIQUES
pour la gestion des risques climatiques

1 DIVERSITÉ DES VARIÉTÉS ET DES RACES

Économes en eau
Résilientes aux températures élevées
Races plus rustiques, mieux adaptées au climat

2 ADAPTATION DES TECHNIQUES DE CULTURE ET D'ÉLEVAGE

Avancée des dates de semis, adaptation de l'irrigation à la disponibilité en eau... en poursuivant la réduction des pesticides.

3 BATIMENTS ET LOCALISATION DES CULTURES

Bâtiments d'élevage éco-conçus, relocalisation des cultures et des vignobles

En Nouvelle-Aquitaine, les impacts du changement climatique sur la production agricole doivent être considérés au regard de la diversité de ce secteur, en matière de type de productions, de répartition spatiale des climats, des ressources naturelles (eau notamment) et de leur évolution au cours des prochaines décennies, mais aussi en matière socio-économique. Face à des évolutions non nécessairement favorables, l'enjeu est de maintenir la productivité globale à un niveau satisfaisant tout en améliorant le bilan environnemental et en garantissant la compétitivité des entreprises sur les marchés nationaux et internationaux.

La gestion de la ressource en eau va devenir une problématique encore plus centrale qu'aujourd'hui, notamment pour l'avenir des filières agricoles concernées par l'irrigation dans les territoires qui ne disposent que de ressources limitées. Une attention particulière devra être portée sur l'adaptation à ces contraintes. La question de la compétitivité concerne aussi bien le contrôle des coûts de production (coûts de l'adaptation au changement climatique par des innovations techniques et organisationnelles, coût de l'irrigation, etc.) que de l'adéquation de l'offre à la demande des produits agroalimentaires. La viticulture illustre parfaitement cet enjeu où les évolutions concerneront autant les conditions de production que celles des caractéristiques des vins au regard des attentes des consommateurs. Enfin, l'équilibre des écosystèmes requiert un renforcement de la biodiversité y compris au sein de chaque secteur de production, c'est-à-dire en termes d'espèces ou de variétés cultivées et même d'associations comme dans le cadre de l'agroforesterie. La complémentarité agriculture-forêts, forte en Nouvelle-Aquitaine, est un atout majeur qu'il convient de préserver.

LE CONTEXTE DE L'AGRICULTURE DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE

La région Nouvelle-Aquitaine est une des régions françaises et européennes dont l'activité agricole est la plus largement développée. La surface agricole utile (SAU) de Nouvelle-Aquitaine représente 14,6 % de la SAU nationale, soit une surface de 42 000 km^2 qui couvre 50 % de la surface totale de la région (auxquels s'ajoutent 30 % en forêt). Avec une production économique de 11,3 milliards € (hors subvention, données 2015 **[1]**) et une valeur ajoutée brute de 5,2 milliards €, la Nouvelle-Aquitaine occupe la première place économique des régions agricoles nationales et européennes.

On y comptait 76 400 exploitations agricoles en 2013, générant un volume d'emploi de 123 700 Unités de Travail Agricole en 2014. L'activité économique est également fortement orientée sur les industries agroalimentaires et le commerce de gros de fournitures et produits agricoles, qui permettent l'emploi d'environ 49 000 équivalents temps plein supplémentaires et génèrent un chiffre d'affaires de 28,6 milliards d'euros dont 25 % à l'export (données 2014).

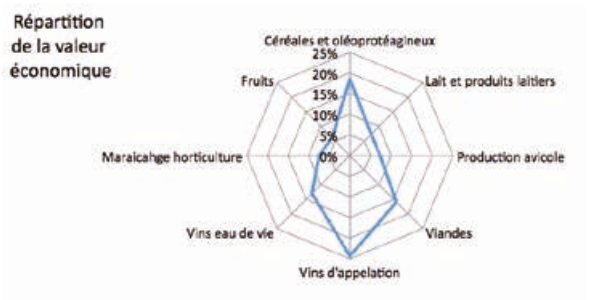


Figure 1 : *Répartition en 2014 de la valeur économique (a) et de l'emploi (b) entre les grandes filières agricoles de la Région Nouvelle-Aquitaine (1).*

L'agriculture de la région recouvre une large part des types de productions agricoles rencontrées sur le territoire national. Les productions agricoles et les emplois concernés sont relativement diversifiés et structurés sur le territoire de Nouvelle-Aquitaine (**Figures 1 et 2, Tableau 1**) en fonction des conditions climatiques (du climat océanique au climat montagnard) et des potentialités agricoles de ses sols (sols de plaine généralement propices à la culture, sols plus ou moins superficiels, hydromorphes ou acides plutôt situés à proximité ou en zone de montagne) :

- La viticulture occupe une place majeure en Gironde (Bordelais) et dans les Charentes (notamment dans le Cognaçais). Avec 29 % de la superficie viticole nationale, la Nouvelle-Aquitaine est la deuxième région viticole française avec 228 000 hectares de vignobles. Un quart de la valorisation de l'agriculture régionale vient de ce secteur avec près de 30 % des emplois. Les vins élaborés sont en majorité secs-rouges ou blancs, mais également liquoreux dans plusieurs vignobles régionaux.

Les vignobles destinés à produire des vins en AOP/IGP représentent 134 000 hectares et placent la région en tête du classement mondial pour ce type de productions. Les vignobles pour la production d'eau-de-vie représentent 75 500 hectares, ce qui en fait la surface viticole réservée à la distillation d'eaux-de-vie la plus vaste du monde.

- Les grandes cultures (près de 20 % de la valorisation régionale et 15 % des emplois) sont plus largement développées en plaine. Les céréales (blé, orge) et les oléagineux (colza, tournesol) sont très présents en Poitou et des Charentes au Lot-et-Garonne. Le maïs grain est cultivé dans ces mêmes zones, mais également et de manière prédominante dans les Landes et les Pyrénées-Atlantiques.

- La production de gros et petits ruminants est plus particulièrement présente dans le nord-est, le nord et l'extrême sud de la région.
  La production bovine allaitante (premier cheptel de France) et à viande est principalement présente dans sa partie limousine (Creuse, Corrèze, Haute-Vienne, Dordogne) mais occupe également une place importante en Deux-Sèvres, Dordogne et Pyrénées-Atlantiques. La production ovine (environ 24 % de la production nationale) est présente principalement en Deux-Sèvres, Vienne, Haute-Vienne et tout particulièrement dans les Pyrénées-Atlantiques où le bassin Ossau-Iraty héberge environ un tiers du cheptel de brebis laitières françaises. Le cheptel laitier caprin (40 % de la production laitière nationale) est presque exclusivement localisé dans le nord de la région. Enfin, la région abrite la première production française de palmipèdes, notamment dans les Landes, et le label rouge « Poulets des Landes ».

- Les principales surfaces en prairies et cultures fourragères pluriannuelles correspondent, en toute logique, aux principales zones d'élevage mentionnées précédemment (nord-est, nord et extrême sud de la région).

La production agricole est plus hétérogène du sud de Bordeaux jusqu'au Pays Basque, reposant notamment sur des exploitations de type polyculture-élevage. Elle inclue des productions emblématiques, comme le canard du sud-ouest et le fromage de brebis pyrénéen.

Certaines autres productions légumières et/ou fruitières plus localisées représentent néanmoins une valeur économique et culturelle importante dans et pour la production nationale. C'est le cas de la pomme de table autour de Brive, de la prune séchée autour d'Agen, des fruits à coque (noix, noisette, châtaigne) en Dordogne et Lot-et-Garonne, de la fraise en Lot-et-Garonne et Dordogne. Le melon est plus spécifiquement cultivé dans la partie nord de la région (Vienne, Deux-Sèvres, Charentes).

Inversement, certaines productions agricoles sont relativement nettement moins présentes dans la région que dans d'autres régions françaises. C'est notamment le cas de la production de lait de vache (plutôt localisée en Deux-Sèvres, Charente, Pyrénées-Atlantiques) et de la production porcine (qui se distingue plutôt au niveau régional par la proportion importante de production sous signe de qualité).

Sur le plan des ressources, l'agriculture consommait en 2014, 37 % de l'ensemble des prélèvements d'eau régionaux, contre 40 % de prélèvement pour l'eau potable et 23 % pour l'industrie et l'énergie. Les prélèvements d'eau par l'agriculture concernent principalement les Landes, le Lot-et-Garonne, la Charente-Maritime et la Vienne. L'eau, prélevée majoritairement à partir de nappes souterraines, est très largement utilisée pour l'irrigation du maïs. Localement et pour des volumes d'eau beaucoup plus limités, l'irrigation peut également concerner une part importante de la SAU en vergers et en légumes (Corrèze, Deux-Sèvres, Landes).

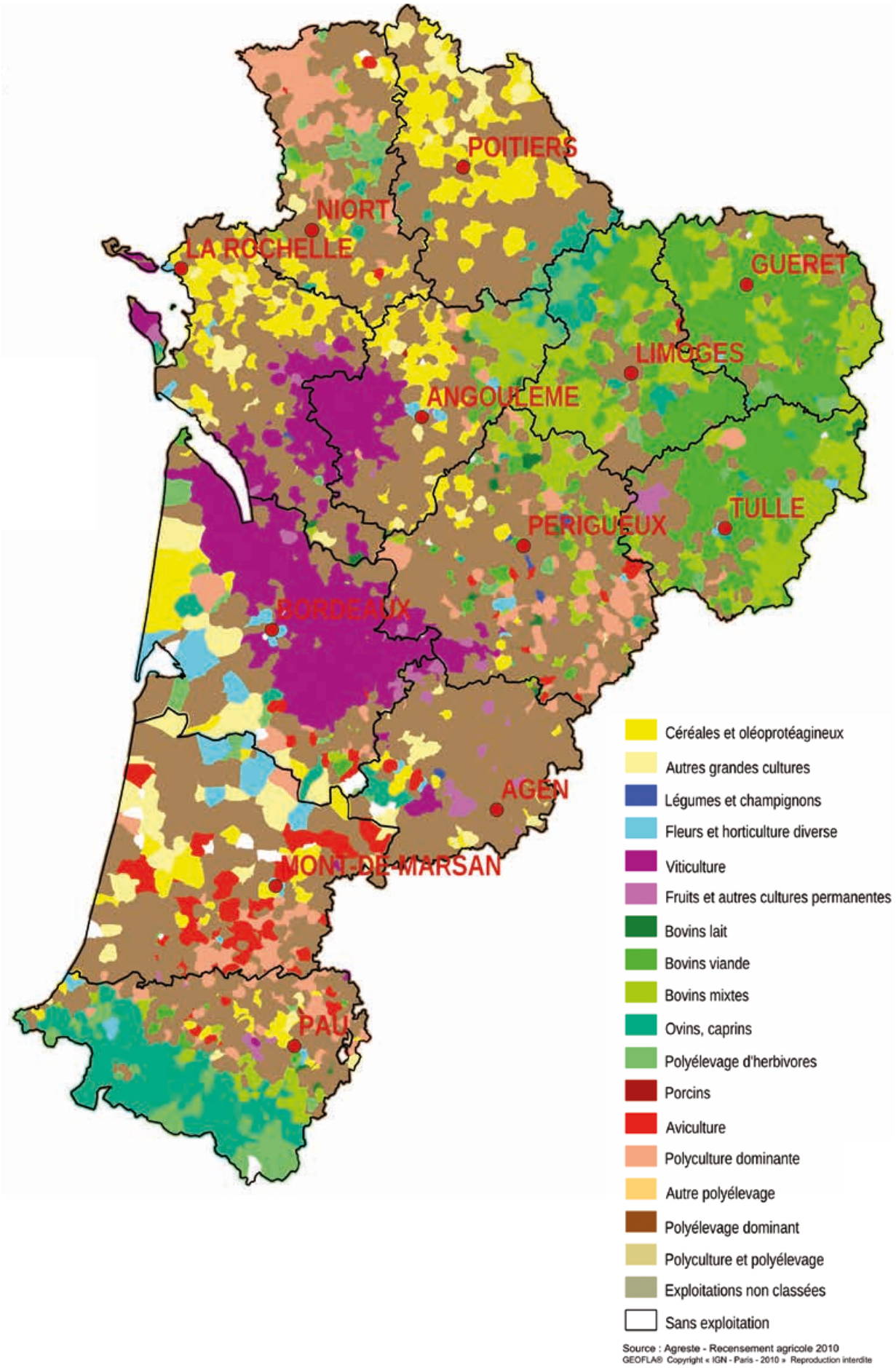


Figure 2 : *Répartition spatiale de l'orientation technico-économique principale des communes de la région Nouvelle-Aquitaine. DRAAF Nouvelle-Aquitaine (1).*

		EX POITOU-CHARENTES				EX-LIMOUSIN				EX-AQUITAINE				NOUV.-AQUITAINE	% PROD. NATIONALE
		DÉPARTEMENTS													
		Vienne	Deux-Sèvre.	CharMarit	Char.	Creuse	Hte Vien.	Corr-èze	Dord.	Giron-de	Lot Gar.	Land-es	Pyr. -Atl		
		86	79	17	16	23	87	19	24	33	47	40	64	TOTAL	Total
PRODUCTIONS VÉGÉTALES (1 000 ha)	Céréales hors maïs	187,5	154,4	156,6	97,9	35,9	34,5	10,8	52,2	11,1	79,1	7,2	11,2	**838,5**	11 %
	Maïs grain	53,6	33,3	64,0	43,0	1,9	5,2	2,6	29,7	32,2	39,4	123,6	85,9	**514,4**	31 %
	Oléagi-neux	86,1	58,4	64,6	50,2	3,0	3,5	0,3	19,2	6,9	54,8	11,7	11,1	**37,0**	16 %
	Protéagi-neux	4,4	5,6	9,0	3,8	0,3	0,4	0,06	1,1	0,4	1,9	0,7	0,7	**28,4**	11 %
	Four-rages annuels	18,0	36,0	8,5	14,3	10,9	18,2	4,0	14,0	2,6	9,2	6,1	2,2	**16,4**	10 %
	Prairies	111,8	167,0	77,0	109,0	271,7	249,5	210,5	217,5	70,1	60,5	31,6	295,0	**1 871,2**	15 %
	Viticul-ture	1,5	0,9	38,8	39,1	0	0	0,2	11,5	113,6	5,8	1,5	2,4	**215,3**	29 %
	Fruits (vergers)	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	**31,8**	
	Maraî-chage	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	**45,9**	
PRODUCTIONS ANIMALES (1 000 têtes)	Vaches laitières	14,2	35,1	17,8	17,3	8,4	13,2	10,1	24,8	6,0	12,2	8,6	33,7	**201,4**	6 %
	Vaches allai-tantes	47,8	104,0	26,1	45,1	177,7	139,0	136,7	80,4	15,2	21,0	16,4	95,3	**904,8**	22 %
	Bovins autres	87,7	229,6	56,7	84,6	259,9	214,7	158,2	133,3	24,4	39,9	29,0	147,0	**1 464,9**	
	Ovins	235,3	225,1	10,0	72,7	85,2	310,7	56,9	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	601,8	**1 709,3**	24 %
	Caprins	98,9	237,6	20,2	38,2	9,6	6,5	4,1	26,9	*nd*	10,2	*nd*	*nd*	**461,9**	37 %
	Porcins	*nd*	175,7	nd	111,1	51,4	29,8	47,5	74,7	*nd*	*nd*	70,7	182,1	**883,1**	7 %
	Volailles	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	*nd*	**38,0**	12 %

Tableau 1 : *Distribution des principales productions végétales (ha) et animales (têtes) sur le territoire de la région Nouvelle-Aquitaine (données 2015). Chiffres soulignés : contribution de plus de 10 % de la production du Département à la production de la Nouvelle-Aquitaine (1).*

LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES MOBILISÉES PAR L'ACTIVITÉ AGRICOLE ET SON ENVIRONNEMENT

LES SOLS

Trois grands types de formations pédologiques sont présents en Nouvelle-Aquitaine : **les sols issus de matériaux d'origine sédimentaire** (sols calcaires, sols légers peu évolués sur alluvions récentes, sols brunifiés ou graveleux sur terrasses anciennes, paléosols rubéfiés, sols sableux noirs des landes et sols sableux des dunes littorales), **les sols issus de formations granitiques ou métamorphiques** et **les sols de montagne**. Cette grande diversité reflète la variété des substrats géologiques et des climats et explique pour partie la grande diversité d'usages signalée précédemment. Deux menaces sur les sols agricoles pourraient être accentuées ou voir leurs conséquences aggravées par le changement climatique : **l'artificialisation** par l'extension des surfaces bâties ou imperméabilisées (routes, parking…) et **l'érosion hydrique**.

À l'échelle de la France, la perte de sols par **artificialisation** représente en surface l'équivalent d'un département français tous les sept ans. Ce phénomène se produit surtout à proximité des grands centres urbains, mais également autour de pôles ruraux qui concentrent des activités d'origine rurale et/ou touristiques. En 2014, une étude sur l'impact de l'artificialisation sur les potentialités agricoles des sols a montré des résultats alarmants **[2]** :

- les sols à vocation agricole sont systématiquement les plus affectés par l'urbanisation. De « bons sols agricoles » à fortes potentialités de production situés à proximité des cours d'eau sont particulièrement menacés car ces terrains sont des zones préférentielles d'extension des pôles urbains **[3]**.

  On assiste en effet à une concurrence forte entre une progression de l'urbanisation à la périphérie des villes et un mitage des terres agricoles qui ne peuvent résister face à la différence de prix entre foncier agricole et foncier à bâtir ;

- les sols des milieux humides sont également fortement touchés. Environ 67 % des zones humides métropolitaines ont disparu depuis le début du xx^{e} siècle dont la moitié en 30 ans sur la période 1960-1990. Même si ces sols de zones humides sont désormais protégés par la législation (loi sur l'eau précisée par décret du 30 janvier 2007 et l'arrêté de juin 2008, modifié en octobre 2009 détaillant les critères de délimitation), l'attractivité du territoire régional pour l'installation de nouveaux habitants et la pression touristique littorale contribuent à cette menace.

Dans un contexte de changement climatique et de restriction de la ressource en eau, notamment en période estivale, la disparition des meilleurs sols agricoles à forte réserve utile[1] altère le potentiel de production des territoires avec un risque de recul de l'agriculture vers des terres moins fertiles, plus « sèches » du fait de l'augmentation des températures et de la modification du régime pluviométrique. Quant aux milieux humides, de par leur capacité à être des zones de stockage d'eau et de régulation des étiages, ils représentent des moyens d'adaptations non négligeables en période de diminution de la ressource en eau et/ou de restrictions estivales. Ces réservoirs hydriques potentiels peuvent s'avérer essentiels pour de nombreuses activités.

1 • Quantité d'eau que le sol peut stocker et restituer aux plantes.

L'érosion hydrique des sols se caractérise par le départ de particules terreuses sous l'action du ruissellement des eaux de pluies ne pouvant s'infiltrer dans le sol (**Figure 3**). Deux processus interviennent : la battance et l'érodibilité **[4]**. La battance traduit la sensibilité des sols à la fermeture de la porosité en surface, avec formation d'une croûte réduisant l'infiltration de l'eau. L'érodibilité reflète la sensibilité d'un sol à l'arrachement et au transport des particules sous l'action de la pluie et du ruissellement. Ces phénomènes sont naturels, mais peuvent être fortement accélérés par les activités humaines. L'artificialisation des sols, certains usages (surpâturage, déforestation…) ou des pratiques mal adaptées (labour dans le sens de la pente, sol nu en hiver, cultures peu couvrantes, etc.) peuvent être responsables de pertes en sols plus ou moins importantes selon la sensibilité des terrains affectés.

En région Nouvelle-Aquitaine, l'érosion se manifeste principalement dans les départements méridionaux (Gironde, Lot et Garonne, Dordogne, Sud des Landes et Pyrénées Atlantiques) et notamment sur les sols limoneux issus des terrasses anciennes des principaux fleuves (Garonne, Dordogne et Adour) (**Figure 4**). Ces sols limoneux sur pentes sont particulièrement vulnérables à l'érosion hydrique, surtout lorsqu'ils ne sont pas couverts par des cultures d'hiver les protégeant de l'impact des pluies hivernales.

Bien qu'ils soient caractérisés par une grande incertitude, les scénarios d'évolution du climat régional prévoient une modification du régime pluviométrique avec une augmentation des pluies hivernales et une fréquence accrue des événements extrêmes (fortes pluies). Dans ce contexte les sols limoneux du sud de la région, sensibles à l'érosion, risquent de subir une ablation accélérée. L'aléa érosif pourrait aussi s'accroître dans des départements jusqu'ici épargnés. Cette érosion hydrique sera d'autant plus forte que l'artificialisation des sols sera non maîtrisée (imperméabilisation des surfaces) et les pratiques agricoles inadaptées. L'entretien du taux de matière organique des sols, la présence d'un couvert végétal en permanence, en particulier en hiver, le maintien des prairies et d'infrastructures écologiques (haies, bandes enherbées) sont les principales mesures permettant de limiter le risque d'érosion.

Enfin, une des fonctions essentielles des sols agricoles est de procurer aux plantes cultivées un environnement physico-chimique et biologique favorable à leur croissance et de contribuer à la fourniture des éléments minéraux qui leur sont indispensables tels que l'azote (N) et le phosphore (P). Les matières organiques du sol jouent à cet égard un rôle essentiel. Les processus de transformation de cette matière organique (immobilisation, stabilisation, minéralisation) dépendent fortement de la température et de la teneur en eau du sol. Le changement climatique attendu est donc susceptible d'affecter le fonctionnement des cycles bio géochimiques du carbone, de l'azote et du phosphore et par là de modifier la **fertilité des sols**. L'effet du changement climatique sur le compartiment des matières organiques du sol est développé dans le chapitre sur la qualité des milieux.

Figure 3 : *Manifestation d'érosion hydrique en sols limoneux battants (photo : P. Chéry, INRA).*

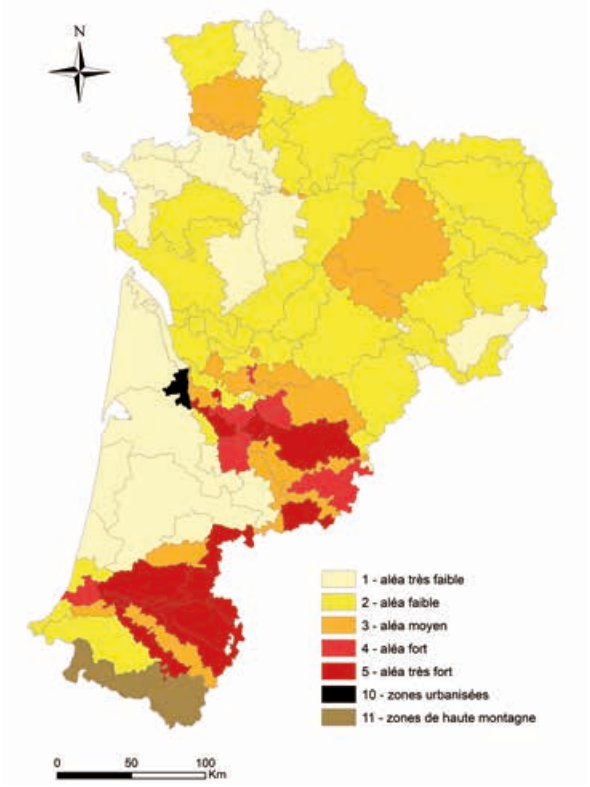


Figure 4 : *L'aléa érosion hydrique des sols par petites régions agricoles en Nouvelle-Aquitaine (sources : GIS Sol-INRA-SOeS, 2011).*

L'EAU

Le climat de la Nouvelle-Aquitaine est majoritairement de type océanique, avec une pluviométrie variable (de 600 mm par an au Nord des Deux-Sèvres à 1 400 mm par an dans le Pays Basque), maximale en hiver et minimale en été. Hormis en zone de montagne, les automnes et hivers sont doux et pluvieux et les étés sont souvent chauds et secs. L'évapotranspiration potentielle des couverts végétaux est forte en été, à un moment où la pluviométrie est faible, d'où un bilan hydrique déficitaire limitant la production végétale estivale en l'absence d'irrigation. C'est notamment le cas pour la production d'herbe.

En moyenne, une exploitation agricole sur quatre est équipée pour irriguer ses cultures. En 2010, environ 506 000 ha étaient équipés d'installations d'irrigation (soit 18 % de la SAU) principalement dans les Landes, en Gironde, dans le Lot et Garonne et en Charente-Maritime. Le maïs (grain, semences, ensilage) est, de loin, la principale culture irriguée. Les autres cultures irriguées sont les légumes cultivés pour l'industrie, les vergers et dans une moindre mesure les céréales d'hiver comme le blé **[5]**.

Dans la zone de sable des Landes de Gascogne, l'eau d'irrigation est massivement prélevée dans l'aquifère. Près d'une exploitation sur deux et plus de la moitié de la SAU disposent d'équipement d'irrigation, essentiellement pour le maïs, mais aussi pour les cultures légumières de plein champ (carottes, haricots verts…). Sur le reste de la région, les prélèvements se partagent entre les pompages en rivières (ou dans leur nappe d'accompagnement) - souvent correctement réalimentées au sud de la région, mais bien plus difficilement réalimentées au nord, et les pompages en lacs collinaires (Lot-et-Garonne, Deux Sèvres).

Le changement climatique va accroître le déficit des bilans hydrique et hydrologique, car l'augmentation de la température va augmenter la demande évapo-transpiratoire des cultures en été, alors que dans le même temps la pluviométrie estivale sera réduite et deviendra plus variable **[6]**. Cet effet sera atténué par la hausse de la concentration en CO_2 qui induira une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et par l'anticipation des stades de développement due à la hausse des températures qui devrait favoriser « l'esquive » de la sécheresse de fin de cycle (à variétés équivalentes). Mais globalement la demande évapo-transpiratoire des cultures augmentera, alors que dans le même temps la pluviométrie estivale sera réduite **[6]**. Les périodes de sécheresse édaphiques de plus de 3 mois seront plus fréquentes **[7]**. Les cultures irriguées nécessiteront plus d'eau d'irrigation et les cultures pluviales verront leur confort hydrique dégradé **[6]**. Le bilan hydrologique sera également impacté car l'augmentation de l'évaporation (toutes occupations de sol confondues) induira une baisse du drainage vers les nappes. Des baisses des débits naturels de toutes les grandes rivières du sud-ouest sont attendues, même hors prélèvement. Les étiages seront plus précoces, plus sévères et plus longs, accroissant les tensions pour l'usage de l'eau agricole **[8]**.

Les efforts pour économiser l'eau d'irrigation devront être poursuivis : lutte contre les fuites, modernisation des matériels d'épandage de l'eau, conseils à l'irrigation (méthodes de calcul de doses), logiciels de pilotage avec télétransmission de données à partir de sondes et formation des agriculteurs à leur utilisation. Pour une culture donnée, le choix variétal est un levier possible pour économiser l'eau et/ou atténuer l'effet de déficits hydriques accrus. Il permet de jouer sur la durée du cycle ou sur la tolérance à des sécheresses modérées. Les itinéraires techniques peuvent aussi contribuer à la modulation de la demande en eau (date de semis plus précoce, densité de semis moindre, rationnement de la fertilisation…) **[9]**. Mais la maîtrise de l'usage de l'eau agricole dépend surtout du choix des cultures et des assolements. En contexte de disponibilité limitée on peut envisager de substituer les cultures actuellement pratiquées par des cultures moins consommatrices en eau et/ou plus tolérantes à la sécheresse (par exemple remplacement du maïs par du sorgho), d'introduire des espèces nécessitant une irrigation au printemps plutôt qu'en été, et de mettre en place des systèmes agroforestiers permettant de valoriser l'eau stockée en profondeur. À l'inverse, si la politique de gestion de l'eau permettait une augmentation de la ressource disponible pour l'irrigation (*via* le développement des retenues collinaires ou des systèmes de réalimentations des nappes), de nouvelles pratiques pourraient émerger : cultures en dérobé pour valoriser l'allongement de la saison de croissance ; irrigation de cultures actuellement pluviales, pour augmenter la production.

Au final, les adaptations à prévoir au niveau des systèmes de culture (cultures pluviales ou irriguées, choix des cultures, etc.) dépendront beaucoup des possibilités futures d'irrigation et donc des arbitrages rendus entre les différents usages de l'eau, dans un contexte de disponibilité réduite et de compétition accrue entre usages. Ces arbitrages impacteront les filières végétales mais aussi les filières animales associées **[10]**.

L'ENVIRONNEMENT BIOTIQUE

La production végétale mobilise des ressources physiques et chimiques (lumière, CO_2, eau, éléments minéraux) mais dépend aussi d'un ensemble d'interactions biotiques avec des organismes vivants dans l'environnement des plantes (on parle de biodiversité associée). Ces organismes peuvent avoir un effet positif, neutre ou négatif sur la plante cultivée, directement ou indirectement *via* un effet sur son environnement (ex des vers de terre qui modifient la structure du sol).

Le changement climatique va très probablement modifier la biodiversité associée aux écosystèmes agricoles mais la nature, l'ampleur et les conséquences de ces modifications sont à ce jour encore largement méconnues.

Du fait des enjeux pour la production agricole et alimentaire, l'effort de recherche le plus important porte sur les bioagresseurs (champignons pathogènes, insectes ravageurs, plantes adventices…).

Chaque composante du cycle d'un champignon (infection, croissance du mycélium, sporulation, dispersion) ou du développement d'un ravageur, est potentiellement directement influencée par les facteurs climatiques ou microclimatiques ou indirectement par des modifications de croissance et de physiologie de la plante. Toute pratique agricole en réponse ou pas à un changement de climat peut avoir pour conséquence une modification des états du milieu. L'ensemble des interactions pathogènes/plante/microclimat est complexe avec des effets contradictoires en fonction des agents pathogènes, de leur dépendance à l'eau pour l'infection, de leur mode de dispersion ou de leur forme de parasitisme **[11]**. Le positionnement de ces modifications par rapport au déroulement des cycles des agents pathogènes (phase de conservation, de multiplication, de reproduction sexuée…) ou de leur comportement alimentaire est également capital et rajoute encore de la complexité. La littérature scientifique s'accorde à dire qu'une des conséquences principales du changement climatique et de la globalisation (changement de pratiques, transport, modification des lois sur les pesticides…) sera une **augmentation du niveau d'imprédictibilité des interactions, spatiales et temporelles, entre les cultures et leur environnement [12] [13]**. Face à cet environnement changeant il est très difficile, voire impossible, de prévoir quels seront parmi les ravageurs des cultures (au sens général agents pathogènes, insectes, adventices) ceux qui s'adapteront le mieux.

Nous avons assisté ces dernières années à une succession d'invasions en Europe : l'aleurode du tabac, la mineuse de la tomate, le moucheron ou frelon asiatiques, le cynips de la châtaigne et plus récemment la punaise diabolique, extrêmement polyphage (fruits, vigne, plantes maraîchères, maïs…) **[14]** (**Figure 5**). Ces invasions sont rendues possibles de par les dynamiques exponentielles de ces bioagresseurs et leur introduction en absence d'antagonistes. Les élévations de températures ont également permis l'augmentation d'agressivité de populations de champignons ou bactéries indigènes, qui se sont trouvées mieux adaptées aux nouvelles conditions. C'est le cas pour le phoma du Colza, la fusariose sur céréale et la pourriture molle sur pomme de terre. L'ensemble des maladies fongiques dues à des oïdiums devrait également être favorisé, même s'ils sont très sensibles aux UVB. Il est maintenant certain que l'on assistera à une accélération du taux d'entrée d'exotiques et à leur établissement en Europe, mais également à une accélération de l'évolution de ceux existants, vers plus d'agressivité et plus de cycles pour les insectes réalisant plusieurs générations par an et dans des régions où ils étaient peu présents. Lorsque l'on dispose de réseaux et d'outils de surveillance adaptés, la démonstration peut être spectaculaire. On a ainsi pu démontrer qu'il n'avait fallu que 3 ans à une nouvelle race de rouille jaune du blé, moins dépendante de l'humectation, pour se répandre sur 3 continents **[15]**. En Aquitaine, on peut craindre de futurs ravages sur maïs par la punaise diabolique, sur kiwi avec la bactériose *Pseudomonas syringae* et l'on surveille de près *Xyllela fastidosa,* responsable de la maladie de pierce, dont la gamme d'hôte est relativement large, avec des conséquences qui pourraient être catastrophiques pour la vigne. En favorisant les hétérogénéités de stades de développement des plantes (allongement de la durée de floraison), les hivers plus humides et doux seront plus favorables aux moisissures (monilia sur fleurs d'arbres fruitiers), au développement des larves et aux champignons en forte interaction avec leur hôte. À l'opposé ces conditions pourraient avoir un impact positif en dégradant certaines formes de conservation des parasites dans les écorces et les sols.

Face à ces incertitudes, la recherche, les services d'appuis, les porteurs d'enjeux, les acteurs eux-mêmes doivent se préparer aux scénarios les plus défavorables et s'organiser ensemble pour **surveiller** d'une part, et **favoriser la mise en place de systèmes résilients** d'autre part. À l'échelle européenne, l'Organisation Européenne de Protection des Plantes établit des réglementations sur les pathogènes et plantes émergents ***www.eppo.org***. À l'échelle nationale, 17 plans de surveillance sur blé, tournesol, pomme de terre, carotte, vigne, arbres fruitiers et forestiers, ont été mis en place par la DGAL (direction générale de l'alimentation) afin d'agir au plus vite lorsqu'une espèce invasive prioritaire est détectée. Parmi les changements globaux, la réduction des pesticides instaurée par les différents plans nationaux et européens, risque également de faire émerger ou réémerger des maladies disparues, auxquelles les acteurs devront être sensibilisés. On voit ainsi réapparaître le *black rot* et l'anthracnose sur vigne. Les acteurs devront se munir et s'approprier les outils nomades indispensables au diagnostic rapide des différentes affections de leurs cultures.

La protection agroécologique des cultures (PAEC) réside dans une meilleure gestion des risques et de la résilience des cultures face aux risques pathogènes et climatiques. Cette stratégie comprend l'augmentation de la diversité variétale, notamment des types de résistance aux maladies **[16]**, la diversité d'espèces, mais également la recherche de systèmes culturaux adaptés aux conditions locales (au sol, à la topographie, au microclimat) et plus robustes face aux conditions climatiques fluctuantes et aux nouveaux bioagresseurs **[17]** (**figure 6**). Différents leviers majeurs de cette stratégie sont mobilisables en réponse ou en anticipation au changement climatique, pour modifier la sensibilité de la culture (gestion des habitats), pour favoriser des micro-organismes antagonistes d'agents pathogènes (lutte biologique), ou pour mettre en œuvre des actions prophylactiques.

ENCADRÉ 1 : LE MÉTA PROGRAMME SMACH DE L'INRA

L'INRA et son Méta programme SMaCH (gestion durable de la santé des cultures) ont fait de la prévision du risque un de ses enjeux prioritaires (***www.smach.inra.fr/Enjeux/prevenir-risques***). Il soutient et suscite des projets de recherche qui travaillent à la mise en place d'outils pour une surveillance en direct du territoire (***www.smach.inra.fr/Toutes-les-actualites/Geek***), à l'accompagnement dans la gestion de maladies de quarantaines comme la flavescence dorée qui sévit en Aquitaine sur vigne (***www.smach.inra.fr/Toutes-les-actualites/Fladorisk***) ou encore au développement de méthodes d'analyses de risques, au développement de la lutte biologique et à la recherche d'antagonistes pour réguler les espèces invasives.

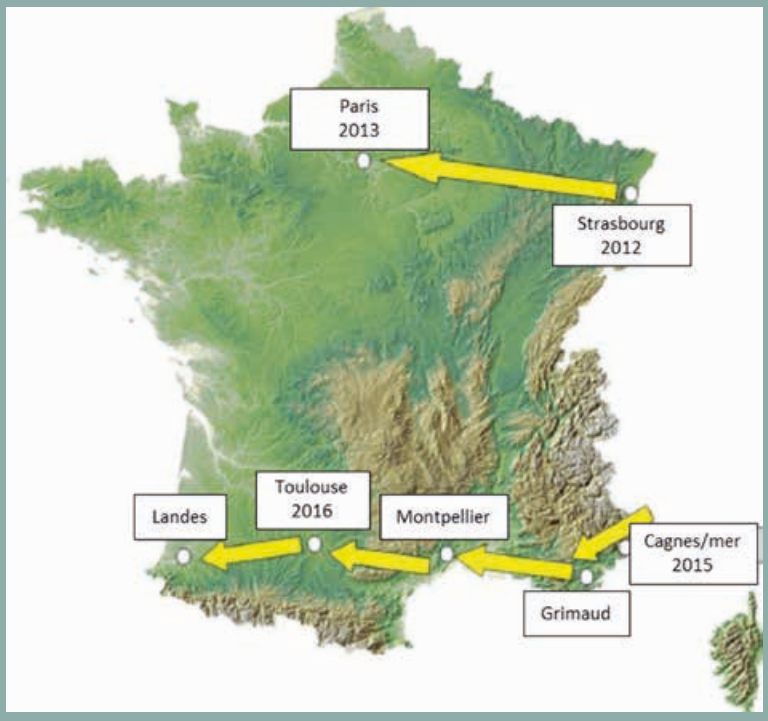


Figure 5 : *Carte d'invasion de la punaise diabolique (Halyomorpha halys) en France (16).*

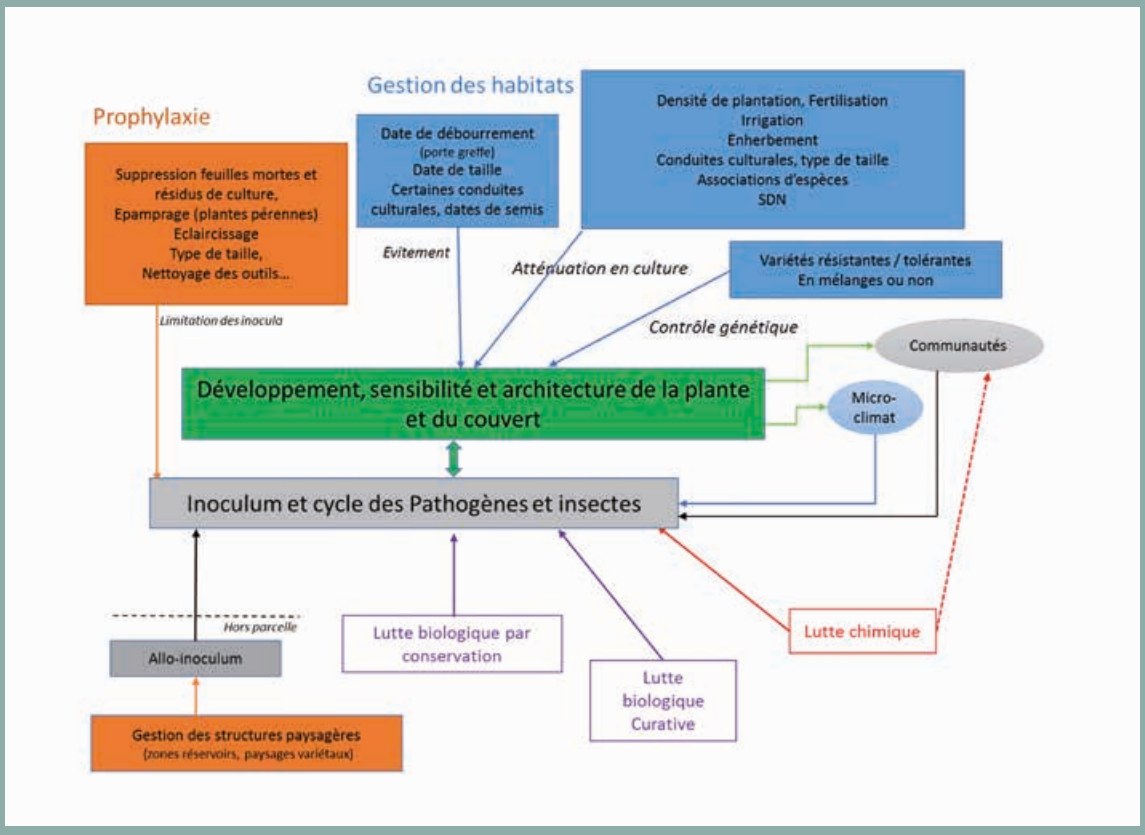


Figure 6 : *Articulation des différentes méthodes mobilisables dans le cadre de la Protection Agroécologique des Cultures (PAEC) contre les bioagresseurs.*
En gris : les bioagresseurs.
En vert : caractérisation du peuplement cultivé.
En orange : prophylaxie (premier pilier de la PAEC).
En violet : lutte biologique (deuxième pilier de la PAEC).
En bleu : gestion des habitats (troisième pilier de la PAEC).

3 LES IMPACTS SUR LES FONCTIONS DE PRODUCTION ET LES STRATÉGIES D'ADAPTATION PAR FILIÈRE

LES PRINCIPALES FONCTIONS BIOLOGIQUES AFFECTÉES PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

CHEZ LES PLANTES

Sous l'effet du changement climatique, le fonctionnement et la production des végétaux appartenant aux systèmes naturels et agricoles risquent d'être significativement affectés, notamment par les modifications de la teneur en CO_2 atmosphérique, de la température et de la pluviométrie.

Les cycles phénologiques des plantes, c'est-à-dire le déroulement de processus périodiques tels que la germination, l'apparition des feuilles ou encore la floraison, sont extrêmement dépendants du climat et notamment de la température qui est le moteur du développement des plantes. L'augmentation observée et attendue des températures va accroître la disponibilité thermique conduisant à un avancement et à une réduction des cycles phénologiques **[18]**. Cela a pour conséquence de modifier les dates de semis et de récolte des cultures ainsi que les zones de production géographiques des différentes espèces/variétés. Le réchauffement climatique peut ainsi offrir l'occasion de cultiver de nouvelles espèces ou variétés dans des zones considérées jusqu'ici comme trop froides. L'avancée du cycle peut avoir des effets favorables sur le rendement de certaines cultures car elle place la culture à l'abri des risques de sécheresse estivale. Par contre le raccourcissement du cycle de culture entraîne une diminution de la période pendant laquelle les plantes absorbent le rayonnement nécessaire à la photosynthèse et à la production de biomasse, ce qui peut avoir un effet négatif sur le rendement des cultures. Par ailleurs, les processus physiologiques de levée de dormance, qui font que les graines acquièrent la capacité à germer et les bourgeons à débourrer, sont dépendants de certaines températures hautes ou basses à un moment donné du cycle. Ainsi la germination des graines et le débourrement des bourgeons pourraient être retardés par les modifications de température. La fixation du CO_2 atmosphérique par la photosynthèse et la production de biomasse associée dépendent du rayonnement absorbé par le feuillage, de l'azote foliaire mais aussi de la température, du taux de CO_2 et de la disponibilité en eau.

A court et moyen termes, le réchauffement attendu en Europe est modéré **[19]**, favorisant la photosynthèse des végétaux et donc la production de biomasse. En revanche, une augmentation plus sévère des températures à plus long terme conduirait à dépasser les températures optimales de la photosynthèse, réduisant alors la production de biomasse. L'impact du réchauffement climatique dépendra des espèces considérées, chacune présentant des optimaux de température de photosynthèse différents et de leur capacité à modifier cette température optimale en fonction de leurs conditions de croissance **[20] [21]**.

L'augmentation de la teneur atmosphérique en CO_2 aura pour conséquence une augmentation de l'activité photosynthétique (tous facteurs climatiques égaux par ailleurs). Cette « fertilisation » des plantes par le CO_2 est en particulier observée chez les plantes dont le seuil de saturation au CO_2 n'est d'ores et déjà pas atteint, c'est le cas des plantes dites en C3 (blé, betterave, pomme de terre, vigne) au contraire de celles dites en C4 (maïs, sorgho) selon la nature du substrat qui sert à la fixation d'un atome de carbone supplémentaire lors de la photosynthèse (déjà composé de 3 ou de 4 atomes de carbone)

La production de biomasse est très dépendante de la disponibilité en eau qui conditionne l'ensemble des

processus métaboliques indispensables au fonctionnement des plantes. L'eau représente généralement le premier facteur limitant la croissance d'une plante et le rendement des cultures, et un manque d'eau peut conduire à la mort de la plante. La disponibilité en eau pour les plantes dépend de la pluviométrie, de l'évapotranspiration du système sol-plante et des caractéristiques du sol. Ainsi des périodes de sécheresse qui dégraderaient significativement le statut hydrique des plantes, auraient des effets marqués sur la formation des feuilles qui fixent le CO_2 (et de racines qui absorbent l'eau et les éléments minéraux).

De fortes périodes de sécheresse conjuguées à des températures élevées pourront fortement pénaliser le rendement de certaines cultures implantées dans le sud de la France (blé, maïs). L'élévation de la concentration en CO_2 conduira à améliorer l'efficience de l'utilisation de l'eau des plantes (eau consommée par kg de biomasse produite) dans la mesure où les autres facteurs climatiques (température des feuilles, disponibilité en eau) ne seront pas trop limitants. Là encore, l'amplitude des réponses dépendra des espèces considérées et de la régulation des pertes transpiratoires en fonction des facteurs environnementaux **[22]**.

ENCADRÉ 2 : LES PRODUCTIONS FRUITIÈRES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'évolution des températures aura un impact très fort sur la phénologie de floraison des arbres fruitiers. Sous l'effet du réchauffement en fin d'hiver et au début du printemps, une avancée marquée des dates de débourrement et de floraison (jusqu'à 11 jours) a déjà été observée sur les arbres fruitiers, tels que le pommier, le poirier, le cerisier et le prunier d'Ente, augmentant le risque de dégâts causés par les gels précoces sur les fleurs et les jeunes fruits.

Une désynchronisation de la floraison entre variétés productives et variétés pollinisatrices ou un étalement excessif de la floraison et de la maturité à l'échelle de l'arbre ou du verger peuvent être envisagés, entraînant des problèmes à la récolte.

Mais une augmentation des températures en été et en automne pourrait conduire à une dormance plus profonde, induisant des besoins supplémentaires en froid hivernal pour sa levée. Des hivers doux pourraient aggraver la situation et ne pas permettre d'accumuler assez de froid induisant ainsi des anomalies de débourrement, des retards de floraison et une baisse de nombre de fleurs (jusqu'à 30 % de nécrose de bourgeons floraux chez certaines variétés de cerisier en 2016).

Chez le fraisier non-remontant, des étés et automnes chauds peuvent conduire à un retard de l'initiation florale et donc à une réduction du nombre de bouquets floraux et du rendement en fruits. Globalement les irrégularités de production naturellement présentes chez des espèces fruitières (on parle d'alternance) pourraient être exacerbées du fait du changement climatique. C'est pourquoi, le pourcentage de fruits non commercialisables pourrait augmenter en raison de températures élevées conduisant à des fruits malformés comme chez la fraise ou le cerisier (**Figure 7**), ou par des irrégularités de précipitations induisant des phénomènes d'éclatement chez la cerise par exemple. Pour ces deux espèces, l'INRA recherche des variétés permettant de s'affranchir de ces problèmes. Pour la prune d'Ente, le développement de variétés résistantes à la sécheresse est également une priorité des producteurs. Ces travaux combinent des approches génétiques et de modélisation qui explorent les adaptations possibles des arbres fruitiers, tout en participant à alimenter la connaissance des impacts du changement climatique sur ces derniers **[23] [24]**.

Ces impacts peuvent également être modérés par la mise en place dans les vergers, de barrières physiques contre la chaleur (ombrage, renouvellements d'air sous tunnels et serre), les précipitations (tunnels) et pour freiner la pression pathogène (filets anti-insectes). L'irrigation reste envisagée en utilisant des techniques permettant de réduire les apports de 20 à 30 % sans pénaliser la production. Enfin, suite à des directives européennes interdisant des produits destinés à favoriser le débourrement en situation de manque de froid, tels que le Dormex©, ceci en raison de leur toxicité pour l'homme, le développement de nouvelles substances actives est en cours afin d'anticiper les futurs hivers doux.

Figure 7 : *Fraise normale (A) et déformées (B). Dégâts d'éclatement sur cerises mûres. C) Point pistillaire, D) Pôle pédonculaire, E) Joue. Clichés fraise: Invenio (M.N. Demené), clichés cerises: INRA (E. Dirlewanger).*

CHEZ LES ANIMAUX

Le principal impact du changement climatique susceptible d'impacter les animaux est l'augmentation des températures et les conséquences associées telles que la faible circulation d'air et/ou le stress thermique associé à l'exposition directe au soleil. Ces impacts sont à prendre en compte en fonction du contexte des élevages, hors sol (en bâtiments) ou en extérieur.

La sensibilité à la chaleur est variable entre les espèces. Chez les ruminants, une forte chaleur entraîne une sudation, une production accrue de salive, voire des tremblements.

Chez les volailles, la chaleur augmente les pertes par évapotranspiration (jusqu'à 40 %) et accroît le rythme respiratoire, se traduisant par un halètement dès 28-29 °C. Celui-ci entraîne un déséquilibre acido-basique au niveau du sang. Chez les porcs dont la dissipation de la chaleur est faible du fait de l'absence de glandes sudoripares, la production de chaleur par l'organisme est particulièrement régulée **[25]**. La sensibilité à la chaleur est également variable entre espèces selon la couleur, le stade métabolique ou encore le poids **[26]**. Elle est plus élevée chez les bovins que chez les petits ruminants.

Elle augmente chez les animaux à poils foncés, les animaux en lactation ou encore les animaux les plus lourds de l'espèce.

Pour lutter contre la chaleur, les animaux développent des adaptations particulières. Ils modifient notamment leurs comportements (recherche de fraîcheur, d'ombre et de points d'eau, déploiement des ailes chez les volailles, réduction de l'activité physique) ainsi que leur ingestion **[26]**. Au-dessus d'une certaine température, la réduction de la consommation alimentaire est en effet la seule possibilité pour les animaux de maintenir leur température corporelle constante dans la mesure où une des causes principales de production de chaleur (thermogenèse) d'un animal est due à l'utilisation métabolique des aliments **[25]**. La quantité d'énergie ingérée et la production de chaleur associée diminuent ainsi, tandis que la consommation d'eau augmente en lien avec la perte d'électrolytes.

Chez les ruminants, l'augmentation de la consommation d'eau engendre une augmentation du contenu en eau du rumen à l'origine d'une rétention plus longue des aliments dans cette partie du système digestif. Chez les animaux n'ayant pas accès à suffisamment d'eau, la restriction alimentaire est d'autant plus exacerbée, leurs pertes évaporatives (nécessaires à la thermorégulation) étant quant-à-elles réduites drastiquement **[27]**.

L'ingestion alimentaire plus faible (baisse de la consommation journalière) s'accompagne d'une diminution de la croissance des animaux (baisse du gain moyen quotidien) et de l'efficacité alimentaire (augmentation de l'indice de consommation). De manière générale, lorsqu'ils sont soumis à un stress thermique, les animaux sont affaiblis et leurs performances chutent.

Les principales fonctions affectées chez les espèces animales sont synthétisées dans le **Tableau 2**.

FONCTION AFFECTÉE	CONSÉQUENCES POUR LES DIFFÉRENTES ESPÈCES : RUMINANTS, : PORCINS, : VOLAILLES
Croissance [25] [27] [28] [29] [30]	Augmentation des dépôts de lipides (qui nécessitent moins d'énergie que les protéines, et donc produisent moins de chaleur par leur digestion). Retard de croissance en lien avec un métabolisme calcique altéré et une moindre solidité des os.
Reproduction [31] [32] [33] [34]	Avance de la maturité sexuelle. Ovulations silencieuses. Durée et intensité des chaleurs (ou œstrus : le moment du cycle où une femelle mammifère est fécondable) réduites. L'induction d'un anoestrus pour des températures supérieures à 38 °C est également possible. Augmentation de la précocité des pondeuses. Diminution de la fertilité des femelles. Diminution de la fertilité des mâles (modification de la synthèse de testostérone), diminution du volume des éjaculats, du nombre et de la mobilité des spermatozoïdes par éjaculat, augmentation des anomalies morphologiques des spermatozoïdes. Mauvaise implantation des embryons. Augmentation de la mortalité embryonnaire. Réduction de la croissance des fœtus pendant la gestation (réduction des flux sanguins au placenta). Allongement de l'intervalle sevrage-œstrus. Augmentation du taux de mortinatalité et mortalité précoce (déshydratation des nouveau-nés). Diminution du nombre d'œufs, de l'intensité de ponte et de la longueur des séries de ponte. Diminution du poids moyen des œufs, du poids et du pourcentage d'albumen, du pourcentage de coquille et de sa qualité.
Lactation [26] [33]	Diminution de la production laitière en lien avec une réduction de la taille de l'animal à la naissance. Réduction de la croissance mammaire et de la lactation en lien avec une baisse de la production d'œstrogènes placentaires (surtout chez les fortes productrices). Dans un milieu à 50-90 % d'humidité, diminution de 10 % de la production entre 27 et 32 °C, et de plus de 25 % entre 32 °C et 38 °C.
Santé [26] [28] [35]	Diminution de l'immunité naturelle et augmentation de la vulnérabilité aux maladies (notamment boiteries, pathologies post-partum). Risque d'émergence de certaines maladies. Augmentation de la mortalité par arrêt cardiaque ou respiratoire, particulièrement chez les animaux en finition. Altération des défenses intestinales et augmentation des infections par des bactéries pathogènes.

Tableau 2 : *Conséquences du changement climatique sur les principales fonctions affectées chez les animaux, relatives à la croissance, la production laitière, la reproduction ainsi que la santé.*

LA VITICULTURE

Le changement climatique représente un enjeu majeur pour la filière Vigne et Vin car il pourrait remettre en question les conditions de production ainsi que le cadre réglementaire, commercial et organisationnel de la mise en valeur des vins. Cette thématique fait ainsi l'objet de très nombreux travaux de recherche conduits dans les laboratoires régionaux, mais également à l'échelle nationale.

ENCADRÉ 3 : DE NOMBREUSES RECHERCHES SONT CONDUITES EN NOUVELLE-AQUITAINE.

De 2012 à 2016, 23 laboratoires nationaux travaillant sur la vigne et le vin ont associé leurs efforts pour étudier les impacts du changement climatique et les stratégies d'adaptation de la filière Vigne et Vin française dans un projet coordonné par l'INRA, intitulé LACCAVE (***www6.inra.fr/laccave***). L'approche pluridisciplinaire combinant climatologie, physiologie, agronomie, génétique, pathologie, œnologie, sociologie et économie a permis de mettre en commun le savoir existant sur la question et de conduire plusieurs études spécifiques sur la réponse à la sécheresse, la phénologie, les innovations techniques, la variabilité spatiale du climat et les stratégies d'adaptation, la perception des acteurs et des consommateurs, ainsi que sur des stratégies d'adaptation. Une étude prospective a été réalisée en partenariat avec France AgriMer et l'INAO. En région Nouvelle-Aquitaine, cinq laboratoires associés à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV) ont participé à ce projet. Par ailleurs, le projet Heatberry mené en collaboration entre l'ISVV, l'AWRI (Australie) et l'Université de Geisenheim (Allemagne) et soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine, analyse les effets d'une augmentation de la température au vignoble sur la typicité aromatique du Cabernet-Sauvignon et du Sauvignon.

Comme pour les autres cultures, le changement climatique va affecter directement le fonctionnement de la vigne : son développement, sa production, mais aussi et surtout la composition du produit final récolté (les raisins). De nombreux enregistrements faits dans les vignobles bordelais ont montré une avancée des stades phénologiques et des dates de vendanges **[36]**, une dynamique également confirmée pour le vignoble charentais **[37]**. La date des vendanges a été avancée de 2 à 3 semaines en moyenne depuis une vingtaine d'années, en lien en partie avec l'augmentation des températures moyennes. Les simulations faites pour le XXIe siècle révèlent que d'ici 2050 quel que soit le scénario, on peut s'attendre à une avancée de 6 à 12 jours (par rapport aux trente dernières années du XXe siècle) et de 15 à 30 jours en fonction de la variété, du scénario et de la région en 2100 **[38]**. La combinaison des effets directs du climat et de l'avancée des stades phénologiques pourrait affecter fortement les futures conditions dans lesquelles la vigne et le raisin vont se développer (**ENCADRÉ 4**). Des études portant sur l'effet de températures élevées pendant la période de développement des raisins de Cabernet-Sauvignon, montrent que des vagues de chaleur quand le raisin est vert pourraient bloquer le développement des raisins verts et non pas avancer, mais retarder le début de la maturation **[39] [40]**. Comme pour toutes les cultures, le rendement en raisin est très lié à la quantité de biomasse produite, et donc aux interactions entre les facteurs tels que le CO_2, la température, la disponibilité en eau et en minéraux. Les travaux récents montrent que des températures élevées et une faible disponibilité en eau peuvent avoir des effets négatifs sur la production de l'année n, mais aussi sur celle de l'année n +1 en agissant sur la fertilité des bourgeons **[41] [39]**. L'augmentation de la teneur en CO_2 pourrait cependant contrebalancer les effets négatifs des autres facteurs **[42]**. Les seules simulations du rendement faites à l'aide du modèle de culture STICS pour les vignobles de Bordeaux ne montrent pas d'évolution majeure à la fin du XXIe siècle par rapport à la situation actuelle **[43]**.

ENCADRÉ 4 : IMPACTS ATTENDUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE [44]

En se basant sur les simulations du climat à l'échelle 8x8 km (***www.drias-climat.fr***) pour 3 scénarios du GIEC (RCP2.6, 4.5, 8.5), les chercheurs de LACCAVE ont calculé les principaux stades phénologiques (BB : débourrement, FL : floraison, V : début de maturation, R : récolte) pour la variété Cabernet-Sauvignon dans le vignoble bordelais, puis ont illustré les changements attendus par rapport à la période de référence (1975-2005) pour différents indicateurs climatiques (**Figure 8**). Les traits verticaux pointillés illustrent la date moyenne de chaque stade pour la période de référence. Les risques de gel et les précipitations seraient réduits pendant l'hiver et la période de débourrement dès le milieu du siècle, induisant des risques de sécheresse au printemps. À la floraison, le nombre de vagues de chaleur pourrait augmenter dès le milieu du siècle pour les scénarios 4.5 et 8.5, et pour tous les scénarios à la fin du siècle. Les précipitations pourraient également augmenter à cette période. Pour la période de maturation, c'est surtout l'augmentation des températures minimales et maximales qui devrait caractériser le changement pouvant aller jusqu'à +6 °C (température minimale) et +9 °C (température maximale) pour le scénario 8.5 à la fin du siècle. Cela s'accompagnerait de plus de vagues de chaleur pour le scénario extrême et des risques de sécheresse pour tous les scénarios.

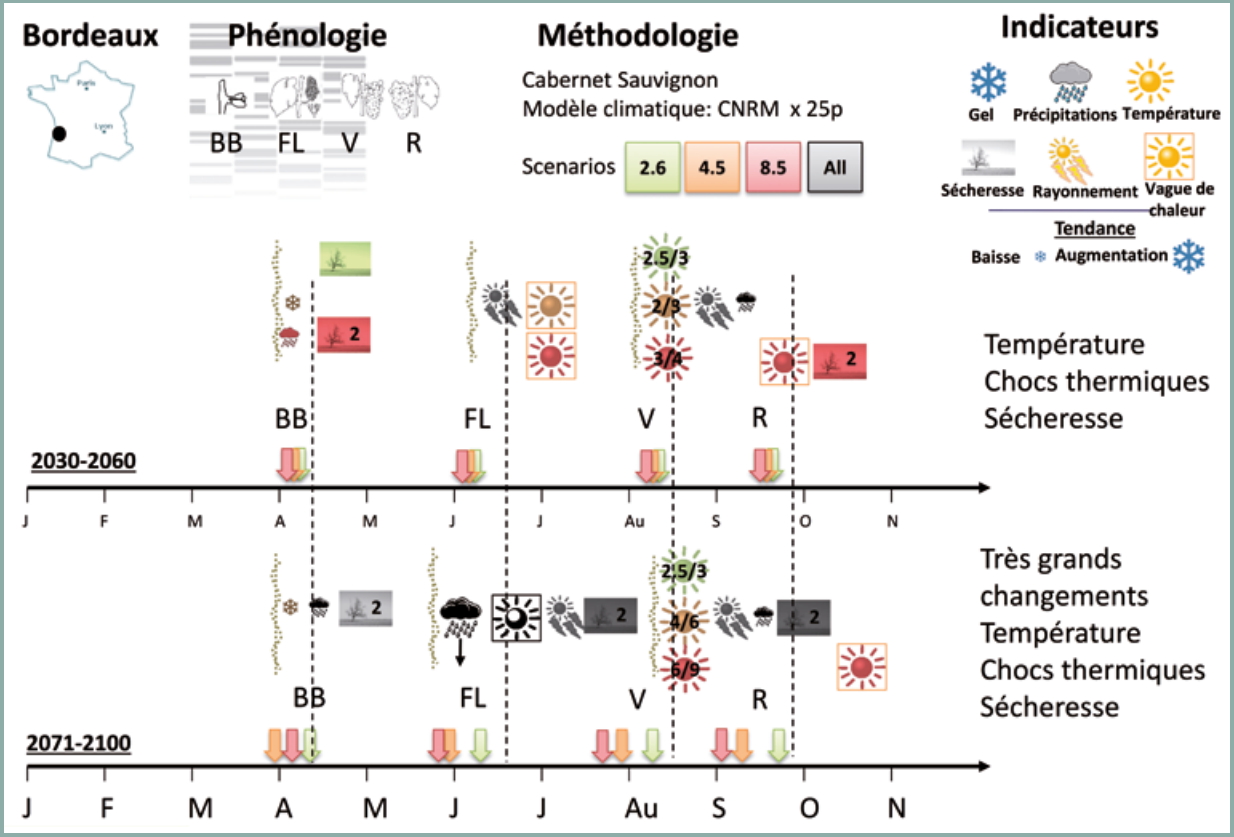


Figure 8 : *Schéma des principaux impacts agroclimatiques à différents stades phénologiques de la variété Cabernet Sauvignon dans la région bordelaise au milieu et à la fin du XXIe siècle. Garcia de Cortazar-Atauri, communication personnelle.*

Si les conséquences d'un changement climatique sur la productivité des vignobles en Nouvelle-Aquitaine ne seraient *a priori* pas majeures, les effets sur la composition des raisins seraient quant à eux bien plus importants. Les meilleurs vins sont en général produits en situation tempérée et de contrainte hydrique modérée **[45] [46]**. Les augmentations simulées des températures pendant la maturation pourraient affecter fortement le potentiel qualitatif des vignobles. Les observations réalisées dans différents vignobles de la région révèlent déjà une augmentation de la teneur en sucres des raisins et une baisse d'acidité, liées à l'augmentation des températures moyennes au cours des 30 dernières années **[36] [37]** et aux modifications des pratiques culturales favorisant la maturité. Les effets sur la teneur en sucres et en acides ont été jusqu'à présent plutôt favorables pour les raisins rouges mais ils posent déjà des problèmes pour les raisins blancs, notamment à Cognac où l'acidité est un critère très important de qualité pour la production d'eaux-de-vie. Les incidences d'une température élevée et/ou d'une contrainte hydrique sur la teneur en sucres des raisins à maturité dépendent de l'intensité des épisodes et de la période phénologique à laquelle elles interviennent **[47] [40]**. L'acidité sera toujours réduite en réaction à l'élévation des températures. De même, température et eau jouent un rôle important sur la teneur en composés phénoliques (couleur et structure des vins). Une contrainte hydrique modérée a des répercussions positives et à l'inverse de fortes températures ont un effet négatif.

Un décalage entre l'accumulation de sucres et celle des composés phénoliques a d'ailleurs été mis en évidence et complique la décision du choix de la date des vendanges **[48]**. Cependant, des travaux récents réalisés en conditions contrôlées montrent que les effets sont très complexes dès que l'on combine de fortes teneurs en CO_2, température et rayonnement UV-B **[49] [50]**. Les arômes des vins pourraient aussi être fortement affectés par l'augmentation des températures et l'intensification des contraintes hydriques. Des arômes caractéristiques de vendanges très mûres ont déjà été identifiés dans les vins de certains millésimes chauds comme 2003 et pourraient devenir plus fréquents à l'avenir **[51]**.

Pour faire face à ces changements potentiels et maintenir un niveau de productivité et de qualité élevée, plusieurs stratégies d'adaptation peuvent être mises en œuvre à plus ou moins long terme **[52].** Des adaptations techniques peuvent être utilisées au vignoble, comme la réduction de la hauteur du feuillage **[54]**, mais aussi à la cave **[55]** avec par exemple, la sélection de souches de levures ayant un rendement plus faible en alcool (piste étudiée dans plusieurs laboratoires). À plus long terme, des cépages mûrissant plus tardivement, moins sensibles à de fortes températures et à la sécheresse, produisant des raisins moins sucrés et plus acides pourraient être implantés **[39] [56] [57]**. Une expérimentation conduite à Bordeaux depuis 2009 permet d'étudier les performances de 52 cépages français et étrangers afin d'identifier si certains d'entre eux pourraient être introduits à plus ou moins long terme dans l'encépagement bordelais **[58]**. En effet, un écart de plus de 40 jours a pu être enregistrée au début de la maturation (véraison) entre les cépages les plus précoces et les plus tardifs **[38]** (**Figure 9**). Néanmoins, l'introduction de nouveaux cépages devra se faire très progressivement afin d'éviter une modification trop brutale du profil des vins. D'autre part, des porte-greffes retardant le cycle de la vigne et plus résistants à la sécheresse pourraient également être utilisés **[57] [59]** : cinquante-cinq d'entre eux sont aussi expérimentés à Bordeaux.

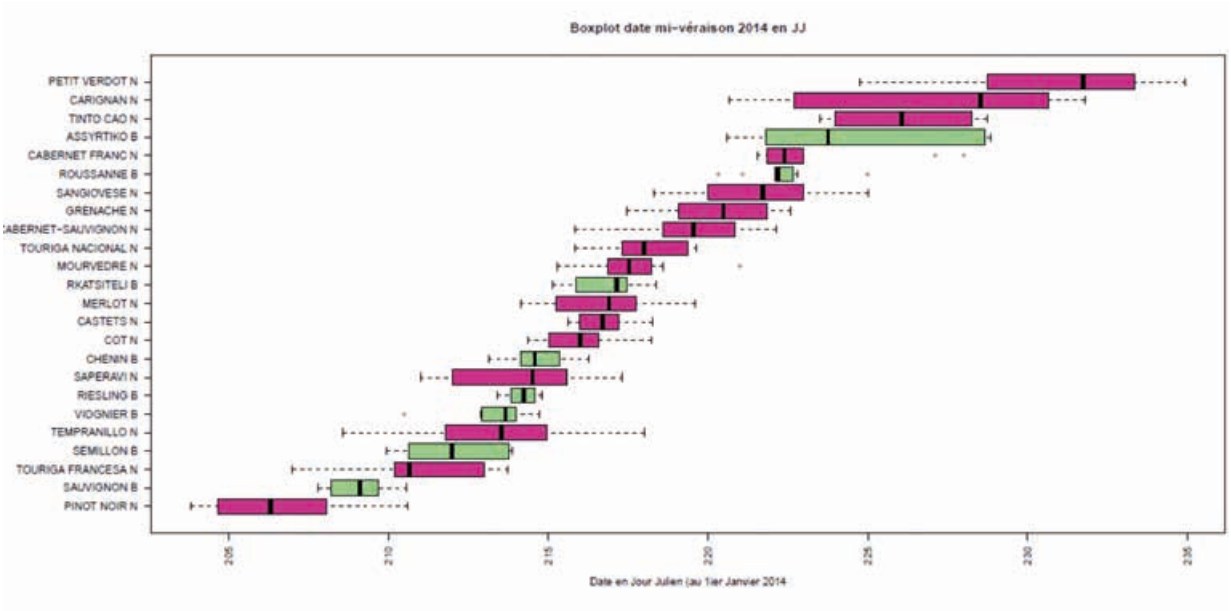


Figure 9 : *Date de début de maturation (en jours depuis le 1er janvier) en 2014 pour 52 cépages cultivés dans le dispositif de Vitadapt (en vert, cépages blancs et en rouge, cépages rouges ; Destrac, communication personnelle).*

Face aux risques de sécheresse, le matériel végétal sera déterminant. L'irrigation doit être considérée comme une mesure de dernier recours, en raison de ses impacts négatifs sur l'environnement et du coût des installations nécessaires **[54]**. Mais cela est peu contraignant puisque le confort hydrique des vignes ne devrait pas être entamé avant 2050 sur la façade atlantique **[60]**. L'enjeu sera de veiller à maintenir une disponibilité en azote suffisante en sol sec. En définitive, la variabilité climatique à l'échelle locale est suffisamment importante pour être mise à profit afin de sélectionner des parcelles plus fraiches et plus tardives, avec éventuellement une réserve en eau plus importante **[61]**. Cet avantage stratégique est à développer comme le met en évidence le projet européen ADVICLIM ***www.adviclim.eu/fr*** où une étude menée sur 20 000 ha de vignoble autour de Saint-Émilion révèle qu'entre les zones les plus chaudes et les plus froides, la différence entre les températures moyennes peut atteindre 1,4 °C et l'écart pour la somme des températures (en base 10) entre le 1er avril et le 30 septembre (indice de Winkler) peut dépasser 300 °C **[61]**. Cet écart que l'on est susceptible de retrouver avec un même ordre de grandeur entre deux régions viticoles françaises **[36]** est fortement lié à la topographie (**Figure 10**).

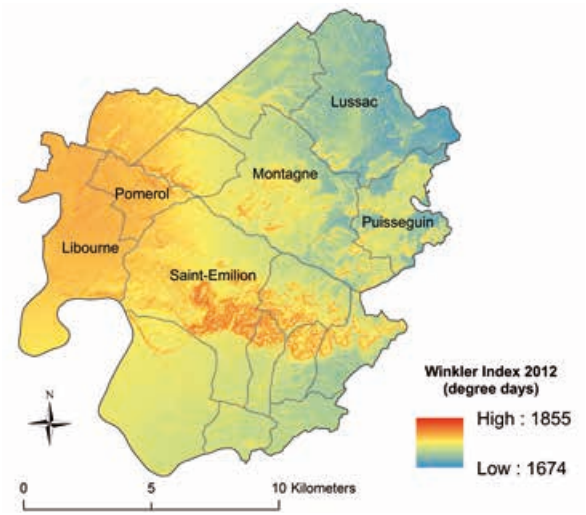


Figure 10 : *Carte de l'Indice de Winkler pour la zone du vignoble de Saint-Émilion, Pomerol et leurs satellites (en 2012). De Resseguier (communication personnelle) et (53).*

L'adaptation au changement climatique repose également sur la capacité des acteurs à percevoir et à mettre en œuvre des stratégies en réponse aux changements perçus et attendus. Les acteurs de la filière souhaitent à travers l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC), inscrire leurs adaptations à un cadre organisationnel pour valoriser la majorité de la production régionale **[53]**. Des enquêtes réalisées en Bordelais révèlent que l'effet du changement climatique est clairement perçu par les producteurs, notamment au niveau de la variabilité interannuelle du climat et de la conduite de la vigne. Les acteurs de la Recherche et Développement (R&D) sont déjà fortement mobilisés, bien que les producteurs questionnés à Bordeaux interrogent en premier lieu leurs réseaux de fournisseurs pour répondre à leurs questions sur l'adaptation. Les stratégies d'adaptation envisagées ne dépendent pas des caractéristiques économiques des entreprises, mais plutôt des réseaux dans lesquels elles sont insérées **[62]**. Par ailleurs l'acceptabilité des consommateurs pour des vins dont les caractéristiques auraient été modifiées par le changement climatique et les innovations mises en œuvre pour s'y adapter doit être considérée (**ENCADRÉ 5**).

ENCADRÉ 5 : LE CONSENTEMENT À PAYER DES CONSOMMATEURS [63]

Pour analyser si les consommateurs apprécieraient des vins marqués par le changement climatique, des économistes et des œnologues de l'ISVV ont réalisé un travail d'économie expérimentale permettant de confronter les consommateurs avec trois vins d'une même Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) bordelaise du millésime 2010 : un vin A typique de l'AOC en question ; un vin B, marqué par les caractéristiques incriminées par le réchauffement climatique et un vin C jugé intermédiaire entre le vin A et le vin B. Bien que relevant de la même "typicité" les vins analysés par les experts étaient différenciés sur les arômes de fruits cuits, le degré d'alcool, le niveau d'acidité. Le vin A avait une teneur en alcool de 13,9 % vol., le vin B atteignait 15,2 % vol et le vin C 14,4 % vol. Enfin, un vin A' avait été confectionné à partir du vin A avec un ajout artificiel d'éthanol (+ 1,3 % vol.) afin de retrouver le niveau exact de la teneur en éthanol du vin B.

L'objectif était de recueillir, pour les différents vins, l'assentiment de 180 consommateurs, traditionnellement acheteurs de cette AOC, *via* la révélation du consentement à payer (CAP). Ce paramètre est défini comme le prix au-delà duquel un consommateur ne veut plus acheter un produit, en fonction de son aptitude et de l'information dont il dispose. Le CAP est ainsi un indicateur synthétique d'appréciation qui permet de mieux comprendre les effets des caractéristiques intrinsèques des vins sur la demande. Typiquement il est possible de mesurer le CAP à la seule connaissance de l'AOC (il mesure alors l'effet de la réputation collective de cette AOC) ou de façon incrémentale en appréciant d'abord la couleur de chaque vin, puis ses arômes, puis son goût… ou en rajoutant les effets de l'information mentionnée sur l'étiquette, comme le degré d'alcool.

Les résultats montrent que des consommateurs exposés de façon instantanée aux vins de l'expérience valorisent le vin B bien plus que le vin A, alors que le vin C est valorisé de façon intermédiaire. À l'inverse, des consommateurs ayant testé les vins A et B à plusieurs reprises dans le cadre d'une consommation à la maison, avant de subir la même procédure d'économie expérimentale, inversent ces préférences à cause d'un effet de saturation du vin B. Le vin A' est quant à lui rapidement discrédité au fur et à mesure de la découverte des vins.

Cette expérience montre que le risque d'inadéquation offre-demande existe bel et bien. Sur le plan économique, il est dangereux de considérer que les consommateurs resteront indéfiniment attachés à une provenance spécifique, fût-elle celle de Bordeaux, si les vins qui en sont issus ne correspondent plus à leurs attentes en matière de goût.

LES GRANDES CULTURES

Les grandes cultures, telles que le blé, le maïs et le tournesol, représentent un enjeu socio-économique majeur en Nouvelle-Aquitaine. Le changement climatique interroge particulièrement leur productivité et leur faisabilité car ces éléments dépendent étroitement du climat et de la disponibilité des ressources en eau. Au cours du XXIe siècle, il faut ainsi s'attendre à de profondes mutations des conditions de production et donc des systèmes de culture associés. Les variétés et espèces cultivées, mais aussi les modes de gestion des besoins en eau seront principalement affectés.

Pour ces cultures, **les stades de développement** sont pour l'instant principalement déterminés par la date de semis et la précocité des variétés cultivées. Ainsi au cours des dernières années, on a assisté à un avancement de la date de semis accompagnée d'une certaine variabilité interannuelle, et surtout à un choix de variétés plus tardives. À l'avenir il est probable que les agriculteurs continuent à avancer la date de semis pour les cultures de printemps telles que le maïs (environ 2.5 jours tous les 10 ans) et le tournesol. Par contre, pour le blé, culture d'hiver, des lits de semence trop secs à l'automne pourraient conduire à retarder le semis. Le nombre de jours disponibles pour le semis du blé ne changerait pas, mais augmenterait légèrement pour le maïs.

Dans tous les cas, ces changements seront étroitement liés au choix des variétés. Enfin il serait possible de réaliser des semis de tournesol « en dérobé » à la suite d'une culture d'automne semée l'année précédente, ce qui n'est pas possible actuellement **[64].**

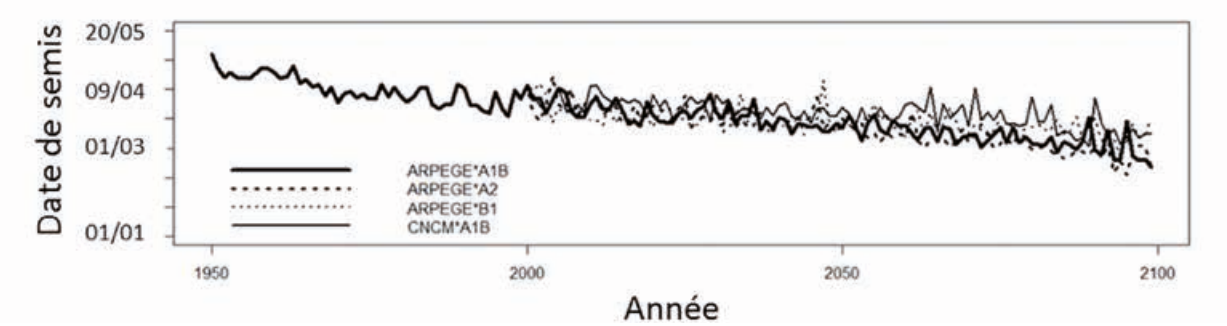


Figure 11 : *Évolution de la date optimale de semis du maïs dans le Sud de la France (région Midi-Pyrénées) selon deux modèles climatiques (Arpège-Météo France et CNCM) pour les scénarios A1B, A2 et B1 du GIEC. Reproduit avec la permission d'Elsevier (65).*

À l'avenir, l'augmentation attendue de la température pourrait générer une avancée de la floraison (de 5 à 15 jours selon les cultures et les périodes), mais aussi un raccourcissement de la phase de remplissage des grains qui sera plus important pour les cultures de printemps (d'environ 10 jours pour le maïs et le tournesol à l'horizon 2050). Ces modifications vont affecter directement et de manière significative la production de ces cultures.

- En Nouvelle-Aquitaine, les rendements actuels pour le maïs, le blé et le tournesol sont proches des rendements moyens nationaux (autour de 90 q/ha, 70 q/ha et 25 q/ha respectivement en 2015) avec une tendance à la stagnation voire une légère diminution des rendements du blé et du maïs depuis les années 2000. Une forte variabilité du rendement du blé est à noter en fonction des départements **[1] [66] [67].**

À l'avenir, les impacts du changement climatique attendus sur le rendement de ces trois cultures sont assez différents. Alors que l'on peut s'attendre à une faible évolution de la productivité du tournesol, les effets positifs (+ CO_2, température) balançant les effets négatifs (cycle plus court) du changement climatique, le blé pourrait compenser le raccourcissement du cycle par l'effet bénéfique du CO_2 (+9 q/ha à la fin du siècle). En revanche, le maïs verrait sa production baisser d'environ 10 q/ha en 2050 et d'environ 15 q/ha à la fin du siècle malgré l'irrigation, surtout en raison d'une diminution du nombre de jours de remplissage des grains. Par ailleurs, on s'attend à une accentuation du nombre de jours d'échaudage (coup de chaleur) qui affectent directement le remplissage des grains et donc le rendement. Ce dernier facteur va affecter plus les cultures d'hiver (blé et orge) que celles de printemps.

	BLÉ	MAÏS	COLZA	TOURNESOL	SORGHO
Bordeaux	0,9	-1,5	-0,4	0,4	0,6
Lusignan	0,1	-1,1	0,8	0,3	0,5

Tableau 3 : *Variations du rendement (t/ha) à l'horizon 2100, par site et culture issu du projet ANR CLIMATOR (6). Gras : p < 0.01 ; Italique : p < 0.05 ; Normal : p < 0.10. Les chiffres barrés indiquent que les rendements ne sont pas significativement différents de la période actuelle.*

Au cours des dernières années, la **demande en eau des cultures** a augmenté de manière significative en raison de l'augmentation des températures entraînant un accroissement de l'évapotranspiration. Depuis le début des années 2000, une diminution des surfaces irriguées et une stabilisation des quantités d'eau pour l'irrigation ont été observées en raison d'une légère diminution des surfaces en maïs. En revanche les surfaces de cultures non irriguées telles que le blé et secondairement le tournesol ont augmenté. Ces évolutions sont assez variables selon les départements en Nouvelle-Aquitaine **[68] [69]**. À l'avenir, la contrainte hydrique subie par les cultures serait variable en fonction des périodes avec des incertitudes croissantes vers la fin du siècle. Pour le blé, une augmentation de la contrainte hydrique pourrait être compensée par l'effet bénéfique du CO_2 permettant de maintenir, voire d'augmenter les rendements (sans tenir compte des effets des fortes températures mentionnés plus haut). Par contre, le maïs (culture moins avantagée par le CO_2) pourrait avoir besoin d'un supplément d'irrigation (de l'ordre de 40 mm/an à l'horizon 2050), ce qui exacerberait la contrainte de la ressource en eau.

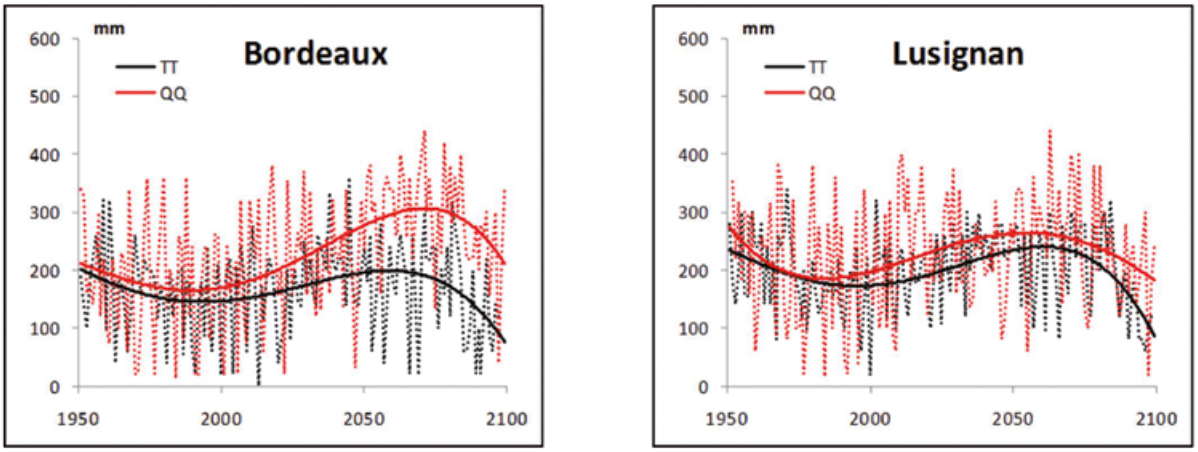


Figure 12 : *Évolution des besoins en eau d'irrigation (mm/an) d'une monoculture de maïs (variétés Méribel à Lusignan et DKC5783 à Bordeaux) sur un sol limoneux profond selon deux méthodes de régionalisation des scénarios climatiques (TT = Méthode par type de temps ; QQ = Méthode Quantile-Quantile). Les besoins en eau d'irrigation augmentent jusqu'en 2070, puis diminuent à cause de la réduction de la durée du cycle. Bien que cette tendance soit identique pour les deux méthodes de régionalisation, on note, à Bordeaux une divergence dans l'amplitude de l'augmentation. Ces résultats sont issus du projet CLIMATOR, INRA (6).*

Cette situation pose la question de la viabilité à moyen/long terme de la production du maïs dans la région. L'avancée des semis ne diminuera pas les besoins en eau d'irrigation et le recours à des variétés à cycle plus long permettra de maintenir la production de maïs à son niveau actuel, mais augmentera la consommation en eau d'irrigation. Les variétés à cycle court réduiraient l'exposition à la contrainte hydrique mais au détriment de la production, c'est pourquoi le choix des sols et des variétés sera fondamental.

Concernant la **santé des cultures**, une diminution du risque « maladies » durant les mois les plus secs et chauds (du mois de mai au mois de septembre inclus) est envisagée avec une réduction des pertes de rendement associées (comme la rouille brune du blé). Par contre les risques pourraient être accrus en fin d'automne (novembre) et au début du printemps (mars et avril) en raison de conditions climatiques assez douces et humides affectant davantage les cultures d'hiver (blé, orge ou colza) **[70]**.

Plusieurs types **d'adaptation** seront nécessaires pour maintenir les différents systèmes de culture existants aujourd'hui dans la région Nouvelle-Aquitaine. Comme évoqué, l'irrigation qui concerne entre autres, la culture du maïs, devra être questionnée au bénéfice de stratégies d'optimisation de la ressource en eau qui seront nécessaires pour maintenir un équilibre entre les besoins (assez divers selon les départements), la disponibilité en eau et les objectifs de production. D'autres pratiques culturales comme le changement de date de semis ou la sélection de nouvelles variétés sont à envisager.

Plusieurs études mettent en évidence une augmentation du nombre de jours disponibles pour semer. Cela permet de tester plusieurs hypothèses pour positionner le cycle de culture afin de réduire l'exposition de la plante aux aléas climatiques (périodes de sécheresse et/ou jours d'échaudage) afin de maintenir le rendement. Par exemple, l'avancée de la date de semis combinée à l'utilisation de variétés plus précoces pourrait permettre d'éviter les périodes les plus chaudes. Néanmoins, cette stratégie peut accroître le risque de gel en sortie d'hiver et le risque de maladies. Elle pourrait présenter un intérêt pour le tournesol, mais s'avère moins intéressante pour les cultures du maïs, blé et sorgho.

Le choix variétal va devenir un critère clé pour adapter correctement ces cultures au changement climatique. Pour le maïs il est nécessaire d'obtenir des variétés à cycle court permettant d'échapper aux situations sèches (et donc de diminuer les besoins en eau d'irrigation) ou à cycle long mais ayant une tolérance aux contraintes hydriques. Concernant le blé, l'utilisation de variétés précoces permettrait d'éviter les périodes de stress hydrique et thermique importantes en fin de cycle. Enfin le choix de variétés de tournesol à cycle long permettrait dans certains cas d'augmenter les rendements. Actuellement, plusieurs programmes de recherche travaillent sur la création de variétés ayant les caractères cités ci-dessus (projets IA Amaizing, IA BreedWheat, IA Sunrise). D'autres cultures comme le sorgho pourraient se développer. Cette culture très bien adaptée aux situations sèches pourrait s'avérer avantageuse pour les conditions climatiques futures en Nouvelle-Aquitaine. Elle pourrait présenter un potentiel de production très intéressant, malgré l'augmentation de la contrainte hydrique. D'ailleurs, depuis quelques années, les surfaces sont en légère augmentation et les rendements sont stables. Il est important d'envisager une relocalisation des grandes cultures sur les sols les mieux adaptés pour chacune d'entre elles afin d'optimiser leur adaptation aux conditions de production futures.

LES PRAIRIES

Les prairies sont une composante essentielle de la durabilité et de l'autonomie des élevages de la région, que ce soit en moyenne et haute montagne ou en plaine, et les effets du changement climatique y sont déjà perceptibles. De manière globale, leur fonction de ressource fourragère pour l'élevage, ainsi que leur survie ne devraient pas être fortement remises en question sur la majorité du territoire de Nouvelle-Aquitaine. En revanche, les pratiques d'exploitation (dates de mise à l'herbe et de fauche, moindre recours aux intrants) et les choix d'espèces (légumineuses, graminées) et de variétés pour des mélanges prairiaux semés devront très probablement être adaptés, en fonction des zones de la région Nouvelle-Aquitaine pour faire face aux hausses de température et à la dégradation du bilan hydrique intervenant localement. Selon les scénarios les plus probables, une dégradation du bilan hydrique interviendra en été et pourra, selon son intensité, pénaliser plus ou moins fortement la croissance malgré la hausse de la teneur en CO_2 atmosphérique.

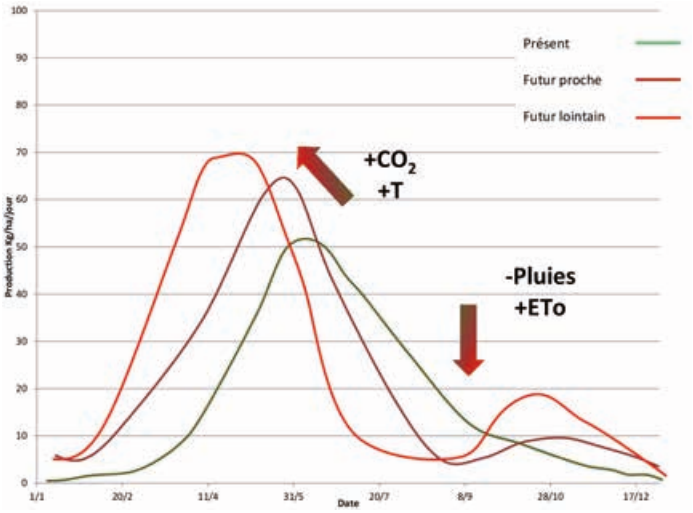


Figure 13 : *Evolution annuelle de la production journalière (en kg/ha/jour) au cours de l'année. Exemple de la fétuque élevée à Lusignan, sur sol superficiel, faible fertilisation azotée, scénario A1B simulé avec STICS sur les données météo simulées par le CNRM, INRA (71).*

L'impact attendu du changement climatique sur la productivité est avant tout de modifier la saisonnalité de la production. En hiver et au début du printemps, une accélération de la croissance liée à la hausse de température et associée à l'augmentation du CO_2, accroîtra fortement la production potentielle de biomasse (**Figure 13**) **[6]**. En conséquence, l'impact du réchauffement climatique devrait se manifester par un avancement de la croissance et une augmentation de sa vitesse, avec des répercussions sur les dates d'épiaison et donc de première fauche. Les projections climatiques permettent d'estimer un démarrage d'une à deux semaines plus précoce d'ici la fin du siècle selon les variétés et les adaptations envisagées. Selon les territoires de Nouvelle-Aquitaine, les projections indiquent une stagnation ou une baisse des précipitations en fin d'hiver. L'avancement de la végétation et l'augmentation de sa croissance en début d'année, décrites précédemment, seront néanmoins moins valorisables sur les sols plus humides des massifs granitiques et en altitude que dans les zones argilo-calcaires de plaine, plus drainantes. Par ailleurs, les plantes qui auraient démarré trop rapidement leur croissance s'exposeraient davantage au gel, toujours possible **[72]**. En second lieu, la dégradation du bilan hydrique estival pénalisera de manière plus ou moins forte, selon son intensité dépendant des années, des caractéristiques pédologiques et de l'évolution climatique des différentes zones de Nouvelle-Aquitaine, la croissance estivale, malgré l'effet positif de la hausse de la teneur en CO_2 atmosphérique.

Les prairies sont généralement composées d'une flore plus ou moins diverse et complexe. Or, les différentes espèces et variétés qui les composent ne sont pas toutes égales face au changement climatique. En premier lieu, la présence de légumineuses assure une fixation symbiotique naturelle d'azote atmosphérique et évite ainsi le recours aux engrais azotés, dont la synthèse industrielle, qui nécessite une utilisation importante d'énergie fossile, représente la principale contribution de la production agricole aux émissions de gaz à effets de serre (GES). En outre, la diversification génétique intra et interspécifique s'avère un choix opportun pour stabiliser la production face aux aléas. Comme le confirment certains résultats récents, judicieusement faits, l'utilisation de plusieurs variétés par espèce dans les mélanges est une voie prometteuse **[73]**. Cet avantage semble dû aux différences de saisonnalité de production entre les variétés. Par ailleurs, les légumineuses valorisent mieux les conditions hydriques favorables et l'offre en CO_2 du fait qu'elles sont moins limitées en azote que les graminées.

Le changement climatique sur le sud de la France se traduit par une progression vers le nord du climat méditerranéen. Les adaptations naturelles de la végétation des zones méditerranéennes actuelles constituent une source d'adaptation et un levier d'amélioration génétique potentiel face à l'évolution climatique de la région NA. Dans les zones méditerranéennes actuelles, la production estivale est pratiquement nulle. Les plantes fourragères pérennes y présentent des caractères adaptatifs qui assurent une certaine dormance durant l'été. En revanche, les variétés méditerranéennes tendent à avancer leur pic de production vers le début du printemps, et entrent en croissance plus tôt dans l'hiver **[74] [75]**. Les populations de légumineuses et graminées issues des zones sud semblent germer à des températures plus basses **[74] [76]**. L'intensité du déficit hydrique estival est un bon indicateur de la limite climatique séparant le comportement des deux types de variétés **[72]**. En deçà d'un déficit hydrique estival de -450 mm environ, les variétés méditerranéennes montrent une production annuelle supérieure à celle des tempérées. En Nouvelle-Aquitaine, de tels déficits hydriques pourraient devenir possibles dans les années 2050 en zones de plaine du nord et au sud-est de la région (**Figure 14**) et devenir réguliers à la fin du siècle. Dans ces situations d'évolution climatique, l'utilisation de variétés à tendance méditerranéenne pourrait donc s'avérer intéressante.

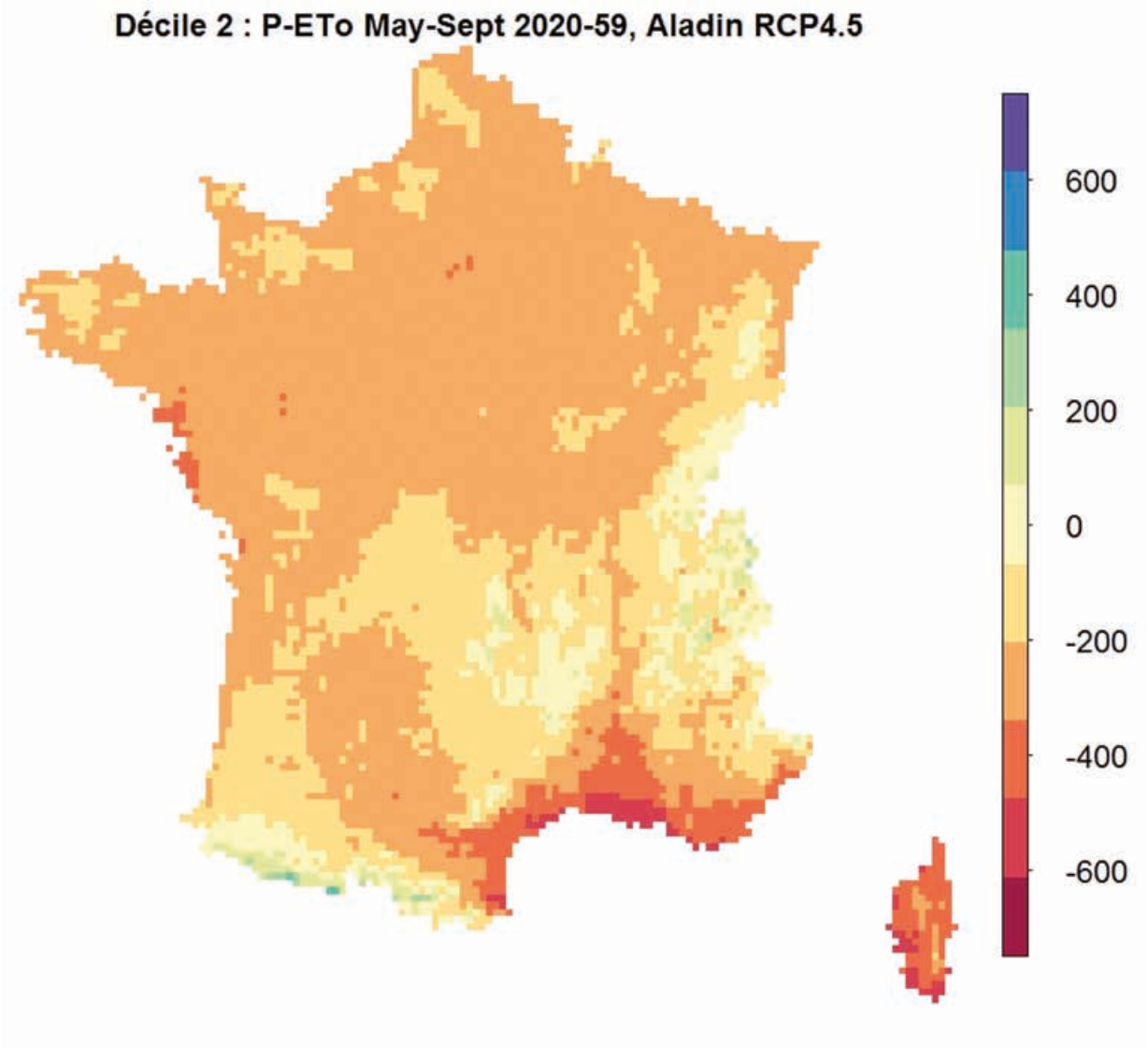


Figure 14 : *Déficit hydrique estival (précipitation – évapotranspiration de référence de mai à septembre) une année sur cinq (77). Les variétés méditerranéennes sont adaptées aux déficits inférieurs à -450 mm environ (72), INRA.*

Du fait de tensions de plus en plus fortes sur l'eau, l'irrigation est aujourd'hui réservée à des productions végétales de haute valeur ajoutée. Des prairies mieux adaptées à la sécheresse et plus riches en légumineuses seront donc le moyen à privilégier pour faire face aux aléas climatiques. Les graminées comme le dactyle et la fétuque sont mieux adaptées que le raygrass anglais ou le raygrass d'Italie. La luzerne (ou le trèfle violet) en mélange avec des lotiers ou du trèfle blanc seront des légumineuses à développer. Il reste beaucoup à investiguer pour préconiser des pratiques et des mélanges variétaux les mieux adaptés, tant sur la nature des variétés que sur les proportions à observer, selon les zones climatiques régionales. Il convient de noter la diversité des acteurs concernés par ces choix, des obtenteurs de variétés fourragères aux producteurs – transformateurs de produits laitiers, en passant par les éleveurs en viande et les agriculteurs, dont certains même organisés autour des réseaux de sélection végétale participative.

IMPACTS ET ADAPTATIONS DES ÉLEVAGES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La production bovine de montagne, largement localisée en Limousin, sera probablement assez peu affectée par le changement climatique, compte tenu des températures estivales plus limitées et de la relativement bonne disponibilité en eau de ces zones par rapport au reste de la région Nouvelle-Aquitaine. En revanche, la production laitière, qu'elle soit bovine, caprine, voire ovine sera plus affectée en zone de plaine, de manière directe par les effets thermiques négatifs sur la santé et la production animale, et de manière indirecte par les risques accrus de manque de fourrage qui se creuseront en conséquence des changements pluviométriques et thermiques attendus (cf. paragraphe précédent). La production de volaille largement localisée en zones de plaine, pourrait également être significativement affectée, si les conditions climatiques en bâtiment d'élevage ne pouvaient pas être adaptées de manière satisfaisante.

Quelle que soit l'espèce animale, l'éleveur sera encouragé à multiplier le nombre de repas, fournir de l'eau fraîche en quantité suffisante, distribuer les repas aux heures les plus fraîches de la journée. Il sera également pertinent de diminuer les densités d'élevage, de ne pas manipuler les animaux aux pics de chaleur, et de leur offrir de l'ombre.

En élevage monogastrique (porc, volailles), des stratégies d'adaptation seront envisageables autant au niveau des élevages que de la filière. En élevage, l'adaptation principale concernera l'équipement et la gestion des bâtiments en termes de ventilation (augmenter les débits avec utilisation de brasseurs d'air ou d'évents de ventilation ouverts), d'éclairage, de gestion du milieu (air, litière et densité animale) ou encore d'abaisser la température par pad cooling (ou brumisation) ou drip-cooling (goutte à goutte). La ration pourra avantageusement être modifiée par diminution des teneurs en protéines et amidon au profit des matières grasses ou acides aminés de synthèse. L'ajout de biocarbonate ou formiate de sodium et de vitamine C sont également de nature à éviter les carences des animaux en électrolytes/vitamines. Au niveau de la filière, le choix des races pourra devenir déterminant, les races moins productives étant généralement moins sensibles à la chaleur que les races très sélectionnées. En volailles, les souches à cou nu et/ou à emplumement limité semblent à favoriser. La sélection des animaux pour leur tolérance à la chaleur est pertinente à réaliser, mais elle nécessite au préalable de comprendre les mécanismes physiologiques impliqués et le degré d'anti-corrélation entre les caractères de production et les caractères d'adaptation à la chaleur.

En élevage ruminant (bovins, ovins, caprins), les stratégies d'adaptation concerneront la gestion de l'eau et de l'alimentation (abreuvement et affouragement au pâturage), la gestion de la conduite et de l'organisation du travail en élevage ainsi que la gestion des bâtiments, notamment de leur ventilation. Concernant la reproduction, l'éleveur devra réaliser une observation renforcée des animaux et utiliser des moyens efficaces de détection des périodes de fécondation pour pallier les éventuels problèmes de chaleurs (œstrus) silencieuses. Pour éviter les températures corporelles excessives, il faudra veiller à limiter les regroupements d'animaux, offrir des zones ombragées et tondre les toisons au printemps ou en début d'été. En bâtiment, l'éleveur pourra utiliser des asperseurs dans les zones d'attente et adapter la litière afin d'éviter la fermentation génératrice de chaleur. Équilibrer les rations en apportant une source d'azote fermentescible permettra d'augmenter le bilan anion-cation de la ration et la digestion des fourrages. L'ajout d'antioxydants sera également à privilégier, afin de limiter les effets négatifs des radicaux libres sur le développement des embryons.

ENCADRÉ 6 : OASYS, UN SYSTÈME BOVIN LAITIER INNOVANT, RÉSILIENT FACE AUX ALÉAS ET AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, CONCILIANT PRODUCTION ET PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES.

Le dispositif expérimental OasYs (INRA, Lusignan, Vienne) a pour objectif de concevoir et d'évaluer un système de production laitière adapté au contexte de ressource en eau limitée et de contraintes et d'aléas climatiques croissants, caractéristiques d'une partie de la région Nouvelle-Aquitaine.

La démarche repose sur une approche agroécologique globale à l'échelle de l'exploitation agricole, s'attachant à optimiser les interactions entre système de culture et système d'élevage afin de valoriser au mieux les ressources naturelles. Elle est fondée sur :

- une diversification des ressources fourragères et des rotations : des prairies multi-espèces, qui ont une croissance plus étalée dans l'année malgré les contraintes climatiques, des cultures fourragères annuelles plus résistantes à la sécheresse (ex : sorgho) ou se développant en période de bonne disponibilité en eau du sol (ex : méteils) ;
- le développement du pâturage et des légumineuses annuelles et pérennes, pour une meilleure autonomie en fourrages et une économie d'intrants ;
- la mise en place d'une agroforesterie d'élevage, source de diversification fourragère, de meilleure valorisation des ressources du milieu, et de protection des animaux ;
- une stratégie d'élevage adaptée à ce nouveau contexte climatique et à cette évolution du système fourrager : des vaches laitières plus rustiques (croisées trois voies Holstein x Jersiaise x Rouge Scandinave), des vêlages centrés sur le printemps et sur l'automne, une durée de lactation allongée.

L'évaluation multicritère de ce nouveau système laitier permettra d'étudier dans quelle mesure une plus grande diversité des composantes d'un système agricole et de leurs fonctions, associée à leur gestion optimale dans le temps et dans l'espace, permet de concilier un niveau de production et des performances environnementales élevées, tout en améliorant la résilience de l'agrosystème face aux contraintes et aux aléas climatiques.

Figure 15 : *Dispositif OasYs mis en place dans la station expérimentale INRA, Lusignan (S. Novak)*

4 ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ATTÉNUATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE D'ORIGINE AGRICOLE : PEUT-ON CONCILIER LES DEUX OBJECTIFS ?

L'agriculture n'est pas seulement impactée par le changement climatique : comme d'autres secteurs d'activité tels que les transports ou l'industrie elle contribue aux émissions de gaz à effets de serre (GES). C'est pourquoi les stratégies d'adaptation au changement climatique évoquées dans les paragraphes précédents doivent être compatibles avec l'objectif tout aussi légitime de réduction des émissions de GES d'origine agricole.

AGRICULTURE ET ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Trois gaz sont impliqués : le dioxyde de carbone (CO_2), émis lors de certains changements d'usages des sols comme le retournement de prairies ou lors de la combustion d'énergies fossiles (fuels, gaz), le méthane (CH_4) émis par les ruminants et lors du stockage des effluents d'élevage et enfin le protoxyde d'azote (N_2O) émis lors des réactions de transformation de l'azote dans les sols et dont les émissions sont très liées à l'usage des engrais azotés, minéraux et organiques.

Par commodité ces émissions sont exprimées dans une unité commune (le CO_2 équivalent), qui tient compte de l'impact de chacun des trois gaz sur le climat *via* leur « pouvoir de réchauffement global » (PRG = 1 pour le CO_2, PRG = 25 pour le CH_4 et PRG = 298 pour le N_2O).

En Nouvelle-Aquitaine l'agriculture est à l'origine de 26 % des émissions directes de GES d'origine anthropique, exprimées en CO_2 équivalent. La part de l'agriculture est plus élevée qu'au niveau national, où elle représente de l'ordre de 18 % des émissions **[78]**. Cela s'explique par l'importance des surfaces occupées par l'agriculture dans la région. Exprimées en CO_2 équivalent, le CO_2 représente 12 % des émissions agricoles, le CH 44 % et le N_2O 44 %. Ces pourcentages sont proches des valeurs nationales, avec cependant une part un peu plus forte du CH liée à l'importance de l'élevage ruminant. Le CH représente 60 % des émissions agricoles dans les départements d'élevage (Corrèze, Creuse, Haute-Vienne). À l'inverse le N_2O représente 60 % des émissions agricoles dans les Landes où la maïsiculture domine avec un usage important d'engrais azotés de synthèse.

QUELS LEVIERS POUR RÉDUIRE LA CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?

L'agriculture peut contribuer à l'atténuation du changement climatique *via* trois leviers : la réduction de ses émissions de CO_2, CH et N_2O ; le stockage de carbone dans les sols et la biomasse ligneuse ; et la production d'énergie renouvelable (biogaz par exemple) qui réduit les émissions de CO_2 par effet de substitution aux énergies fossiles.

Bien que les émissions de CO_2 ne représentent que 12 % des émissions agricoles, les économies d'énergie sont un levier intéressant à mobiliser car elles génèrent des réductions de charges, en plus de réduire les émissions de GES. Ces réductions d'émissions peuvent être obtenues par un meilleur réglage des tracteurs, l'écoconduite ou encore l'isolation des serres et des bâtiments d'élevage chauffés.

La réduction des émissions de CH passe principalement par le développement de la méthanisation des effluents d'élevage et autres déchets car le CH_4 qui serait produit lors du stockage est alors capté et transformé en énergie (biogaz) au lieu d'être émis dans l'atmosphère. Compte tenu de l'importance de l'élevage, la région Nouvelle-Aquitaine dispose d'un potentiel important dont l'exploitation a démarré (voir chapitre Énergie). Mais le développement de la filière Biogaz est extrêmement tributaire des subventions publiques (aide à l'investissement, achat subventionné de l'électricité produite) **[79]**.

La réduction des émissions de N_2O est possible grâce à un meilleur raisonnement de la fertilisation azotée (calcul du bilan prévisionnel et outils de pilotage en cours de culture), à une meilleure prise en compte de l'azote apporté par les effluents d'élevage et surtout grâce au développement des légumineuses (pois, soja, féverole, haricot, luzerne, trèfle…) qui fixent l'azote de l'air grâce à une symbiose bactérienne et n'ont donc pas besoin d'engrais azotés **[80] [81]**. Une expérience en cours vise par exemple à redévelopper une filière de production de soja, espèce pour laquelle la région offre des conditions pédoclimatiques favorables.

L'agriculture peut aussi contribuer à l'atténuation du changement climatique en séquestrant du carbone dans les sols et dans la biomasse ligneuse. La **Figure 16** représente le stock de C organique de l'horizon 0-0,3 m des sols de la région. Au total le stock de C contenu dans les sols de Nouvelle-Aquitaine représente 0,435 10^9 t de C (soit l'équivalent de 1,6 10^9 t de CO_2), représentant 38 fois les émissions annuelles de GES de la région tous secteurs cumulés et 145 fois les émissions annuelles du secteur agricole, ce qui souligne l'intérêt qu'il y a à protéger ces stocks. Le stock de C des sols dépend du pédoclimat et du mode d'occupation du sol. Ce stock est environ 1,5 fois plus élevé sous forêt et sous prairie que sous grande culture. Les stocks les plus faibles sont observés sous vergers et vignes **[82]**. En Nouvelle-Aquitaine les teneurs les plus élevées se situent en zone d'altitude (Pyrénées, Massif central) du fait des températures froides peu favorables à la minéralisation du carbone du sol et au mode d'occupation du sol, majoritairement en prairie. Les teneurs les plus faibles sont observées en zone de plaine et/ou de grande culture ou de vignoble (Nord des Deux-Sèvres et de la Vienne, vallée de la Garonne et vignobles du Bordelais, Bassin de l'Adour). L'augmentation du stock de C contenu dans les sols agricoles suppose (i) le maintien voire l'augmentation de la surface en prairies permanentes, (ii) le développement de pratiques culturales augmentant le retour de carbone au sol (cultures intermédiaires et restitution des pailles en grande culture, enherbement des vignes et vergers, restitution des sarments…) ou ralentissant la minéralisation (réduction du travail du sol) **[79] [83] [84] [85] [86].** L'augmentation du stock de C dans la biomasse ligneuse est également possible grâce à l'agroforesterie et au développement des haies **[86] [87] [88]**.

ADAPTATION ET ATTÉNUATION : QUELLES SYNERGIES ET QUELS ANTAGONISMES ? NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE

L'adaptation des systèmes agricoles au changement climatique, et la contribution de l'agriculture à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre sont deux objectifs tout aussi nécessaires l'un que l'autre. Quels que soient les efforts faits au niveau mondial pour atténuer le changement climatique celui-ci est en cours et l'agriculture devra s'y adapter localement. Réciproquement l'agriculture contribue significativement aux émissions de GES et les engagements pris par les États de réduction de leurs émissions ne pourront pas être atteints sans un effort de tous les secteurs.

Le **Tableau 4** récapitule les quelques leviers majeurs permettant d'adapter les systèmes agricoles au changement climatique et/ou de réduire les émissions de GES agricoles, ainsi que les possibles synergies et antagonismes entre ces objectifs.

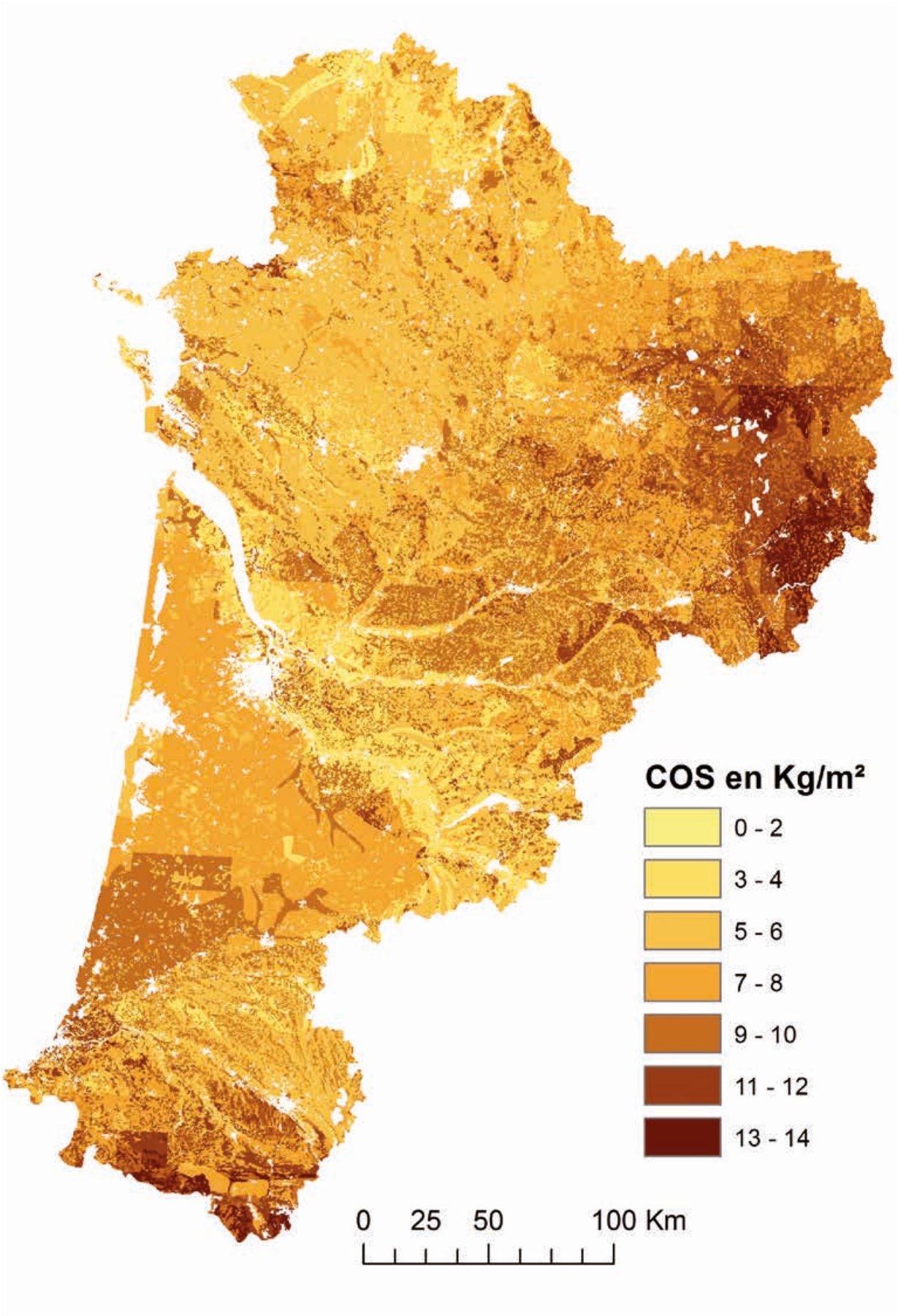


Figure 16: *Carte du stock de carbone organique des sols (COS) en Nouvelle-Aquitaine (GIS Sol, adapté de (82)), INRA.*

PRINCIPAUX LEVIERS	ADAPTATION	ATTÉNUATION	SYNERGIES/ANTAGONISMES/REMARQUES
Maintien/développement de la prairie permanente	+/-	+++	Permets le stockage de C, mais production limitée en été du fait du déficit hydrique
Diversification des cultures. Choix d'espèces et de variétés adaptées	+++	=	Levier important d'adaptation. Pas d'effet sur l'atténuation sauf si cela modifie la fertilisation azotée ou le retour de carbone au sol
Légumineuses (soja, pois…)	=/-	+++	Antagonisme possible car certaines légumineuses sont sensibles au manque d'eau
Réduction du travail du sol, mulch	+	++	Synergie possible car permet à la fois de réduire le risque érosif, de réduire les pertes d'eau par évaporation, de stocker plus de carbone. La maîtrise des adventices peut toutefois devenir plus difficile, d'où un antagonisme possible avec l'objectif de réduction des herbicides
Cultures intermédiaires (dont légumineuses), enherbement des vignes et vergers	+/-	++	Permet un stockage accru de C dans le sol, une réduction des pertes d'azote par lixiviation, une limitation de l'érosion, une réduction d'usage des engrais N si la culture intermédiaire est une légumineuse. Mais risque de compétition pour l'eau
Utilisation des effluents d'élevage et autres produits organiques comme fertilisants	=	++	Permet un stockage de C et des économies d'engrais azoté de synthèse. Les effluents d'élevage sont déjà recyclés mais leur utilisation pourrait être optimisée (meilleure prise en compte dans le calcul de la fertilisation, réduction des pertes par enfouissement, mobilisation d'autres ressources)
Agroforesterie et haies	+/-	+++	Permet un stockage de C, un microclimat plus favorable, mais risque de compétition pour l'eau en sol à faible réserve utile
Méthanisation des effluents d'élevage	=	+++	Levier puissant d'atténuation. Pas d'antagonisme avec l'adaptation
Économie d'intrants (eau, azote, énergie) grâce à des outils de pilotage, des technologies innovantes (capteurs), des investissements (bâtiment…)	+	++	Ce levier sert à la fois un objectif d'adaptation (économies d'eau) et d'atténuation (économies d'azote, d'énergie)
Mobilisation de nouvelles ressources en eau pour l'irrigation	+++	=	Conflit possible avec les autres usages de l'eau

Tableau 4 : *Principaux leviers d'adaptation ou d'atténuation et synergies/antagonismes possibles entre ces objectifs. +++ : levier très important ; ++ levier important ; + levier modérément important ; = levier sans effet ; - levier ayant un effet antagoniste.*

La diversification des cultures et le choix d'espèces et de variétés adaptées au climat futur, les économies d'intrants (eau, azote, énergie), la réduction du travail du sol, la méthanisation des effluents d'élevage permettent de viser l'un ou l'autre de ces objectifs sans effet antagoniste, voire avec un effet synergique (cas de la réduction du travail du sol). Le développement de la prairie, l'accroissement de la surface en légumineuses, les cultures intermédiaires et intercalaires, l'agroforesterie et les haies sont des leviers puissants d'atténuation par stockage accru de carbone dans le sol ou fixation symbiotique d'azote, avec dans quelques cas des effets synergiques avec l'objectif d'adaptation (réduction du risque érosif grâce à la couverture permanente du sol, microclimat favorable aux animaux en agroforesterie). Dans quelques cas il peut cependant apparaître un risque d'antagonisme avec l'objectif d'adaptation, en particulier en cas de faible disponibilité en eau. La faible production d'herbe en été, la sensibilité de certaines espèces de légumineuses au stress hydrique, la consommation d'eau par les cultures intermédiaires ou intercalaires et les arbres peuvent limiter l'intérêt de ces leviers en sols à faible réserve en eau. Leur mise en œuvre doit donc être raisonnée en fonction du contexte pédoclimatique et du système de production. La mobilisation de nouvelles ressources en eau pour l'irrigation est aussi un levier d'adaptation mais qui risque de se heurter aux conflits d'usages pour cette ressource.

5 CONCLUSION

L'agriculture est un secteur d'activité majeur en Nouvelle-Aquitaine, à la fois en termes d'occupation du territoire, de production de valeur économique et d'emplois générés, directs et indirects. Dans le même temps, plusieurs filières agricoles d'importance ou emblématiques pour la région sont fortement exposées aux conséquences du changement climatique. Dans certains cas il peut s'agir de conséquences positives ou neutres (rendement des cultures d'hiver, production fourragère et élevage en zone de montagne) mais dans beaucoup d'autres cas il s'agit d'impacts plutôt négatifs (qualité du raisin et des fruits, rendement du maïs, production fourragère en été pour les ruminants, bien-être des animaux et performances des élevages hors sol). Le suivi et la mesure de ces impacts peuvent d'ores et déjà s'appuyer sur des outils mis en place par les professionnels du secteur comme l'observatoire Oracle (**ENCADRÉ 7**). À ces menaces spécifiques sur des filières particulières s'ajoute un risque accru de pertes de sols destinés à l'agriculture du fait de l'urbanisation et d'un aléa érosif plus important dans certaines zones, une raréfaction de la disponibilité en eau en été et une incertitude croissante sur la possibilité de maîtriser facilement l'ensemble des ravageurs et maladies des cultures favorisés par le changement climatique. Les tensions liées aux exigences sociétales en matière d'alimentation et de respect de l'environnement, mais également au modèle socio-économique majoritaire de l'agriculture doivent être considérées.

ENCADRÉ 7 : UN OBSERVATOIRE RÉGIONAL SUR L'AGRICULTURE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (ORACLE)

À l'issue d'un test en Poitou-Charentes, les Chambres régionales d'Agriculture ont mis en place depuis 2012 des observatoires qui couvrent maintenant 5 régions françaises dont l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine. Soutenu par l'ADEME et en partenariat technique avec Météo-France, ce dispositif permet de prendre la mesure des évolutions climatiques et agricoles avérées dans les territoires du périmètre régional depuis les années soixante jusqu'à aujourd'hui. Mis à jour annuellement, l'observatoire présente cinq familles d'indicateurs : climat, agroclimat, impacts, adaptation et atténuation. Les résultats font l'objet d'une publication annuelle sous forme d'un livret guide (***www.aquitainagri.fr***). En complément, le projet ClimA-XXI, conçu par les mêmes acteurs, fournit des informations sur la faisabilité des productions agricoles au cours du XXIe siècle en calculant des indices agroclimatiques pertinents sur la base des projections climatiques régionalisées (8x8 km) réalisées pour le XXIe siècle par Météo-France. En Nouvelle-Aquitaine, les départements Charente-Maritime, Gironde, Dordogne, Landes, Pyrénées-Atlantiques ont déjà fait l'objet d'une étude et le Lot-et-Garonne, la Vienne et les Deux-Sèvres sont en cours d'analyse. Ces deux dispositifs font l'objet d'un déploiement national porté par le réseau des Chambres d'Agriculture de France.

D'ici à 2050, si les modifications du climat restent dans la limite des simulations produites par le GIEC, l'ampleur et les impacts du changement climatique sur les productions agricoles seront significatifs et souvent pénalisants mais resteront dans la plupart des cas dans les limites pour lesquelles des leviers techniques d'adaptation existent. Il est cependant important d'agir dès aujourd'hui pour les mobiliser.

Le choix de variétés ayant des besoins thermiques plus adaptés au nouveau contexte climatique ainsi qu'une meilleure résistance au stress hydrique ou aux températures extrêmes devrait être un levier efficace pour bon nombre de cultures (vigne, arbres fruitiers, céréales, cultures prairiales…).

À ce levier génétique pourra être associé une adaptation des techniques de culture et d'élevage : avancée des dates de semis, décalage des récoltes, évolution des méthodes de vinification, mélanges d'espèces ou de variétés pour accroître la résilience des cultures aux stress, réduction du travail du sol et mulch pour économiser l'eau, allongement de la période de pâturage, climatisation des bâtiments d'élevage, etc. Ces ajustements techniques peuvent cependant nécessiter une adaptation des systèmes de production et des filières (nouveaux équipements, modification des calendriers de travail, modification des systèmes fourragers, etc.).

Il est crucial que l'adaptation de l'agriculture au changement climatique se fasse tout en poursuivant l'effort de réduction des impacts négatifs de l'activité agricole sur l'environnement (réduction d'usage des intrants et des émissions de polluants et de GES, préservation des milieux et de la biodiversité). Face à l'augmentation du risque de maladies et ravageurs il faudra aussi mobiliser des méthodes de lutte à la fois efficaces et compatibles avec les objectifs de préservation de l'environnement. L'amélioration de la prévision des risques, la diversification des assolements et des rotations y contribueront.
Un certain nombre de leviers d'adaptation au changement climatique sont compatibles avec la réduction des émissions de GES et/ou avec la conservation, des milieux tels que la diversification des cultures ou la réduction du travail du sol. Par ailleurs plusieurs leviers majeurs pour réduire les émissions de GES d'origine agricole et accroître le stockage de carbone sont compatibles avec l'adaptation au changement climatique, tels que l'agroforesterie, les haies, la couverture permanente du sol, dès lors que ces leviers ne génèrent pas localement un risque de compétition pour l'eau.

À plus long terme, les leviers les plus immédiats d'adaptation *via* le choix de variétés ou de techniques adaptées ne suffiront probablement pas et il faudra envisager des évolutions plus radicales des systèmes de culture et des systèmes d'élevage. Ces évolutions seront à réfléchir dans le cadre politique général souhaité pour l'agriculture par la Région et les acteurs économiques de ce secteur en général et des filières en particulier. Le changement des modes de consommation (ex-diminution de la consommation de viande) et des adaptations du modèle économique dominant (circuits courts, développement des services éco-systémiques, etc.) sont également des facteurs de résilience de l'agriculture à prendre en compte. Face à la dégradation des bilans hydriques, le changement climatique va conduire à s'interroger sur l'opportunité de remplacer certaines espèces par d'autres mieux adaptées au manque d'eau, comme le remplacement du maïs par le sorgho ou le tournesol, avec des implications fortes en termes de filière de collecte et de transformation. Il va aussi conduire à s'interroger sur les conditions dans lesquelles l'irrigation peut être maintenue, ou au contraire doit être limitée. Cette réflexion est à conduire avec l'ensemble des usagers de la ressource en eau.

L'effort de recherche pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est important en Nouvelle-Aquitaine, en particulier pour certaines filières clés comme la viticulture, l'arboriculture et les productions fourragères. L'enjeu pour réussir cette adaptation, en même temps que les autres mutations nécessaires comme la réduction de l'usage des intrants chimiques, est de mobiliser l'ensemble des disciplines biotechniques et socio-économiques indispensables, ainsi que l'ensemble des acteurs concernés du monde agricole, des filières et des territoires afin de prendre en compte l'ensemble des enjeux environnementaux, économiques et sociaux au carrefour desquels se situe ce secteur d'activité.

Territoires urbains et enjeux climatiques

Pont de pierre, Bordeaux © Saranya33

Coordination : **Daniel Compagnon**

Rédacteurs : **Francis Allard, Jean-François Berthoumieu, Régis Briday, Laura Cornelis, Laurent Couderchet, Julien Dellier, Alain François, Nathalie Gaussier, Patrice Godier, Florence Lerique, Etienne Lhomet, Sophie Moulard, Jean-Christophe Pereau, Julien Rebotier, Guy Tapie, Pascal Tozzi, Manon Vivière, Seghir Zerguini**

Contributeurs : **Antoine Delmas, Quentin Duval, Camille Hochedez, Benoît Leroux, Moulay-Driss El Jihad, François Mancebo, Daniel Peyrusaubes, Emilie Richard, Mohamed Taabni**

Les zones urbaines aussi sont affectées par le changement climatique, en particulier du fait des îlots de chaleur et du risque d'inondation et de submersion. La poursuite de l'étalement urbain accroît la vulnérabilité de ces territoires au changement climatique et complique la mise en œuvre des politiques publiques dans le domaine de l'habitat durable et du transport, dont pourtant les co-bénéfices en termes de santé publique sont élevés. Nécessité éthique, la prise en compte des inégalités environnementales rendra également les politiques d'adaptation urbaine plus efficientes. Celles-ci doivent gagner en cohérence, dépasser la simple réplication de documents de planification à tous les échelons et la prédilection pour la communication au détriment des autres outils.

MODE DE VIE URBAIN

70 % production de CO_2 dans le monde

TRANSPORT	CHAUFFAGE	BÂTIMENT
VOITURE 195 g de CO_2 km/pers	BUS 107 g de CO_2 km/pers	TRAM 3 g de CO_2 km/pers

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

TEMPÉRATURES

JOURS +30 °C

NIVEAU DES MERS

PRÉCIPITATIONS BRUTALES
CRUES EXCEPTIONNELLES

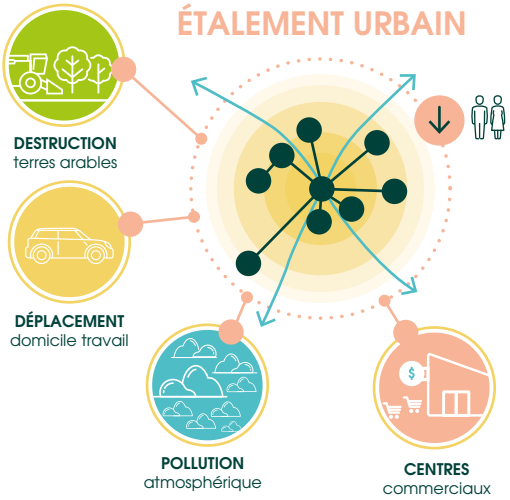
ÎLOTS DE CHALEUR

ÎLOTS DE FRAÎCHEUR

ALÉA SUBMERSION
85 000/115 000 habitats permanents
en zones potentiellement **INONDABLES**
À BORDEAUX MÉTROPOLE

RÉORGANISATION VILLES DENSES ET DURABLES ?

ÉTALEMENT URBAIN



DESTRUCTION terres arables

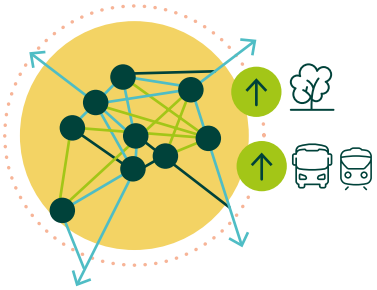
DÉPLACEMENT domicile travail

POLLUTION atmosphérique

CENTRES commerciaux

CHANGER DE **MODE DE VIE**

VILLES MULTIPOLAIRES



Faciliter le changement

ZONE VERTE
- QUALITÉ DE VIE
- ENVIRONNEMENT SALUTOGÈNE
- LUTTE CONTRE LES ICU

HABITATS DURABLES ET RÉSILIENTS
- QUALITÉ SANITAIRE
- SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE
- FAIBLES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

ÉCOMOBILITÉ
BONNE "MARCHABILITÉ" DE L'ESPACE URBAIN
(confort d'usage des trottoirs, niveau de bruit, sécurité publique, propreté, densité de la circulation automobile)

1 INTRODUCTION

Depuis les années 1990 et surtout 2000, la mise à l'agenda politique du développement durable a fait évoluer valeurs et enjeux concernant l'espace urbain : bien-vivre au quotidien, impact des pollutions sur la santé, ou efficience des moyens de transports. L'urgence climatique vient accentuer cette tendance : **les territoires urbains participent à hauteur de 70 % à la production des émissions de CO_2** (Agence internationale de l'énergie citée par Theys et Vidalenc **[1]**) et devront contribuer significativement à la réalisation des engagements nationaux pris à la COP21, dans le cadre de l'Union Européenne et du Plan Climat national, ensuite intégrés à la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Il s'agit de réduire les émissions de GES de 75 % entre 1990 et 2050 — « le facteur 4 » —, soit environ -3 % par an, avec l'objectif intermédiaire de -40 % à l'horizon 2030. Si l'action des collectivités territoriales est encadrée par les politiques mises en œuvre par les États et par les accords internationaux, elles ont une réelle marge de manœuvre et certaines grandes villes ont adopté des positions innovantes[1] y compris quand les autorités nationales ne s'engageaient que timidement et de façon intermittente, comme aux États-Unis. Désormais les métropoles comme les villes moyennes sont confrontées au double défi de l'atténuation et de l'adaptation.

Ce chapitre rassemble des contributeurs de plusieurs disciplines scientifiques ; il combine de façon assez hétérogène - étant donné cette diversité - des analyses empiriques, voire techniques, et des retours plus critiques sur les politiques menées et les instruments mis en œuvre ; il ne peut prétendre, enfin, à aucune exhaustivité ni thématique ni géographique.

1 • Notamment grâce aux réseaux transnationaux qui diffusent des modèles d'actions, des cibles et des bonnes pratiques, tels que C40 Cities Climate Leadership Group, International Council of Local Environmental Initiatives (ICLEI), Metropolis ou le US Mayors Climate Protection Agreement [2] [3] [4].

2 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MILIEU URBAIN

Les territoires urbains sont affectés par le changement climatique et d'ores et déjà concernés par l'impératif d'adaptation. Le risque spécifique doit y être appréhendé en croisant les effets du réchauffement climatique, la vulnérabilité propre de cet espace en fonction de ses caractéristiques physiques et sociales (notamment topographie et proximité d'un fleuve ou du littoral, densité de population, niveau de revenu et inégalités, nature des activités économiques, etc.) et des capacités des collectivités locales concernées à mettre en œuvre des mesures d'atténuation et d'adaptation **[5]**. Plusieurs dimensions de la vie urbaine sont en cause : système énergétique (y compris les réseaux fragilisés par les phénomènes météorologiques extrêmes), transports, ressource en eau et santé publique. Nous examinons ici deux aspects particuliers de ces impacts : les îlots de chaleur et le risque de submersion.

ÎLOTS DE CHALEUR ET RISQUES LIÉS AUX CANICULES

Le réchauffement climatique induit une augmentation du nombre de jours avec des températures diurnes supérieures à 30 °C. Dans la ville d'Agen, exemple de ville moyenne de la région, on est passé d'une moyenne de 15 journées à plus de 30 °C dans les années 1970, à 25 journées dans les années 1990 et à plus de 45 aujourd'hui. Le seuil de 35 °C est régulièrement dépassé depuis 2003 et celui de 40 °C a été atteint en 2003, 2010 et 2015. En ville ces seuils sont plus souvent dépassés du fait de l'état de minéralisation et de la transformation de l'énergie solaire radiative en chaleur (calories). A la campagne, dans les parcs et les espaces urbains végétalisés, près de la moitié de l'énergie solaire reçue est transformée par le biais de la photosynthèse et de l'évapotranspiration en frigories. L'eau en s'évaporant des sols et des feuilles absorbe de l'énergie, refroidissant ainsi 1 000 m^3 d'air de 2 °C **[6]**.

Les images thermiques obtenues par des satellites - périodes sans nuages, en été après une période sans pluie - permettent d'observer les écarts de température à une échelle assez fine. En exemple des clichés obtenus par Landsat en 2016 vers 12 heures locale sur Bordeaux (**Figure 1 a et b**), Agen (**Figure 2**) et Poitiers (**Figure 3**). Le contour des communes est indiqué et les fleuves et cours d'eau en bleu servent de repère. Les températures de surface les plus élevées figurent en rouge et la variation est indiquée dans la légende, entre 22 °C sur les surfaces liquides à plus de 35 °C sur la zone industrielle de Blanquefort ou l'aéroport de Mérignac. Sur l'agglomération d'Agen ce sont les espaces commerciaux, des zones industrielles, le Marché d'Intérêt National et les quartiers denses, aux surfaces artificialisées sans végétation, qui sont plus chauds de 10 °C, en comparaison des zones irriguées ou des parcs et jardins.

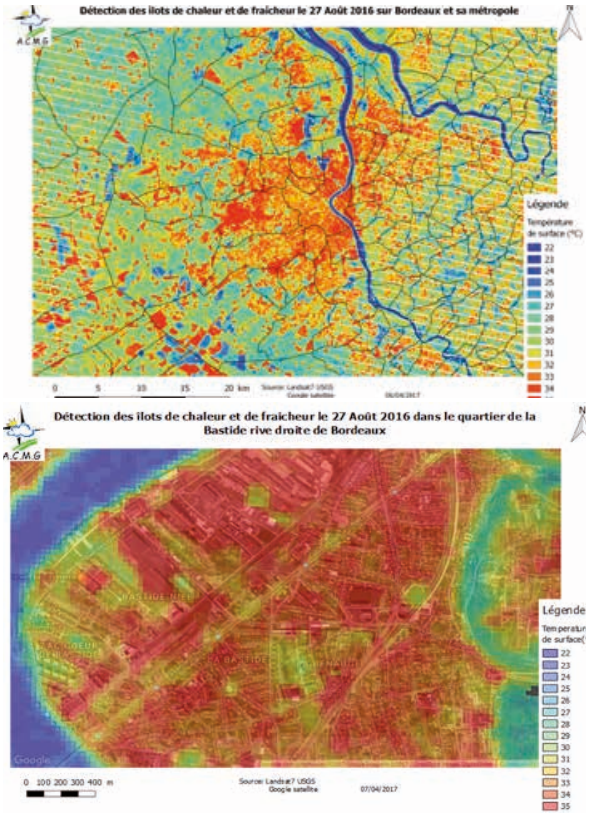


Figure 1 : Cartes *thermiques a) de la métropole de Bordeaux le 27/08/2016, b) Quartier* Bastide, Source Landsat.

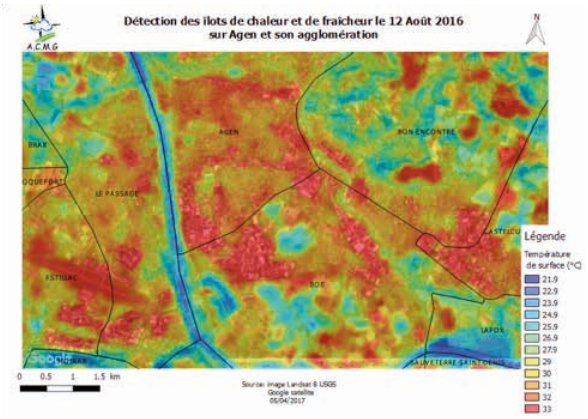


Figure 2 : *Carte thermique de l'Agglomération d'Agen le 12/08/2016 – Source Landsat.*

À Bordeaux, les quartiers de la rive droite, Bastide-Benauge (**Figure 1b**) illustrent ces différences si l'on rapporte la carte thermique à celle de l'usage des sols : le cheminement de la ligne A du tramway sur gazon irrigué, avenue Thiers à environ 30 °C contraste avec les 34 °C sur les toitures et places minérales de Bastide Niel et de la zone industrielle le long du Quai de Brazza. À droite de l'image, le quartier résidentiel autour du Cours Gambetta confirme que là où des arbres et les petits jardins côtoient les maisons il y fait quelques degrés de moins.

Une nouvelle confirmation nous est fournie par la carte **de Poitiers** (**Figure 3**), où l'on découvre les avantages d'un centre urbain où le végétal tient une bonne place, pour des gradients de température pourtant très comparables entre Poitiers et Bordeaux. Seuls les espaces industriels et commerciaux sont rouges, tout comme les champs secs des espaces agricoles du nord de l'agglomération de Poitiers. Heureusement, les canicules résultent de flux de sud à est, secteurs où la périphérie de la ville compte beaucoup de zones boisées et de champs irrigués. De la même façon, le maintien d'une large ceinture verte et humide autour de la ville de Bordeaux, actuellement menacée par l'étalement urbain, est essentiel. Une extension des espaces verts arborés en ville[2] accompagnée d'une politique de protection de l'arbre dont les services éco-systémiques rendus sont nombreux, apparaît comme une priorité de l'action publique. Enfin l'irrigation raisonnée des espaces verts et de la végétation urbaine devient une nécessité en utilisant de nouvelles ressources d'eau locales, comme par exemple les eaux usées traitées.

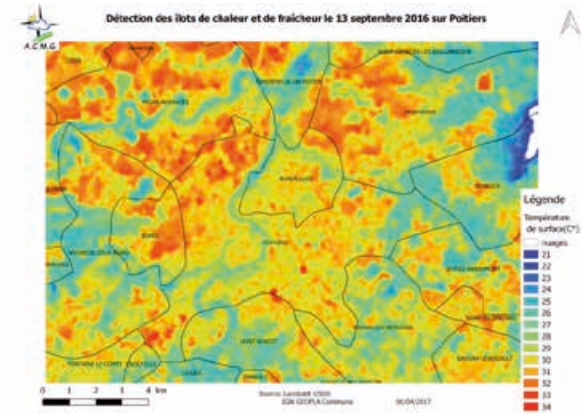


Figure 3 : *Carte thermique de Poitiers et ses environs le 13/09/2016 – Source Landsat.*

Bien entendu, la douzaine d'aires urbaines de plus de 100 000 habitants[3] de la Nouvelle-Aquitaine sont confrontées au même défi, mais on voit que **les caractéristiques géographiques locales, la morphologie urbaine et le degré d'artificialisation des sols jouent un rôle décisif dans les variations observées d'un site à l'autre.**

ALÉA SUBMERSION : L'EXEMPLE DE L'AGGLOMÉRATION BORDELAISE

La montée attendue du niveau des mers à l'horizon 2100 — déjà très sensible à l'horizon 2050 — associée à des risques de crues fluviales liées à des précipitations exceptionnelles et brutales, font apparaître

2 • Notons que les parcs et jardins de feuillus diversifiés apparaissent sur les cartes thermiques moins chauds que les bois de résineux de l'ouest de l'agglomération bordelaise.

3 • Outre Bordeaux, Limoges et Poitiers, Bayonne, Pau, La Rochelle, Angoulême, Niort, Agen, Périgueux, Brive-la-Gaillarde (INSEE [7]).

un aléa submersion qui ne concerne pas que le littoral aquitain ou l'estuaire de la Gironde, mais pourrait aussi affecter significativement les zones urbanisées dans l'aire métropolitaine bordelaise (périmètre du SYSDAU).

Pour saisir l'importance de cet enjeu pour Bordeaux Métropole, il suffit de comparer la carte « submersion marine » du Territoire à Risque d'Inondation (TRI) (**Figure 4**)[4] publiée en 2014 par la DREAL sur son site[5] pour la partie sud de l'agglomération avec celle de l'emprise du projet Euratlantique, la plus grande opération intégrée d'urbanisme en cours dans la métropole. Une partie des zones concernées par le projet sont en majorité menacées par des événements de submersion de moyenne ou forte probabilité (en vert sur la carte TRI), le changement climatique étant un facteur aggravant[6]. « L'analyse des crues historiques a montré que le territoire du TRI de Bordeaux est particulièrement vulnérable aux inondations d'origine estuarienne telle la marée tempête de décembre 1999 » (DREAL **[8]**). Bien que des ouvrages de protection (digues en place ou à bâtir) et les techniques de construction puissent atténuer les effets de ce risque de submersion, il est étonnant que celui-ci n'ait pas davantage compté dans l'évaluation de la faisabilité d'un projet urbain dont la pérennité est à l'horizon de la fin du siècle. La contradiction entre d'une part le projet urbanistique de reconquête des berges du fleuve et de densification urbaine (voir ci-après), avec ses enjeux fonciers et ses retombées économiques attendues, et d'autre part l'impératif d'adaptation au changement climatique, a conduit semble-t-il à

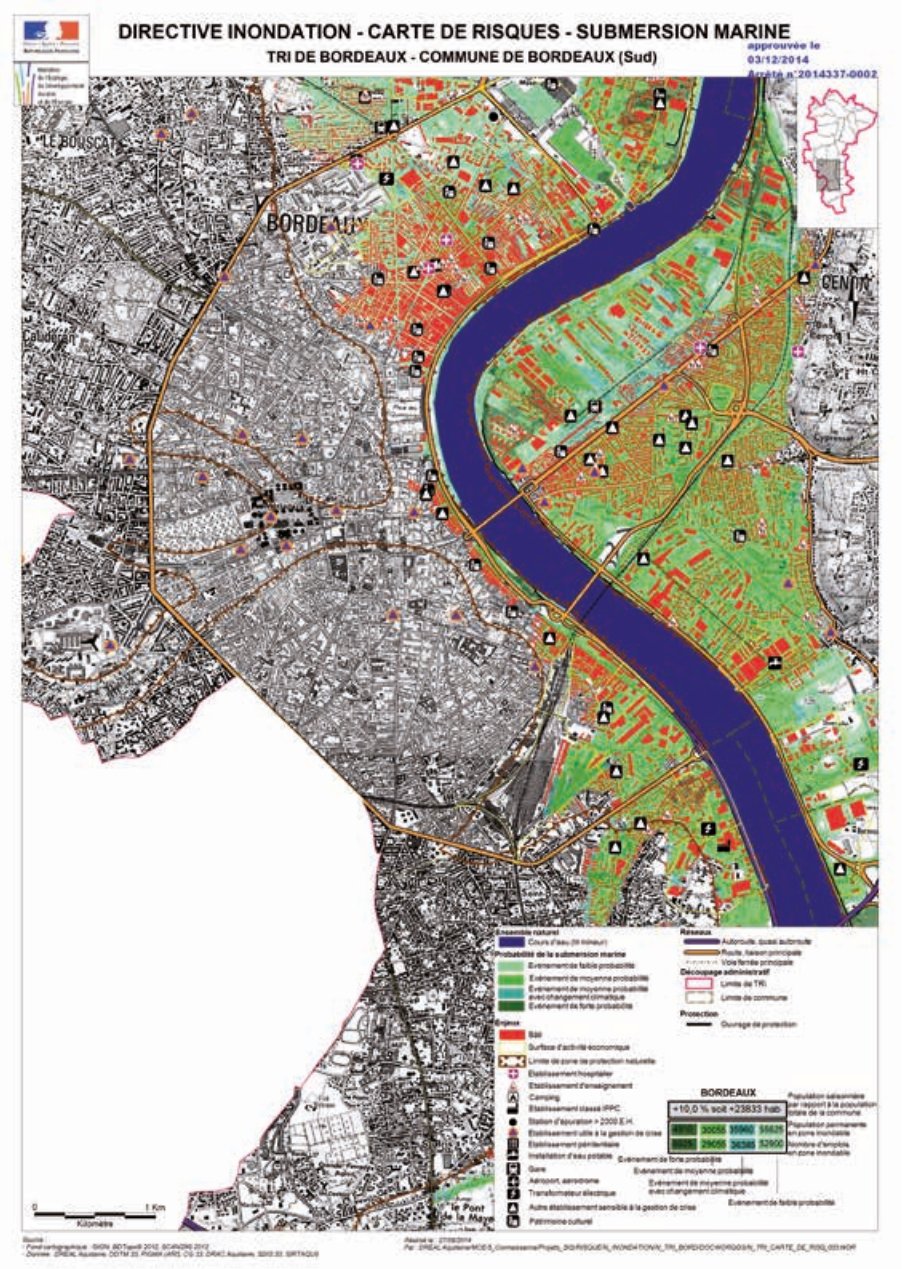


Figure 4 : *Carte de risques – submersion marine pour la partie sud de Bordeaux.*

4 • *« Un TRI est un secteur où se concentrent fortement des enjeux exposés aux inondations, qu'elles soient issues de submersions marines, de débordements de cours d'eau ou de toute autre origine » (DREAL [8]). L'établissement des TRI résulte de l'application de la Directive européenne 2007/60/CE.*

5 • *Carte consultée en avril 2017. Sur le nouveau site* ***www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/les-territoires-a-risque-important-d-inondation-r712.html*** *cette carte n'est curieusement plus en accès public.*

6 • *« Afin de tenir compte des effets du changement climatique, une augmentation du niveau marin de 60 cm en 2100 est retenue, pour étudier un scénario d'occurrence moyenne en 2100 » (DREAL [8]). Par ailleurs, le rapport définit « les événements dits fréquents ou de forte probabilité (période de retour entre 10 et 30 ans, soit chaque année, une probabilité de se produire comprise de 10 % à 30 %) » et « les événements dits d'occurrence moyenne (période de retour comprise entre 100 et 300 ans) » ; le niveau d'augmentation du niveau marin retenu de 60 cm à l'horizon 2100 est prudent : les travaux récents indiquent que la tendance s'est accélérée depuis le milieu des années 2000 [9] et pourrait dépasser 1 m à l'horizon 2100, notamment si on prend en compte les glaces de l'Antarctique [10].*

sous-estimer l'ampleur des problèmes qui pourraient se poser avant la fin du siècle.

Plus largement, « selon le type d'aléa considéré, le TRI de Bordeaux [28 communes] regroupe entre 85 000 et 115 000 habitants permanents implantés en zone potentiellement inondable et le nombre d'emplois en zone inondable est estimé entre 70 000 et 100 000. Le potentiel touristique de ce TRI peut également être qualifié de fort » (DREAL **[8]**). Le TRI étant orienté vers la prévention/gestion du risque, il ne contient pas d'estimation des pertes éventuelles du fait du risque de submersion additionnel résultant du changement climatique. L'anticipation de ces pertes pourrait avoir des répercussions sur les coûts d'assurance des biens et des répercussions futures sur le marché immobilier.

Outre l'adaptation nécessaire des documents d'urbanisme et des plans de prévention des risques inondation de l'agglomération, la mise en défense des territoires concernés ne peut reposer exclusivement sur le renforcement des digues, en raison des risques de « rupture d'endiguement ou d'une crue supérieure à celle prise en compte pour le calage de la crête des endiguements » (DREAL **[8]**).

L'existence en aval de **zones d'étalement des événements de submersion** et leur évolution à la faveur des ajustements morphologiques futurs de l'estuaire, sont des facteurs importants et supposent **une stratégie intégrée de gestion du risque submersion, à l'échelle de l'estuaire tout entier**[7] et en tenant compte des connaissances nouvelles à acquérir.

D'autres agglomérations de la Nouvelle-Aquitaine, situées notamment sur le littoral atlantique sont également menacées par la montée du niveau marin.

7 • « Les études menées dans le cadre du RIG1 ont démontré qu'une suppression totale des systèmes de protection sur l'ensemble de l'estuaire avait comme effet une diminution très sensible des niveaux d'eau sur le territoire de la CUB et donc des débordements dans le lit majeur. Cette diminution a pu être estimée à Bordeaux centre à 80 cm environ pour un événement moyen submersion marine » (DREAL [8]). Il s'agit bien sûr d'un arbitrage politique à effectuer.

3 ENJEUX DE LA MÉTROPOLISATION TENANT À LA MORPHOLOGIE DES VILLES ET À L'ÉTALEMENT URBAIN

La part de la population résidant dans les territoires urbains est estimée aujourd'hui à environ 75 % en Europe et 80 % en France. Les modalités de l'urbanisation se sont modifiées au cours des dernières décennies **[11]**: les villes sont de plus en plus étendues, s'imbriquant avec leurs espaces périphériques et constituant des métropoles concentrant habitat et emplois, un phénomène amplifié par la globalisation économique, la croissance démographique et l'efficience des techniques de communication et de transport. L'étalement urbain apparaît clairement dans l'agglomération bordelaise notamment. Entre 1960 et 1990, la zone urbaine de Bordeaux a doublé en taille mais perdu en densité. Si la surface de la zone urbanisée à Bordeaux est similaire à Lyon et Lille, la population y est deux fois plus faible. *« Cette faible densité favorise la pratique automobile, rend plus difficile la mise en place d'un réseau de transports collectifs efficace en périphérie, imposant une vitesse commerciale plus élevée afin que le réseau soit réellement attractif. Sur le périmètre de l'aire métropolitaine bordelaise - celui du Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) - les quarante dernières années sont marquées par une baisse importante de la densité d'habitants à l'hectare. Cette densité passe de 47,8 hab./ha en 1973 à 22,5 en 1996 et 21,5 en 2010. Entre-temps, la surface urbanisée aura été multipliée par 4 »* **[12]**. Or, *« plus une ville est peuplée, plus elle est dense, et plus elle est dense, plus elle est, sur tous les points couramment pris en compte, davantage respectueuse de l'environnement qu'un espace diffus ou fragmenté »* **[13]**.

L'accent mis ici sur la seule métropole de la Nouvelle-Aquitaine ne doit pas faire oublier que d'autres grandes aires urbaines de la région vont rencontrer des difficultés assez similaires bien qu'à une moindre échelle. Une étude de la DREAL de l'ex-région Limousin menée en 2010 **[14]**, soulignait l'existence d'un facteur 2 et même d'un facteur 4 sur cette question. Facteur 2: depuis 1962 la consommation de terres par l'urbanisation par habitant y a été deux fois plus importante que la moyenne nationale (1600 contre 800 m²/hab.). Facteur 4: la tâche urbaine de Limoges a progressé quatre fois plus vite que la population depuis cette même date. Cette évolution tient au prix du foncier relativement faible et à l'abondance des parcelles disponibles. Mais l'étalement urbain sur des couronnes périphériques de plus en plus distendues est devenu un enjeu majeur pour ce territoire.

En effet, un rapport sur l'économie présentielle et l'attractivité migratoire pour l'ex-région Limousin **[15]**, dresse un constat alarmant. D'une part, les mobilités entre bassins de vie, et plus encore à destination des pôles urbains mobilisent des flux conséquents de « navetteurs ». D'autre part, ces navetteurs appartiennent d'autant plus aux catégories populaires précaires qu'ils sont logés dans des couronnes éloignées. La première couronne *a contrario* est occupée par des ménages aisés, reflétant ainsi **l'effet Donut** bien documenté pour les villes américaines – les centres comportant ici une forte proportion de logements sociaux. Enfin, l'offre de logement, malgré la consommation de terres arables, est marquée également par une forte proportion de bâti ancien ne répondant pas aux normes actuelles de confort et dont la rénovation, notamment sur le plan de l'économie d'énergie, est au-delà des capacités financières de leurs occupants. Cette configuration - éloignement et donc mobilités contraintes, revenus modestes et bâti ancien - met en situation de vulnérabilité un grand nombre de ménages.

ÉTALEMENT, MORPHOLOGIE URBAINE ET ENJEUX DE MOBILITÉ

Une *« maîtrise de l'étalement urbain et de la périurbanisation, la recherche d'une ville compacte, moins énergivore, économe d'espace (…) qui soit fondée sur la mixité fonctionnelle et la réduction drastique de la circulation automobile »* **[16]** tel est l'objectif souhaitable pour le développement durable et d'adaptation aux changements climatiques. **L'étalement urbain engendre un allongement des déplacements domicile-travail qui se traduit par la congestion de plus en plus importante des infrastructures, la pollution atmosphérique aux heures de pointe et la dépendance de plus en plus forte à l'automobile.** De plus, les populations vivant dans les espaces périurbains avec un budget transport sensible à l'évolution du coût de l'énergie, sont socialement fragilisées.

L'instauration de la règle de la constructibilité limitée par la loi de 2000 sur « la solidarité et le renouvellement urbains » (SRU), renforcée ensuite à plusieurs reprises, visait cette lutte contre l'étalement. Les lois issues du Grenelle de l'environnement ont permis de renforcer la densité des espaces bâtis. Enfin, la suppression du coefficient d'occupation des sols (COS) et de la surface minimale constructible par la loi « d'accès au logement et un urbanisme rénové » (loi ALUR) de 2014 participe aussi de cette volonté de densification. Pourtant, ces réformes des documents d'urbanisme n'ont pas freiné sensiblement l'étalement urbain. Un guide officiel d'élaboration des plans locaux d'urbanisme (PLU) rappelait récemment aux collectivités locales qu'une *« nouvelle utilisation du règlement doit donc permettre de promouvoir la densification des zones (...) tels que les secteurs situés à proximité des transports en commun, en donnant des outils de contrôle des implantations et d'incitation à construire les parcelles sous-exploitées ou non construites. (…) Une densité bien pensée ne génère pas de nuisances »* **[17]**. La suppression du COS, comme le souligne ce document, incite les collectivités à passer d'une approche quantitative à une approche volumétrique. Le plus gros de l'urbanisation étant déjà accompli en France, les autorités locales doivent utiliser tous les moyens à leur disposition pour limiter l'étalement urbain.

Les enquêtes de déplacement menées dans plusieurs métropoles européennes et mondiales montrent que **les faibles densités sont systématiquement associées à des consommations en énergie plus élevées**. Les recherches de Newman et Kenworthy **[18] [19]**[8] soulignent le lien entre la dépendance à automobile et le développement urbain. Même, si la rapidité, le différentiel de coût entre transports publics et individuels, l'offre d'aménagement favorable à la voiture, la localisation de l'emploi, jouent un rôle significatif, comme l'ont démontré nombre d'auteurs, le lien entre densité et mobilité demeure très fort **[20]**. Des études établissent un lien positif clair entre un seuil de densité de population et rentabilité du transport léger sur rails **[21]**, ou un lien inverse entre urbanisation dispersée et efficacité du transport public **[22]**.

On ne saurait promouvoir un modèle limitant des émissions de GES des transports sans agir sur la morphologie urbaine : selon certains travaux, *« il serait possible de réduire de 25 % l'utilisation de l'automobile en transformant la forme urbaine (dessinée pour l'automobile). Cela suppose des transformations majeures, notamment une augmentation de plus de 60 % de la densité de la population »* **[23]**.

Mais la densification ne garantit pas à elle seule de meilleures performances environnementales [24], tout dépend de la répartition dans l'espace des pôles d'activités et des zones résidentielles. *« Une densification trop importante du noyau concentrique central de l'agglomération comporte le risque d'accroître la congestion, source de nuisances sonores, d'émissions polluantes et de problèmes de santé »* **[25]**. La densification, en poussant le prix du foncier vers le haut, peut aussi amplifier l'exclusion des plus pauvres, mécaniquement renvoyés dans les périphéries **[26]**. *« Des agglomérations très compactes et concentriques entourées d'une aire périurbaine désagrégée (telle celle de Barcelone) peuvent être moins durables en raison des coûts sociaux et environnementaux qu'elles comportent, que des agglomérations polycentriques structurées autour d'une ville-centre et de pôles secondaires mixtes interconnectés par des transports en commun (telle celle d'Hanovre) »* **[25]**. De plus, **certaines exigences de l'adaptation urbaine au changement climatique (espaces verts, végétalisation du bâti et de l'espace public, recours facilité au photovoltaïque) entrent en contradiction avec l'impératif de densification [27]**.

Penser l'aménagement de la métropole régionale de Bordeaux – mais cela vaut aussi pour d'autres pôles urbains de la Nouvelle-Aquitaine – c'est donc promouvoir la densification du bâti en articulant entre eux les différents pôles desservis par les grands axes de transports en commun. Cela implique de choisir les pôles autorisés à croître parce que bien desservis en transports durables, pour optimiser les impacts bénéfiques pour l'environnement et la santé, en faisant primer les schémas de cohérence à l'échelle de l'agglomération sur les logiques d'urbanisation incontrôlée à l'échelon communal, comme y est parvenue la ville de Hanovre en Allemagne **[25]**. C'est pourquoi, le programme des 50 000 logements à prix abordable de Bordeaux Métropole développe l'habitat autour d'infrastructures de transport collectif, pour densifier tout en favorisant la mixité sociale. De même l'édification des nouveaux quartiers (Niel, Ginko, Euratlantique et bientôt Brazza) est articulée aux projets de développement du tramway et de la desserte en autobus.

8 • La courbe de Newman et Kenworthy [19] établit un lien inverse entre consommation de carburant et densité urbaine dans plusieurs grandes métropoles mondiales en distinguant trois groupes, des plus consommatrices au moins consommatrices : les villes américaines, les villes européennes et les villes asiatiques. Dans cette comparaison, la difficulté tient cependant à l'hétérogénéité des données utilisées.

Dans ces nouveaux quartiers, la place de l'automobile est réduite *via* la limitation de l'offre de stationnement associée aux nouveaux logements. Cette logique se heurte à la résistance des ménages, dont beaucoup possèdent deux véhicules. Il en résulte l'encombrement de la voirie, y compris des trottoirs, par le stationnement résidentiel. **La politique de stationnement urbain s'inscrit donc dans les politiques actives de mobilité,** comme le soulignent deux rapports de la Cour des comptes **[28] [29]**, et concentre des enjeux conséquents pour l'avenir de la ville. La loi MAPTAM du 27 janvier 2014[9] réorganise la gestion du stationnement public de voirie, dépénalise le non-paiement du stationnement et fait passer ce dernier de la police administrative à la gestion domaniale en instaurant une redevance pour occupation du domaine public - le forfait de post-stationnement. Ainsi *« l'objectif principal de la réforme est d'améliorer la qualité de l'air et de rééquilibrer les parts modales en faveur des modes de transport alternatifs à l'utilisation individuelle de la voiture »* (Groupement des autorités responsables de transport **[30]**). **Le but est que les collectivités, à travers une gestion active du stationnement urbain, parviennent à faire baisser le recours à la voiture.** Avant l'entrée en vigueur de la loi MAPTAM au 1er janvier 2018, la Cour des comptes a dressé un état des lieux des difficultés que les collectivités devront surmonter. Ainsi, la réponse institutionnelle est inadaptée, les stratégies locales mal définies et leur mise en œuvre sont défaillantes. Par exemple, les plans de déplacement urbain qui devraient porter la vision stratégique du stationnement dans une agglomération « ne sont pas suffisamment prescriptifs » alors qu'à eux seuls ils *« permettraient de résoudre les difficultés institutionnelles, (…) et d'inscrire la gestion du stationnement dans les politiques plus globales de déplacements et de mobilité à l'échelle d'un territoire »* **[29]**. En outre, le contrôle du stationnement payant présente de « fortes lacunes », notamment en période électorale. Enfin, les parcs publics de stationnement font l'objet de contrats de délégation déséquilibrés au détriment de la collectivité, laquelle n'exerce pas de suivi suffisamment rigoureux.

LE PROJET EURATLANTIQUE

Projet urbanistique de grande ampleur (738 ha), Opération d'Intérêt National associant l'État et les collectivités locales, Euratlantique vise la densification urbaine, en attirant de l'activité tertiaire au cœur de Bordeaux, tout en offrant près de 10 % des logements nécessaires dans la métropole à l'horizon de 20 ans. Avec l'ouverture de la LGV Paris-Bordeaux et la croissance du trafic TER, la gare St-Jean devient un pôle majeur de transport multimodal de l'agglomération. Euratlantique y adosse rénovation urbaine (quartier Belcier), reconquête de friches industrielles en bord de Garonne (Garonne Eiffel) et développement d'un quartier d'affaires.

Il est envisagé de récupérer la chaleur de l'usine d'incinération toute proche pour un réseau commun de chauffage et l'optimiser les consommations d'énergie des bâtiments. Le projet encourage un usage plus restreint de l'automobile, en limitant le stationnement en surface, avec des parkings en silo mutualisés entre les logements et les bureaux et en favorisant les modes alternatifs de déplacement.[10]

Ce projet a suscité toutefois des interrogations, du fait de son ampleur même (l'objectif d'un million d'habitants dans la métropole à l'horizon 2030 peut contrarier l'impératif de développement durable), du risque de gentrification du quartier Belcier et plus largement de toutes les zones d'habitat populaire autour de la gare (que feront ces ménages, sinon contribuer à l'étalement urbain en se logeant à la périphérie de l'agglomération ?), mais aussi de son implantation dans des zones où l'aléa submersion souligné en introduction est significatif.

Seuls les modes de transport relevant de **l'écomobilité**, soit d'une part centrale réservée aux transports en commun et leur utilisation dans le cadre de l'intermodalité[11], d'autre part les modes de transports doux (voir ci-dessous), parce qu'ils sont peu gourmands en « espaces viaires », permettent *« une intensification urbaine réclamée par la croissance démographique et la maîtrise de l'étalement urbain »* **[31]**. Dans les centres urbains, les transports collectifs offrent une alternative crédible à l'auto et les conditions du cadre de vie rendent la propriété de véhicules plus onéreuse (stationnement, partage de l'espace avec d'autres systèmes de transports) ; or, *« selon que l'on vit dans une zone bien desservie et bien équipée, ou que l'on vit dans une zone peu dense et dépendante de l'automobile pour la plupart des activités, la consommation pour l'énergie varie de 1 à 3 pour des personnes comparables en termes de niveau de vie et d'âge. La part la plus importante des écarts constatés s'explique par des différences dans la distance que les personnes ont à parcourir pour réaliser leurs activités quotidiennes »* **[32]**.

9 • Article 63 de la loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles, JO du 28 janvier 2014.

10 • Lors d'un atelier de la concertation (2011), les objectifs annoncés pour le quartier Euroatlantique étaient les suivants à l'horizon 2020 : pour la marche passer de 21 à 30 %, pour le vélo de 3 à 15 %, pour les transports collectifs de 8 à 20 %, de 1 à 10 % pour le train et enfin de 65 à 20 % pour la voiture.

11 • L'intermodalité est le passage facilité d'un mode de transport collectif à l'autre ; la multimodalité est le passage d'un mode de transport collectif à d'autres modes : vélo ou marche par exemple. Elle constitue l'objectif final d'une écomobilité réussie.

Mais « les circulations automobiles internes aux agglomérations ne représentent que 21 % des circulations automobiles totales quotidiennes » en France [33] et la densification des centres urbains ne résout pas entièrement le problème. S'y ajoute en effet, *« la répartition des ressources (logements, emplois, services, etc.) à l'intérieur de l'espace urbain. L'éclatement des fonctions à l'intérieur de l'agglomération, tout autant que son étalement spatial ou sa densification, a de lourdes conséquences sur les distances des déplacements et le choix modal »* **[32]**.

OUTILS DE MODÉLISATION DES INTERACTIONS ENTRE MOBILITÉ ET TERRITOIRE

La modélisation systémique est interdisciplinaire et s'adresse à l'étude d'objets complexes. Des expérimentations ont déjà eu lieu. À l'initiative de la DATAR par exemple, le **modèle AMORAL** traduit, dans les années 1980, les dynamiques du système spatial des Préalpes du sud **[34]**. Les modèles multi-agents se développent dans les années qui suivent pour produire des simulations en géographie. *Clim'Way Gironde* s'insère dans ce mouvement, en développant une géographie prospective du département à échéance 2035 qui articule en un système complexe, les dimensions population et emploi, mobilité, ressources, énergie, et déchets.

CLIM'WAY GIRONDE, POUR UNE CONCEPTION GLOBALE ET PARTAGÉE DES POLITIQUES DE TRANSITION

Le département de la Gironde est marqué par un double tropisme : tropisme littoral et tropisme urbain. En contexte de changement climatique, ce phénomène se conjugue avec l'aléa d'origine océanique. L'ensemble peut être imagé sous la forme de deux vagues qui vont à la rencontre l'une de l'autre. La première vague vient d'Atlantique, elle est déjà à l'œuvre mais sa forme et son intensité ne sont pas parfaitement connues. La seconde vague est continentale et traduit les mouvements de population, plus facile à appréhender même s'ils sont marqués par des inflexions complexes : mouvement national, voire international en direction de la Gironde littorale et méridionale ; mouvement plus local depuis les campagnes girondines vers la métropole bordelaise. Si le Grand Bordeaux concentre 70 % des emplois du département, en ce qui concerne l'habitat, l'agglomération se distend plus qu'elle ne s'étend. Ce modèle girondin n'est plus considéré comme vertueux, dès lors que l'on se soucie de l'énergie et du climat.

AMENER À UN MODÈLE PLUS VERTUEUX ?

L'injonction aux plans climat a produit des documents dont la forme n'a pas permis une appropriation par les acteurs territoriaux à la hauteur de l'enjeu. Même si les procédures d'études intègrent aujourd'hui une dose de participation, leur structure évolue très peu. La question traitée par des spécialistes est déjà difficilement accessible aux décideurs, les études maintiennent relativement étanches les cloisons entre sphères de l'expertise et sphère des usages. C'est donc toute la chaîne traduction politique de l'enjeu, analyse, programmation, décision qui devrait être revue, c'est la proposition du projet Clim'Way Gironde.

UN « JEU SÉRIEUX »

Le simulateur vidéo Clim'Way a été conçu par Cap Sciences[12] en 2008. Dans sa version ludique, le joueur doit construire une ville idéale et atteindre des objectifs précis : arriver à 60 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique de son territoire d'ici à 2050 par exemple. Mais le jeu n'est pas assorti à une base de données et à un instrument cartographique qui en feraient un outil opérationnel. La maquette d'une version girondine d'un simulateur « sérieux » spécialement adapté pour les politiques publiques locales a donc été mise en œuvre en partenariat entre Cap Sciences, l'université Bordeaux Montaigne, l'UMR Passages CNRS et le cabinet spécialisé Des Villes et Des Hommes[13]. Elle est support d'exercices pour les étudiants du Master Gestion Territoriale du Développement Durable.

L'ENJEU DE CLIM'WAY GIRONDE

Puisque les démarches classiques très institutionnelles et rébarbatives du type plan climat n'ont pas permis une appropriation à la hauteur de l'enjeu, il est nécessaire de renouveler le format des outils d'analyse et d'orientation. Clim'Way est un instrument ludique de sensibilisation, il s'agit de lui adjoindre une base de données territoriales et des fonctions cartographiques pour en faire un instrument opérationnel.

ARTICULER LE LUDIQUE ET LES INSTRUMENTS GÉOGRAPHIQUES

Clim'Way Gironde offre une représentation des flux visibles que sont les mobilités, les déchets, par exemple mais aussi invisibles comme l'énergie, l'eau, les gaz à effet de serre, qui sont modélisés de façon simple. Le simulateur permet également de jouer avec des ordres de grandeur réalistes concernant la population ou encore les flux financiers.

Les travaux ont permis de définir les principales interactions, l'approfondissement des projections sous l'effet de choix de bifurcations autorisées par le jeu et la cartographie des résultats. La gamification du simulateur, articulation du dispositif SIG au jeu vidéo Clim'Way, reste à réaliser.[14]

Si le diagnostic des émissions de GES est effectué d'une manière précise par secteur (mobilité, bâtiment par exemple) les prévisions futures ignorent largement les interactions intersectorielles. À titre d'exemple, la réalisation d'une ligne de tramway n'aura pas seulement un impact sur le secteur de la mobilité, mais également sur les secteurs résidentiel et tertiaire. Les ménages s'inscrivent dans des marchés

12 • Cap Sciences est un Centre de Culture Scientifique Technique & Industrielle bordelais spécialisé dans la mise en scène du savoir à l'attention du grand public.

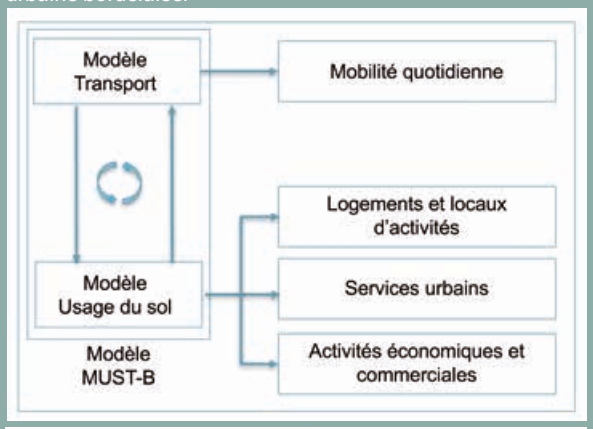
13 • Modèle construit par Laura Cornelis, Laurent Couderchet et Étienne Lhomet, ainsi que les étudiants du master Gestion Territoriale du Développement Durable, de l'Université Bordeaux Montaigne, promotions 2015 et 2016.

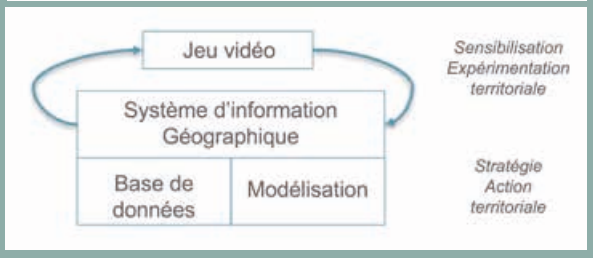
14 • Pour les personnes intéressées, une version plus détaillée, avec des cartes, de cet encadré figure sur le site d'AcclimaTerra.

- notamment foncier - de plus en plus tendus, avec un budget sous contrainte pour se loger, se déplacer ou se chauffer. Le projet « Modélisation intégrée de l'Usage du Sol - Transport – application à l'agglomération Bordelaise » (MUST-B), financé par la Région Nouvelle-Aquitaine, vise à combiner l'étude des conditions de déplacements et celle de la structuration de l'espace urbain pour favoriser l'évaluation prospective dans le domaine du transport et de l'aménagement du territoire **[35] [36]**.

MODÉLISATION INTÉGRÉE DE L'USAGE DES SOLS ET DES TRANSPORTS

MUST-B est un modèle intégré usage du sol/transport permettant de simuler les effets croisés des politiques urbaines multisectorielles (cf. figure ci-dessous). Il met en interaction systémique un « modèle transport », qui vise à tenir compte des mobilités quotidiennes, et un « modèle usage du sol » qui permet d'intégrer les mécanismes d'urbanisation et de planification, en matière de localisation des individus et des activités commerciales, industrielles et tertiaires, publiques et privées. Il tient compte ainsi du fonctionnement des marchés fonciers et immobiliers. Il est construit sur une modélisation multi-agents. Aujourd'hui, le modèle est en cours de développement et de calibration à l'échelle de l'aire urbaine bordelaise.





À terme, le modèle MUST-B permettra d'évaluer les effets de la réalisation d'une nouvelle ligne de tramway ou l'extension d'une ligne existante sur le plan de la mobilité et celui de l'occupation de l'espace. Il permettra d'inférer la consommation énergétique et les émissions des GES liés à la mobilité quotidienne, au fonctionnement des parcs de logements et locaux d'activités, aux services urbains et aux activités économiques et commerciales. Il permettra également de simuler des mécanismes comme l'étalement urbain ou la densification urbaine, la concurrence sur le foncier constructible entre le logement résidentiel et l'immobilier tertiaire. La modélisation MUST-B sera un outil d'aide à la décision en matière de planification des transports et du développement urbain. Il contribuera à l'évaluation prospective de l'impact du PCEAT de Bordeaux Métropole pour adapter les politiques publiques dans le domaine énergie-climat. En effet, près de 60 % des émissions de GES relèvent du triptyque Transport – Bâtiments – Occupation des sols, le noyau dur ciblé par ce modèle.

S'ils concourent à l'accroissement des connaissances scientifiques, ces modèles sont d'abord des outils d'aide à la décision dont les acteurs publics doivent s'emparer pour maîtriser les dimensions atténuation et adaptation des politiques climatiques urbaines en Nouvelle-Aquitaine.

DÉVELOPPER LA MOBILITÉ DURABLE EN TERRITOIRE URBAIN

La mobilité urbaine durable doit être plus « frugale » en énergie [37] et moins émettrice de GES. Penser la mobilité en ville nous invite « à penser multiple, léger et diversifié » **[38]**. En France, les transports sont responsables pour 26 % des émissions de GES (+20 % depuis 1990), mais cette proportion monte à 38 % en Nouvelle-Aquitaine **[39]** sans compter ceux induits par les activités induites en amont : extraction et raffinage du pétrole pour le carburant, fabrication et transport des pièces détachées, routes et équipements routiers, recyclage du véhicule en fin de vie, etc. Le nombre de véhicules en circulation ne cesse d'augmenter ; aujourd'hui, près de 40 % des ménages français disposent de plusieurs automobiles contre 16 % en 1980. En France, plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre des transports sont imputables aux seules voitures, pour seulement ¼ aux camions, et le reste aux avions et autres engins motorisés (notamment deux roues)[15]. Or, une voiture de taille moyenne (avec climatisation) émet 195 g équivalent CO_2/km/personne en milieu urbain, contre 107 g CO_2/km/personne pour un bus et 3 g pour un transport collectif tel que le RER, métro ou tram ; tandis que les modes de transport doux, c'est-à-dire le vélo, la marche et tous les modes qui leur sont corrélés (skate, rollers, trottinette, etc.), chutent sans surprise à 0 g. **Dans une perspective d'atténuation du changement climatique, l'usage individuel de la voiture, à plus forte raison en ville, où elle émet davantage de polluants encore en raison des ralentissements et embouteillages, doit être fortement réduit.**

Parmi les modes de **transport doux**, la **marche** constitue un enjeu majeur et un « objectif commun poursuivi par les ministères respectivement en charge du développement durable et de la santé, par un nombre croissant de collectivités et par le milieu associatif » **[40]**. Outre l'absence de pollution, la marche fournit de nombreux co-bénéfices : facteur d'une meilleure santé, favorisant la mixité sociale et la cohabitation des générations ou des sexes dans l'espace public, elle est également source de détente et de sociabilité accrue.

15 • Les chiffres de ce paragraphe sont tirés de Transports : moteur des changements climatiques, document de Réseau Action Climat, en collaboration avec Greenpeace, l'ADEME, les Amis de la Terre, WWF.

Si la Loi sur l'Orientation des Transports Intérieurs de 1982 a introduit le « droit de se déplacer dans des conditions raisonnables d'accès, de qualité et de prix ainsi que de coût pour la collectivité, notamment par l'utilisation d'un moyen de transport ouvert au public » **[40]** les inégalités sociales face au transport demeurent fortes. Accessible à tout un chacun, la marche est en revanche un mode de transport très égalitaire.

Pour inciter les citadins à opter pour la marche, il faut que l'environnement urbain s'y prête : densité de la circulation automobile, niveau de bruit, sécurité publique, propreté, végétalisation des espaces publics, confort d'usage des trottoirs, autant d'éléments qui peuvent s'avérer dissuasifs s'ils sont absents ou dégradés. La « marchabilité » mesure donc le potentiel piétonnier d'un territoire donné[16]. Bordeaux Métropole s'est emparée de ces outils **[31]**. En 2012, un dossier de la revue CaMBo intitulé « Marcher en ville », mettait l'accent sur les motivations du marcheur, et non plus seulement sur les équipements nécessaires pour cette pratique. La dimension sociale et sensible de la marche doit être prise en compte, à travers des recherches en sciences sociales, plus fines et qualitatives **[42]**. Parmi les initiatives des collectivités de la métropole bordelaise, on compte « la Charte des mobilités » dans le cadre du « Grenelle des mobilités », les différents PEDIBUS (bus humains, souvent pour les trajets des enfants scolarisés) ou encore le Plan de mise en accessibilité de la voirie (PAVE). La marche participe également à la multimodalité du transport, en assurant une fluidité dans l'alternance des usages et en assurant les déplacements de proximité au sein d'un quartier[17].

La bicyclette reste le mode de déplacement le plus rapide dans un tissu urbain dense et requérant beaucoup moins d'espace que l'automobile pour le stationnement. Outre l'aménagement de la voirie, plusieurs actions sont engagées par les collectivités mais aussi des associations et petites entreprises particulièrement actives. C'est le cas également à Poitiers ou La Rochelle, qui fut longtemps précurseur sur la promotion du vélo comme moyen de déplacement. Les services de vélos en libre-service remportent un succès croissant. Une application mobile a également été lancée, sur bordeauxmetrovélo.fr, et des aides sont allouées par Bordeaux Métropole pour favoriser l'acquisition de matériel sur critères sociaux. Si la pratique de la bicyclette comme mode régulier de transport progresse dans cette agglomération (avec une accélération depuis 2015), elle ne représente que 5,6 % des déplacements (mais 8 % à l'intérieur de la ceinture de boulevards), alors que le Plan climat de la Métropole a fixé l'objectif à 15 % en 2020. Le « plan vélo » adopté en décembre 2016 est censé rattraper le retard pris notamment dans la construction d'infrastructures plus adaptées[18].

S'agissant des déplacements liés au travail, la priorité au transport collectif demeure une exigence fondamentale. Le succès public non démenti du tramway sur l'agglomération de Bordeaux[19], ne dispense pas d'améliorer la desserte en bus en site propre.
De plus, le réseau de tramway s'est largement structuré en étoile à partir de l'hyper-centre au détriment des liaisons entre périphéries, ce que les décideurs publics commencent tout juste à corriger, notamment avec des projets de « bus à haut niveau de service » ou tram-bus qui peuvent remplacer une ligne de tram à moindre coût pour un service équivalent. Le développement du tramway a déjà modifié substantiellement le mode de fréquentation de l'hyper-centre et le rapport à l'espace urbain, un co-bénéfice souvent sous-estimé des politiques de mobilité durable.

Une réduction significative de la part de l'automobile en milieu urbain et suburbain reste incontournable dans l'agglomération bordelaise, l'une des plus embouteillées de France. **La voiture individuelle est responsable d'un quart du total des émissions bordelaises de GES.** Pour l'instant le trafic automobile dans la métropole régionale reste stable en valeur absolue depuis 2009, avec environ 1,2 millions de trajets/jour, et pour une part modale de la voiture passée de 61 % à 59 %. Or le Plan Climat de Bordeaux Métropole prévoit de réduire cette part à 45 % d'ici 2020. **Sur la rocade bordelaise, 64 % des trajets/jour sont le fait de personnes circulant au sein de la métropole,** 28 % de personnes à destination ou en provenance celle-ci, et seulement 8 % de véhicules en transit. Les poids lourds représentent 6 % des véhicules sur la rocade, et un sur deux y circule en provenance ou à destination de Bordeaux, ce qui relativise le discours sur les « murs de camions » venant du sud de l'Europe censés paralyser le trafic dans l'agglomération. Le projet de grand contournement autoroutier de l'agglomération, que d'aucuns souhaitent ressusciter après l'échec de 2007-2008, n'apporterait ainsi aucune réponse à ces difficultés de circulation d'origine locale avant tout.

16 • De même qu'il existe des mesures de la « cyclabilité », des mesures de « marchabilité » ont été établies au niveau international, avec trois méthodes de calcul reconnues : le PEDS (Pedestrian Environnement Data Scan), le SPACES (Systematic Pedestrian and Cycling Environnemental Scan) et l'IMI (Irvine-Minnesota Inventory).

17 • La marche à pied couvre selon l'A'Urba 70 % des déplacements inférieurs à 1 km, pour chuter à 10 % sur des distances comprises seulement entre 2 et 3 km.

18 • Bordeaux est classée 8e (avec seulement deux villes françaises mieux placées) dans le Copenhagenize Index des « bicycle friendly cities », dans une liste de 20 villes classées. Cet index fut établi pour la troisième fois depuis 2011 par une firme privée d'urbanistes de Copenhague (http://copenhagenize.eu/index/index.html). Cependant Bordeaux a rétrogradé de la 5e place en 2013 à la 8e, le site de l'Index citant la nécessité d'amplifier les efforts d'infrastructure dédiée et de réduction du trafic automobile urbain pour favoriser un usage sécurisé de la bicyclette !

19 • Par exemple +3,8 % de fréquentation pour l'ensemble du réseau de TBM en 2015 et 5,8 % pour le seul tramway.

Jusqu'à ce jour, « la réduction du gaz à effet de serre réside davantage dans l'amélioration des moteurs des automobiles que dans les conséquences de la planification territoriale » **[33]**. **Le report modal de l'automobile vers des mobilités douces s'avère lent et peu important en volume** car « une grande partie des activités réalisées en automobile n'aurait pas pu l'être par d'autres moyens de transports à temps équivalent » (*Ibid.*). Cette question du temps et de l'efficacité est déterminante dans les résistances observées, pas seulement à Bordeaux **[43]**. De plus **les habitudes de comportement des citoyens pèsent autant que le lieu d'habitat :** l'addiction à l'automobile s'explique aussi par des dimensions psychosociologiques **[44] [45]**, largement imperméables aux incitations des politiques publiques de transport.

Un report plus important de la voiture individuelle vers l'écomobilité suppose non seulement de nouvelles infrastructures de transport en commun à l'échelle de l'agglomération, mais aussi un meilleur taux de remplissage moyen des véhicules : actuellement de 1,03 personnes par véhicule circulant sur la rocade il faudrait faire passer à 2 ou 3, pour réduire le nombre de véhicules dans une proportion de 20 % à 30 %. Certes un site Internet - covoiturage.transgironde.fr - a été créé par Bordeaux Métropole et le Conseil départemental ; des aires de covoiturages ont été aménagées sur l'ensemble du territoire girondin, et au-delà, à l'échelle de l'Aquitaine, mais sont inégalement utilisées. **Face à l'impact insuffisant des mesures incitatives pour réduire l'usage de la voiture dans les trajets domicile-travail, il faudrait vraisemblablement envisager des solutions plus contraignantes** (par exemple file réservée au covoiturage, interdiction de circuler aux heures de pointes, péage pour accéder à la ville centre). L'auto-partage, consistant à l'emprunt ponctuel de véhicule, est utile dans la ville centre où le coût du stationnement réglementé s'ajoute aux embarras de circulation pour dissuader le citoyen de posséder un véhicule à demeure.

Sans des politiques plus volontaristes et au rythme actuel de croissance du trafic routier dans la grande périphérie, le recours aux solutions habituelles (rocade à 2x3 voies et création de nouveaux axes routiers) n'empêchera pas la saturation du réseau ni la progression des émissions de GES. **La réduction de l'usage des véhicules à moteur est également un enjeu majeur de santé publique.** La pollution de l'air serait responsable de 48 000 décès prématurés à l'échelle de la France **[46]**. Bien que le chauffage — notamment les feux de cheminées — soit également une source importante de dioxyde d'azote, de dioxyde de soufre et de particules fines, la circulation est bien la première cause identifiée dans l'agglomération de Bordeaux. Si la plupart des polluants suivis par l'Atmo Nouvelle-Aquitaine ont diminué dans la dernière décennie, du fait de l'évolution technologique des moteurs déjà citée, du renouvellement des véhicules (et celui des appareils de chauffage), cette évolution positive est annulée par **l'augmentation globale du trafic routier dans l'agglomération.** Un constat de même nature pourrait être fait dans bien d'autres aires urbaines de la Nouvelle-Aquitaine.

4 VERS UN URBANISME RÉSILIENT ET À FAIBLES ÉMISSIONS

La **densification urbaine** se décline dans la production d'espaces publics plus accessibles et multifonctionnels. Elle suppose aussi un habitat plus dense, plus collectif. Elle est enfin la traduction sociospatiale du vivre ensemble urbain **[47]**. La densification et la production de l'habitat durable figurent parmi les objectifs de planification urbaine depuis plusieurs années, en vue de réduire l'impact des modes d'urbanisation sur les risques liés au changement climatique, mais les conséquences sociales et environnementales de ces politiques sont insuffisamment prises en compte.

PORTÉE ET LIMITE DES ÉCOQUARTIERS

Dès la signature de la Charte d'Aalborg en 1994, les quartiers sont apparus comme la « bonne échelle pour réinventer la ville » et pour engager des territoires dans l'habitat durable. Sous ce label **écoquartiers**, on retrouve diverses opérations d'aménagement, affichant de fortes exigences sociales, économiques et surtout écologiques. En France, le plan « Ville durable » de 2008 et la loi dite Grenelle 1 de 2009 encouragent la réalisation d'écoquartiers. Deux concours nationaux furent organisés en 2009 et 2011, avec pour la deuxième vague, 31 candidatures issues des trois régions qui composent aujourd'hui la Nouvelle-Aquitaine : Aquitaine (15 projets), Limousin (8), Poitou-Charentes (8). En parallèle, la création d'un Club National Écoquartiers a permis de structurer un réseau qui fédère 800 collectivités. La démarche a abouti en 2012 à l'élaboration d'un label national pour garantir l'exemplarité des démarches. Ce label a été attribué à deux projets d'écoquartiers de l'aire bordelaise, Ginko (Bordeaux) en 2014 et Arago (Pessac) en 2016. Au plan national, 51 écoquartiers sont labellisés (livrés) et 106 quartiers « engagés dans la labellisation » (Ministère du Logement et de l'Habitat Durable **[48]**). Le maire de Bordeaux annonça en 2009 le projet « Grand Bordeaux » et la « création d'une succession d'écoquartiers » qui dessineront du nord au sud un « arc de développement durable » ; une orientation également affichée par la ville dans son bilan d'étape pour l'Agenda 21 de 2010-2011. En parallèle, dans son propre dossier d'Agenda 21, la Métropole planifie elle aussi sa « politique d'aménagements urbains » et la « mise en place d'écoquartiers » en réponse à l'enjeu du développement durable **[49]**.

Dans la ZAC La berge du Lac de 32,3 ha, concédée à un promoteur privé et rebaptisée quartier Ginko en 2009, un cahier des charges exigeant sur le chauffage (2/3 en bâtiments à la norme « basse consommation énergétique » BBC et 1/3 en très haute performance énergétique (THPE), l'objectif de 100 % BBC étant fixé pour la phase ultérieure), l'usage de l'eau, l'impact paysager et la limitation de la place de l'automobile, ou encore sur l'architecture des bâtiments dite « bioclimatique » a permis l'obtention du label pour ce projet d'urbanisation nouvelle devant s'achever en 2017. Toutefois, la Charte EcoQuartier priorise la « ville existante » dans la production d'un urbanisme « permettant d'anticiper et de s'adapter aux changements climatiques », soit le bâti des années où l'énergie était peu coûteuse et qui n'a été que peu rénové jusqu'à présent. L'écoquartier Arago de Pessac fait partie d'un tel programme de rénovation urbaine, où l'économie d'énergie et d'émissions de GES est aussi la priorité.

D'autres secteurs non (encore) labellisés relèvent de la même logique. Ainsi, dans le nouveau quartier Niel sur la rive droite de la Garonne (30 hectares), toute l'énergie consommée sur site doit y être produite par un réseau de chaleur (chauffage, eau chaude) adossé à la géothermie et, pour l'éclairage, s'appuyer sur

une centrale photovoltaïque implantée sur les toits des ateliers du tramway. A une moindre échelle, une société privée propose pour le projet Darwin dans le même secteur de Bordeaux, un bâtiment réhabilité BBC. Nombreuses sont les initiatives qui ne sollicitent pas la labellisation, tout en étant parfois plus créatives, plus alternatives, moins technologiques, plus participatives.

Présentés au plan national comme des laboratoires d'innovation et des « pollinisateurs » de la transition urbaine, **ces vitrines que sont les écoquartiers n'ont pas toujours l'effet d'entraînement espéré sur le reste du tissu urbain.** La problématique climatique n'y est pas toujours centrale ni intégrée dans tous ses aspects, au-delà de la consommation d'énergie. L'appropriation par les habitants, un enjeu central pour le succès de la transition écologique, est soulignée dans la charte des écoquartiers, mais n'est pas toujours la priorité des aménageurs. De plus, ces opérations peuvent aussi avoir des effets pervers, notamment en renforçant ou créant **des inégalités sociospatiales,** comme l'a monté Elizabeth Burton dans un grand nombre de villes du Royaume-Uni **[50]**. D'une manière générale, le cas de l'habitat durable en Europe est caractéristique de ce type de situation : les écoquartiers sont la plupart du temps occupés par des populations aisées **[51]**. De fait ces catégories sont délibérément ciblées, car elles peuvent assumer une partie du surcoût de construction, mais aussi parce qu'elles sont déterminantes dans la formation de nouvelles tendances. À terme, l'objectif est d'induire une démocratisation de l'offre, rendue possible par une demande plus large et donc une baisse des coûts par économies d'échelle : tel était la volonté à Hammarby (Stockholm) ou Västra Hamnen Bo01 (Malmö) **[52]**. Mais la dynamique ne va rarement jusqu'à son terme. D'un côté, les coûts de construction dérapent car les promoteurs, contraints par un cahier des charges très exigeant sur le plan environnemental, jouent la carte du *standing* pour accroître leur plus-value. De l'autre, le nombre de logements étant limité et leur attractivité forte, la loi de l'offre et de la demande enchérit le coût du loyer ou le prix du mètre carré à l'achat, indépendamment de l'évolution des prix à la construction. Cela amène certains auteurs à dénoncer **le voile environnemental jeté sur des dynamiques immobilières profondément inégalitaires**, impliquant l'éviction de populations socialement fragilisées hors de ces nouveaux quartiers, vers les espaces périphériques **[53]**.

INÉGALITÉS ET AMÉNAGEMENT URBAIN DURABLE

La politique de **densification de l'habitat** tient compte de **l'accès inégal à des logements et espaces urbains de qualité** au regard des variables sociodémographiques classiques (âge, niveau de revenu, composition des ménages par exemple). En revanche, **les inégalités environnementales que la densification engendre [54] sont peu prises en compte ou seulement à travers les enjeux de la précarité énergétique.** Ceux-ci furent étudiés de longue date – notamment par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – et ont fait l'objet d'une mise à l'agenda précoce, par l'intermédiaire de l'ADEME ou *via* les incitations financières à l'amélioration du bâti de l'Agence Nationale de l'Habitat. Des Programmes Locaux de l'Habitat sont associés aux PLUi pour opérationnaliser les objectifs de production de logement. Pourtant, une telle prise en compte est nécessaire à la compréhension des enjeux en matière d'habitat durable en Nouvelle-Aquitaine.

Si les SCoT sont plus sensibles à la prise en compte du changement climatique et trouvent un écho dans les PLU, leur échelle macroterritoriale reste difficilement déclinable dans les pratiques et les modes de vie des citoyens. Selon qu'on se trouve en centre-ville, dans un bourg rural ou dans un lotissement d'une commune périurbaine, la quantité et la diversité des commerces et des services, mais aussi leur accessibilité par des solutions de mobilité durable sont inégales. Les centres urbains vont être alors les plus attractifs et sont valorisés dans les politiques urbaines par leurs possibilités d'alternative à la voiture : transports en communs, modes doux, offre de services de proximité. Les bourgs et petites villes rurales restent des territoires dépendants de la voiture. L'offre en commerces de proximité y est fortement fragilisée par la concurrence des supermarchés à l'extérieur des centres. Si la densification urbaine permet de réduire la place de la voiture, contribuant à l'attractivité et la durabilité des territoires, l'accroissement des déplacements, également plus distants, des citadins pour leurs loisirs **[38]** relativise sa vertu écologique en termes d'empreinte carbone. Pour autant, les citadins du centre d'agglomération bénéficient d'un cadre de vie plus dense en services et plus confortable. En revanche, en termes de pollution de l'air, les citadins qui habitent près des axes routiers, notamment dans les couronnes et banlieues, subissent des risques sanitaires plus importants que les résidants des territoires périurbains, qui empruntent ces axes pour se rendre sur leur lieu de travail, mais n'en subissent pas les nuisances dans leur environnement d'habitat **[55]**. Contrairement aux représentations dominantes selon lesquelles s'éloigner des villes permettrait d'accéder à un cadre de vie plus sain, **les périurbains vivant en lotissement et les ruraux sont également soumis à des risques sanitaires importants liés à la pollution des sols et au recours massif aux pesticides**[20].

20 • Les malaises observés chez les élèves d'une école de Haute-Gironde, après l'épandage d'une parcelle viticole à proximité immédiate, avaient fait polémique en 2014.

Cette toxicité des sols concerne également **les banlieues au passé industriel, où se cumulent des inégalités environnementales bien plus nombreuses :** nuisances sonores (proximité rocade, couloir aérien etc.), nuisances olfactives (station d'épuration, incinérateurs etc.) et paysagères. Sont ainsi affectées les conditions de vie de populations qui appartiennent aux catégories sociales les plus défavorisées, les plus stigmatisées par leurs origines ethniques, leurs lieux de résidences (Grands Ensembles HLM) et leur âge. **L'environnement urbain expose ainsi à des nuisances plus ou moins fortes et diversifiées selon les territoires.**

Les politiques urbaines valorisent depuis plus de 20 ans l'habitat collectif pour freiner l'étalement pavillonnaire gourmand d'espace. Cette opposition sous-estime pourtant des inégalités quant au confort de l'habitat. L'habitat ancien, mal ou non rénové, même dans des quartiers historiques convoités, expose davantage à des maladies chroniques, liées à l'insalubrité. De plus, leur mauvaise isolation thermique alourdit la facture énergétique, jusqu'à favoriser la précarisation financière des occupants. Les habitants des pavillons des années 1970 ou 1980 et des parcs HLM anciens sont exposés à des risques environnementaux similaires : exposition au bruit, toxicité des matériaux de construction, polluants intérieurs **[56]**. En revanche, l'habitat collectif récent est plus performant, mais aussi plus cher, y compris dans le parc social. De même, les nouveaux pavillons soumis à la réglementation RT2012 (pourcentage minimal de façades vitrées orientées sud et normes d'insolation poussées) sont devenus très économes en énergie **[57]**. Dans les villes, les populations socialement précaires, les jeunes et étudiants vivants plus souvent au rez-de-chaussée ou sous les toits, subissent davantage les risques climatiques divers, **[58]**. Chaque type d'habitat expose donc à des contraintes environnementales plus ou moins fortes, ce qui complexifie la recherche de bonnes pratiques architecturales et l'habitat durable.

Des processus de ségrégations sociospatiales entre territoires en fonction la qualité de vie urbaine offerte [59] sont à l'œuvre en Nouvelle-Aquitaine. Le besoin croissant de nature pèse de plus en plus lourd dans les stratégies résidentielles et prend des formes multiples **[60] [61]**. Par exemple, les initiatives citoyennes autour des jardins partagés se multiplient, dans les métropoles comme dans les centres urbains périphériques. Tout accès à la nature (vue paysagère, proximité d'un parc, terrasses, jardins, balcons végétalisés) peut dorénavant compenser en partie, aux yeux des usagers, les inconvénients d'un habitat collectif. L'attractivité des écoquartiers illustre cette demande sociale de modes de vie plus « écologiques » **[62]**. Dans ce contexte, **l'attrait pour le pavillon doté d'un jardin, aussi réduit soit-il, perdure**[21] **et explique en partie, outre le coût du foncier déjà évoqué, la périurbanisation dans le Médoc, l'Entre-Deux-Mers et le Blayais.** La rénovation urbaine des centres historiques accroît leur attractivité, accélérant la pression immobilière et leur gentrification. Les nuisances sont alors externalisées en périphérie, comme les populations pauvres. Parallèlement, les banlieues populaires et ouvrières sont également davantage permissibles à l'expérimentation architecturale en matière d'habitat **[63]**. Les exemples en Nouvelle-Aquitaine sont nombreux : Terres Sud à Bègles, le futur quartier Belvédère à Floirac ou Le Séqué à Bayonne, suscitant un regain d'intérêt résidentiel de la part des ménages actifs modestes, évincés des centres anciens sans vouloir (pouvoir) tenter l'aventure périurbaine **[47]**. La recomposition sociale de certains territoires périphériques des agglomérations régionales illustre donc la place du « besoin de nature » dans les transformations de l'urbanisme, qui dépassent alors largement le rapport ville-campagne.

Dans les espaces ruraux et périurbains, habiter à proximité des espaces protégés est de plus en plus prisé, voire un luxe réservé aux catégories supérieures **[64]**. Toute densification de l'habitat y est alors vécue comme intrusion insupportable dans une tranquillité sociale chèrement acquise, bien que l'opposition ainsi exprimée soit motivée ostensiblement par la protection de l'environnement. **Le littoral aquitain et le Pays Basque sont des territoires particulièrement soumis à cette sélectivité sociospatiale**[22]. Les inégalités se creusent entre les habitants des territoires les plus préservés écologiquement, et ceux des territoires périurbains où l'étalement pavillonnaire, les infrastructures notamment routières et la contiguïté de zones économiques et commerciales ont rapidement dégradé les derniers espaces de nature. **Les inégalités environnementales s'ajoutent alors à la paupérisation** que connaissent certaines petites villes et bourgs girondins classés en politique de la ville, par exemple Coutras ou Sainte-Foy-La-Grande.

La prise en compte de **la réduction des inégalités environnementales dans le cadre de la densification de l'habitat favoriserait une politique d'urbanisation durable plus juste**, innovante et efficiente. Cela permettrait également d'inclure des dimensions peu reliées dans les politiques urbaines telles que l'habitat et la santé ou la gouvernance des projets urbains et celle de la gestion durable de ressources naturelles comme l'eau **[65]**. La réduction des inégalités environnementales permettrait d'atténuer, de manière indirecte, les inégalités économiques et sociales dans l'habitat auxquelles les premières s'ajoutent en les amplifiant **[66]**.

21 • D'après le sondage réalisé tous les 5 ans par l'agence Century 21 auprès de 3 600 personnes, la maison individuelle est le type d'habitat plébiscité par 71 % des Français en 2016.

22 • Comme le montrent les volets diagnostic du SCoT du Bassin d'Arcachon Val de l'Eyre et du SCoT Bayonne Sud Landes.

HABITAT À FAIBLES ÉMISSIONS ET ADAPTÉ AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Avec 42 % de l'énergie finale consommée en Europe et 35 % des émissions totales de GES, **le secteur bâti** demeure aujourd'hui le secteur **clé des politiques environnementales et énergétiques européennes [67]**. La stratégie pour une construction durable a été définie pour les prochaines décennies **[68]**. Dans les mesures à court terme, l'accent est clairement mis sur la rénovation thermique du parc bâti qui est considéré comme un des aspects prioritaires dans la lutte contre le changement climatique. Le chauffage domestique est l'une des importantes sources de GES en ex-Aquitaine (le secteur résidentiel représentait 20 % en 2012 des émissions directes et de celles induites par la consommation d'électricité).

Les trois éléments clés d'une construction durable au service d'une politique de lutte contre le changement climatique et en faveur de la « décarbonation » de l'énergie ont été identifiés : **la sobriété énergétique, l'efficacité énergétique et l'utilisation massive d'énergies renouvelables [66]**. Le secteur du bâtiment est donc identifié comme l'un des piliers de la stratégie européenne pour le climat et l'énergie **[69]**. Il est possible d'agir sur la demande énergétique et l'impact environnemental du secteur du bâtiment par **l'amélioration des normes de construction.** En outre, une réhabilitation massive des bâtiments aurait un impact financier très positif sur l'amélioration des conditions sanitaires **[70]**.

Ces politiques européennes concertées se sont traduites en France, par l'évolution radicale de la réglementation thermique des bâtiments (RT2012), laquelle conduit de fait à imposer une réduction des deux tiers de la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs par rapport à la réglementation précédente (RT2005)[23]. Malgré ces efforts — affectant surtout le bâti récent qui ne présente qu'environ 1 % du parc — **la consommation finale d'énergie du secteur bâtiment a augmenté en France de 10,4 % depuis 1992 et le secteur résidentiel et tertiaire demeure encore aujourd'hui le principal consommateur d'énergie finale en France avec une part de 45 % [71]**. Les efforts doivent désormais se concentrer sur la réhabilitation du parc bâti plus ancien.

Outre sa consommation d'énergie primaire, **le bâtiment est aussi le premier secteur producteur de déchets, un gros consommateur d'eau, de matériaux et d'espace,** et malgré un mix énergétique français spécifique par rapport aux autres pays industrialisés, **il produit environ un quart des émissions de GES [72]**. Si on se réfère non pas aux seules émissions de GES, mais à l'empreinte carbone **[73]**, le bâtiment est sans nul doute le secteur le plus mal placé avec près de 40 % du total. On ne peut donc réduire la politique de construction durable à la seule contrainte énergétique. **Le concept de « bâtiment durable » intègre à la fois la sécurité de la construction, sa résilience face aux aléas climatiques, la qualité sanitaire et le confort des ambiances produites, sa sobriété énergétique en énergie primaire et ses faibles impacts environnementaux** tout au long de son cycle de vie. Au cours des dernières années et souvent à l'initiative d'associations (HQE, Effinergie), la production de labels volontaires a permis d'introduire certains de ces nouveaux indicateurs de durabilité des bâtiments permettant ainsi aux maîtrises d'ouvrages et aux maîtrises d'œuvre de qualifier leur démarche. L'introduction récente d'un label prenant en compte l'impact carbone (E +, C-) préfigure des réglementations à venir.

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, la plupart des réalisations exemplaires de bâtiments sobres en énergie primaire, ou à bilan énergétique quasi nul voire positif, sont référencées sur le site de l'observatoire BBC[24]. Aujourd'hui, la définition de nouveaux indicateurs de performance environnementale, l'introduction progressive de l'analyse du cycle de vie dans l'évaluation des bâtiments neufs et la rénovation du parc ancien marquent **la transition de la seule efficacité énergétique vers une réelle performance environnementale du bâti.** Pour évaluer l'impact environnemental total d'un projet de construction ou de rénovation, il convient d'intégrer dans la démarche les usages et notamment la mobilité induite par la localisation du projet. De plus, afin d'intégrer les énergies renouvelables, une mutualisation entre des bâtiments d'usages différents (résidentiel, tertiaire) permet l'autoconsommation d'énergie produite sur le site et éventuellement le stockage de l'énergie excédentaire.

Traiter le bâtiment non plus de façon isolée mais comme **partie prenante de son environnement territorial** permet d'envisager des solutions intégrées pour la fourniture énergétique, le traitement des effluents et la réponse au phénomène d'îlots de chaleur urbains, notamment par la végétalisation des bâtiments. Cependant, transformer les nombreuses expériences conduites sur les territoires de la région en une politique publique efficiente suppose une large mobilisation de fonds publics et privés, notamment pour **la rénovation du bâti ancien**.

23 • Cf. RT2005 : www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2005/presentation.html
Cf. RT2012 : www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2012/presentation.html

24 • www.observatoirebbc.org/nouvelleaquitaine

PROJET ATLANTECH À LA ROCHELLE

Suite au désengagement foncier des Armées, la communauté d'agglomération de La Rochelle a bénéficié en 2011 d'un transfert de propriété d'une zone d'environ 27 hectares sur la commune de Lagord. La reconversion du site prévoit d'en faire un quartier urbain d'activité zéro carbone mêlant le logement (500 unités), des activités de formation et de recherche (relocalisation d'un Centre de Formation et d'Apprentissage, implantation de la plateforme d'innovation Tipee, accueil d'une formation d'ingénieur en alternance), des activités économiques tertiaires (siège du Crédit Agricole Charente Maritime Deux-Sèvres) et de production, sans oublier les espaces verts.

Le Parc Bas Carbone Atlantech porte son ambition dans son nom. Chaque maître d'ouvrage participant au projet s'engage dans une optique de conception et d'exploitation raisonnées, afin de réduire au minimum l'impact environnemental des bâtiments et des aménagements extérieurs associés. Dès les premiers travaux, un cahier des prescriptions architecturales urbaines, paysagères et environnementales a été rédigé et s'impose à tout aménagement ou construction.

Le référentiel ATLANTECH impose aux constructions, a minima, la conformité au label BEPOS (Bâtiment à bilan énergétique positif) et des émissions de CO_2 limitées évaluées sur un cycle de vie borné à 50 ans.

De plus, tous les bâtiments devront faire remonter, en temps réel, les informations liées à leurs consommations et production d'électricité vers le gestionnaire du site, via une boucle énergétique intelligente, mise en place pour optimiser l'autoconsommation d'énergie électrique renouvelable. La mise en œuvre de solutions de stockage d'électricité recourant à l'hydrogène et utilisables pour la mobilité ou les bâtiments ont valu au parc ATLANTECH le label « Territoire hydrogène » attribué par les ministères concernés, en novembre 2016.

5 LES POLITIQUES CLIMATIQUES TERRITORIALISÉES ET LEURS INSTRUMENTS

Pour traduire au plan régional les engagements internationaux de la France sur le changement climatique et les politiques nationales dans ce domaine (Plan climat, stratégie bas carbone et transition énergétique), les instruments de planification tiennent désormais une place primordiale. Nous examinons ici les difficultés soulevées par la mise en œuvre de ces instruments à l'échelon des territoires urbains.

UNE LENTE INTÉGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES POLITIQUES LOCALES

Dans les années 1990, les collectivités territoriales étaient encore peu impliquées dans les conférences internationales sur le climat et dans la mise en œuvre de politiques dédiées à l'échelle locale (malgré des prémisses encourageantes : chartes d'écologie urbaine, agendas 21 locaux, etc.). Cet échelon d'action publique n'est reconnu que tardivement comme relais majeur des stratégies nationales. « Si un chapitre leur est consacré dans le Programme national de lutte contre le changement climatique en 2000, ce n'est qu'en 2004 que le Plan Climat français accorde formellement une place égale à l'action des territoires, en y consacrant un chapitre spécifique, avec des objectifs quantifiés et en instituant un cadre d'action dédié, le Plan climat territorial (PCT) » **[74]**. Pourtant, en 1996 déjà, un rapport du président du Conseil national de l'air faisant suite à la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (loi LAURE), préconisait la « mise en cohérence de la réglementation en adoptant une nouvelle loi qui permettrait une *gouvernance locale* air/climat/énergie » **[75]**.

Ce n'est qu'à partir de 2005 que la thématique du changement climatique est réellement prise en compte, mais l'intégration de ces enjeux dans l'action publique locale a d'abord reposé sur une implication volontaire des acteurs, en dehors de tout cadre et toute injonction réglementaire. Ne gardant qu'un rôle incitatif sur le sujet, l'État n'intervenait que très rarement pour fournir les cadres d'action et les outils nécessaires aux politiques locales climatiques **[74]**. Certes, des Bilans Carbone et des manuels de recommandations (à l'image du *Guide à destination des collectivités locales* publié en 2005 par l'ADEME, la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre et l'Association des Maires de France) sont mis à disposition des territoires et bénéficient aux acteurs ayant déjà développé des compétences et outils sur l'atténuation et l'adaptation au gré des politiques environnementales existantes - dans les agglomérations de grande taille généralement. Cette « première génération de politiques climatiques locales » repose principalement sur les activités de réseaux de villes (salons, forums, assemblées) permettant la diffusion des savoirs et « bonnes pratiques » à partir d'expériences exemplaires. Ainsi, Énergie'Cités, ICLEI déjà cité ou encore l'Alliance Climat favorisent activement cette dissémination.

Le second temps des politiques climatiques locales résulte des deux lois issues du Grenelle de l'Environnement. Une logique réglementaire engage alors les collectivités de grande taille dans l'élaboration de politiques climatiques. La planification climatique s'intègre alors progressivement dans la planification territoriale. L'article L.101-2 du Code de l'Urbanisme modifié, souligne le rôle de l'urbanisme et des collectivités dans la « lutte contre le changement climatique ».

Les collectivités deviennent ainsi **des « chefs d'orchestre » de politiques climatiques**, bien qu'elles ne possèdent ni la culture administrative, ni moyens matériels et humains pour les mettre en œuvre de façon efficace. **La transversalité des thématiques climat-énergie** ne s'impose que lentement au sein des services d'aménagement des villes, ce que certains appellent une « contamination positive » des services par ces thématiques.

Des freins, classiques dans les questions de l'énergie et du climat, se manifestent dans la mise en œuvre de ces politiques : d'une part la faible conscience de ces enjeux au sein des populations, lesquelles résistent aux appels et incitation à réduire fortement leurs émissions de GES ; d'autre part l'incapacité de l'approche technocratique à appréhender ce qui est pudiquement désigné comme « phénomènes sociologiques déterminants » **[76]** pour susciter des comportements collectifs plus « responsables ». Ces deux aspects forment un premier **décalage entre un volet technique omniprésent et un volet social trop étriqué** ; le second nous paraît être lié **aux approches institutionnelles descendantes** qui proposent aux échelles locales des pratiques pensées à l'échelle internationale et nationale, sans se soucier par exemple de l'adéquation au contexte local et sans tenir compte des calendriers électoraux qui contraignent souvent l'action locale **[77].** Or, la prise en compte des modes de vie dans les nouveaux modèles urbains territoriaux, souvent très techniques et peu adaptés aux spécificités locales, est un enjeu essentiel de l'adaptation au changement climatique à cette échelle.

DES DIFFICULTÉS LIÉES AUX FAIBLESSES DU PORTAGE POLITIQUE LOCAL

L'injonction faite aux collectivités de produire des plans climat territoriaux et autres schémas de cohérence écologique à différentes échelles a conduit à **un empilement de documents de planification non garant d'efficacité.** Si les obligations de conformité formelle fixées par la loi sont généralement respectées, il y a un réel défaut d'appropriation par les acteurs territoriaux à la hauteur de l'enjeu. La grande diversité de situations des territoires requiert à chaque fois un diagnostic et un traitement spécifiques, qui doit faire sens pour obtenir l'adhésion des élus et de l'ensemble des acteurs locaux.

Une base de données[25] de documents traitant de l'adaptation produite par des collectivités de la région Aquitaine a permis de dégager des tendances sur les stratégies locales confirmant la littérature existante **[78]**. Cette production résulte du cadre législatif et réglementaire engendré par le Grenelle de l'environnement de 2007. Toutes les collectivités qui communiquent sur l'adaptation affichent des principes louables, présentent des dispositifs standardisés : « boîtes à outils », « fiches-actions », opérations « pilotes », débats publics ou forums Internet, comme autant de dispositifs clonés d'un territoire à un autre, en lieu et en place d'une véritable stratégie d'adaptation au changement climatique. Or, **la difficulté à décliner l'injonction réglementaire à l'adaptation en fonction des spécificités locales,** est pour beaucoup dans les problèmes d'application et d'appropriation de ces stratégies **[79]**.

Aucune des collectivités étudiées ne se projetait alors au-delà de 2020, à l'exception de la CUB (aujourd'hui Bordeaux Métropole). Cette absence **du plus long terme**, alors que les effets du changement climatique vont s'amplifier au fil du temps, a pour effet d'occulter l'ampleur des efforts nécessaires. D'ailleurs, seules les plus grosses collectivités affichent des directives d'action robustes et spécifiquement tournées vers l'adaptation au changement climatique, les plus petites s'efforçant de donner corps à la notion plus vague de développement durable. Plus étonnant, les collectivités susceptibles d'être le plus directement exposées aux conséquences du changement climatique en région **[80]**, comme les communes littorales, celles qui présentent une forte activité forestière ou viti-vinicole, ou encore celles qui dépendent en partie du tourisme de montagne, ne sont pas très actives dans leur communication en ligne sur l'adaptation – prise ici comme approximation de l'implication effective — ; soulignant le décalage entre la réalité et la prise de conscience du défi de l'adaptation au changement climatique dans les collectivités les plus petites et dans le monde rural. Il n'y a d'ailleurs guère de spécificité des outils et stratégies locaux d'adaptation, par rapport aux dispositifs déployés dans le cadre plus large de la protection de d'environnement et du développement durable.

D'aucuns voient dans le discours sur l'adaptation un nouvel avatar de la réduction du discours environnemental au registre fonctionnel, technique et expert **[81]**, ou encore une « toile de fond du développement durable » **[82]**. Pour d'autres, il s'agit au contraire d'une occasion inédite de transformation sociétale que seul un volontarisme politique assumé permettra de saisir **[83] [84]**. Sur le terrain local, on ne trouve guère de trace de ce volontarisme politique : l'adaptation au changement climatique y suit **une logique incrémentale, sans rupture significative par rapport aux pratiques antérieures.**

25 • Programme de recherche « Changement environnemental et stratégie d'adaptation en région » (CESAR) 2011, financé par la Région Aquitaine entre 2011 et 2014. Les sites web de plus de 200 collectivités ont été consultés pour sélectionner 128 documents ayant un lien avec l'adaptation au changement climatique, finalement ramenés à un corpus d'environ 100.

Or dans la nécessaire réponse au changement climatique, la frontière est ténue entre un réformisme assumé mais téméraire et un immobilisme opportuniste – notamment électoralement - mais délétère.

Outre cette faiblesse du portage politique (que l'on vient d'illustrer avec l'adaptation), la problématique du changement climatique s'appréhende à plusieurs échelles administratives, dont l'échelle des collectivités. Or les documents de planification sur lesquelles s'appuient les collectivités locales (SRCAE) ou qu'elles signent (PCET/PCAET) manquent fréquemment d'ambition. En fait, les PC(A)ET misent souvent, pas tant sur la réduction des émissions « directes » (celles qui se font sur le territoire, et privilégiées dans les SRCAE afin de pouvoir établir un total d'émissions nationales moins incertain et sans « double comptage »), que sur les émissions « indirectes » (qui ont lieu à l'extérieur du territoire mais participent à son fonctionnement). On peut y lire une complémentarité entre une action centralisée régionale portant principalement sur les émissions « en sortie de cheminée », d'une part, et, d'autre part, une action territoriale jouant sur les comportements des citoyens-consommacteurs. Mais, ceci témoigne plutôt de **la faiblesse des outils et de la mobilisation** dans la plupart des collectivités locales, pourtant légalement tenues par la loi Grenelle II de rédiger un PC(A)ET[26]. La loi exige simplement que ces plans locaux soient « compatibles » avec le SRCAE, ce qui, en pratique, signifie que le Préfet et le Président de Région formulent de simples observations sur les projets de PC(A)ET avant adoption, qu'aucun plan n'est rejeté, et que les collectivités révisent ensuite leur document librement. Les PC(A)ET sont par conséquent très hétérogènes dans les outils qu'ils mobilisent et les ambitions qu'ils affichent. **Lorsque des objectifs ambitieux sont fixés par le SRCAE, il est difficile de les décliner à l'échelle des territoires infrarégionaux.** Le SRCAE n'étant pas opposable, contrairement aux PLU ou PDU par exemple, et en raison de cette portée juridique limitée **[85]**, le caractère contraignant de ses préconisations est faible et la mobilisation des autres échelons de gouvernement local plus ardue **[86]**. Outre qu'il y a un risque de « saturation de l'espace administratif local » pour produire le SRCAE en région, la fuite en avant dans la prolifération à tous les échelons de schémas dont la portée réelle est faible, combinée à l'effet « millefeuille » administratif, conduit à un risque de dilution de la responsabilité politique dans la prise de décision **[87],** et favorise l'inaction et les consensus a minima.

Dans les PC(A)ET, le « découplage entre les moyens et les objectifs » est flagrant, « l'objectif global [étant] en quelque sorte affiché à côté du plan d'action, mais la cohérence entre les deux [étant] rarement établie » **[88]**. Côté mise en œuvre, **les collectivités disposent de trois types d'instruments (la réglementation locale, le levier économique et la communication/sensibilisation) mais n'utilisent pleinement que le troisième,** où l'action engagée est plus directement perceptible et rentable politiquement. Il serait pourtant possible d'utiliser davantage le levier économique : « l'agglomération grenobloise consacre à son dispositif de rénovation énergétique des copropriétés – la campagne « Mur Mur » – plusieurs millions d'euros par an. Celui-ci est adossé à un impôt supplémentaire sur les ménages » **[88]**. Il existe en réalité une large palette d'instruments d'action publique pour construire la ville post-carbone **[1]**, qui sont encore ignorés ou sous-utilisés par des décideurs locaux encore peu pénétrés de l'urgence climatique.

26 • C'est l'un des résultats qui émergent d'une étude en cours sur la production et la réception du SRCAE de l'Ile-de-France, conduite par Régis Briday au laboratoire LATTS, dans le cadre du projet ANR « Ville et transition énergétique ».

Modifications physiques du littoral

L'Océan Atlantique au Truc Vert, Gironde © Stéphane Bujan

Coordination : **Bruno Castelle**

Rédacteurs : **Stéphane Abadie, Xavier Bertin, Bruno Castelle, Éric Chaumillon, Goneri Le Cozannet, Nathalie Long, Nicolas Rocle, Aldo Sottolichio**

Contributeurs : **Vincent Hanquiez, Vincent Marieu**

La Nouvelle-Aquitaine se caractérise par un littoral extrêmement diversifié de par son héritage géologique et par une forte vulnérabilité aux aléas d'érosion et de submersion marine en raison des nombreuses côtes basses et meubles et des forçages météo-marins énergétiques auxquels il est exposé. Le changement climatique impliquera un changement des régimes de vagues, des débits des fleuves et une élévation du niveau moyen des mers. En premier lieu, l'aléa submersion marine va être significativement accentué par l'augmentation du niveau marin. Dans les prochaines décennies, l'impact du changement climatique sur l'aléa érosion restera quant à lui difficile à distinguer de la forte dynamique des côtes dominées par les vagues et des impacts liés à la forte variabilité des vagues et des tempêtes, et aux activités anthropiques dans un contexte de pénurie sédimentaire. L'accentuation de l'aléa érosion, qui pourrait survenir plus tard dans la 2e partie du XXIe siècle, sera exacerbée par une probabilité accrue d'avoir des tempêtes avec des niveaux d'eau plus hauts. Des éléments de réflexion sur l'adaptation au changement climatique, la place des ouvrages dans la protection de la côte et sur les indicateurs littoraux sont discutés.

DIVERSITÉ DU LITTORAL

côtes rocheuses · plages · barrières sédimentaires · estuaires · embouchures tidales · baies · littoraux artificialisés

ÉROSION
ENVIRON **1 m/an** DEPUIS **70 ANS**

SUBMERSION
D'ICI 2100 ENTRE **0,3 à 1,5 m en +**

+ 3 mm/an Nouvelle-Aquitaine

avant · maintenant

tempêtes
niveau des mers plus haut de dégâts
FRÉQUENCE
100 ans
10 ans

1999 LOTHAR ET MARTIN
2009 KLAUS
2010 XYNTHIA
2013/14 SUCCESSION DE TEMPÊTES

1 INCERTITUDES
Ça avance, ça recule
2050 SUR LA PLUPART DE LA CÔTE LANDES/GIRONDE
− 65/100m

IMPORTANTE HÉTÉROGÉNÉITÉ **SPATIALE TEMPORAIRE**

2 VIVRE AVEC LE RISQUE
Nouvelle forme de gouvernance
CONCERTATION

Nouveaux modes de vie · Protection adaptée · Relocalisation · Réduction des gaz à effet de serre (CO_2)

3 GESTION DYNAMIQUE CONTRÔLÉE

Restauration des écosystèmes et résilience

1 INTRODUCTION

La région Nouvelle-Aquitaine se caractérise par un **littoral extrêmement diversifié**. Celui-ci inclut des côtes rocheuses, des plages et des barrières sédimentaires très développées (plus grande plage d'Europe avec 230 km de côte sableuse de l'estuaire de la Gironde au phare de Biarritz), des estuaires dont le plus grand d'Europe (estuaire de la Gironde d'une superficie de plus de 600 km²), des embouchures tidales, des baies et estrans tidaux et de très vastes plaines côtières dont les altitudes sont situées sous le niveau des plus hautes mers **[1]**. Cependant, cette région présente une cohérence naturelle car elle se superpose à une très grande partie du bassin aquitain ainsi qu'à des bassins versants majeurs, comme ceux de la Charente (10 549 km²), de la Garonne et de la Dordogne (56 000 km²) et de l'Adour (16 890 km²). Ses limites nord et sud correspondent respectivement au seuil du Poitou et aux Pyrénées occidentales. Cet héritage géologique (**Figure 1**) a une forte influence sur le littoral et ses évolutions contemporaines.

La partie nord du littoral (de la Sèvre Niortaise à la Gironde), de nature mixte rocheuse et sédimentaire, est découpée par des bras de mer subparallèles, de direction nord-ouest/sud-est, de plusieurs dizaines de kilomètres de long et de quelques kilomètres de large. Il s'agit des Pertuis Charentais et de l'estuaire de la Gironde. Ce sont des segments de vallées, partiellement ennoyés par la mer, et creusés de façon différentielle, lors de périodes glaciaires, selon des directions de faiblesses géologiques qui suivent les affleurements des différentes strates de roches ainsi que des failles majeures **[2] [3] [4]**. Ces structures imposent encore aujourd'hui la morphologie du littoral car elles sont à l'affleurement à l'extrémité nord du bassin aquitain. L'ensemble de ces structures et de leurs directions sont un héritage de l'histoire géologique de la région, incluant successivement la formation de la chaîne hercynienne (350-250 mA), l'ouverture du golfe de Gascogne (136-80 mA) et la formation des Pyrénées (65-40 mA). En revanche, la partie sud du littoral est essentiellement rocheuse (de la pointe St. Martin à la Bidassoa), en raison de la formation et du soulèvement des Pyrénées. Cependant, on ne retrouve pas de grandes vallées qui découpent le littoral, car le cours des fleuves principaux a été dévié vers le nord par le soulèvement pyrénéen. La partie centrale du littoral est sédimentaire car le socle rocheux y est profond et non affleurant, en raison de la subsidence qui a entraîné la formation du bassin aquitain **[5]**. La morphologie côtière est ainsi rectiligne car dominée par l'action des vagues qui a façonné la plus grande barrière sableuse littorale d'Europe. La principale interruption de cette barrière est l'embouchure du bassin d'Arcachon, dont la limite septentrionale suit également la faille de la Leyre de direction également hercynienne nord-ouest/sud-est. Plus au sud, l'embouchure de l'Adour et les courants landais (fleuves côtiers), de moindre extension et largement moins étudiés que les grandes embouchures du nord, constituent d'autres interruptions du littoral.

Ces morphologies littorales variées exercent un contrôle majeur sur les écosystèmes et sur les activités humaines. Ainsi les régions estuariennes sont des environnements peu profonds et semi-fermés. Ils abritent une très grande diversité d'espèces. Leur fonctionnement écologique est fortement influencé par leurs paramètres physiques **[6]**, ils sont des lieux de nourriceries, de refuge et de croissance. On y trouve de vastes estrans vaseux en pente douce qui sont des lieux de production primaire parmi les plus productifs de la planète et sont à la base de nombreuses chaînes alimentaires et des écosystèmes cultivés conchylicoles. Ces morphologies exercent également un contrôle sur les activités humaines littorales, puisqu'une grande partie d'entre elles dépend des ressources biologiques (pêche, conchyliculture).

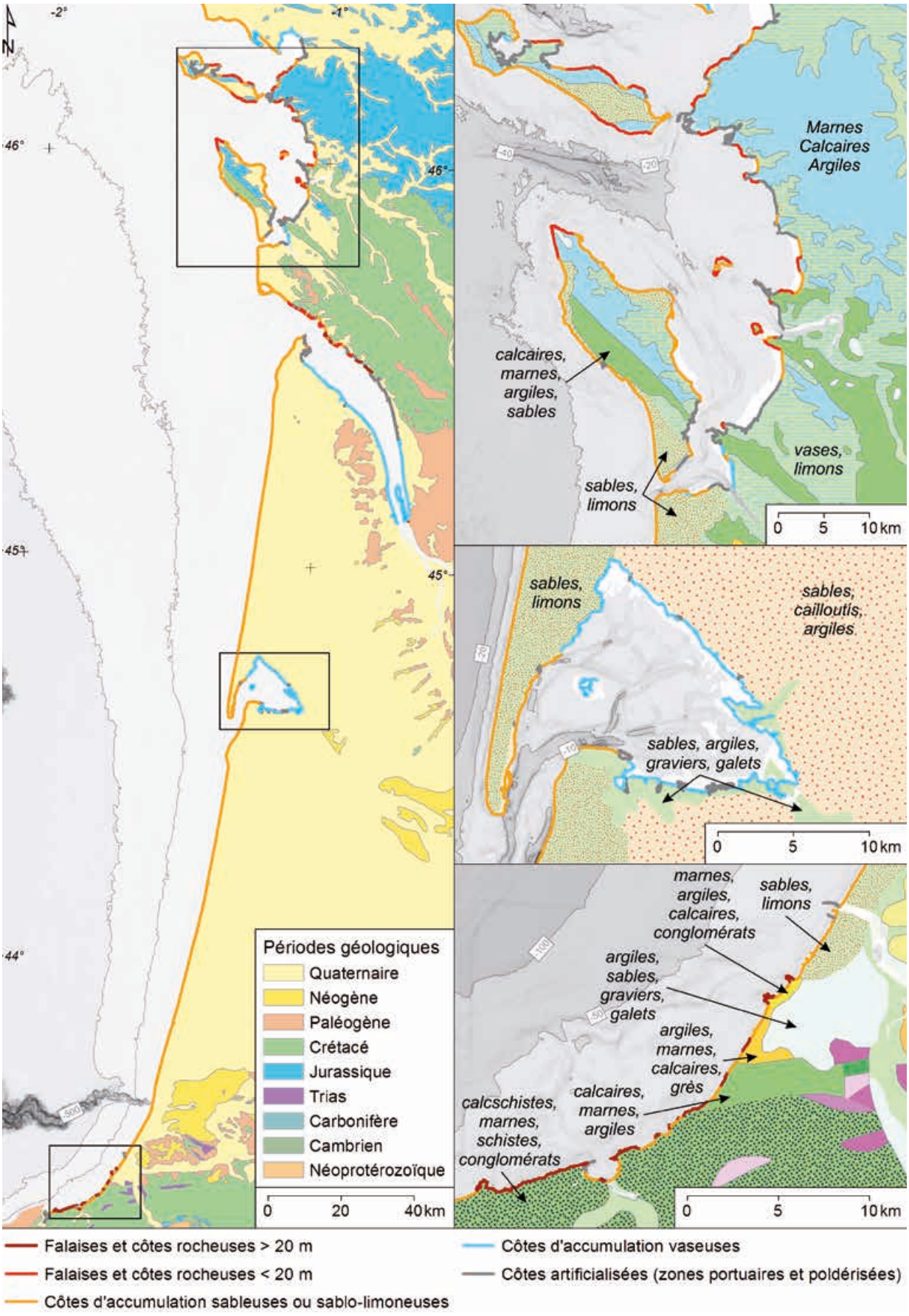


Figure 1 : *Carte géologique (BRGM) et nature du trait de côte (CEREMA) de la Nouvelle-Aquitaine. Les côtes artificialisées représentées ici concernent principalement les polders, les ports ou encore les digues de grandes dimensions. Certaines parties artificialisées (e.g. plages du Cap Ferret, de Pilat/mer, domaines de Certes et de Graveyron sur le Bassin d'Arcachon, certaines villes côtières comme Lacanau, Soulac et Montalivet) sont indiquées comme naturelles à cette échelle mais sont en réalité en majeure partie anthropisées.*

En outre, les environnements semi-fermés (pertuis, estuaires, baies) offrent des abris favorables aux activités portuaires et aquacoles, et sont aussi des voies de navigation privilégiées. Les littoraux naturels sont vastes en Nouvelle-Aquitaine, mais il existe aussi une forte proportion de littoraux artificialisés par des ouvrages de défense contre la mer principalement contre la submersion et dans une moindre mesure l'érosion côtière **Figure 1**. Les coûts de ces défenses des côtes sont très élevés par rapport aux capacités de financement de la puissance publique, ce qui obligera dans les décennies futures et sous les effets du changement climatique à un choix inévitable entre le maintien des défenses côtières et leur renforcement, une adaptation plus souple, voire l'abandon en cas d'élévation importante du niveau marin ou de recrudescence des tempêtes. Il est désormais nécessaire d'envisager des défenses alternatives et des adaptations, reposant sur des recherches approfondies et une meilleure connaissance des processus mis en jeu.

Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine est exposé à plusieurs aléas qui seront amenés à prendre de l'ampleur dans le cadre du changement climatique. L'intrusion d'eau saline dans les nappes ou encore l'avancée dunaire vers l'intérieur des terres sont des aléas souvent jugés moins préoccupants que (**Figure 2**) : (1) **l'aléa érosion**, défini ici comme le recul du trait de côte, et (2) **l'aléa submersion marine**, défini comme l'inondation temporaire d'une zone côtière. Dans les baies et les estuaires, certains effets néfastes liés à aux phénomènes d'envasement, de comblement et d'accrétion seront également traités.

Au niveau de la Nouvelle-Aquitaine, ces thématiques sont devenues depuis quelques années au cœur des préoccupations des chercheurs des laboratoires, en interaction avec les objectifs plus appliqués de l'Observatoire de la Côte Aquitaine et du GIP Littoral Aquitain. En effet, l'histoire récente de la Nouvelle-Aquitaine a été marquée par des événements extrêmes majeurs comme les tempêtes Lothar et Martin (26, 27 et 28 décembre 1999), Klaus (24 janvier 2009), Xynthia (27 et 28 février 2010) et plus récemment celles nombreuses de l'hiver 2013/2014. Ces dernières ont par exemple fait reculer le trait de côte dans beaucoup de zones bien au-delà des projections à 2040 réalisées par Aubié *et al.* **[7]**, et la tempête Xynthia a douloureusement rappelé que les côtes basses de la Nouvelle-Aquitaine sont particulièrement vulnérables à l'aléa submersion. Les avancées scientifiques récentes sur ces événements et leur impact, ainsi que l'ajout du littoral du département de la Charente-Maritime ont entraîné une très importante mise à jour scientifique et géographique de ce chapitre par rapport à celui publié en 2013 **[8]**.

Dans ce chapitre, après une description du fonctionnement actuel du littoral de la Nouvelle-Aquitaine et des aléas d'érosion et de submersion, l'évolution des principaux forçages et de leurs impacts sur les aléas d'érosion et de submersion dans le cadre du changement climatique seront explorés avant de discuter les méthodes d'adaptation à mettre en œuvre.

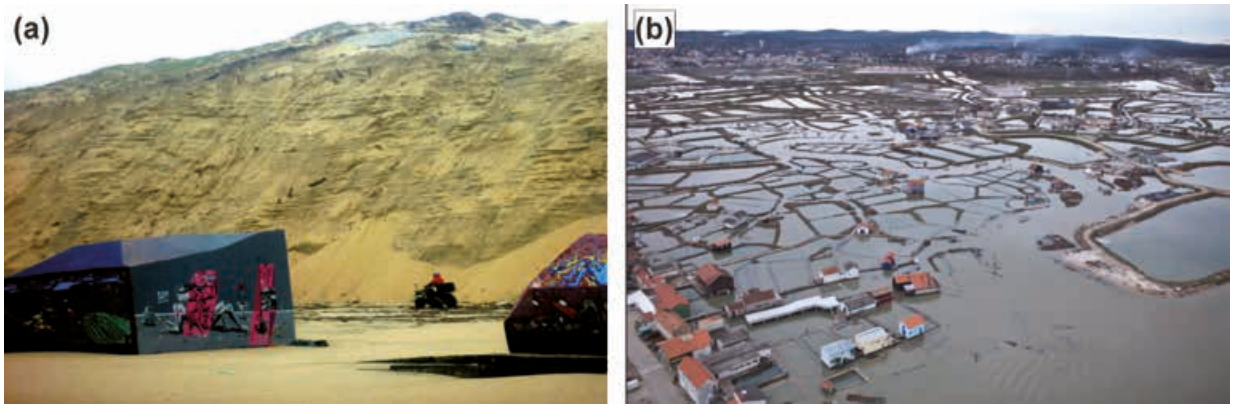


Figure 2 : Illustration des aléas d'érosion et submersion *en Nouvelle-Aquitaine : (a) érosion marine du cordon dunaire girondin à la sortie de l'hiver 2013/2014 (Cliché : B. Castelle) ; (b) submersion marine dans le secteur de la Tremblade au lendemain de la tempête Xynthia (Cliché : Philip Plisson).*

2 LES PRINCIPAUX FORÇAGES ET LEUR ÉVOLUTION DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

NIVEAU MOYEN DES MERS

Depuis environ 3 000 ans le niveau moyen des mers était relativement stable, avec une élévation ne dépassant pas 1 mm/an. Récemment, avec la mise en place de marégraphes depuis la fin du XIXe siècle, les mesures montrent depuis quelques décennies une **accélération de l'élévation du niveau moyen des mers** avec actuellement une augmentation de 3,3 +/-0,4 mm/an à l'échelle globale **[9]**. Le changement climatique va induire une augmentation encore plus rapide du niveau moyen des mers qui va impacter le littoral. La **Figure 3** présente les projections d'élévation du niveau de la mer pour deux villes de la région de la Nouvelle-Aquitaine : La Rochelle et Saint-Jean-de-Luz. Ces projections sont essentiellement similaires à celles du dernier rapport du GIEC **[10]**. La différence la plus importante est une prise en compte du risque d'une fonte rapide des calottes polaires contribuant à l'élévation **à l'élévation du niveau de la mer [11]**. Les projections de Kopp *et al.* **[12]** sont par ailleurs prolongées jusqu'en 2 200 en prenant en compte la subsidence. La **Figure 3** montre qu'au cours des deux prochains siècles, le niveau de la mer continuera à s'élever à Saint-Jean-de-Luz et à La Rochelle. En revanche, l'ampleur de ce phénomène sera très différente selon les efforts de réduction d'émissions de gaz à effets de serre : Kopp *et al.* **[12]** estiment qu'il y a au moins deux chances sur trois que le niveau de la mer ne s'élève pas de plus d'1 m d'ici à 2 200 dans le cas du scénario RCP 2.6 (compatible avec l'objectif des 2 °C). Au contraire, il existe au moins une chance sur deux de dépasser 1 m d'élévation du niveau de la mer dès 2150 pour les deux villes considérées, dans le cas du scénario extrême RCP 8.5 (pessimiste). Pour les deux villes, les incertitudes sont très importantes, et il n'est pas possible d'écarter la possibilité d'une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres par siècle, même dans le cas du scénario RCP 2.6 (le plus optimiste).

LES VAGUES

Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine est exposé aux vagues générées par les dépressions extra-tropicales transitant d'ouest en est au-dessus de l'Atlantique Nord. Ces dépressions génèrent des vagues énergétiques principalement d'incidence ouest à nord-ouest avec des périodes de pic généralement comprises entre 8 et 16 secondes. La variabilité saisonnière de l'énergie des vagues incidentes est forte, avec des hauteurs moyennes en été et hiver variant du simple au double (e.g. 1,1 m et 2,4 m au sud de la côte girondine **[13]**).

Il existe aussi une forte variabilité interannuelle contrôlée par des modes de variabilité climatique dans l'Atlantique nord, principalement en hiver, représentés par les indices *North Atlantic Oscillation* (NAO, **[14] [15] [16]**) et *East Atlantic* (EA, e.g. **[17] [18]**). Toutefois, dans le golfe de Gascogne, l'ensemble de ces indices n'explique qu'une partie de la variabilité totale, c'est pourquoi un nouvel indice (*West Europe Pressure Anomaly*, WEPA) a été développé **[19]**. En Nouvelle-Aquitaine, cet indice WEPA reflète la variabilité de la différence de pression atmosphérique entre l'Irlande et les Canaries et améliore de 100 à 150 % l'explication de la variabilité interannuelle de la hauteur moyenne des vagues en hiver, jusqu'à plus de 250 % celle des vagues extrêmes. À cette variabilité temporelle des vagues se superpose une variabilité spatiale le long de la côte de la Nouvelle-Aquitaine, avec un gradient sud-nord tel que les vagues du large sont en moyenne 10 à 20 % plus hautes au nord qu'au sud. Toutefois, le plateau continental étant plus large et moins profond au nord qu'au sud (**Figure 1**), les vagues sont plus dissipées et arrivent par exemple avec moins d'énergie sur la côte ouest de l'île d'Oléron que sur la côte des Landes.

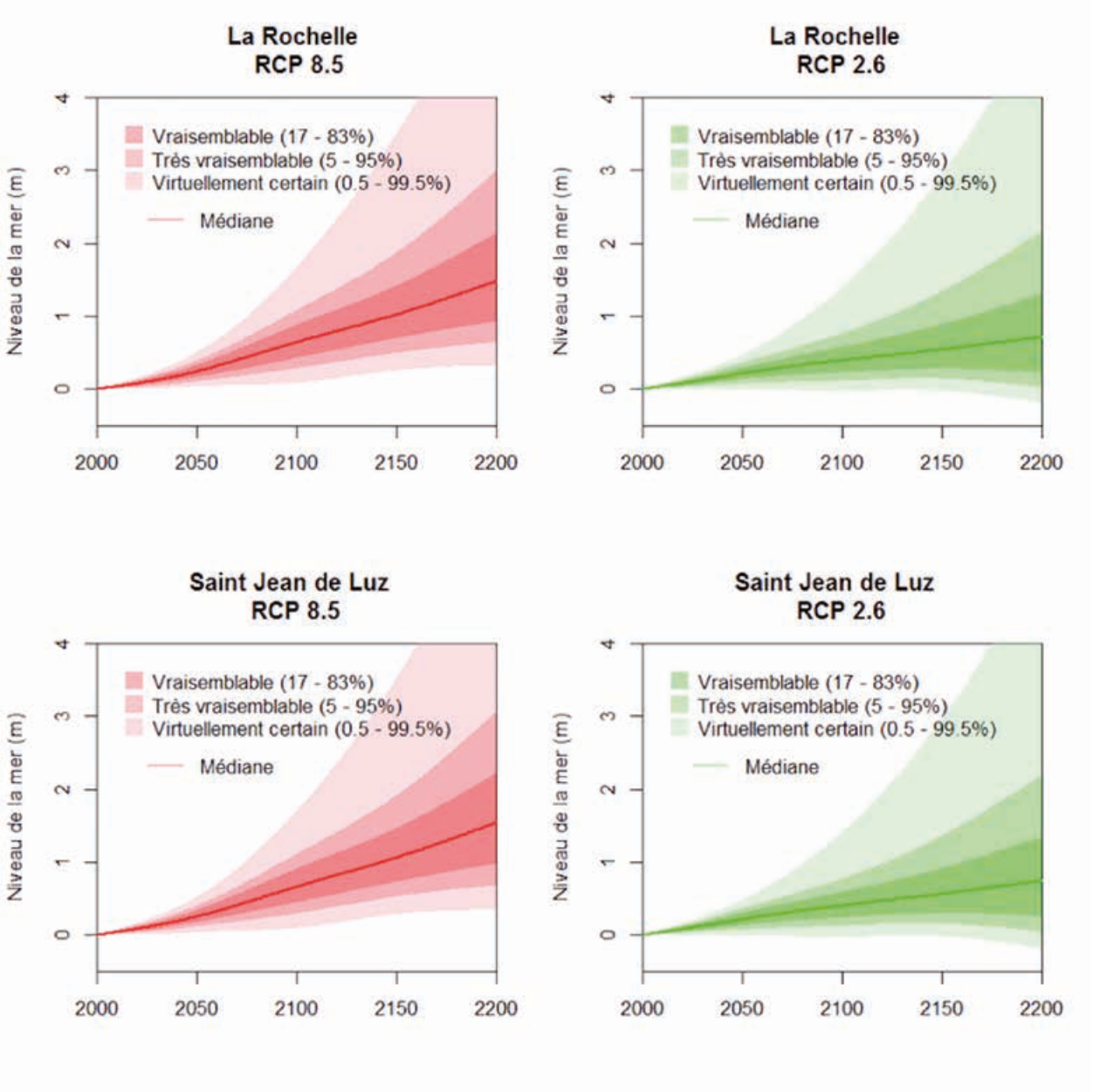


Figure 3 : *Projections d'élévation du niveau de la mer selon l'étude de Kopp et al. (12) pour deux villes de la région Nouvelle-Aquitaine (La Rochelle et Saint-Jean-de- Luz) et deux scénarios de changement climatique RCP 2.6 (optimiste) et 8.5 (pessimiste).*

En outre, plus localement, au niveau des côtes de la Charente-Maritime, l'ombrage énergétique et la réfraction/diffraction induite par les îles et les interactions avec les courants de marée modulent fortement les vagues incidentes à la côte, particulièrement sur les parties du littoral qui ne sont pas directement exposées aux houles atlantiques.

En modifiant les caractéristiques des régimes dépressionnaires à l'échelle de l'Atlantique Nord, le changement climatique affectera la climatologie des vagues, et l'intensité et la fréquence des événements extrêmes de vagues. Les simulations suggèrent que le golfe de Gascogne sera relativement épargné et pourrait même connaître une diminution de la hauteur moyenne des vagues d'hiver **[20]**. À plus haute résolution spatiale, Charles *et al.* **[21]** identifient également une baisse de l'énergie des vagues et un décalage vers le nord de leur orientation en été dans le golfe de Gascogne sur la base des résultats de modèles climatiques du 4e rapport du GIEC. Ces projections sur la moyenne hivernale des hauteurs statistiques portent sur les régimes de vagues moyens et restent incertaines. En outre, et alors qu'on peut considérer que le changement climatique se manifeste depuis déjà quelques décennies sur l'énergie incidente des vagues, les modèles et les observations montrent en réalité une augmentation récente de la hauteur moyenne des vagues en hiver (e.g. **[22]**), notamment dans le golfe de Gascogne (**[16] [23]**). La relative stabilité des hauteurs de vagues hivernales dans les prochaines décennies reste donc incertaine. En ce qui concerne les phénomènes extrêmes, les résultats de modèles de climat suggèrent une légère baisse de la fréquence des tempêtes **[24]**, mais d'autres simulations suggèrent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en Europe de l'ouest, notamment en Nouvelle-Aquitaine **[25].** De plus, l'amplitude de cette augmentation dépend du scénario concerné, i.e. de nos futures émissions de gaz à effet de serre. Or plus que la moyenne des hauteurs de vagues, c'est bien l'intensité et la fréquence des tempêtes qui est primordiale dans les aléas d'érosion et de submersion. Enfin, il est important de rappeler que les modèles actuels peuvent, avec des incertitudes, fournir des projections du climat des vagues (e.g. hauteurs statistiques). Toutefois, ces modèles sont, et seront toujours, incapables de fournir une série temporelle des événements futurs à cause du caractère profondément stochastique des épisodes météorologiques générant les vagues. En d'autres termes, il ne sera jamais possible sur des échelles de temps supérieures à quelques semaines de prévoir l'occurrence et l'intensité des extrêmes, ni la chronologie des événements, alors que leur coïncidence avec des marées hautes de vives-eaux sera déterminante pour les aléas d'érosion et de submersion.

LA MARÉE

La marée dans le golfe de Gascogne est semi-diurne avec une légère asymétrie diurne (marnage de la marée du matin environ 0,2 m plus élevé que celui de la marée de l'après-midi). L'amplitude de la marée augmente depuis le Pays Basque vers les Pertuis Charentais, du fait de l'élargissement du plateau continental **[26]**. Le marnage en mortes-eaux est inférieur à 1,5 m sur l'ensemble de la zone, tandis qu'en vives-eaux il atteint presque 5 m dans le Pays Basque et peut dépasser 6,5 m dans les Pertuis Charentais. En raison des faibles profondeurs, la marée présente de fortes distorsions à l'approche du littoral. Dans les Pertuis Charentais par exemple, cette distorsion aboutit à une double pleine mer lors des mortes-eaux **[27]**. Dans les estuaires, la distorsion se traduit typiquement par des asymétries entre le flot et le jusant. Dans l'estuaire de la Gironde **[28]**, le flot est plus court que le jusant tandis que dans le bassin d'Arcachon, où les estrans sont bien plus développés que les chenaux, c'est le flot qui est plus long **[29]**. Dans l'estuaire de la Charente, des inversions de l'asymétrie se produisent entre le déchet (lorsque le coefficient de marée diminue), où le flot est en général plus court que le jusant et le revif (lorsque le coefficient de marée augmente), où une situation inversée peut être observée **[27]**. Une autre distorsion importante dans les estuaires est l'amplification de la marée par la convergence des rives et la diminution des sections vers l'amont. Ainsi, dans la Gironde, une marée de marnage de 4 m à l'embouchure atteint plus de 5,6 m à 95 km en amont, avec une distorsion plus importante en mortes-eaux qu'en vives-eaux **[30].** L'asymétrie de l'onde se traduit par une asymétrie des courants, plus intenses lors des phases les plus courtes. Les courants de marée sont inférieurs à 0,5 m/s sur le plateau continental **[26]** et sur les estrans vaseux **[31]** ; mais ils peuvent dépasser 2 m/s dans les estuaires, embouchures tidales et chenaux de marée **[32] [33]**. Dans le cadre du changement climatique, la marée sera globalement peu affectée. Pourtant, l'élévation du niveau de la mer pourrait localement impacter la marée, avec toutefois des augmentations du marnage de vives-eaux inférieures à 2 % en Nouvelle-Aquitaine pour une augmentation du niveau moyen des mers de 0,6 m **[34]**. Il faut cependant rappeler que cette étude a été réalisée avec la morphologie littorale actuelle, alors que celle-ci est vouée à évoluer ce qui impactera (diminution ou augmentation suivant la zone considérée) significativement le marnage.

SURCOTES

Les surcotes correspondent aux variations du niveau de la mer rapides (e.g. à l'échelle d'une tempête), au contraire de l'augmentation du niveau moyen des mers décrite plus haut, et qui ne sont pas liées à la marée mais dont l'origine est météo-océanique. Ces surcotes se superposent donc à la marée évoquée ci-dessus et sont une cause importante des épisodes de submersion marine. Les variations de la pression atmosphérique entraînent des variations du niveau de la mer, de l'ordre de 0,01 m lorsque la pression s'écarte de 1 hPa autour de la pression atmosphérique moyenne (1 013 hPa). Ainsi, une dépression de 970 hPa entraînera une surcote atteignant localement 0,43 m. Le vent induit un déplacement des masses d'eau en surface et lorsque ce déplacement est dirigé vers la côte, l'eau s'accumule le long du rivage et provoque aussi une surcote.

Cette accumulation est d'autant plus importante que le plateau continental est large et que les littoraux sont bordés d'eaux peu profondes. Pour une intensité de tempête donnée, les Pertuis Charentais sont donc soumis à des surcotes plus fortes que les côtes girondines, landaises et basques. L'intensité de ce transport augmente comme le carré de la vitesse du vent. De plus, pour une vitesse de vent donnée, les caractéristiques des vagues peuvent fortement augmenter ce transport, comme lors de la tempête Xynthia **[35] [36]**. L'effet de Coriolis lié à la rotation de la Terre entraîne une déviation de ce transport vers la droite par rapport à la direction du vent (vers la gauche dans l'hémisphère sud), si bien qu'au niveau des littoraux de la **région Nouvelle-Aquitaine, des vents de sud-ouest créeront une surcote plus forte que des vents de nord-ouest ayant les mêmes caractéristiques (vitesse, fetch, durée).** À la marée et à cette composante atmosphérique s'ajoute le déferlement des vagues qui provoque une surélévation du niveau d'eau le long du rivage *(wave setup)*, qui peut se propager vers des zones abritées du déferlement, comme des ports ou des estuaires **[36]**. Arnaud et Bertin **[37]** ont montré que lors de la tempête Klaus (janvier 2009), ce phénomène avait contribué à la surcote à hauteur de 0,5 m dans l'estuaire de l'Adour et le Bassin d'Arcachon. Les plus fortes surcotes observées au niveau de la région sont celles associées aux tempêtes Martin à Pauillac (2 m ; **[38]**) ; Klaus à Arcachon (1,7 m ; **[37]**) et Xynthia à La Rochelle (1,6 m ; **[36]**). L'évolution des surcotes sera donc directement impactée par le changement climatique à travers l'augmentation du niveau moyen des mers et l'évolution des régimes de tempêtes.

DÉBITS FLUVIAUX LIQUIDES ET SOLIDES

Les débits fluviaux sont particulièrement importants pour les environnements estuariens. Les eaux douces sont le principal vecteur de sédiments, mais surtout ils conditionnent les gradients de densité qui contrôlent la circulation résiduelle et, par extension, le flux net de sédiments retenus ou exportés à l'océan. Les crues fluviales contribuent aux surcotes et aux submersions, au même titre que les forçages météo-océaniques, mais avec des effets surtout dans les sections estuariennes amont, plus étroites que celles proches des embouchures. La synthèse d'Etcheber *et al.* **[39]** sur la Garonne et la Dordogne fait état d'une forte variabilité annuelle des débits respectivement 30-900 m^3/s et 210-480 m^3/s, mais surtout d'une diminution significative de ces derniers sur les cinquante dernières années (de 25 à 30 % pour la Garonne et de 20 % pour la Dordogne). Les modifications du milieu physique d'origine anthropique rendent difficiles l'identification des liens entre les variabilités climatiques et les variabilités hydrologiques. Toutefois, il est maintenant admis que la variabilité hydrologique de la Garonne à son exutoire est influencée par la NAO. La période d'étiage est quant à elle de plus en plus marquée avec des débits fluviaux de plus en plus faibles, chute aggravée par le pompage de l'eau dans le bassin versant. Les apports solides sont une variable cruciale car ils participent au comblement des baies et des estuaires, permettant l'ajustement topographique des marais pour compenser l'élévation du niveau marin **[40]**. Concernant les matières en suspension, les données de la littérature scientifique sont éparses pour les systèmes régionaux mais des études existent sur la Charente et la Seudre **[41] [42]**, ainsi que sur la Garonne et la Dordogne. En effet, Schäfer *et al.* **[43]** ont ainsi évalué en Garonne un flux entrant moyen de 3,2 millions de tonnes entre 1990 et 1999, dont une grande partie reste piégée dans l'estuaire puisque le flux de matière en suspension exporté à l'océan était évalué par Jouanneau *et al.* **[44]** **à 2,5 millions de tonnes/an. Les apports actuels de sable à l'entrée amont des estuaires sont considérés comme faibles mais n'ont pas fait l'objet d'études récente**s.

Les projections de différents modèles climatiques globaux sur l'hydrologie de la France à l'horizon 2100 **[45]** indiquent une modification des précipitations dans les bassins versants de la Loire, la Garonne et le Rhône. En plus du débit des fleuves, cette modification impactera l'altération des côtes à falaise par les eaux continentales. L'étude de Dayon **[45]** ne donne toutefois pas d'information sur l'évolution des extrêmes qui seront importants pour les submersions fluvio-marines au niveau des estuaires. Même si les autres bassins versants et fleuves régionaux n'ont pas été abordés dans cette étude, les exemples de la Garonne et de la Loire donnent une indication des tendances à prévoir pour les systèmes fluviaux aquitains. Les projections de Dayon **[45]** indiquent une diminution des débits selon un gradient nord sud, la diminution des débits étant plus forte au sud, dans des proportions allant de 20 à 50 % selon le scénario envisagé. L'augmentation de la température globale de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle implique une diminution des débits en été et en automne sur les quatre grands bassins versants français (Seine incluse). En été, les débits diminuent d'environ 20 % sur la Garonne, de 15 % sur la Loire. En hiver, ils diminuent d'environ 10 % sur la Garonne et la Loire. Une des conséquences supposées est que les expulsions de sédiments en mer seront plus limitées. Toutefois, l'évolution des débits solides futurs est incertaine, et à l'heure de cette synthèse nous n'avons pas identifié d'étude scientifique spécifique traitant de ce sujet.

3 LES DIFFÉRENTS ENVIRONNEMENTS LITTORAUX

LES ENVIRONNEMENTS SABLEUX DOMINÉS PAR L'ACTION DES VAGUES

En dehors des environnements estuariens et des plages adjacentes aux embouchures, les vagues sont le moteur principal du mouvement des masses d'eau et du transport sédimentaire en domaine littoral **[46]**. C'est notamment le cas sur la majorité de la côte ouverte de l'ancienne région Aquitaine **[47] [48]**. Lorsque les vagues arrivent avec une certaine obliquité à la côte, elles génèrent un courant de dérive, parallèle à la côte, maximum dans la zone de déferlement. Ce courant transporte de grandes quantités de sable le long du littoral, transport qu'on appelle dérive littorale et dont la variabilité spatiale explique une partie de l'évolution pluridécennale du trait de côte. Les flèches sableuses (Pointe de Gatseau à l'île d'Oléron, Pointe de la Coubre, Cap Ferret) constituent des barrières pluri kilométriques, délimitant des environnements semi-fermés, principalement construites par l'action de la dérive littorale **[32] [49] [50] [51]**. Sur des échelles de temps de l'ordre de quelques heures (tempête) à plusieurs mois/années, la variabilité de l'énergie incidente des vagues impacte fortement l'évolution du trait de côte. Les vagues de tempête arrachent le sédiment de la plage, et parfois de la dune, et le transportent dans la zone sous-marine au niveau des barres prélittorales **[52]** qui protègent le littoral pendant les tempêtes en dissipant l'énergie des vagues, au large, par déferlement **[53]**. Par contre, sur des échelles de temps plus longues (jours, mois), les vagues plus modérées ramènent le sable sur le haut de plage **[54]**. Ces vagues doivent être toutefois suffisamment énergétiques pour ramener le sable vers la plage. Ceci a des implications importantes puisque, par exemple, contrairement à ce que l'on pourrait penser, une augmentation de la hauteur moyenne des vagues n'implique pas forcément une accélération de l'érosion. À cause de cette dynamique transversale, contrôlée par l'énergie incidente des vagues, les événements extrêmes, les variabilités saisonnières et interannuelles se répercutent directement sur la variabilité du trait de côte sur les littoraux ouverts **[55] [56] [57].** Sur des échelles temporelles plus grandes, l'évolution chronique des plages sableuses ouvertes est aussi contrôlée par l'augmentation du niveau moyen des mers (actuellement environ 3,3 +/-0,4 mm/an à l'échelle globale **[9]**) et par les stocks sédimentaires disponibles sur le plateau continental et charriés par les fleuves qui contrôlent les bilans sédimentaires.

LES ENVIRONNEMENTS DOMINÉS PAR LA MARÉE

Ces environnements sont ceux considérés à l'abri de l'action des vagues, et sont relativement fermés par rapport au domaine océanique. À l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine, il s'agit des estuaires (Sèvre Niortaise, Charente, Seudre, Gironde, Adour), du Bassin d'Arcachon, des baies de l'Aiguillon et de Marennes. La littérature scientifique est assez inégale entre ces différents systèmes, la Baie de Marennes et l'estuaire de la Gironde étant largement les plus documentés du point de vue de leur fonctionnement hydro-sédimentaire **[31] [58]** et de leurs évolutions morphologiques **[59]**. Dans les estuaires, de manière générale, les gradients de salinité produisent un blocage des sédiments en suspension apportés par les fleuves **[60]**. L'action périodique des courants de marée provoque des cycles de remise en suspension, transport et dépôt. Leur action naturelle est donc de combler les estrans par la décantation de sédiments fins en suspension, et de maintenir les chenaux à des

profondeurs relativement importantes, comme il a été vérifié par des suivis bathymétriques aux échelles du siècle **[59] [61]**. L'asymétrie de l'onde de marée contribue à piéger les sédiments en suspension à l'intérieur de l'estuaire, formant un « bouchon vaseux » qui est la principale source de sédimentation dans les estuaires **[62]**. Les baies tidales fonctionnent comme les estrans estuariens, et la décantation des particules y produit un comblement résiduel seulement contrarié par l'action érosive des vagues **[31]**.

LES ENVIRONNEMENTS MIXTES

Les embouchures des estuaires et des lagunes comportent des unités morphologiques caractéristiques comme des chenaux de marée, des deltas de jusant et de flot, des flèches sableuses et des bancs larges d'embouchure. Ces environnements littoraux sont exposés à la fois aux forçages des vagues et de la marée. Ce double forçage combiné à la présence de chenaux et de bancs peu profonds induit une forte dynamique et des évolutions morphologiques qui peuvent être très rapides **[32] [50]**. En général, les courants de marée sont plus forts au jusant qu'au flot, ce qui contribue à l'export de sédiments vers le large alors que les vagues induisent un transport de sédiments vers l'intérieur des systèmes, si bien qu'un équilibre s'opère entre ces deux forçages. Cet équilibre évolue donc à l'échelle des saisons mais également à l'échelle interannuelle, du fait de la forte variabilité des climats de vague. Ainsi, les chenaux de marée et bancs tidaux peuvent migrer de plusieurs centaines de mètres en quelques mois et les littoraux adjacents aux embouchures peuvent présenter des reculs bien supérieurs à ceux des côtes ouvertes **[63] [64].** En effet, les plus forts taux d'érosion observés en Nouvelle-Aquitaine correspondent au sud-ouest de l'île d'Oléron, à la pointe du Médoc et au Cap ferret et ces trois secteurs correspondent à des littoraux adjacents à des embouchures. Du nord au sud de la **région, les systèmes d'embouchure soumis aux vagues et à la marée correspondent au Pertuis Breton, au Pertuis d'Antioche, à la Baie de Marennes-Oléron, au Pertuis de Maumusson, à l'embouchure de la Gironde, au bassin d'Arcachon, aux Courants Landais (Mimizan, Contis, Huchet et Souston), à l'embouchure de la lagune de Capbreton, à l'embouchure de l'Adour**, de la Nivelle et de l'Uhabia et de la Baie de Saint-Jean-de-Luz.

LES CÔTES À FALAISE

Les falaises résultent des processus d'érosion littorale. Au contact des formations géologiques dures, l'océan façonne une côte sous forme de falaise associée à une plate-forme d'abrasion. La dynamique marine locale a également une action de déblaiement du pied de falaise, empêchant la formation d'un profil d'équilibre. L'eau douce continentale impacte aussi la stabilité globale de ce type de côte. Sur le long terme, elle intervient en effet dans l'altération des matériaux, offrant des formations géologiques meubles, altérées sur un grand linéaire de côte. De manière combinée, l'eau douce est un facteur déclencheur de mouvements de terrain ainsi qu'un agent de transport des matériaux érodés. Dans ce type d'environnement, les plages sont souvent limitées dans l'espace par des caps rocheux extrémités et constituées de sédiments meubles plus ou moins fins (plages dites « de poche » de sables essentiellement mais parfois graviers). Elles sont soumises à des conditions de circulations sédimentaires particulières dépendant notamment de la géologie héritée (e.g. **[65] [66]**). De manière générale, les transports sédimentaires sont préférentiellement transverses à la côte et chaque plage de poche peut être considérée comme étant une cellule sédimentaire fermée. Une grande partie des côtes à falaises se trouvent dans la partie sud de la Nouvelle-Aquitaine, de Biarritz à Hendaye. Dans cette zone, des aménagements ont été réalisés pour retarder le recul des falaises. On constate en effet que leur dégradation est passée d'un recul lent et progressif de la ligne de côte à un recul discontinu qui s'effectue par des glissements de grande envergure, généralement sous forme de glissements circulaires comme dans les altérites de Bidart et Guéthary, plans sur les flyschs de la Corniche Basque entre Saint-Jean-de-Luz et Hendaye ou d'éboulements sur les calcaires et marnes à Biarritz. Genna *et al.* **[67]** ont mis en évidence la présence d'une altérite le long de cette côte dont l'évolution latérale contrôle l'évolution du trait de côte avec l'apparition ou non de plages en pied de falaise suivant le type de roche présent en haut de falaise. Au nord de Saint-Jean-de-Luz, l'épaisseur de la barre de calcaire est très faible et l'érosion attaque directement les altérites induisant des évolutions rapides pouvant conduire à terme au creusement d'une baie comme par exemple la plage actuelle d'Erromardie. Il existe également des côtes à falaises dans le nord de la région, au niveau des Pertuis Charentais et de la rive droite de la Gironde. Les taux d'érosion sont modérés (< 0,5 m/an) et varient en fonction de la nature lithologique des falaises et de la présence ou absence de failles tectoniques **[68]**.

LES CÔTES AMÉNAGÉES

Les ouvrages côtiers de la Nouvelle-Aquitaine regroupent les typologies suivantes selon leur(s) vocation(s) :

1. les ouvrages dont la vocation est de fixer le trait de côte : épis en enrochements pour le transit latéral, jetées qui stabilisent les sorties de fleuves ou rivières, et ouvrages de front de mer ou perrés qui fixent le trait de côte en amont de zones urbanisées mais aussi les ouvrages de stabilisation des falaises rocheuses (masque poids, drain, etc.).
2. les ouvrages qui protègent de la submersion : principalement les digues ou levées sachant que certains ouvrages ont double vocation.

La prise en compte du littoral de la Charente-Maritime dans la Nouvelle-Aquitaine a considérablement augmenté le linéaire de côtes aménagées par rapport au premier bilan. En effet, en Charente-Maritime il y a 290 km de digues de premier rang sur un linéaire total de 463 km.

Ce contexte particulier est un héritage qui provient d'une politique historique d'assèchement des marais (poldérisation dès le Moyen Âge puis Édit de 1599 d'Henri IV). Cette artificialisation intense du trait de côte a abouti à une extrême vulnérabilité du département aux submersions marines avec 45 à 50 % de la bande côtière des 10 km (depuis le trait de côte, du sud de la Vendée à l'estuaire de la Gironde exclue) comprenant des zones basses ayant des altitudes situées sous le niveau des plus hautes eaux astronomiques **[1]**. Entre l'estuaire de la Seudre et la Vendée, en dehors de la plage d'Aytré et des îles, le littoral ne comporte que très peu de cordons dunaires (e.g. Marais d'Yves) qui pourraient limiter les submersions marines. Plus au sud, des digues en béton ou en terre (et des quais pour les secteurs urbains) protègent aussi le linéaire du bassin d'Arcachon et de l'estuaire de la Gironde sur plus de 350 km. Construits de manière hétérogène depuis le XVII^{e} siècle, de nombreux ouvrages de protections de l'estuaire de la Gironde sont jugés peu ou pas entretenus. Leur entretien fait l'objet des préoccupations actuelles de la part des gestionnaires (***www.smiddest.fr***). La côte basque possède enfin également un linéaire de côte aménagé important dans lequel on retrouve tous les types de protections marines allant de la digue mixte protégeant la baie de Saint-Jean-de-Luz contre les submersions répétées, à la jetée de l'embouchure de l'Adour **[69]**, aux perrés de front de mer de Biarritz ou Capbreton, jusqu'aux épis des plages d'Anglet.

En termes de fonctionnement, si dans la plupart des cas la fonction primaire de l'ouvrage est assurée au moins partiellement, des effets secondaires non désirés et mal contrôlés sont souvent observés. Ainsi, on remarque que les épis contribuent à l'érosion des tronçons de littoral en aval (par rapport à la dérive littorale) de la commune protégée **[70]**. Les perrés longitudinaux provoquent des affouillements au contact des structures et empêchent le trait de côte de s'adapter. Les jetées modifient de manière significative et parfois de manière négative **[71]** le transport sédimentaire naturel. Enfin, dans des conditions de submersion extrêmes, les ouvrages de protection sont des points durs du littoral peu résilients et parfois mal dimensionnés. Ils protègent en effet les zones urbaines situées en arrière de ces ouvrages, mais leur rupture ou leur sous-dimensionnement peut engendrer des conséquences catastrophiques (e.g. la submersion sur la presqu'île de la Faute-sur-Mer lors de la tempête Xynthia). C'est pourquoi, outre les défenses en dur, des méthodes de protection souple sont aussi mises en œuvre en Nouvelle-Aquitaine. C'est notamment le cas des rechargements de plage de grande ampleur inspirés des USA et des Pays-Bas (e.g. Chatelaillon (17), Anglet (64)) ou encore du système de *bypass* (transfert artificiel du sable pour contourner un obstacle) à Capbreton afin de rétablir le transit littoral naturel.

Ville de Lacanau. *© Julien Lestage*

4 L'ALÉA ÉROSION DANS LA NOUVELLE-AQUITAINE

SITUATION ACTUELLE

L'aléa érosion, en Nouvelle-Aquitaine comme pour la majorité des côtes dans le monde, concerne les côtes sableuses et rocheuses. Il est observé à l'inverse dans la plupart des régions du monde une tendance au comblement des baies et des estuaires non deltaïques, et donc à une accrétion pouvant affecter directement les écosystèmes subtidaux. En effet, il existe de nombreuses côtes régressives, dès l'instant où les apports sédimentaires sont suffisamment importants pour colmater l'espace disponible (somme de l'élévation globale du niveau marin et de la subsidence). La région Nouvelle-Aquitaine ne fait pas exception à cette règle. Aux échelles de temps longues (millénaires, siècles, décennies), ces zones régressives correspondent pour l'essentiel aux zones semi-fermées et dominées par la marée : estuaires **[72]**, lagunes **[61]** et baies tidales **[32] [50] [59]**. Le comblement sédimentaire des environnements semi-fermés a été amplifié par la déforestation **[73]**, les augmentations des précipitations **[42]** et la conchyliculture **[74]**. Le comblement naturel des environnements semi-fermés constitue un aléa majeur pour les voies navigables, les zones portuaires et la conchyliculture et génère des coûts très importants en termes de dragages.

La **Figure 4** s'appuyant sur CEREMA **[75]** donne une vision synoptique et diachronique de l'évolution du trait de côte ces 70 dernières années. La côte a globalement reculé entre 1950 et aujourd'hui. En dehors des zones présentant des ouvrages de défense ou autres constructions, ou encore celles où les données manquent (e.g. côte nord-ouest de l'île d'Oléron), les évolutions présentent une large variabilité spatiale. Les pertes de surfaces ont été les plus importantes (1) le long des littoraux sableux, (2) globalement au nord de la région et (3) au niveau des plages adjacentes aux embouchures (Maumusson et Arcachon), hors courants landais, et celles adjacentes à l'estuaire de la Gironde.

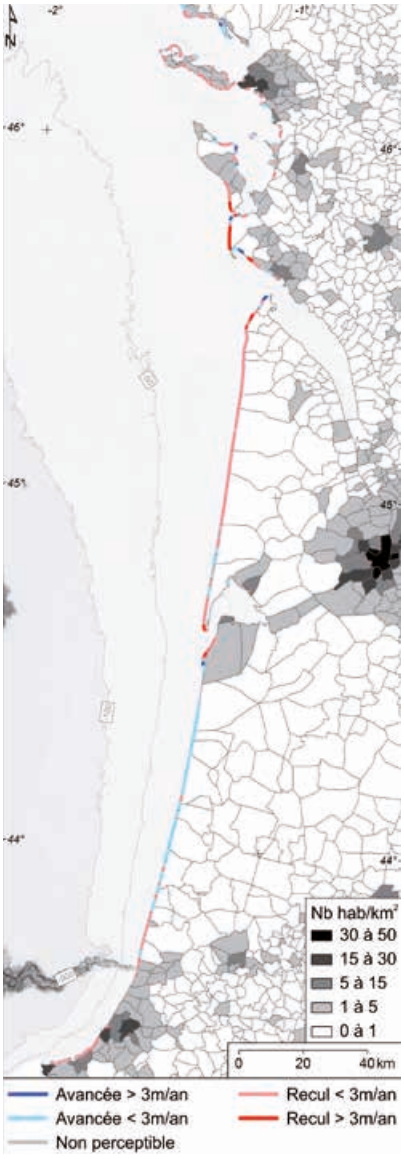


Figure 4 : *Taux d'évolution du trait de côte au cours de ces 70 dernières années (CEREMA) et densité de population dans les différentes communes. Comme indiqué dans le texte, les données de cette carte doivent être utilisées avec prudence.*

Toutefois, dans l'étude de CEREMA **[75]**, le trait de côte actuel de référence date, suivant les secteurs concernés, de 2008 à 2013, ce qui ne permet pas d'appréhender l'impact de l'hiver 2013/2014. Or, cet hiver très énergétique (cf. **ENCADRÉ 1**) a induit une érosion massive du trait de côte sur tout le littoral de la Nouvelle-Aquitaine (voir **[76]** pour l'Aquitaine). Par exemple, plusieurs portions du littoral de la Nouvelle-Aquitaine qui étaient jusqu'ici stables (e.g. la plupart du secteur sud des Landes) ont subi un recul du pied de dune dépassant souvent la dizaine de mètres **[77]**. D'autres secteurs qui étaient en recul chronique de l'ordre de 1 m/an ont subi un recul du pied de dune atteignant parfois 30 à 40 m **[76]**, voire même 60 m au sud de l'île d'Oléron **[63]**. Ces érosions massives et généralisées à l'ensemble du littoral ont fait que, sur une grande partie du littoral, le trait de côte s'est retrouvé à la sortie de l'hiver 2013/2014 proche, voire au-delà dans les terres, de l'estimation à l'horizon 2040 réalisée par Aubié *et al.* **[7]** qui ont depuis été actualisé par Bernon *et al.* **[78]** pour l'Aquitaine.

ENCADRÉ 1 : L'HIVER 2013/2014, UN ÉPISODE EXCEPTIONNEL ?

L'hiver 2013/2014 a été caractérisé par une succession de houles de tempête (i.e. pas forcément associées à des vents violents à la côte, cf. la houle de tempête Hercules le 7 janvier 2014) qui ont durablement affecté le littoral atlantique européen **[79]**, dont celui du littoral de la Nouvelle-Aquitaine **[77]**. Masselink *et al.* **[79]** ont réalisé une simulation rétrospective du champ de vagues dans l'Atlantique nord depuis 1948 et ont démontré que, de loin, ce fut l'hiver le plus énergétique en Europe de l'ouest depuis au moins ces 68 dernières années. Celui-ci n'est capturé par aucun des indices climatiques classiques (NAO, EA), mais l'est par le nouvel indice WEPA **[13]**. Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine s'est retrouvé au maximum de cette « anomalie » où la moyenne des hauteurs de vagues enregistrée était supérieure de 45 % à la moyenne hivernale depuis 1948 **(Figure 5a).** Il n'y a pas eu d'événements « exceptionnels » à proprement parler, mais ce fut la succession des événements qui fut exceptionnelle (**Figure 5b**), certains coïncidant avec des marées de vives-eaux (e.g. tempête Christine le 3 mars 2014). Il n'y a pas encore de preuve scientifique que cet hiver est une manifestation du changement climatique, toutefois, le fait que 2 ans après l'hiver 2015/2016 se classe également 4e en termes d'énergie arrivant à la côte depuis 1968, pourrait laisser penser que la fréquence de ces hivers très énergétiques va s'accélérer dans les prochaines décennies.

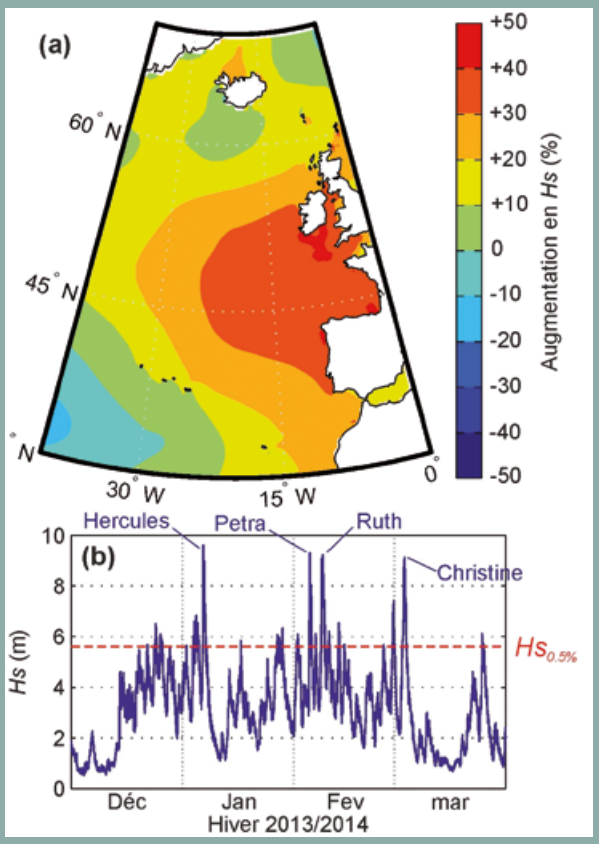


Figure 5 : *En haut : augmentation en % de la hauteur moyenne des vagues par rapport à la moyenne des hivers depuis 1948. En bas : série temporelle des hauteurs significatives des vagues mesurées au large du Cap Ferret pendant l'hiver 2013/2014 avec indication des 4 tempêtes les plus énergétiques. Reproduit avec la permission d'Elsevier (19) (77).*

Même si l'étude du CEREMA **[75]** permet d'avoir une vision spatiale couvrant quasiment l'ensemble du linéaire côtier de la Nouvelle-Aquitaine, celui-ci a plusieurs limites outre celle d'exclure les impacts de l'hiver 2013/2014. Par exemple, la précision de l'unique trait de côte ancien est faible, ce qui peut expliquer la situation estimée stable de la plupart de la côte landaise qui est pourtant en érosion sur plusieurs secteurs. L'étude présente surtout la limite de ne s'appuyer que sur 2 dates pour calculer les taux d'érosion, ce qui ne permet pas d'appréhender la dynamique temporelle des évolutions. La **Figure 6** qui s'appuie sur l'analyse diachronique des photos aériennes depuis 1950 sur le littoral ouvert de la Nouvelle-Aquitaine incluant l'hiver 2013/2014 **[64]**, et qui corrobore les observations décrites dans Bernon *et al.* **[78]**, révèle que la position du trait de côte peut présenter des trajectoires très différentes qui sont déterminantes pour comprendre l'aléa. Par exemple, l'érosion est relativement constante à la Pointe de la Négade depuis 1950 (~4,6 m/an), alors qu'au milieu de la côte ouverte du sud de l'île d'Oléron, celle-ci ne s'est mise en place qu'autour de 1970, avec un recul moyen de 8 m/an qui s'est ensuite sensiblement accéléré ces 10 dernières années. Cette même côte était en accrétion jusqu'au milieu du xxe siècle et ce changement de régime est corrélé au basculement de l'embouchure de Maumusson vers le sud **[32] [50]**. Ces observations corroborent celle de Chaumillon et Bigot **[63]** qui, à partir d'une analyse diachronique des photos aériennes et de profils topographiques en Charente-Maritime entre 1824 et 2015, montrent que les évolutions du trait de côte sont très variables dans le temps, avec toutefois une accélération notable de l'érosion en moyenne pour les côtes dominées par les vagues. D'autres sites comme la côte sauvage de la presqu'île d'Arvert se sont largement érodés jusqu'en 1970, mais sont restés relativement stables depuis ces 40 dernières années. D'autres littoraux sont relativement stables (e.g. sud Landes, secteur du Truc Vert au sud Gironde, **Figure 6).** Ainsi, l'aléa érosion est un phénomène complexe qui nécessite d'être appréhendé sur des évolutions pluridécennales, en s'attachant à caractériser la dynamique temporelle des évolutions.

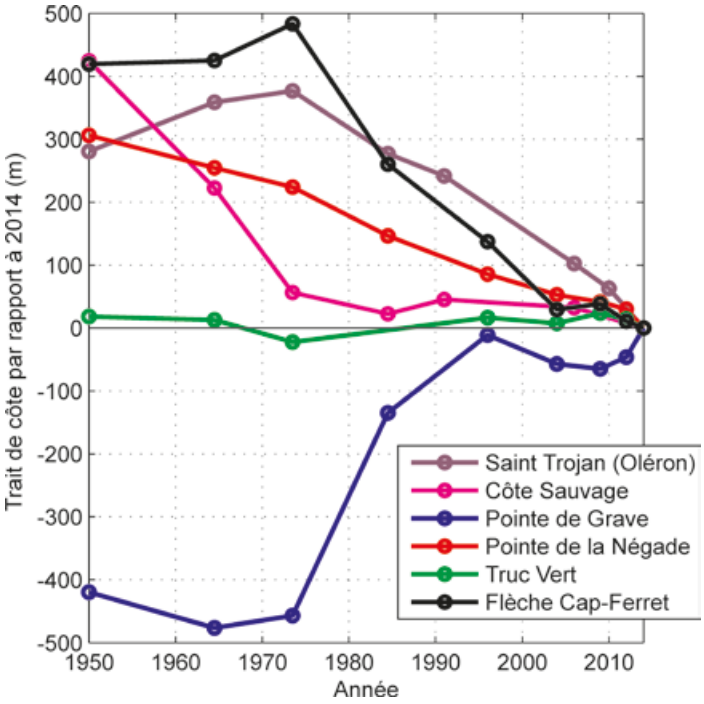


Figure 6 : *Évolution du trait de côte (0 correspond à la position du trait de côte à l'automne 2014) sur plusieurs sites représentatifs du littoral de la Nouvelle-Aquitaine. Reproduit avec la permission d'Elsevier (64).*

La forte variabilité spatiale et temporelle de l'évolution du trait de côte montre bien que l'augmentation du niveau moyen des mers, qui est la même dans tout le golfe de Gascogne et qui n'a connu qu'une légère accélération au cours de ces dernières décennies, n'est pas la cause des évolutions observées à court et moyen terme. De plus, en moyennant l'ensemble de l'évolution morphologique du littoral sableux ouvert de la Nouvelle-Aquitaine entre l'Adour et le milieu de l'île d'Oléron, on constate que l'érosion moyenne au cours de ces 70 dernières années est de 1,1 m/an **[64]**. C'est un ordre de grandeur au-dessus du recul induit par l'augmentation du niveau moyen des mers estimé avec la loi de Bruun **[80]**, loi certes assez critiquée mais qui permet d'estimer sous certaines conditions le recul du trait de côte en considérant une translation de tout le profil de plage sur de grandes échelles de temps. Cela démontre bien que, sur le littoral de la Nouvelle-Aquitaine comme sur beaucoup de littoraux sableux dans le monde, d'autres phénomènes sont en jeu. Le principal reste celui lié au déficit des stocks sédimentaires sur le plateau qui, après avoir permis la construction de la côte sableuse au cours de ces 3 000 - 4 000 dernières années (e.g. **[81]**), ne se résument parfois qu'à de simples placages sableux sur le plateau interne **[82]**. D'autres phénomènes naturels comme les gradients de dérive littorale **[83]** peuvent expliquer l'érosion chronique, notamment le long de la côte girondine. Les évolutions les plus complexes sont souvent celles des littoraux adjacents aux embouchures (e.g. nord Médoc, sud de l'île d'Oléron). Sur ces plages, la migration cyclique des passes ou l'accolement des bancs des deltas de jusant entraînent de fortes modifications voire des inversions de la dérive littorale, qui impactent les évolutions du trait de côte sur de larges échelles spatio-temporelles (e.g. **[32] [49] [50] [84]**).

À l'heure de rédiger ce rapport, le littoral qui présente l'évolution la plus préoccupante reste le sud de l'île d'Oléron (~30 m/an depuis 2000 à la pointe de Gatseau). Toutefois, cette section du littoral concentre des enjeux faibles (forêt domaniale). Le risque lié à l'aléa érosion est beaucoup plus prégnant dans les zones telles que la pointe de la Négade ou la flèche du Cap Ferret qui reculent de plusieurs mètres par an et abritent des enjeux plus importants (cf. bâtiment le Signal au sud de Soulac). Néanmoins, les évolutions ne sont pas toutes érosives. Certaines zones comme les flèches sableuses (la Pointe de Grave, la Pointe de Bellevue, la Pointe de la Coubre) s'engraissent de manière significative depuis plusieurs décennies **[85] [51] [64]**. D'autres zones, qui étaient stables avant de reculer massivement pendant l'hiver 2013/2014 sont à nouveau en accrétion (e.g. plage du Truc Vert, **[19]**). Enfin, certaines zones à forts enjeux sont protégées par des structures de défense qui sont jusqu'ici efficaces dans leur rôle de fixation du trait de côte, même si les paysages et les services écosystémiques y ont été définitivement altérés.

Le long des côtes rocheuses, l'érosion des plages confinées (dîtes de poche : Erromardie, Saint-Jean-de-Luz, etc.) suit les processus de base décrits précédemment tandis que les parties rocheuses évoluent au grès des mouvements de terrains localisés d'origine continentale et/ou marine. Les taux de recul moyens annuels du trait de côte allant de l'embouchure de l'Adour à celle de la Bidassoa ont été quantifiés à partir des traits de côte de 1954 et 2014 dans Bernon *et al.* **[78]**, le trait de côte retenu correspondant au haut de falaise. Les résultats montrent des reculs moyens de l'ordre de 0,6-0,8 m/an sur le littoral anthropisé d'Anglet, Abadie *et al.* **[71]**, de 0,15-0,3 m/an entre Biarritz et Bidart et une érosion très stable et homogène de l'ordre de 0,15 m/an au sud de Bidart (Guétary – Hendaye). Le littoral de Charente-Maritime n'était pas étudié dans Bernon *et al.* **[78]**. Dans ce département, les taux de recul des falaises côtières exposées aux vagues sont plus faibles que ceux des côtes sédimentaires et les données sur leurs évolutions sont peu nombreuses. Un suivi pluridécennal (1950-2010) de la Pointe du Chay (Angoulin sur mer) montre des reculs variables de 0,1 à 0,3 m/an essentiellement en fonction de la nature lithologique des falaises **[68]**. Un suivi à plus haute fréquence (2014-2016) de la falaise de Chef de Baie (La Rochelle) montre des taux d'érosion de 0,15 à 0,2 m/an **[86]**.

ÉVOLUTIONS LIÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quantifier les impacts du changement climatique sur l'érosion des côtes sableuses est un véritable défi scientifique et il n'existe pas d'approche générique pour s'attaquer à ce problème **[87]**. L'augmentation du niveau moyen des mers, la diminution du débit des

fleuves et des sédiments charriés vers les littoraux, l'augmentation possible de l'intensité et de la fréquence des événements extrêmes seront autant de facteurs qui vont aggraver les tendances passées et actuelles d'érosion, même si on estime les conditions moyennes de vagues changeront peu. Même si, localement, on pourrait observer des tendances d'érosion s'inverser vers l'accrétion, en particulier au niveau des littoraux adjacents aux embouchures, ou sur des échelles de temps courtes (quelques années), en réponse à une succession d'années peu énergétiques liée à la variabilité climatique naturelle dans l'Atlantique nord, l'érosion chronique, à long terme et globale à la Nouvelle-Aquitaine, sera poursuivie et accélérée. L'évolution de l'érosion sur la majorité du littoral dans le cadre du changement climatique ne pourra être réellement évaluée qu'à travers l'acquisition de longues séries de données du trait de côte afin d'en isoler les évolutions saisonnières, interannuelles ainsi que la signature des événements extrêmes.

Là où l'évolution de la fréquence des épisodes de submersion marine sur les côtes basses peut être un indicateur pertinent du changement climatique, il est beaucoup plus complexe de développer des indicateurs basés sur l'érosion des côtes. En effet, il est à l'heure actuelle impossible sur la plupart des côtes de distinguer l'impact des évolutions « naturelles », de l'impact anthropique et de celui du changement climatique. Même s'ils ont souvent été rapidement oubliés par le citoyen, les événements extrêmes ont depuis plusieurs siècles affecté le littoral de la Nouvelle-Aquitaine, **[88]**. Il n'est pas encore possible de démontrer de manière irréfutable que les tempêtes récentes (Martin, Klauss, Xynthia, hiver 2013/2014) sont la conséquence du changement climatique, et que l'érosion induite en est également une. Cela rend particulièrement difficile le développement d'indicateurs du changement climatique en domaine littoral, outre les indicateurs simples d'augmentation du niveau moyen des mers ou de sa température.

Les indicateurs tels que l'évolution de la période de retour des événements de submersion ou le recul du trait de côte ne donneront de réelles indications sur les impacts du changement climatique que d'ici plusieurs décennies, lorsque les autres phénomènes (e.g. variabilité naturelle intrinsèque du climat et événements extrêmes associés) pourront être filtrés.

Face à cette complexité et à l'impossibilité de réaliser des simulations déterministes quant à l'évolution du trait de côte, des approches probabilistes deviennent indispensables et doivent être encouragées. En utilisant une approche simplifiée, Le Cozannet *et al.* **[89]** ont intégré les incertitudes des différents forçages dans un modèle d'évolution du trait de côte d'un littoral sableux.

Les auteurs ont montré que l'augmentation du niveau des mers n'expliquera une augmentation de l'érosion généralisée des côtes sableuses que vers la fin du siècle, alors que dans les prochaines décennies la variabilité du trait de côte sera toujours principalement expliquée par le bilan sédimentaire et la variabilité des épisodes de tempête. Toutefois, cette étude fait l'hypothèse que l'intensité et la fréquence des événements de tempête ne seront pas affectées par le changement climatique, hypothèse qui pourra être affinée dans les prochaines années.

L'approche décrite ci-dessus constitue un premier pas vers les simulations probabilistes plus robustes, du type de celles utilisées en climatologie, qui permettront de réaliser des projections probabilistes d'évolution du trait de côte au cours du XXIe siècle. Toutefois ce type de simulations préliminaires nécessite encore beaucoup de travaux de recherche. Globalement, le recul généralisé du trait de côte, même si le taux moyen est extrêmement incertain, est le scénario le plus probable d'ici la fin du XXIe siècle. Il reste aussi possible qu'une partie du littoral reste relativement stable en moyenne, notamment dans certains secteurs du sud gironde et des Landes, où le littoral avance à nouveau depuis l'hiver 2013/2014 même s'il est loin d'avoir à ce jour retrouvé sa position pré-2014. Sur ces secteurs, c'est bien l'évolution des vagues hivernales, qui reste très incertaine, qui sera déterminante dans la stabilité du trait de côte. Cette notion d'évolutions très incertaines est souvent incompatible avec les contraintes auxquelles les décideurs font face. Les décideurs sont en effet en attente de valeurs chiffrées, déterministes, en termes de positions du trait de côte d'ici plusieurs décennies de manière à mettre en place des stratégies de gestion de la bande côtière adaptées, telle que le réalise le GIP Littoral Aquitain pour le littoral de l'ancienne région Aquitaine ; ou des plans de prévention des risques littoraux (PPRL) par les services de l'État. C'est en partie pour répondre à ces besoins, mais également dans l'objectif plus général d'actualiser la connaissance de l'aléa érosion datant de 2011 **[7]**, qu'une approche simple a été développée par l'Observatoire de la Côte Aquitaine pour cartographier des traits de côte prospectifs aux horizons 2025-2050 à l'échelle de l'ancienne région Aquitaine **[78]**. La méthode utilisée pour estimer les évolutions prévisionnelles s'appuie sur le prolongement des tendances passées (mesures du trait de côte *in situ* et par photo-interprétation pour la période 1966/2009), en ajoutant implicitement l'hiver 2013/2014 et l'augmentation du niveau moyen des mers.

À l'horizon 2050, un recul moyen du trait de côte du littoral sableux Landes/Gironde est estimé à 65 m et à plusieurs centaines de mètres le long des secteurs déjà les plus mobiles, notamment au droit des zones d'embouchure. Toutefois, il faut rappeler qu'il s'agit d'une projection déterministe utile pour les décideurs, mais qui fait abstraction des nombreuses variables telles que les variations climato-océaniques et hydrosédimentaires précitées. L'étude propose une approche visant à qualifier ces différentes sources d'incertitudes de manière à informer les gestionnaires des précautions nécessaires qu'il convient de prendre pour l'utilisation de ces données dans les stratégies de gestion et les PPRL. Pour ce qui est de la côte rocheuse, les projections ont également été réévaluées dans le même rapport. Les résultats montrent que les reculs à venir sont moins conséquents sur la côte rocheuse que sur la côte sableuse. Aux horizons 2025 et 2050, les valeurs moyennes de recul sur les secteurs rocheux sont respectivement de l'ordre de 10 m et 27 m et les surfaces exposées à l'aléa recul du trait de côte de 0,47 km^2 à l'horizon 2025 et de 1,12 km^2 à l'horizon 2050 **[78]**.

5 L'ALÉA SUBMERSION MARINE DANS LA NOUVELLE-AQUITAINE

SITUATION ACTUELLE

La submersion marine est un aléa qui touche principalement les côtes dominées par les marées en raison de la présence de vastes territoires de faible altitude et de l'absence de massifs dunaires et de barrières sédimentaires développées. Elles sont surtout localisées au sein des Pertuis Charentais, dans l'estuaire de la Gironde, dans le bassin d'Arcachon et dans les estuaires et baies du Pays Basque. Les submersions au niveau des côtes dominées par les vagues sont généralement plus localisées (e.g. Mimizan, Capbreton, St-Jean-de-Luz, Hendaye) mais avec de fortes vitesses d'écoulement de l'eau au niveau de brèches dans les barrières sédimentaires et les dunes **[90]**. Les levés topographiques réalisés en 2010 après la tempête Xynthia ont permis pour la première fois de quantifier avec précision les altitudes des plaines côtières et ont montré l'extrême vulnérabilité des Pertuis Charentais aux submersions marines avec 45 à 50 % de la bande côtière (à 10 km du littoral) située sous les plus hautes marées de vives-eaux (**[1]**, **Figure 7**). Un autre facteur géomorphologique de la vulnérabilité des côtes dominées par les marées à la submersion est lié à l'effet d'entonnoir crée par la géométrie des estuaires (rives convergentes vers l'amont) et de certaines baies, qui amplifie la marée mais également les surcotes. Ainsi les zones soumises aux plus hauts niveaux d'eau sont aussi les zones les plus abritées des vagues et donc dépourvues de barrières sédimentaires.

Lorsque de fortes surcotes sont en phase avec une marée haute de vives-eaux, le niveau marin résultant peut dépasser la cote altimétrique des ouvrages de défense de côte et des cordons dunaires (submersion par débordement), entraîner leur rupture et induire une submersion des zones basses du littoral (submersion par rupture).

C'est notamment ce qui s'est passé lors de la tempête Xynthia dans la partie centrale du golfe de Gascogne **[91]**. De tels phénomènes ne sont pas exceptionnels, ainsi Breilh *et al.* **[88]** ont montré que 5 autres événements avaient entraîné des submersions marines d'étendue comparable dans la partie centrale du golfe de Gascogne au cours du siècle passé (1924, 1940, 1941, 1957 et 1999). Depuis 1500, date qui correspond au début des archives historiques valorisables pour les submersions, 46 submersions ont pu être identifiées, ce qui donne une fréquence moyenne d'une submersion tous les 11 ans **[88]**. Ces mêmes auteurs montrent que, dans la partie centrale du golfe de Gascogne, de tels phénomènes ne peuvent se produire que lorsqu'une forte surcote a lieu à marée haute, pendant des marées de vives-eaux. Dans le détail, plusieurs configurations météo-océaniques peuvent entraîner des submersions marines : (1) la combinaison d'une surcote supérieure à 1,5 m en phase avec des marées hautes de vives-eaux moyenne (Xynthia, 2010), (2) la combinaison d'une surcote > 2,0 m en phase avec une marée haute de petites vives-eaux (Martin, 1999) et (3) la combinaison d'une surcote de l'ordre de 1,0 m avec une marée haute de vives-eaux exceptionnelle (tempête de 1957). Dans le sud du golfe de Gascogne, le plateau continental est plus réduit si bien que les contributions relatives des vagues et de la pression atmosphérique peuvent devenir dominantes par rapport à celle du vent.

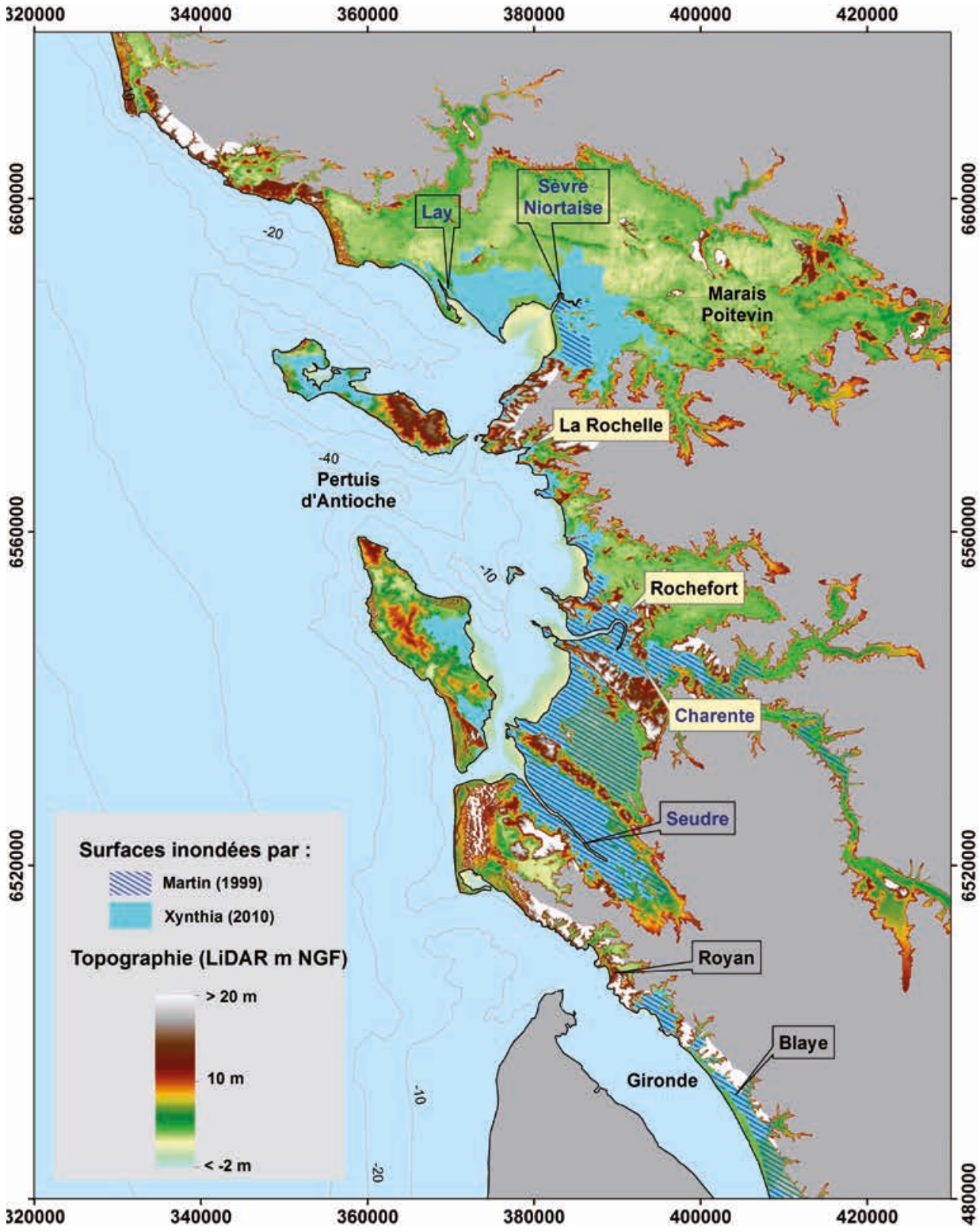


Figure 7 : *Topographie des littoraux bas de Charente-Maritime et indication des surfaces inondées pendant les tempêtes Martin (1999) et Xynthia (2010). Reproduit avec la permission d'Elsevier (88).*

La tempête Martin (décembre 1999) a produit une surcote estimée à plus de 2 m dans l'estuaire de la Gironde **[8]**. Les installations de la centrale nucléaire du Blayais ont été sérieusement menacées par le franchissement des digues, puisque trois des quatre réacteurs ont été successivement mis à l'arrêt et un plan d'urgence interne a été déclenché. Cet événement a conduit d'ailleurs à réévaluer les conditions extrêmes et les défenses dans ce secteur **[38]**. La tempête Martin s'est déroulée pendant une marée de coefficient modéré (77) et sans que les fleuves ne soient en crue. Le site du Blayais étant très abrité des vagues océaniques, seule une mer de vent a pu contribuer à la submersion, et des vagues de 1,5 à 2 m ont été estimées **[38]**. Ainsi dans ce cas de tempête, ce sont essentiellement la dépression atmosphérique (987 hPa) et la force exceptionnelle du vent (pointes à 200 km/h enregistrées au phare de Chassiron) qui ont généré cette surcote exceptionnelle dans la Gironde.

ENCADRÉ 2 : XYNTHIA

La tempête Xynthia a traversé le golfe de Gascogne dans la nuit du 27 au 28 février 2010, avec une pression atmosphérique minimum de 970 hPa et des vents moyens de sud-ouest de l'ordre de 100 km/h (rafales à plus de 150 km/h sur les îles de Ré et d'Oléron). Du fait de la trajectoire atypique de la tempête du sud-ouest vers le nord-est, la zone de génération des vagues était réduite à quelques centaines de kilomètres et de fortes vagues de courte période se sont développées, augmentant fortement la rugosité de la surface de l'océan et décuplant l'effet du vent, induisant une surcote dépassant localement 1,6 m dans les Pertuis Charentais (**Figure 8**, **[35] [36]**). Cette surcote était en phase avec une marée haute de vives-eaux (coefficient de marée de 102) si bien que le niveau d'eau a atteint la valeur extrême de 8,0 m CM par rapport au zéro des cartes marines (4,5 m NGF), une valeur jamais atteinte depuis l'installation d'un marégraphe permanent en 1997. Le niveau marin a dépassé la crête de nombreuses défenses de côte t cordons dunaires, occasionnant une submersion massive et plus de 2 milliards d'euros de dégâts **[92]**. Cette surbmersion marine a surtout causé 47 décés.

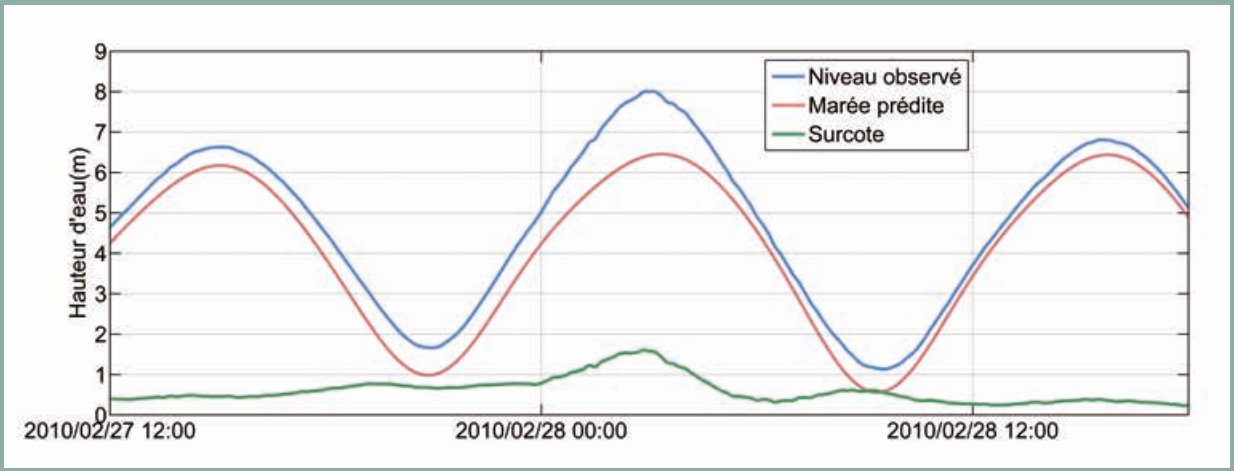


Figure 8 : *Niveau observé (bleu) et marée astronomique (rouge) par rapport au zéro des cartes marines, et surcote (vert) observées à La Pallice lors de la tempête Xynthia, montrant le développement d'une surcote d'1,6 m en phase avec une marée haute de vives-eaux d'après Bertin et al. (35).*

ÉVOLUTION DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Aujourd'hui, on constate déjà une augmentation des niveaux marins extrêmes liée à l'élévation du niveau de la mer **[93] [94] [95]**. À l'avenir, si les régimes de tempêtes météorologiques évoluent peu, l'élévation du niveau de la mer entraînera mécaniquement une augmentation de la fréquence et de l'intensité des submersions marines. Ce phénomène est particulièrement inquiétant pour les zones basses côtières. Pour s'en convaincre, il suffit de remarquer que les écarts actuellement observés entre les niveaux d'eau atteints par des tempêtes centennales et décennales sont de l'ordre d'un demi-mètre à La Rochelle **[96]**. Or, il est attendu que l'élévation du niveau de la mer soit au moins de 30 cm à la fin du siècle, quel que soit le scénario d'émissions de gaz à effet de serre (**Figure 3**). Localement différents phénomènes hydrodynamiques peuvent modérer ou exacerber cette augmentation des niveaux marins extrêmes : modifications des vagues **[21] [97]**, modifications de la marée induite par l'élévation du niveau de la mer ou des changements bathymétriques **[34]**. Néanmoins, toutes les études de sensibilité réalisées jusqu'à présent indiquent que l'élévation du niveau de la mer est le facteur d'évolution majeur pour l'aléa submersion marine. Ceci est démontré notamment par Marcos *et al.* **[24]** dans le cas de ports du golfe de Gascogne.

En ce qui concerne les environnements semi-fermés, de nombreuses incertitudes existent quant aux impacts futurs de la submersion. Comme explicité précédemment, ces environnements se comblent naturellement par les apports sédimentaires.

Les zones d'estran en particulier voient, en principe, leur topographie s'élever par aggradation (accrétion sédimentaire verticale), en s'ajustant ainsi à l'élévation progressive du niveau de la mer. La tendance régressive qui accompagne l'accrétion verticale a été exploitée par l'homme pour créer de vastes polders ; toutefois ces polders se retrouvent aujourd'hui isolés des eaux marines et continentales par des digues et des levées, et sont privés des apports sédimentaires. Leur morphologie est donc figée et ils ne peuvent plus s'adapter à l'élévation du niveau marin par aggradation. Si l'apport sédimentaire est insuffisant, l'équilibre morphologique verra les marais disparaître et évoluer vers un environnement subtidal (**[40], Figure 9**). Au contraire, dans les environnements semi-fermés « naturels » non endigués ou non poldérisés, si l'apport sédimentaire est suffisant, le taux de sédimentation peut compenser l'élévation du niveau marin et les marais sont ainsi préservés sur le long terme **[40] [98]**. Sans accrétion sédimentaire suffisante, les polders néo-aquitains vont donc devenir des zones de plus en plus vulnérables en cas de franchissement ou rupture des digues, comme l'ont déjà montré les tempêtes récentes **[88]**, car la différence de hauteur entre le niveau marin et le polder ne fera que s'accentuer. La sédimentation dans les environnements semi-fermés a, par le passé, entraîné également un comblement des chenaux estuariens et une diminution de leurs sections mouillées **[32],** entraînant des changements de propagation de l'onde de marée. Dans l'estuaire de la Gironde (marégraphe de Bordeaux), une augmentation moyenne du marnage de 60 cm a déjà été observée entre 1953 et 2014, par suite des changements morphologiques **[99]**. Cette amplification suppose des niveaux d'inondation plus élevés, indépendamment de l'élévation du niveau marin. Mais la sédimentation accrue dans les chenaux pourrait, au contraire, amortir la marée dans certains secteurs dans le futur, par comblement des sections. Ainsi, outre l'incertitude de l'élévation du niveau marin, il y a une incertitude encore plus forte sur les apports sédimentaires. Ceux-ci dépendent des débits solides amont (eux-mêmes contrôlés par les débits fluviaux) et de leur redistribution par la marée, qui elle-même pourra s'amplifier ou s'amortir en fonction de l'intensité des changements morphologiques. À ces incertitudes, déjà nombreuses, s'ajoutent celles liées aux activités humaines, comme les barrages et les dragages qui modifient les écoulements hydrodynamiques et les apports sédimentaires. De même, les digues de protection, selon qu'elles soient maintenues, déplacées, ou supprimées auront une forte influence sur l'expansion latérale de l'onde de marée, les crues, ainsi que l'hydrodynamique globale dans les chenaux.

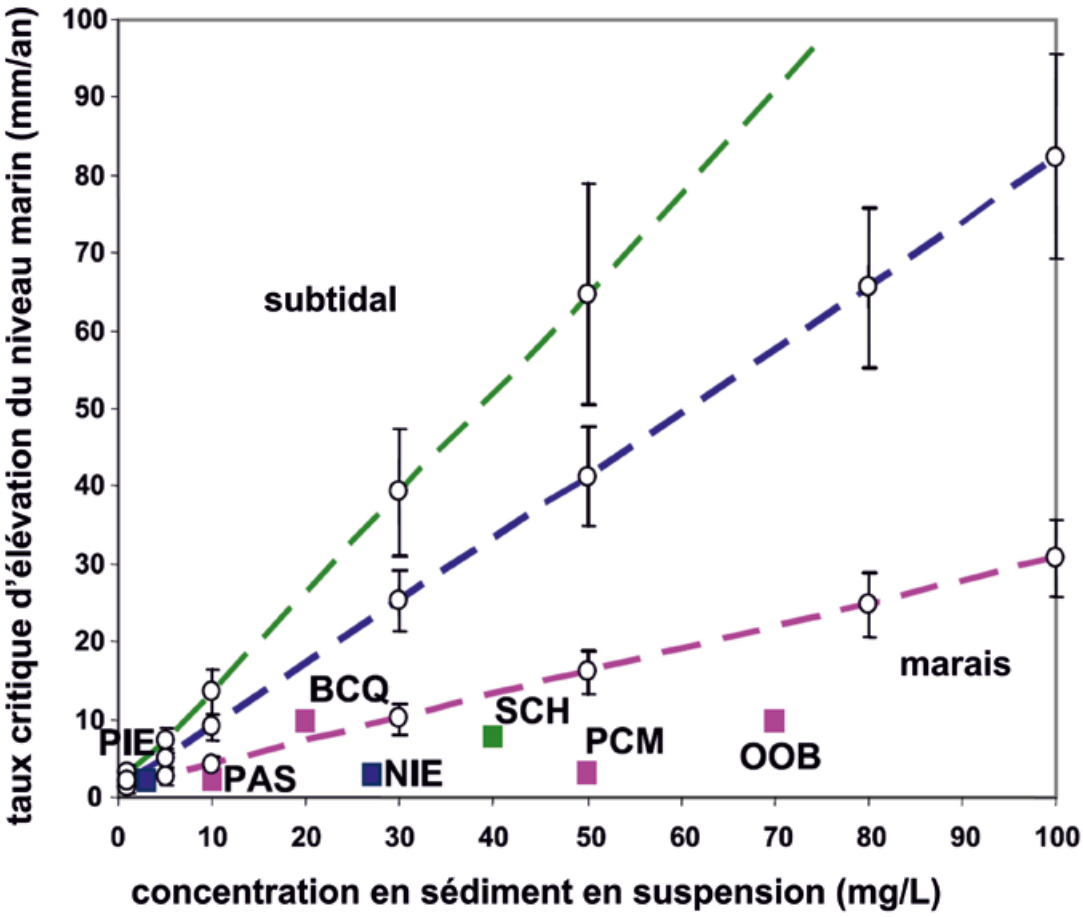


Figure 9 : *Limites théoriques de stabilité des marais estuariens et de leur remplacement par des zones subtidales en fonction du taux de remontée du niveau marin et de l'apport sédimentaire, exprimé par la concentration en sédiment en suspension. Lignes verte, bleue et rose : marnage de 5 m, 3 m et 1 m respectivement. Les carrés en couleur représentent des marais estuariens mondiaux avec différentes combinaisons de taux historiques de remontée du niveau marin, marnage et concentration en sédiments en suspension. D'après Kirwan et al. (40).*

6 ADAPTATION

L'adaptation des écosystèmes et anthroposystèmes littoraux au changement climatique et à ses conséquences (augmentation de la température et baisse du pH des océans, élévation du niveau marin, changement du climat des vagues, changement du débit des fleuves), conjugué aux pressions anthropiques croissantes (augmentation de la pollution, des infrastructures côtières et littoralisation de la société) et aux évolutions naturelles, est un questionnement majeur et pluridisciplinaire en raison des interactions multiples entre les nombreux processus physiques, biologiques et sociétaux mis en jeu.

Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine est donc soumis à deux aléas principaux, submersion marine et érosion côtière, qui dans un contexte de changement climatique pourraient se renforcer et/ou augmenter en intensité. Pendant plusieurs siècles l'Homme s'est protégé de la mer et a conquis de vastes espaces maritimes, mais l'élévation prévue du niveau marin, l'érosion accrue, doivent obliger à reconsidérer ces stratégies. Un simple calcul coût/bénéfice montre qu'il n'est plus, de nos jours, soutenable d'avoir une telle stratégie de conquête et d'expansion sur l'ensemble du territoire et sur le moyen terme (quelques décennies). En effet, la protection en dur n'est plus la seule et unique stratégie à adopter pour s'adapter aux impacts du changement global ; il s'agit aujourd'hui d'envisager de vivre avec le risque. Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC définit l'adaptation au changement climatique comme « une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences ». Il s'agit alors d'anticiper et de limiter les dégâts, d'organiser des moyens de remise en état rapide et surtout de faire évoluer les modes de vie.

En ce qui concerne le littoral, il y a trois types d'adaptation aux aléas possible : i) la protection, ii) la relocalisation ou le repli stratégique, iii) l'atténuation ou la mitigation. La protection, tout d'abord permet une action contre l'aléa lui-même, il s'agit de se protéger par exemple de l'aléa submersion marine par la construction de digue ou la mise en place d'enrochements. Ces actions sont fondées sur du génie côtier afin de dimensionner au plus juste les structures en fonction des scénarios choisis. En revanche, l'atténuation ou la mitigation vise plutôt à revenir vers un fonctionnement naturel des littoraux pour que ces derniers jouent leur rôle de zone tampon, d'amortissement des aléas marins. Enfin, la dernière stratégie, la relocalisation, vise plus spécifiquement les enjeux structurels et sociétaux. Il s'agit alors d'envisager de rendre ou de redonner des espaces à la mer (comme la dépoldérisation) et de relocaliser les activités et les biens.

Suite à un appel à projets lancé en 2012 par le MEDDE, sur l'expérimentation de la relocalisation des biens et des activités, trois communes de la région Nouvelle-Aquitaine accompagnées du GIP Littoral Aquitain ont été retenues comme cas d'études (Lacanau, La Teste-de-Buch, Labenne). Sur la commune de Lacanau, l'objectif a été d'étudier la faisabilité d'une relocalisation d'une partie de l'urbanisation pour redonner sa dynamique naturelle au littoral. Plusieurs scénarios ont été envisagés et ont permis de mettre en évidence plusieurs problèmes : le premier, qui consistait à poursuivre la protection par une défense lourde, montrait que l'on ne faisait que repousser le problème dans le temps et que la gestion des édifices finirait par être insupportable en termes financiers ; les autres scénarios prévoyaient plutôt la relocalisation et ont démontré un vide juridique quant à la possibilité de déconstruire des biens privés à titre préventif face au risque d'érosion ou de submersion sur un littoral sableux et la difficile réimplantation de construction sur ces territoires littoraux déjà très contraints en termes d'urbanisation par la législation.

Autre cas, actuellement, l'immeuble Le Signal sur la commune de Soulac-sur-Mer est un exemple concret et actuel où les responsabilités juridiques ne sont pas clairement identifiées et où, par conséquent, les décisions tardent à être prises. Dans l'avenir, ces situations pourraient se multiplier sur les territoires littoraux français. Pour choisir le type de stratégie d'adaptation aux risques littoraux, réalisable et acceptable, une approche économique coût/bénéfice est à privilégier, même si cette dernière ne conclut pas nécessairement que le projet le plus « rentable » est celui qui présente le moins de contraintes techniques, réglementaires et financières. Le scénario retenu doit être présenté comme une opportunité d'améliorer l'aménagement et la pratique du territoire concerné et non comme une contrainte. D'après l'étude d'André *et al.* **[100]**, l'adaptation doit plutôt être appréhendée par une approche intégrée où la réflexion est menée conjointement entre protection (qui ne doit être que temporaire), relocalisation ou mitigation, dans le cadre d'un projet de territoire intégrant toutes les composantes de l'aménagement. Il s'agit ici d'avoir une approche échelonnée dans le temps et de définir à partir de quel moment le risque n'est plus acceptable par la société et la collectivité. Il est nécessaire de penser une mise en œuvre progressive d'un projet d'adaptation, avec un volet de concertation et de sensibilisation. En effet, au-delà des conditions financières et réglementaires qui échappent en grande partie à l'échelle locale de décision, de multiples expérimentations en France et à l'étranger, ouvertes à la confrontation de points de vue et à la coconstruction de connaissances, sont porteuses de nouvelles formes de participation et riches d'enseignements pour engager des acteurs locaux dans l'exploration collective de solutions face à l'élévation du niveau de la mer.

ENCADRÉ 3 : ÉTUDIER LA FAISABILITÉ D'UNE RELOCALISATION : EXEMPLE DE LACANAU

Depuis 2012, une analyse sociologique est menée sur la commune de Lacanau afin d'observer les dynamiques collectives face au problème de l'érosion marine et de son accentuation possible par suite de l'élévation du niveau de la mer et d'événements extrêmes. L'objectif de la démarche, menée par le GIP Littoral Aquitain et la commune de Lacanau dans le cadre d'un appel à projets sur la relocalisation des biens et des activités portés par le Ministère de l'Écologie de 2012 à 2015, était de bâtir différents scénarios de relocalisation et un scénario de protection à l'horizon 2100, afin d'explorer les trajectoires possibles d'adaptation face à l'érosion marine (protection, ajustement et/ou relocalisation). Il s'agissait également d'identifier toutes les difficultés qui pourront être rencontrées aux plans juridiques, financiers, techniques et sociopolitiques pour mettre en œuvre une opération de relocalisation d'un périmètre recouvrant plusieurs centaines de logements, des infrastructures publiques et des activités commerciales liées au tourisme et aux loisirs.

Afin de mener une telle démarche, un processus participatif a été mené auprès d'habitants, de professionnels et de représentants associatifs locaux, sur une commune où ces populations présentent déjà un fort degré de concernement et de connaissance de la problématique **[101]**. Cette expérimentation, considérée comme pionnière en France, a permis d'engager l'ensemble des acteurs locaux dans un régime d'exploration des possibles, ouvert à l'imagination, à l'expérience du débat contradictoire et aux « surprises » qui peuvent s'observer face aux situations projetées dans des récits prospectifs.

Les idées et propositions principales mises en avant par les participants ont porté sur les enjeux à prendre en compte dans la scénarisation (et les stratégies associées) de l'identité et des modes de vie à Lacanau, incluant des arguments en termes de cohésion sociale de la future station balnéaire, etc. L'articulation maintenue entre un dispositif d'expérimentation sociale et un espace de concertation et d'exploration collective des futurs a bénéficié d'un engagement important des élus locaux, d'une animation prospective propice à ce régime d'exploration et d'une posture d'ouverture et d'écoute chez la plupart des participants. Le maintien du comité de concertation pour le suivi de la stratégie locale de gestion de la bande côtière résulte pour partie de ces dynamiques d'apprentissage social.

Malgré toutes les avancées permises par cette démarche, le choix entre protection et relocalisation n'a jusqu'à présent pas été acté faute de certitudes aux plans réglementaires et financiers. De nouvelles lignes de débat ont cependant été ouvertes au regard de la législation actuelle sur l'aménagement littoral, ainsi que de nouvelles propositions d'outils juridiques et financiers consistant à permettre à des habitants de pouvoir conserver leur logement en fonction des temporalités du risque et de permettre la relocalisation du bâti et des activités à ces horizons de temps **[100] [102]**. Certaines propositions ont été retravaillées dans le cadre du comité de suivi de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte puis formalisées dans une proposition parlementaire de loi déposée en juillet 2016 **[103]**.

Le choix de la meilleure adaptation au changement climatique reste très complexe et dépend des échelles de temps abordées (cf. Stratégie Locale de la Gestion de la Bande Côtière de Lacanau) mais aussi profondément de l'objet et de l'aléa concernés. Par exemple, le long des littoraux ouverts d'Aquitaine, où les enjeux demeurent localisés et les rechargements de plage non pérennes, la gestion équilibrée des systèmes dunaires par l'ONF doit être poursuivie. Cette méthode doit laisser un espace d'accommodation au système plage-dune afin d'optimiser la résilience du système et réduire considérablement les aléas d'érosion et de submersion. Lorsque l'érosion chronique est faible à modérée, alors certains ouvrages comme les épis peuvent être maintenus, mais lorsque l'érosion chronique est intense et les enjeux faibles, comme dans certains secteurs adjacents aux embouchures, alors la mise en place de nouveaux épis et de brise-lames doit être découragée. Au niveau des systèmes abritant de nombreux enjeux, e.g. certaines plages de poche du Pays Basque, si la présence d'enjeux le justifie et qu'une analyse multicritère le démontre, les aménagements côtiers devraient être renforcés pour fixer durablement le trait de côte et les rechargements poursuivis voire accélérés pour maintenir des plages suffisamment larges et/ou stabiliser le pied des ouvrages. Plus spécifiquement pour l'aléa submersion, qui devrait croître le long des côtes basses, notamment en Charente-Maritime, la remontée systématique des digues n'est pas la seule solution.

En effet, comme démontré dans Bertin *et al.* **[90]**, rabaisser les digues et laisser inonder des zones à faibles enjeux pourrait permettre de réduire significativement les niveaux d'eau et réduire la submersion dans d'autres zones proches abritant des enjeux forts. La mise en place de grandes plaines d'inondation avec des digues de second rang pourrait donc être envisagée. À ce titre, dans des espaces naturels où les enjeux sont moindres (Mortagne sur Gironde, Marais d'Yves, Marais de Brouage, Île Nouvelle ou Île de Malprat dans le bassin d'Arcachon), des mesures d'adaptation naturelle (abandon des digues de premier ordre) ont déjà été choisies. Les avantages sont nombreux : coût moindre pour les défenses de côte, accroissement des zones de nurseries pour les poissons et coquillages et des zones d'habitats pour les oiseaux migrateurs, épuration naturelle des eaux, zones d'expansion des eaux en cas de surcotes limitant l'élévation du niveau marin et protégeant les zones à plus forts enjeux **[90] [91]**.

Ces mesures récentes, permettent à des secteurs côtiers de retrouver une évolution naturelle et il serait pertinent d'étudier l'adaptation de ces véritables laboratoires naturels aux effets du changement climatique. Un constat proche peut être dressé sur certains secteurs dunaires où, sous contrôle de l'ONF, le système sédimentaire est en libre évolution. Il faudra explorer dans quelle mesure cette gestion de dynamique contrôlée peut améliorer la résilience du système tout en améliorant les services écosystémiques de la dune. Dans les prochaines années, le Conservatoire du Littoral pourrait avoir un rôle encore plus important à jouer dans la sanctuarisation de ces littoraux en libre évolution (e.g. actuellement la dépoldérisation à l'île Graveyon, Malprat).

7 CONCLUSION

La région Nouvelle-Aquitaine se caractérise par un littoral extrêmement diversifié et vulnérable aux aléas d'érosion et de submersion. Des événements météo-marins récents (e.g. Martin en 1999, Xynthia en 2010, hiver 2013/2014) ont durement rappelé que ce littoral actuel est fragile. Dans ce contexte, l'augmentation prévue du niveau moyen des mers et les possibles modifications de l'intensité ou de la fréquence des tempêtes renforcera certainement ces aléas. La complexité et la diversité des processus hydro-sédimentaires mis en jeu et de leurs interactions font qu'il est aujourd'hui souvent impossible de distinguer les contributions respectives du changement climatique de celles des autres facteurs sur l'évolution de l'érosion du trait de côte. Au contraire, la contribution du changement climatique à l'aléa de submersion est plus directe, l'augmentation du niveau moyen des mers se superposant à un régime de surcotes lui-même encore trop mal connu, mais souvent supposé stationnaire au cours des dernières 70 années.

Prévoir l'évolution du trait de côte au cours des prochaines décennies se heurte à la complexité des phénomènes. En outre, la plupart des forçages ne sont pas déterministes. Ainsi, et par exemple, la chronologie des houles ou l'occurrence et l'intensité d'un événement extrême ne pourront jamais être prédits de manière déterministe au-delà de quelques semaines. Comme la chronologie des événements est déterminante pour la réponse du trait de côte, de la même manière que pour les épisodes de submersion (e.g. coïncidence avec une marée de vives-eaux), même avec un forçage climatique juste et précis, il serait impossible de donner une projection déterministe du trait de côte au-delà de quelques jours, et le développement d'approches probabilistes est indispensable.

Dans la Nouvelle-Aquitaine, il existe une forte proportion de littoraux artificialisés par la défense contre l'érosion ou la submersion.

Renforcer ces défenses, envisager et développer des alternatives et des adaptations est extrêmement complexe et dépend à la fois de l'objet considéré et des enjeux à protéger. Ces décisions devront être réalisées en concertation avec les différents acteurs et les citoyens, dans un contexte de finances publiques restreintes et de vide juridique. Globalement, il n'existe pas de solutions d'adaptation génériques. Parmi ces approches, sanctuariser des zones à faibles enjeux afin de les laisser en libre évolution permettra de mieux comprendre la résilience naturelle de ces systèmes au changement climatique. A contrario, certains littoraux abritant des enjeux forts devront voir leurs ouvrages de défense renforcés, au moins de façon transitoire.

Les efforts de réduction d'émissions de gaz à effets de serre permettront de réduire l'intensité et la fréquence des événements extrêmes ainsi que le risque d'une élévation du niveau de la mer très rapide, atteignant ou excédant 1 cm par an à la fin du XXIe siècle. Aussi, en Nouvelle-Aquitaine comme ailleurs, une politique publique d'atténuation du changement climatique, en plus de l'adaptation, pourrait faciliter la gestion des aléas littoraux sur le très long terme. Cela pourrait éviter que la seule mesure d'adaptation possible ne devienne dans beaucoup de secteurs la relocalisation des enjeux vers 2100 et au-delà.

Dans ce chapitre, il a été fait le choix d'aborder l'évolution du littoral dans un contexte de changement climatique à travers le prisme de la physique, de la géomorphologie, de la géographie et de la géologie. L'étude des interactions avec l'économie, les sciences humaines ou encore la gouvernance et le droit de l'environnement à travers une approche profondément transdisciplinaire est un défi majeur pour nos communautés scientifiques.

Zones humides : des écosystèmes riches mais menacés

Limousin © Chrislofotos

Coordination : **Christine Dupuy, Sylvie Ferrari**

Contributeurs : **Loïc Anras, Laure Carassou, Christine Dupuy, Sylvie Ferrari, Olivier Philippine, François-Xavier Robin, Nicolas Lhéritier, Benoît Sautour**

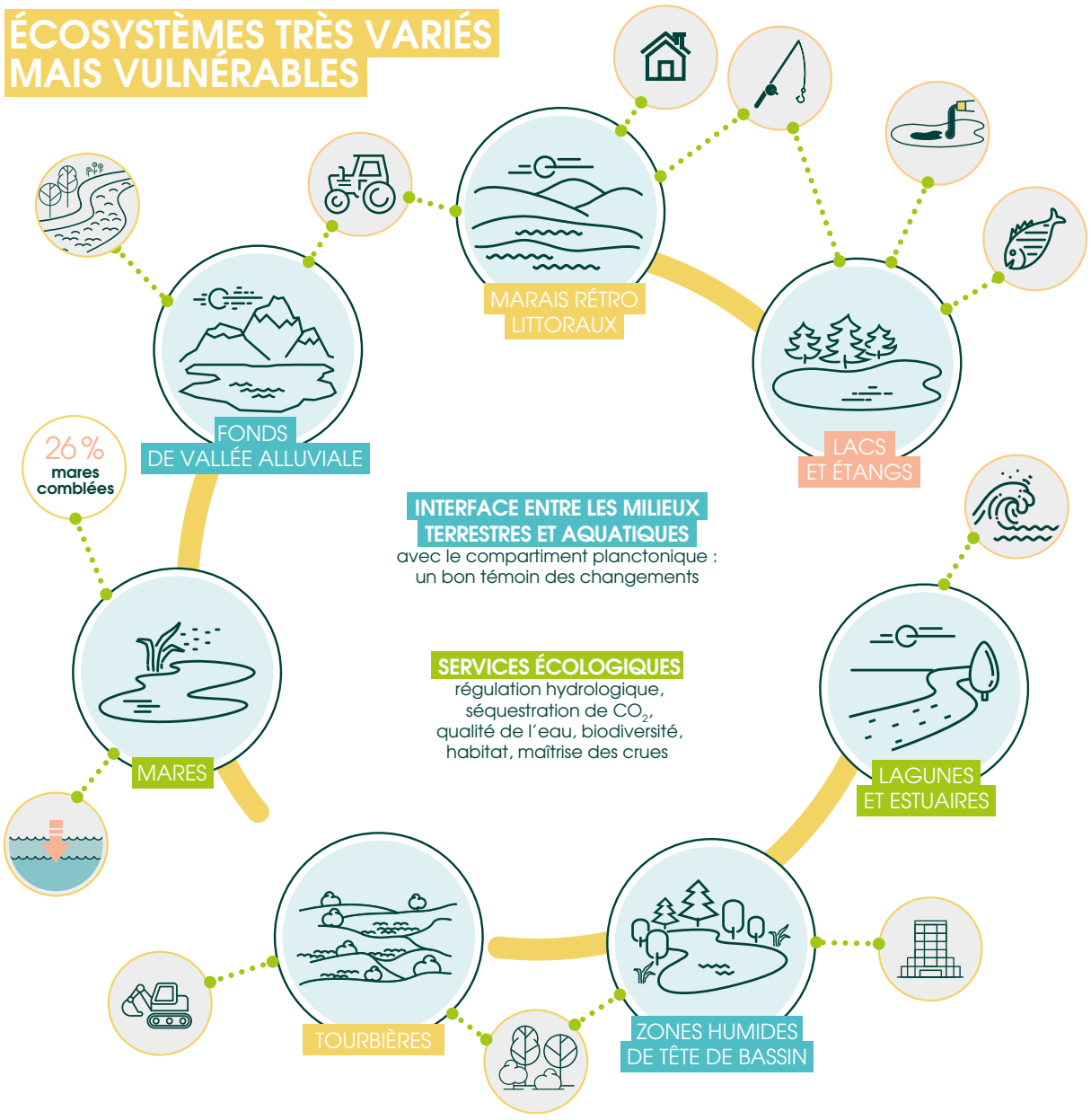
Les zones humides de la Nouvelle-Aquitaine constituent des écosystèmes très variés du point de vue morphologique et écologique. Cette richesse s'exprime également à travers la fourniture de nombreux services au territoire. Cependant, les dynamiques fonctionnelles des zones humides sont peu à peu menacées par le changement climatique, ce qui implique de reconsidérer à l'avenir leur rôle dans le développement du territoire. À l'aide d'une typologie exprimée en termes d'état et de pressions, les zones humides de Nouvelle-Aquitaine sont analysées pour rendre compte des principaux facteurs susceptibles d'impacter leur profil et leur évolution à long terme au niveau des fonctions et des services associés. Étant donnée la diversité des zones humides présentes dans la région, un exercice de prospective n'a pas pu être mené dans le détail pour tous les types de zones humides. La prospective la plus aboutie, développée ici concerne les marais rétro-littoraux et les lagunes/estuaires, afin de mesurer l'influence des impacts du changement climatique. Finalement, la dynamique de ces écosystèmes est à la fois déterminée par des facteurs naturels (changement dans les communautés planctoniques, submersion marine…) et par des facteurs socio-économiques (rôle des zones humides dans les services écosystémiques, aménagement, gestion intégrée des ressources en eau…). Dans ce contexte, il apparaît essentiel d'approfondir nos connaissances fondamentales, de disposer d'outils/indicateurs pour identifier les transformations des zones humides et de leurs usages, et d'entreprendre l'évaluation de ces socioécosystèmes particuliers à la fois en termes de patrimoine biologique et de services délivrés à la société.

RÉCHAUFFEMENT
température moyenne
DE LA TERRE ET
des eaux superficielles

ÉLÉVATION
DU NIVEAU
de la mer

événements climatiques
MAJEURS
vent, pluie, crues, submersions

ÉCOSYSTÈMES TRÈS VARIÉS MAIS VULNÉRABLES



INTERFACE ENTRE LES MILIEUX TERRESTRES ET AQUATIQUES
avec le compartiment planctonique :
un bon témoin des changements

SERVICES ÉCOLOGIQUES
régulation hydrologique,
séquestration de CO_2,
qualité de l'eau, biodiversité,
habitat, maîtrise des crues

ACQUÉRIR
DES CONNAISSANCES
descripteurs, indicateurs

+

ACTIVITÉS
HUMAINES DURABLES
en harmonie avec le territoire

=

RÉSILIENCE
DES SOCIO-ÉCOSYSTÈMES

1 DÉFINITION

Les zones humides (Z.H.) sont parmi les écosystèmes les plus productifs au monde, mais aussi les plus menacés **[1] [2] [3]**. Dès 1971, la Convention de Ramsar a reconnu l'intérêt majeur de ces écosystèmes particuliers qui rendent de nombreux services écologiques (régulation hydrologique, séquestration de CO_2, qualité de l'eau, biodiversité, maîtrise des crues…) et a conduit à l'adoption d'un large consensus sur la nécessité de les protéger.

Il existe de nombreuses définitions des zones humides. La Convention de Ramsar - traité international adopté en 1971 et entré en vigueur en 1975 – a adopté la définition suivante : les zones humides sont *« des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ».* Le Code de l'environnement français propose une définition plus restrictive puisqu'il les limite à des *« terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».* (Art. L. 211-1).

Les zones humides se situant à l'interface entre les milieux terrestre et aquatique, le facteur eau est déterminant dans leur fonctionnement. La fréquence de submersion des terres et les variations de salinité ou de matières nutritives sont à l'origine des conditions de sols et d'habitats accueillant une végétation et une faune spécifiques. Ces caractéristiques sont donc dépendantes de la localisation des milieux humides au sein du bassin hydrographique et de la climatologie.

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, 6 principaux types de zones humides sont présents (regroupement à partir de la typologie des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux - SDAGE) (**Figure 1**) :

- Marais rétro-littoraux
- Fonds de vallée alluviale
- Lacs et étangs
- Mares
- Lagunes et estuaires
- Zones humides de tête de bassin
- Tourbières

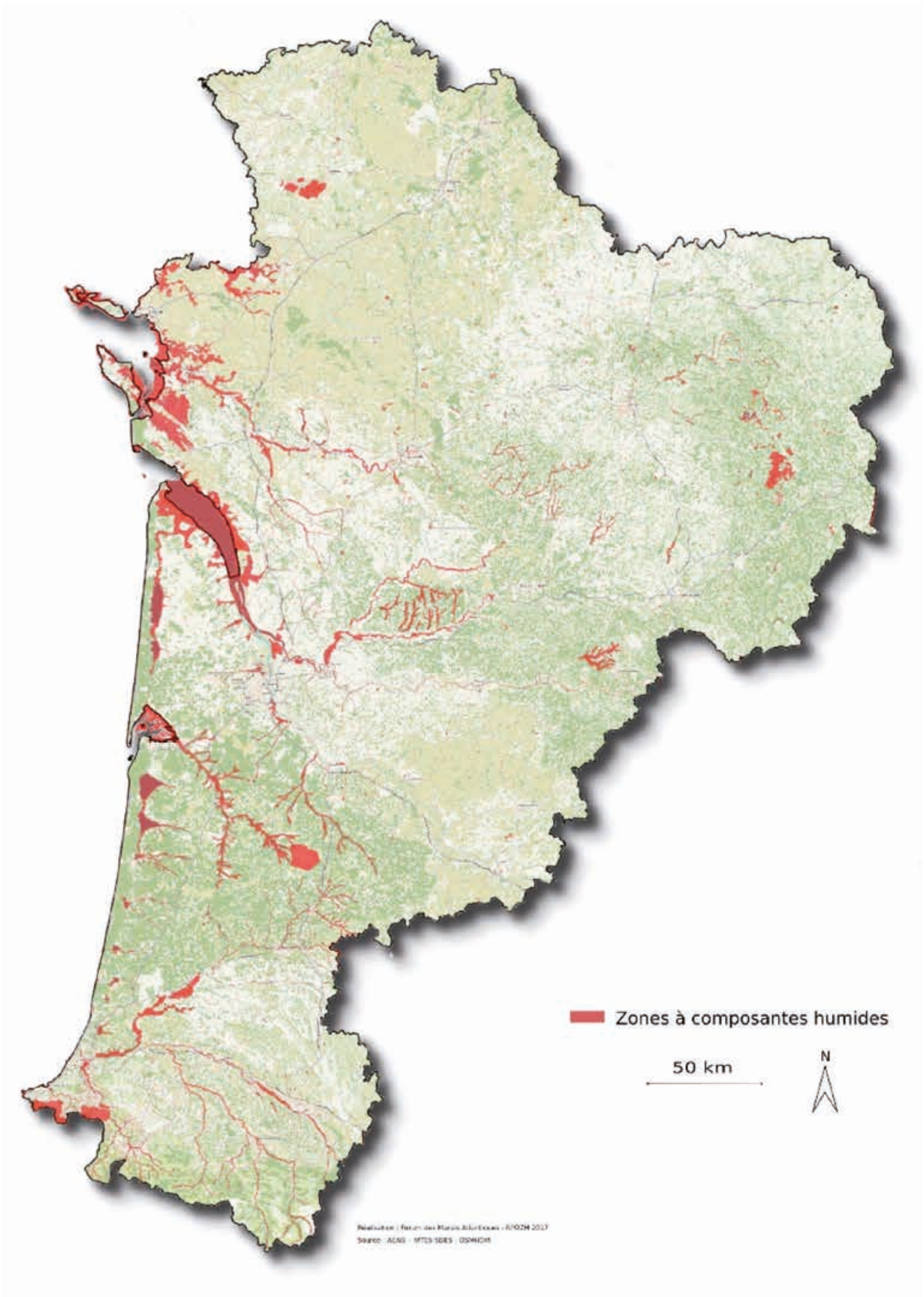


Figure 1 : *Cartographie des zones à composantes humides de grandes dimensions en Nouvelle-Aquitaine (ou zones potentiellement humides - dans l'attente des inventaires complets des zones humides effectives).*

2 FONCTIONS ET SERVICES RENDUS PAR LES ZONES HUMIDES

L'importance des zones humides en tant que réserves de services écosystémiques a justifié la mise en œuvre de politiques de conservation et de préservation, politiques qui contribuent à leur meilleure gestion ainsi qu'au maintien et au développement de leur potentiel écologique et économique (**[3] [1]** ; MEA *Millenium Ecosystem Assessment* **[4]**). Cela étant, il n'en reste pas moins que la situation des zones humides est souvent précaire et fragile **[5]**. La vulnérabilité des zones humides est largement dépendante de leur localisation et des services économiques et sociaux qu'elles ont rendus au cours de l'histoire (zones d'expansion de crues, vocation agricole ou viticole, vocation patrimoniale ou paysagère, vocation d'urbanisation) **[6]**. Cependant, même si les zones humides délivrent de nombreux services, elles ont été souvent victimes d'une mauvaise réputation héritée du passé et finalement d'une méconnaissance de leurs fonctions.

Il est possible à partir de la classification du MEA qui s'inscrit dans une approche fonctionnelle des services écosystémiques (Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire - *Millenium Ecosystems Assessment* **[4]**), de présenter quatre grandes catégories de services. Cependant, les services de soutien, qualifiés ainsi car ils sont nécessaires à la production de tous les autres services (formation des sols, cycle des nutriments, production primaire…), ne sont pas ici directement pris en compte. L'hypothèse que les perturbations des services de soutien n'impactent pas directement - ou du moins à court terme - les activités humaines est faite.

Conformément à l'approche retenue, les différents services peuvent être reliés plus particulièrement à des fonctions essentielles que les écosystèmes assurent. En reprenant la classification de De Groot *et al.* **[7]**, on peut considérer quatre fonctions environnementales que sont les fonctions de régulation (par exemple, la fonction hydrologique), d'habitat, de production et d'information. Ces quatre fonctions permettent de rendre compte de « *La capacité des processus et composants naturels à fournir des biens et des services qui répondent directement ou indirectement aux besoins humains* ». La fonction de régulation est liée à la capacité des écosystèmes à réguler les processus écologiques et les systèmes supports de vie (régulation climatique, régulation de l'eau, protection contre l'érosion, épuration des déchets, contrôle biologique…). La fonction habitat se réfère à la conservation de la diversité biologique et génétique (nurserie, refuge). La fonction production concerne la fourniture de ressources naturelles pour les populations (bois, énergie, matériel génétique, matières premières…). Enfin, la fonction information permet d'illustrer la contribution des écosystèmes au développement cognitif de l'homme (expériences culturelles, spirituelles, récréatives…). Pour les zones humides considérées ici, les fonctions de régulation et d'habitat sont privilégiées car elles déterminent trois grands types de services rendus à la société sur le territoire étudié (**Tableau 1**) :

LES FONCTIONS	LES SERVICES RENDUS
Fonction hydrologique	Services de production
Fonction biogéochimique	Services de régulation
Fonction habitat	Services culturels

Tableau 1 *: Les fonctions et les services rendus des zones humides dans la zone considérée.*

Ainsi, l'approche en termes de fonctions apparaît essentielle pour comprendre comment les zones humides peuvent s'adapter à des changements qui surviennent au sein des processus et des composants naturels. Elle permet d'appréhender les effets des changements climatiques au niveau des caractéristiques biologiques et physiques ainsi qu'au niveau des relations qui s'établissent entre les différents compartiments (vivant et inanimé).

LES FONCTIONS

LA FONCTION HYDROLOGIQUE

Les zones humides jouent généralement un rôle de régulation du cycle de l'eau. Ainsi, l'eau peut y être stockée puis restituée à d'autres compartiments comme l'atmosphère, le réseau hydrographique de surface et les nappes d'eau souterraine.

À l'échelle d'un bassin versant, les zones humides naturelles se comportent donc comme des « éponges » qui se gorgent d'eau en période d'excédent hydrique et la restituent progressivement aux milieux adjacents en périodes de déficit hydrique. En période de hautes eaux, les pics de débits sont ainsi limités (écrêtage des crues), tandis qu'en période d'étiage, les débits sont soutenus. Pour les eaux souterraines, les zones humides permettent également de limiter les débordements pendant les périodes de hautes eaux, et de recharger les nappes en périodes de basses eaux par infiltration.

Ces fonctions reconnues sont variables selon la position des zones humides le long du réseau hydrographique ou selon la géologie. D'une manière générale, les échanges hydrologiques en tête de bassin sont dominés par les apports des ruissellements de surface et de l'eau infiltrée depuis les versants vers les zones humides et les cours d'eau. Plus à l'aval, comme en zone alluviale, c'est le cours d'eau ou la nappe d'accompagnement qui alimente majoritairement la zone humide, les apports hydrologiques des versants sont minoritaires **[8]**. Pour les zones humides de tête de bassin versant, le temps nécessaire à la recharge et à la décharge hydrologique (hydropériodes) des zones humides est plus court que pour les grandes zones alluviales, car leur régime hydrologique est dominé par les apports atmosphériques **[9]**. Cependant des nuances sont à apporter à ces principes théoriques, notamment pour bien comprendre les fonctions hydrologiques des zones humides de têtes de bassin versant. Les particularités hydrologiques de ces zones humides et de leur environnement sont détaillées dans la partie qui leur est dédiée (cf.section suivante).

LA FONCTION BIOGÉOCHIMIQUE

Les zones humides sont aussi des « filtres naturels ». Elles interviennent fortement sur les abattements de flux de matières minérales et organiques dans les bassins versants par le biais de processus complexes par lesquels des éléments minéraux ou organiques sont stockés ou transformés par la combinaison de l'action des organismes vivants (végétation et micro-organismes). D'après l'étude réalisée sur Rhode River dans le Maryland **[10]**, ce type de milieu peut retenir jusqu'à :

- 86 % de l'azote organique ;
- 84 % du phosphore total ;
- 78 % de l'azote ammoniacal ;
- 64 % du carbone organique ;
- plus de 90 % des matières en suspension transportées par les eaux de ruissellement.

Les zones humides favorisent aussi les phénomènes de piégeage sédimentaire. Ce processus naturel est à l'origine de la fertilisation de ces milieux et permet le piégeage des micropolluants (auquel s'ajoute l'action des végétaux par fixation dans les systèmes foliaires et racinaires). Cette fonction contribue à l'amélioration de la qualité des eaux à l'aval, mais peut aussi perturber la qualité des habitats par leur comblement ou une surconcentration de produits toxiques.

LA FONCTION HABITAT

La grande variabilité des conditions hydrogéologiques et géochimiques offerte par les zones humides permet le développement d'une très forte diversité d'espèces qui y accomplissent la totalité de leur cycle vital ou en dépendent pour leur survie.

Ne couvrant que 6,4 % de la surface des continents, les milieux humides connus et considérés dans ce faible pourcentage hébergent au moins à un moment de leur cycle de vie 12 à 15 % du nombre d'espèces animales de la planète, dont (hors océans), 35 à 40 % des vertébrés, 40 % des poissons, 100 % des amphibiens et 25 % des mollusques. Ainsi, en France, 30 % des espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les milieux humides, et environ 50 % des espèces d'oiseaux dépendent de ces zones (***www.zones-humides.org***). La reconnaissance nationale de la qualité de ces habitats se traduit par leur classement dans différents cadres réglementaires (Réserve naturelle Nationale, Réserve naturelle Régionale, zone de protection spéciale, sites classés…), mais aussi dans une labellisation internationale (classement Ramsar), et dans des dispositifs de gestion concertés (Parc naturel Régional, réseau européen Natura 2000, etc.).

Grâce à l'abondance de l'eau et des matières nutritives, les milieux humides connaissent généralement une production biologique intense (**Figure 2**). Les marais littoraux figurent parmi les milieux les plus productifs de la planète, en quantité de matière organique produite.

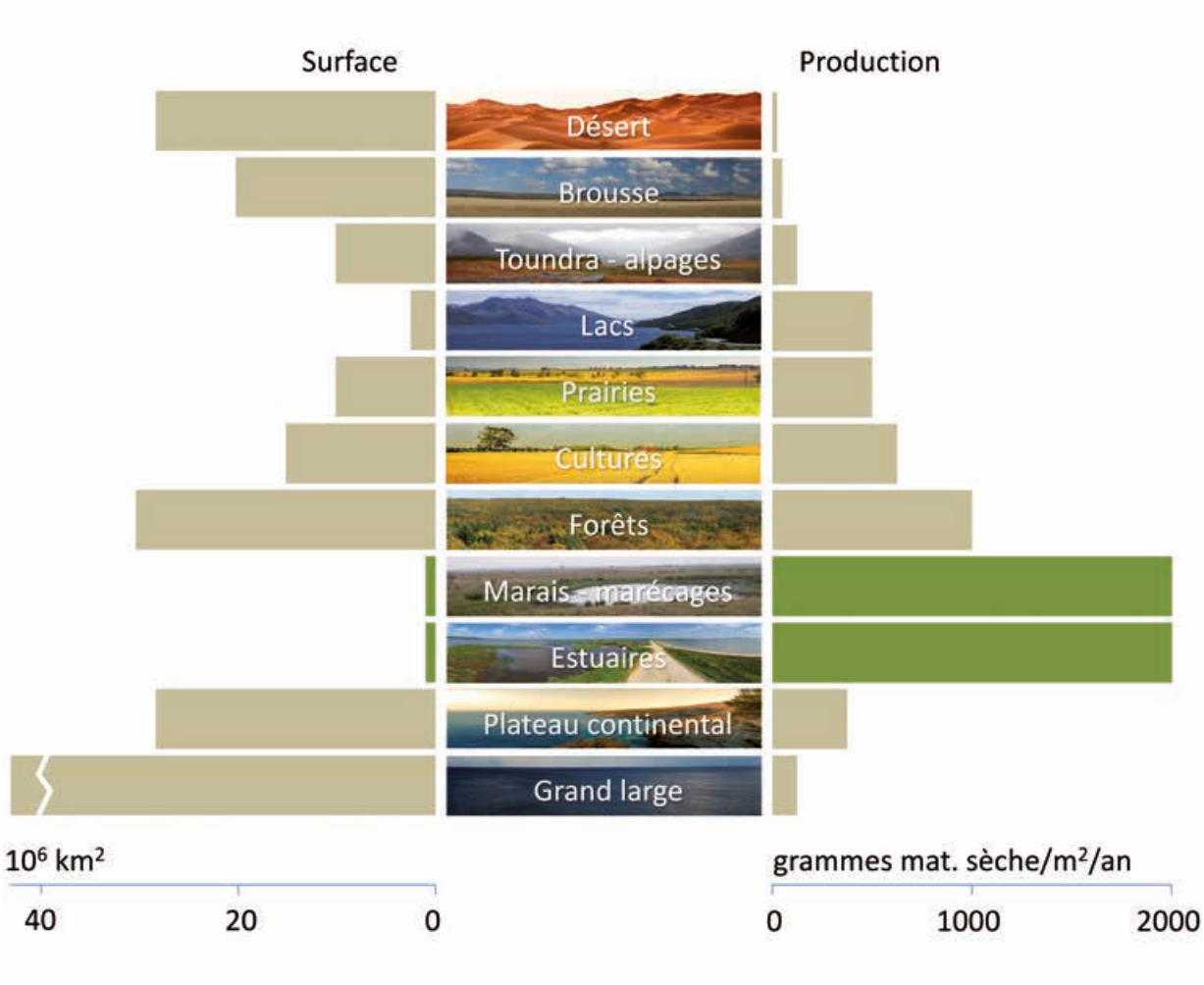


Figure 2 : *Surface et production des différents écosystèmes selon (11) et (12).*

LES SERVICES RENDUS

En s'appuyant sur la classification du MEA **[4]**, on peut retenir 4 grandes catégories de services **[5] [13]**, dont 3 sont présentées ci-dessous.

LES SERVICES DE PRODUCTION

Les services de production correspondent aux produits obtenus directement de l'écosystème tels que la nourriture, le bois, les énergies, les ressources génétiques, biochimiques, médicinales et ornementales et l'eau douce.

Grâce à leurs fonctions hydrologiques et hydrogéologiques (filtration/piégeage et réalimentation des nappes), les milieux humides participent à l'alimentation en eau pour la consommation humaine et aux besoins liés aux activités agricoles et industrielles.

Par leurs fonctions habitat (grande capacité de production de matières), les zones humides accueillent différentes productions pour l'alimentation humaine. Il est possible de citer l'élevage, la pisciculture ou la conchyliculture et plus marginalement la fourniture de matières premières pour des activités traditionnelles (chauffage à la tourbe, chaumage, vannerie…). Il est important de rappeler que certaines de ces productions sont importantes dans le maintien de la qualité environnementale de ces milieux (élevage extensif sur prairies humides…) et qu'elles entrent souvent dans une logique de développement local. Dans ces conditions, les zones humides deviennent un facteur de développement rural susceptible de respecter leur fonctionnement.

LES SERVICES DE RÉGULATION

Les services de régulation sont les services obtenus à partir des processus de régulation des écosystèmes tels que le maintien de la qualité de l'air, la régulation climatique, les processus de régulation de l'eau (recharge des aquifères, écrêtage des crues, etc.), la purification de l'eau et le traitement des déchets, le contrôle de l'érosion, la régulation des maladies, les régulations biologiques (maladies des plantes), la pollinisation, la régulation contre les tempêtes.

Grâce à leurs fonctions hydrologiques liées à la régulation des crues, les zones humides jouent un rôle déterminant pour la sécurité des biens et des personnes (écrêtage de crues fluviales ou de nappe, tampon littoral aux intrusions marines).

Par leurs fonctions biogéochimiques, les milieux humides participent à l'épuration des eaux et protègent certaines activités humaines. Ainsi, par exemple, la préservation de 44 hectares de milieux humides en amont de Royan favorise la qualité des eaux de baignade des plages très touristiques de cette région du bord l'Atlantique **[14]**.

LES SERVICES CULTURELS

Ils représentent les bénéfices immatériels dont l'Homme jouit grâce aux écosystèmes *via* la réflexion, la récréation, l'esthétisme ou l'enrichissement culturel. Par exemple, la diversité culturelle, les valeurs religieuse et culturelle, l'intérêt scientifique, la valeur éducative, l'inspiration pour l'art et l'architecture, la beauté des paysages, les relations sociales ou encore l'usage récréatif peuvent être des services culturels.

L'interaction entre l'homme et les zones humides a évolué au cours du temps. Les civilisations romaine et égyptienne se sont développées autour des estuaires, des deltas et des rivières. Ces derniers siècles, les zones humides avaient plus mauvaise réputation et ont subi des destructions massives au xx^{e} siècle sous la pression de l'urbanisation et de l'agriculture intensive.

Pour les sociétés occidentales contemporaines, les milieux humides redeviennent des lieux de détente, de rencontres et de loisirs et constituent un riche patrimoine paysager.

3 TYPOLOGIE DES ZONES HUMIDES DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE

MARAIS RÉTRO-LITTORAUX

ÉTAT

Il s'agit de milieux fortement transformés depuis le Moyen Âge (poldérisations, endiguements, créations de canaux et de parcellaires) sous l'impulsion des abbayes et monastères, des édits royaux et plans gouvernementaux. Le dernier programme d'État datant des années 1980 visait à l'intensification des productions agricoles (remembrement, remodelage des réseaux hydrographiques de canaux et drainage).

Ils ont conduit en Nouvelle-Aquitaine à l'aménagement des marais estuariens de la Sèvre Niortaise, de Charente, de Gironde, de Garonne et de Dordogne, ainsi que des Barthes de l'Adour. Ce sont entre 20 % et 80 % des surfaces selon les secteurs, plus ou moins propices au niveau de la qualité des sols, qui ont connu cette intensification par endiguement et îlotage hydraulique parcellaire.

La conséquence est une perte de surface proportionnelle présentant une typicité biologique humide. Les pertes s'étendent également aux fonctionnalités et services hydrologiques (tampons hydrologiques et biogéochimiques), climatiques (couvert végétal non permanent : sols nus l'hiver, hétérogène l'été avec des modifications du pouvoir radiatif et évaporatoire), et immatérielles (attrait paysager, notamment).

Les gains se situent au niveau de la production agricole, vouée pour une grande partie à la céréaliculture d'exportation, le maraîchage et la production fourragère intensifiée.

PRESSIONS

L'activité agricole intensive demeure le principal facteur de pression actuel, par sa consommation d'eau, d'espace pour les espèces indigènes, sa production de polluants vers les milieux adjacents (dépassement des capacités tampon des milieux aquatiques récepteurs : surface de lagunage naturels et temps de résidence trop faibles).

La déprise induite par la faible attractivité de l'activité d'élevage (faiblesse des cours et des aides agricoles), induit soit un risque d'abandon soit de reprise ou de reconversion vers des activités semi-intensives (production de fourrages en partie vouée à l'export de biomasse). Si l'abandon soulève des inquiétudes sur le paysage, elles sont encore très discutées quant aux effets sur la richesse et la typicité biologiques (état de transition).

L'eau demeure au cœur des préoccupations des usagers et les périodes d'étiages sévères et prolongées de ces deux dernières décennies constituent un facteur de tension sociale très élevé.

Le second facteur de pression important est relatif au foncier et au développement urbain et d'infrastructures de réseaux (route, chemins de fer, eau, électricité).

Il faut distinguer les agglomérations des villages. Après des décennies de développement du tissu urbain sans restrictions réelles, les premières intègrent désormais dans les SCOT et PLU[1] des dispositions de préservation (hydrologie) et de valorisation patrimoniale (espèces, paysage).

1 • Dispositifs de planification locale en matière d'aménagement du territoire : « Schéma de Cohérence Territoriale », « Plan Local d'Urbanisme ».

Il peut être considéré que la situation est en cours de stabilisation quant à l'emprise des infrastructures urbaines sur les zones humides de ceinture, même si l'on considère qu'il s'agit dans l'ensemble d'espaces culturels.

L'espace rural demeure plus problématique en raison de la disparité des inventaires de zones humides (complétude et précision), devant conduire à des PLU protégeant ces milieux. Si la compétence « GemaPi[2] » induit une prise en charge obligatoire de la gestion de l'eau, les enjeux locaux doivent souvent encore s'articuler avec plus de pertinence avec ceux de la protection des captages et de la biodiversité, constitutifs du patrimoine local et permettant de réaliser des économies pour l'espace communal.

Le troisième facteur de pression est le tourisme et les loisirs de plein air. Leur essor est corrélatif à l'attrait accru du public pour le littoral (vacances et habitat), accru en cela par un ensoleillement en hausse. Les projections de l'INSEE pour 2030 indiquent +3,5 millions d'habitants sur le littoral centre-ouest atlantique. En misant sur les espaces emblématiques que sont les milieux humides, les programmes de développement de l'offre urbanistique et touristique doivent trouver un juste équilibre fréquentation/ouverture pour ne pas mettre en péril cette ressource.

ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLÉE ALLUVIALE

Les vallées alluviales constituent des grands ensembles paysagers des fleuves régionaux. Le cas des têtes de bassin versant est traité plus loin (Rang 1 et 2 de la classification de Strahler), les secteurs abordés ici concernent les rangs de valeur plus élevée.

Les zones humides sont réparties au sein des vallées alluviales, au sein des espaces inondables. Il convient de rappeler le *distinguo* : une zone inondable peut ou non contenir tout ou partie de zones humides, voire aucune. Ce sont les caractéristiques pédologiques qui permettent essentiellement le *distinguo*, surtout lorsque la végétation a été modifiée par les activités humaines.

ÉTAT

L'inventaire géographique des zones humides qui est en cours est révélateur de leur emprise réelle, territoire par territoire. Des statistiques seront rendues possibles dans la décennie à venir pour sérier les typologies variées que l'on rencontre, et leur état de santé précis. La plupart d'entre elles ont connu une transformation par l'agriculture et l'urbanisme qui tentent de figer le paysage alluvial : endiguement, renforcement des berges, contraintes par le droit au sol et la propriété foncière (protection des biens), et le devoir de protection des personnes. Alors que les cours d'eau sont naturellement des unités mouvantes dans leur dessin (débit solide de rechargement, crues érosives…), les crues sont très mal tolérées par le monde rural et urbain qui « subissent » leurs effets, tandis qu'ils étaient assumés aux siècles précédents (usages agricoles et urbanismes adaptés).

PRESSIONS

Contrarié dans le transfert de matière et d'énergie, les lits mineurs se sont largement incisés depuis plus d'un siècle (surcreusements). Le niveau d'eau s'est abaissé en moyenne dans celui-ci.

L'effet immédiat est un abaissement de la nappe d'accompagnement associée dans le lit majeur, lui-même alimentant les systèmes humides en son sein.

Les systèmes de pompage agricoles dans les eaux de surface ou la nappe d'accompagnement, pour alimenter l'irrigation des coteaux de bordure ont pour effet d'amplifier le phénomène.

Les inventaires géographiques actuels rendent compte d'une large représentation de ces systèmes humides dont il est fort à parier que leurs performances fonctionnelles hydrologiques ont largement décru depuis le début du xx[e] siècle. Les ressources vivantes associées demeurent en grande partie dans un état de santé dégradé. De nombreux programmes de renaturation visent à rétablir ces milieux, appuyés par l'Agence de l'Eau, les Départements, la Région et de fortes mobilisations de collectivités locales et d'associations.

LACS ET ÉTANGS

ÉTAT

Les étangs sont des pièces d'eau en majorité artificielles, de taille généralement supérieure à 5 000 m² (distinct de la mare), mais inférieure aux lacs (Anras L., Forum Des Marais Atlantiques, communication personnelle). Leur typologie est très variée, mais en général ils occupent soit une dépression imperméable et sont équipés d'une retenue (digue, ouvrage), ou se trouvent au fil de l'eau ou en dérivation de cours d'eau, en lit majeur. Ils sont utilisés depuis au moins le Moyen Âge notamment pour la pisciculture et la fourniture d'énergie des moulins. Leur très faible stratification thermique, la sédimentation et l'inertie ainsi obtenue leur confèrent un caractère stagnant. Toutefois leurs modes de gestion (vidange et assec pour pêcher, renouveler l'eau et se débarrasser des sédiments) ou leur dépendance éventuelle à la nappe ne leur permettent pas de maintenir en permanence un régime stagnant (caractéristique des lacs).

2 • Issue de la Loi MAPTAM 2014 (Loi de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles), instituant la GemaPi (Gestion des Milieux aquatiques et de Protection contre les Inondations) par les collectivités locales.

Leur fréquence varie selon les territoires de Nouvelle-Aquitaine, mais la plus forte densité se trouve dans le Haut Limousin, classé lui-même en tête au niveau national : sur 22 800 plans d'eau, plus de 16 000 sont des étangs.

Les lacs sont des pièces d'eau de taille supérieure aux étangs, caractérisés par les phénomènes de stratification thermique et de sédimentation. Ils sont installés dans des dépressions, alimentés par des cours d'eau et/ou par des nappes libres (lacs médocains et landais) ou les écoulements de surface (lacs de montagne).

Au titre de la définition française des zones humides, les parties immergées inférieures à deux mètres des lacs et des étangs sont considérées comme des zones humides.

La richesse biologique que recèlent ces milieux est importante, et présente une variété liée à leur statut trophique.

PRESSIONS

La pollution de l'eau d'origine anthropique (agriculture, urbanisme) constitue un facteur de pression important sur ces milieux. Corrélativement, le Haut Limousin et les secteurs de moyenne et haute montagne demeurent les secteurs les moins exposés.

La demande sociale est très forte aujourd'hui sur ces milieux, notamment lorsqu'ils sont aisément accessibles, et est essentiellement liée aux activités de loisir (pêche, chasse, agrément). Il se crée encore des dizaines d'étangs chaque année, dans des conditions plus ou moins légales, notamment en fonds de vallons. La demande en eau (impluvium, nappe) demeure donc élevée.

En effet, s'agissant d'espaces d'évaporation intenses, l'évolution des régimes hydriques d'alimentation naturels (à-coups, déphasages, réchauffement moyen) peut produire des effets importants, par une augmentation de la demande de réalimentation.

Si les grands lacs bénéficient de suivis approfondis, une meilleure connaissance des étangs dans leur diversité, notamment pour aboutir à des bilans précipitations/évapotranspiration apporterait de précieux enseignements quant aux prélèvements admissibles sur les masses d'eau attenantes.

MARES

ÉTAT

Les mares regroupent différents types de petites pièces d'eau. Elles sont naturelles ou artificielles et installées au sein de petites dépressions sur sols imperméables, et utilisées au cours des âges pour satisfaire des besoins d'abreuvement, de puisage, d'élevage (anatidés, poissons) et de chasse.

Il en existe aussi issues de trous d'obus ou d'excavations. Leur classement se fait sur la base de leur environnement immédiat : Mares de prairie, de culture, de lande et de brande, de marais, forestière, de lisière, de village, d'ornement. De profondeur inférieure à deux mètres, leur taille est variable et peut atteindre 5 000 m². Elles connaissent un faible renouvellement d'eau dû à leur alimentation par la pluie et parfois la nappe libre locale.

Ces milieux sont étroitement imbriqués et dépendant de ceux qui les entourent. Leur productivité biologique est globalement forte (milieux souvent naturellement eutrophes, plus rarement méso et oligotrophes), tandis que la biodiversité présente une gamme de variation importante selon les types de mares, et en fonction des régimes climatiques interannuels.

Ces mares constituent des foyers de vie pour les espèces de zones humides, et peuvent apporter une contribution importante à la connectivité des trames humides.

L'inventaire de ces mares n'a pas été réalisé dans l'ensemble de la Nouvelle-Aquitaine. Les données d'inventaire existent dans l'ex-Poitou-Charentes **[15]** (**Figure 3**). Elles sont estimées à plus de 30 000, sur la base d'un recensement de terrain croisé avec une analyse cartographique. Leur répartition est hétérogène selon les substrats : plus denses sur les domaines cristallins. De même les paysages bocagers vallonnés en recèlent plus (>50/16 km²) que les plaines céréalières où elles ont parfois entièrement disparu.

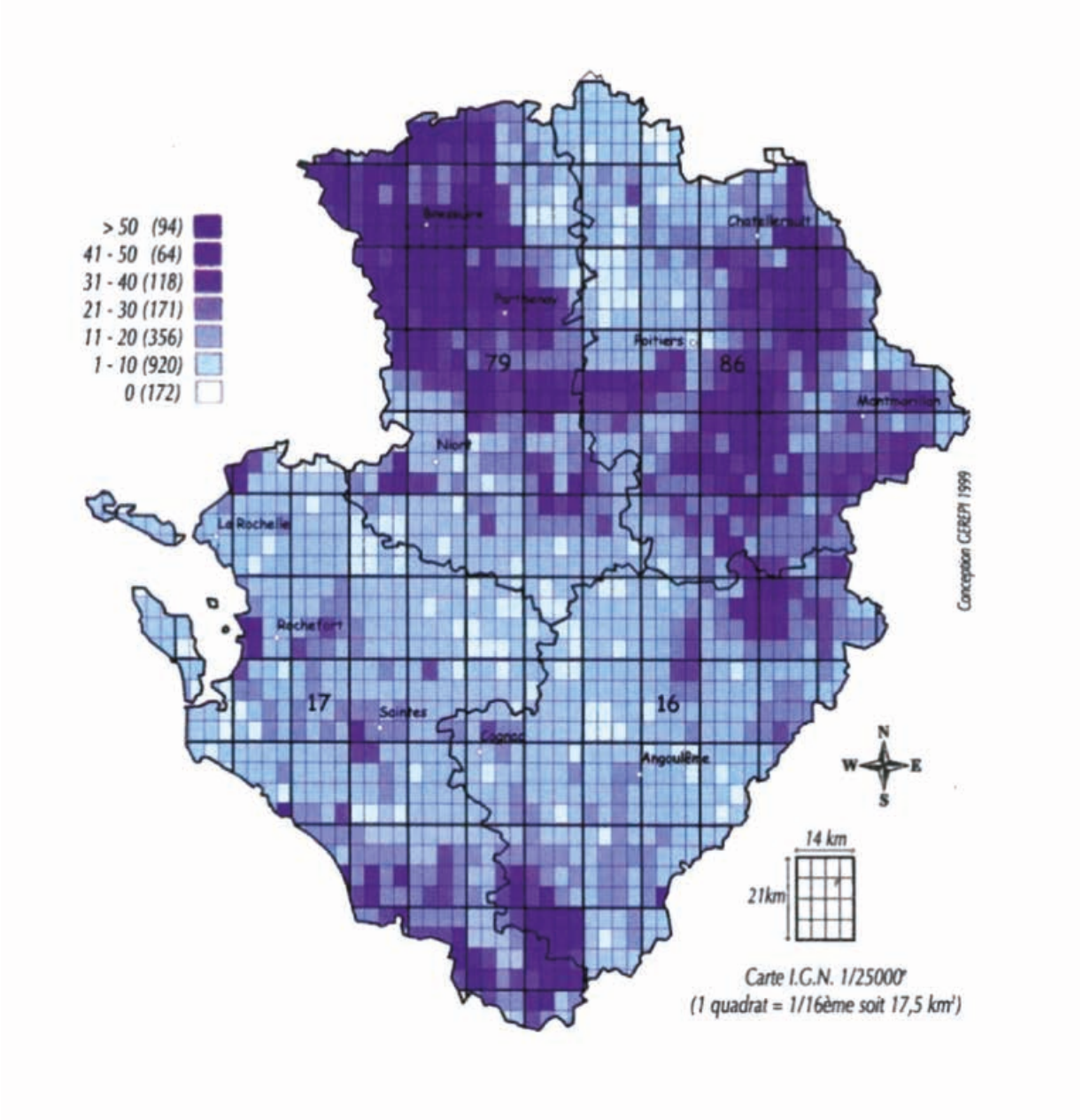


Figure 3. *Répartition et densité des mares en Poitou-Charentes, inventaire 1998-2002 (15).*

PRESSIONS

Sur cette région, plus de 26 % des mares auraient connu un comblement au cours de ces vingt dernières années **[15]**. Ce phénomène est dû soit à des remblaiements, ou un atterrissement naturel suite à une perte d'usage et un manque d'entretien.

Très réactives face aux variations météorologiques et climatiques, en raison de leur très faible hauteur d'eau et de leur rapidité de comblement naturel, elles présentent une faible résilience à court terme. Elles sont donc particulièrement exposées, si le bilan précipitations/évapotranspiration leur devient défavorable, bien avant une simple augmentation de température moyenne.

ZONES HUMIDES RIVULAIRES DES LAGUNES ET ESTUAIRES

Compte tenu du nombre important de zones humides des lagunes et estuaires sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine, et de travaux réalisés sur la Gironde, le chapitre va se focaliser plus particulièrement sur les zones humides rivulaires de cet estuaire. Cela étant, les zones humides d'Arcachon et de Marennes, d'importance sociétale, font l'objet d'investigations scientifiques dans un contexte fort de risque de submersion marine et d'érosion (**ENCADRÉ** Arcachon et Marennes).

ÉTAT

L'estuaire de la Gironde offre un cas d'étude particulièrement intéressant en termes de typologies et de diversité d'états et de dynamiques. Les zones humides des espaces riverains de l'estuaire se caractérisent en effet par une grande diversité de caractéristiques géochimiques, physico-chimiques, géomorphologiques **[16]** ainsi que d'habitats. Des mattes bordant les digues côtières aux lagunes forestières de l'arrière-pays, ces zones humides ont été largement façonnées par des siècles d'usages sociaux et économiques. Cette diversité typologique, de regards et d'enjeux se manifeste dans les constructions des zonages institutionnels actuels (dans le cadre des Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau - SAGE et des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux - SDAGE), articulant critères naturalistes (botanique, pédologie, hydrologie) et processus de négociation. Par ailleurs, il convient de considérer la fonctionnalité des zones humides en tant que pièges à particules provenant des inondations de l'estuaire de la Gironde. De telles particules peuvent être contaminées par des éléments (exemple : métaux) provenant de différentes sources dans le bassin versant au sens large et plus particulièrement du milieu urbain (industrie, agriculture, activités domestiques). Cependant, selon la remobilisation naturelle, accidentelle ou liée à la gestion de ces écosystèmes (curages, aménagements hydrauliques, constructions…), cette fonctionnalité peut être affectée : les zones humides deviennent alors des sources potentielles d'émission de particules et/ou de contaminants.

Les zones humides rivulaires de l'estuaire de la Gironde, et notamment les vasières intertidales, jouent également un rôle essentiel de nourricerie pour les jeunes stades de vie de nombreuses espèces de poissons de la façade Atlantique française **[17] [18] [19]**. Les bénéfices potentiels associés à la dépoldérisation de ces écosystèmes afin d'optimiser leurs fonctionnalités - incluant ce potentiel de nourricerie - sont au cœur de nombreuses interrogations en Europe **[20] [18]**. En Gironde en particulier, les dépoldérisations accidentelles des marais de Mortagne-sur-Gironde en 1999 et de l'île Nouvelle en 2010 font l'objet de multiples études visant à analyser les effets écologiques et socio-économiques d'une renaturation de ces milieux humides à visée environnementale, protectrice, touristique ou compensatoire **[18] [20] [21] [22] [23] [24] [25]**. D'autres programmes de recherche visent à la mise en place d'une approche fonctionnelle des zones humides de l'estuaire de la Gironde permettant de caractériser la fourniture de services écosystémiques à la collectivité (cf. page précédente).

Au regard de la complexité liée à l'identification et à l'évolution des usages des zones humides, il est important d'estimer le coût économique des services rendus et de comprendre les modes de gouvernance à l'œuvre. Ces investigations s'appuient sur les perspectives d'évolution de la demande sociétale ainsi que sur la capacité des zones humides à la satisfaire dans un contexte socio-économique et écologique dynamique.

Ainsi, une analyse originale de l'interface fonctionnalités-services des zones humides conduit à identifier leur potentiel de résilience écologique en présence de modifications majeures liées aux changements climatiques dans l'estuaire de la Gironde **[26]** et plus largement dans l'ancienne région Aquitaine **[27]**.

PRESSIONS

Les zones humides estuariennes sont soumises à de multiples pressions géochimiques, écologiques, socio-économiques. L'estimation de ces pressions permet de produire des indices complexes pour une meilleure connaissance de la fonctionnalité des écosystèmes, fonctionnalités à même de produire différents niveaux de services écosystémiques. La prise en compte des composantes (caractéristiques environnementales et biologiques) et des fonctionnalités (fonctions écologiques) des zones humides permettent ainsi de déterminer un potentiel de résilience aux changements climatiques combinant à la fois des propriétés physiques, écologiques et économiques. Cette orientation conduit à une meilleure compréhension des liens entre les fonctionnalités mises en œuvre par ces écosystèmes et de la détermination de seuils critiques au-delà desquels les services écosystémiques ne sont plus assurés ou en quantité insuffisante **[28] [29]**.

En s'appuyant sur l'étude des propriétés écologiques des zones humides, l'approche fonctionnelle de ces écosystèmes invite à analyser les conditions de leur durabilité dans un contexte de pressions accrues liées aux activités humaines et économiques **[26]**. En suivant les travaux de Turner *et al*. **[30]**, il est possible d'analyser le fonctionnement des zones humides à partir de trois types d'éléments : les caractéristiques (ensemble de propriétés telles que la taille, les espèces présentes, les propriétés du sol et la végétation), la structure (lien ici avec les communautés de plantes et d'animaux, l'existence de réseaux, etc.) et les processus (référence à la dynamique des transformations impliquant l'énergie et la matière) (**Figure 4**).

Ce type d'approche fonctionnelle a été abordé à l'échelle de l'estuaire de la Gironde **[31]**, en prenant en compte différentes composantes ou caractéristiques biologiques ou environnementales des systèmes de zones humides étudiées (taille, profondeur et qualité d'eau, salinité, diversité en poisson et macrofaune, couverture végétale). Ces composantes ont permis de définir différentes fonctionnalités écologiques (nourricerie, refuge, régulation des niveaux d'eau, capacité d'épuration), dont le potentiel à produire différents services écosystémiques (production halieutique, provision d'eau) a été estimé.

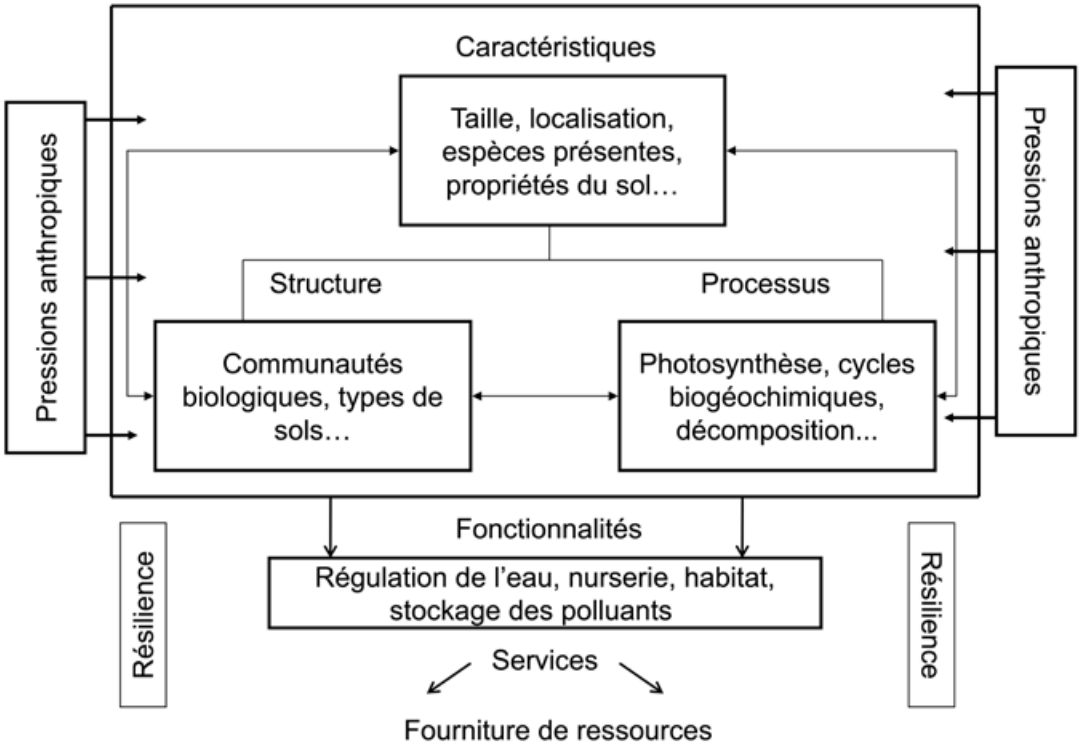


Figure 4 : *Approche fonctionnelle d'une zone humide (31).*

Plus précisément, les composantes des zones humides sont les variables d'état de l'écosystème. Les fonctionnalités traduisent quant à elles le fait que les fonctions écologiques sont opérationnelles. La fourniture de services dépend ensuite de l'activation des fonctionnalités des zones humides.

Les fonctionnalités à activer pour assurer les services d'approvisionnement en eau et la production de ressources halieutiques font référence à la régulation de l'eau, à la capacité de traitement des pollutions, à la fonction refuge et à la nurserie.

Le potentiel de résilience de la zone humide dépend alors des conditions de criticité qui s'appliquent aux différentes composantes et de sa mesure par le nombre de conditions de criticité qui sont satisfaites pour chaque composante. Selon que l'ensemble ou seulement une partie de l'ensemble des conditions de criticité sont satisfaites, on peut observer des états de fonctionnement différents de la zone humide considérée et un potentiel de résilience spécifique associé.

Dans ce contexte, la durabilité de la zone humide peut être définie en fonction du nombre de services qu'elle peut procurer afin de satisfaire les besoins de la collectivité. Si la puissance publique fixe un nombre de services minimal à respecter, il est possible de déterminer le potentiel de résilience qui satisfait un niveau donné de durabilité (mesuré à travers un niveau de services qui doit être maintenu au-delà d'un seuil de référence).

Mais la durabilité peut être aussi définie par une stratégie de type maximin : il s'agit alors de déterminer le potentiel minimal de résilience qui assurera le nombre maximal de services procurés par la zone humide considérée.

Cette méthodologie a été développée pour des zones humides de l'estuaire de la Gironde. Une première application a été réalisée sur un échantillon de 54 zones humides localisées dans l'estuaire afin d'évaluer leur potentiel de résilience et d'estimer la durabilité de ces écosystèmes. Ces derniers sont composés de rives, de marais salés et de prairies humides (**Figure 5**).

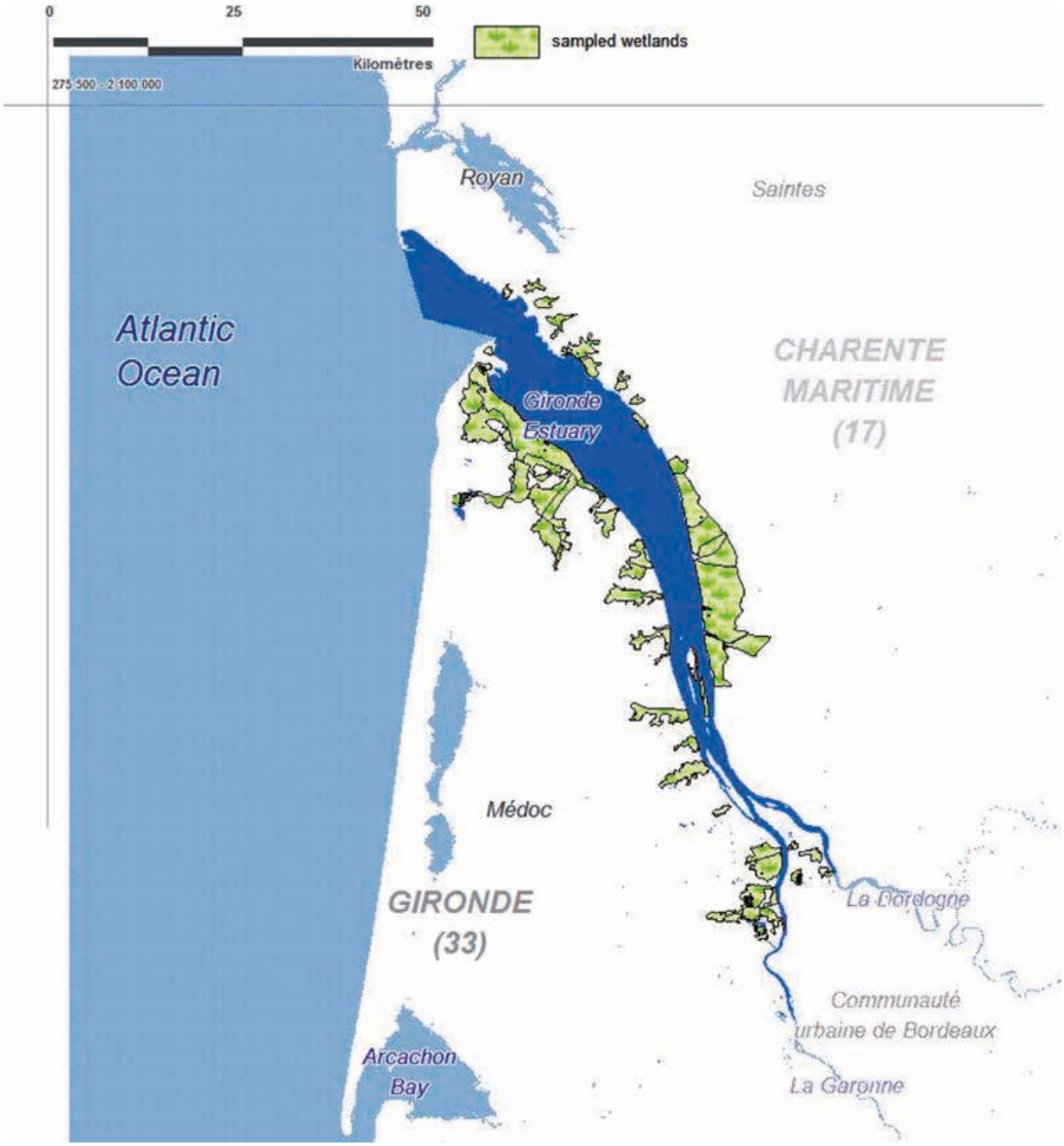


Figure 5 : *Localisation des zones humides étudiées dans l'estuaire de la Gironde (31).*

Les valeurs critiques de toutes les composantes (8 au total) ont été déterminées empiriquement et un lien entre la fourniture de services et les conditions de criticité a été établi : par exemple, le service « ressources halieutiques » repose sur 8 conditions critiques tandis que 4 conditions critiques sont nécessaires pour le service « approvisionnement en eau ». Pour le service d'approvisionnement en eau, 16 zones humides peuvent assurer conjointement les 2 fonctionnalités "régulation hydrique" et "capacité d'épuration". Pour les ressources halieutiques, 8 zones humides peuvent assurer conjointement les 2 fonctionnalités « nurserie » et « refuge ». Seules 8 zones humides (formations herbacées humides et tige basse) dans l'échantillon permettent d'assurer les deux services à la fois.

ENCADRÉ : IMPORTANCE SOCIÉTALE DES ZONES HUMIDES : LE CAS D'ARCACHON ET DE MARENNES

Le risque de submersion marine est un risque avéré dans le bassin d'Arcachon et de Marennes, risque qui a conduit à s'interroger sur les possibilités de réponse par la dépoldérisation **[32] [33]**. Compte tenu des représentations sociales très diverses, une telle réponse ne peut être générale et dépend avant tout d'un ensemble de conditions économiques (rôle des différentes activités économiques et agricoles développées sur le territoire concerné), géographiques (les impacts d'une submersion naturelle ne sont pas identiques sur tous les territoires) et sociales (les pratiques locales peuvent varier d'un endroit à l'autre, les perceptions et l'acceptabilité sociale également). La gestion du risque littoral sur ce territoire doit alors prendre en compte les conflits d'usage entre la réserve d'eau et les agriculteurs, les réticences sur les stratégies de défense de côte alternatives aux digues et la manière dont les populations interprètent

ce risque. Ainsi, elles peuvent exprimer leur attachement à la présence et à l'entretien de digues par exemple en leur accordant une valeur monétaire, ainsi qu'une disponibilité à payer pour cela. Même si les individus accordent une valeur positive à différentes options de gestion du littoral, il faut faire apparaître un intérêt prioritaire pour la préservation du littoral. Cette perspective repose sur la représentation d'un littoral valorisé à travers les multiples ressources naturelles et les nombreux usages qu'il procure **[34]**.

ZONES HUMIDES DE TÊTE DE BASSIN

Les territoires de tête de bassin occupent 65 à 75 % de la France métropolitaine **[35]**. En Nouvelle-Aquitaine ils représentent 43 000 km² soit 51 % du territoire régional. Dans ces territoires se trouvent les zones humides des têtes de bassin de la Dordogne, de la Vienne, de l'Adour, de la Garonne, du Lot, de rivières côtières comme la Leyre, de la Charente, mais aussi avec en moindres proportions, du Cher, de la Sèvre Niortaise, du Thouet et de la Sèvre Nantaise et enfin de l'Indre et de l'Allier.

Il est considéré ici une définition fonctionnelle de ces zones humides en prenant en compte les systèmes complets de tête de bassin versant qui intègrent les talwegs d'ordre 2 **[36] [37]**. Généralement, les zones humides de tête de bassin versant sont soit des zones humides de sources établies dans des colluvions qui se trouvent dans les talwegs d'ordre 0, soit des zones au fonctionnement hydrologique plus complexe car elles se situent dans des talwegs d'ordre 1 et 2, où le fonctionnement hydrologique est transitoire entre des versants colluviaux et des fonds alluviaux **[38]**. Les bassins versants élémentaires (0, 1 et 2) peuvent se trouver dans tous les territoires de la région Nouvelle-Aquitaine et les limites entre ces bassins versants ont des altitudes et des topographies différentes soumises aux nuances climatiques de la région.

Les zones humides de tête de bassin représentent « un capital hydrologique » pour la région Nouvelle-Aquitaine pour les raisons suivantes : occupation d'une surface considérable (43 000 km²), collecte de la majorité des précipitations en captant et en restituant les pluies orographiques à des instants différents ; garantie pour la fonction hydrologique globale des têtes de bassin sur leur aval **[39] [40]** ; grands volumes d'eau de transition dans les régions de socles faillées ; rôle hydrologique important de la flore localisée sur ces zones humides **[41]**.

Ainsi, pour garantir un écrêtage des crues et un soutien des étiages de l'aval, la majorité des territoires de tête de bassin doivent avoir un fonctionnement hydrologique acceptable. Or, les fonctionnalités hydrologiques des zones humides de tête de bassin versant ont été et sont impactées par la gestion globale d'un territoire (notamment lorsqu'elles sont utilisées par des activités consommatrices d'espaces).

ÉTAT

À l'échelle de la région, **Figure 6**, les systèmes de têtes de bassin qui englobent les zones humides sont majoritairement dédiés à l'agriculture (les cultures occupent 34 % de ces espaces) et l'élevage (23 % de prairies). Les territoires de tête de bassin de la Nouvelle-Aquitaine sont donc particulièrement agricoles puisqu'en France métropolitaine, ces proportions sont moindres avec 25 % de terres arables et 19 % de prairies. La forêt occupe 29 % des surfaces occupées par les têtes de bassin, ce qui est supérieur à la tendance nationale (22 %) **[35]**. Les espaces à forte valeur environnementale comme les pelouses « naturelles », ou encore les espaces agropastoraux de montagne n'occupent que peu de surface (7 %) et se retrouvent uniquement dans les territoires les plus élevés.

Les zones humides de tête de bassin versant en plaines et pénéplaines sont très largement répandues, et constituent un ensemble disparate d'un point de vue pédologique et paysager. Ce sont aujourd'hui par ordre d'usage des cultures, des prairies, des espaces boisés issus de plantations, ou d'évolution de friches. Leur évolution va vers un recul de leurs fonctions hydrologiques (drainage, artificialisation du réseau hydrographique) et biologiques (perte de typicité, banalisation) en faveur de services de production, et une reprise de ces fonctions dans les secteurs vallonnés en déprise. Leur résilience d'ensemble semble assez bonne, comme en témoignent diverses réalisations de renaturation (sur cours d'eau et annexes humides dans les programmes financés par les Agences de l'Eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne). Ces opérations buttent souvent toutefois sur les questions de trame paysagères inadéquates (milieux remembrés du bassin versant) qui limitent l'efficacité de ces actions, et qui renvoient à la responsabilité d'autres politiques sectorielles d'aménagement du territoire (urbanismes, politique agricole).

Concernant les zones humides d'altitudes moyennes et montagnardes des Pyrénées Atlantiques, elles sont globalement composées d'espaces ouverts dans les étages subalpins et alpins dégagés par des siècles d'usages par l'élevage, et suite aux grands déboisements opérés depuis la renaissance pour les constructions navales. Ces espaces sont aujourd'hui bien souvent dédiés à l'élevage.

Les zones humides de tête de bassin de la Montagne limousine se trouvent dans des espaces dédiés à l'élevage et à la sylviculture. Les prairies humides des sols alluviaux anciens sont depuis très longtemps intégrées dans l'agriculture de la moyenne montagne, notamment dans la montagne et les plateaux limousins. L'évolution de cette agriculture a fait également évoluer les prairies humides, notamment du fait du drainage, du tassement des sols et de l'intensification du pâturage. Ceci entraîne une banalisation des prairies humides « acides à molinie » ou dites « atlantiques et sub-atlantiques » vers les pâtures à jonc (*Juncuseffusus*) du fait du potentiel invasif de l'espèce et de ses préférences pour les sols tassés, enrichis et aux variations fréquentes du niveau de nappe.

D'ailleurs, ce phénomène prend suffisamment d'ampleur pour préoccuper les gestionnaires de zones humides et particulièrement les éleveurs de la Montagne limousine et de son piedmont qui utilisent les prairies humides pour le pâturage de leurs troupeaux **[42]**. Certains de ces espaces connaissent une phase de boisement accéléré liée à la déprise et aux plantations de massifs de résineux depuis plusieurs décennies suite au recul de l'élevage extensif. Les substrats paratourbeux et tourbeux oligotrophes sont particulièrement sensibles, et leur résilience est faible. La molinie bleu (*MoliniaCaerulea*), herbacée qui se développe sur les tourbières en déprise et surtout sur les tourbières drainées puis délaissées, est également une autochtone envahissante. Elle entraîne l'assèchement de la surface des tourbières en réduisant le couvert des bryophytes et en permettant au ligneux de s'installer.

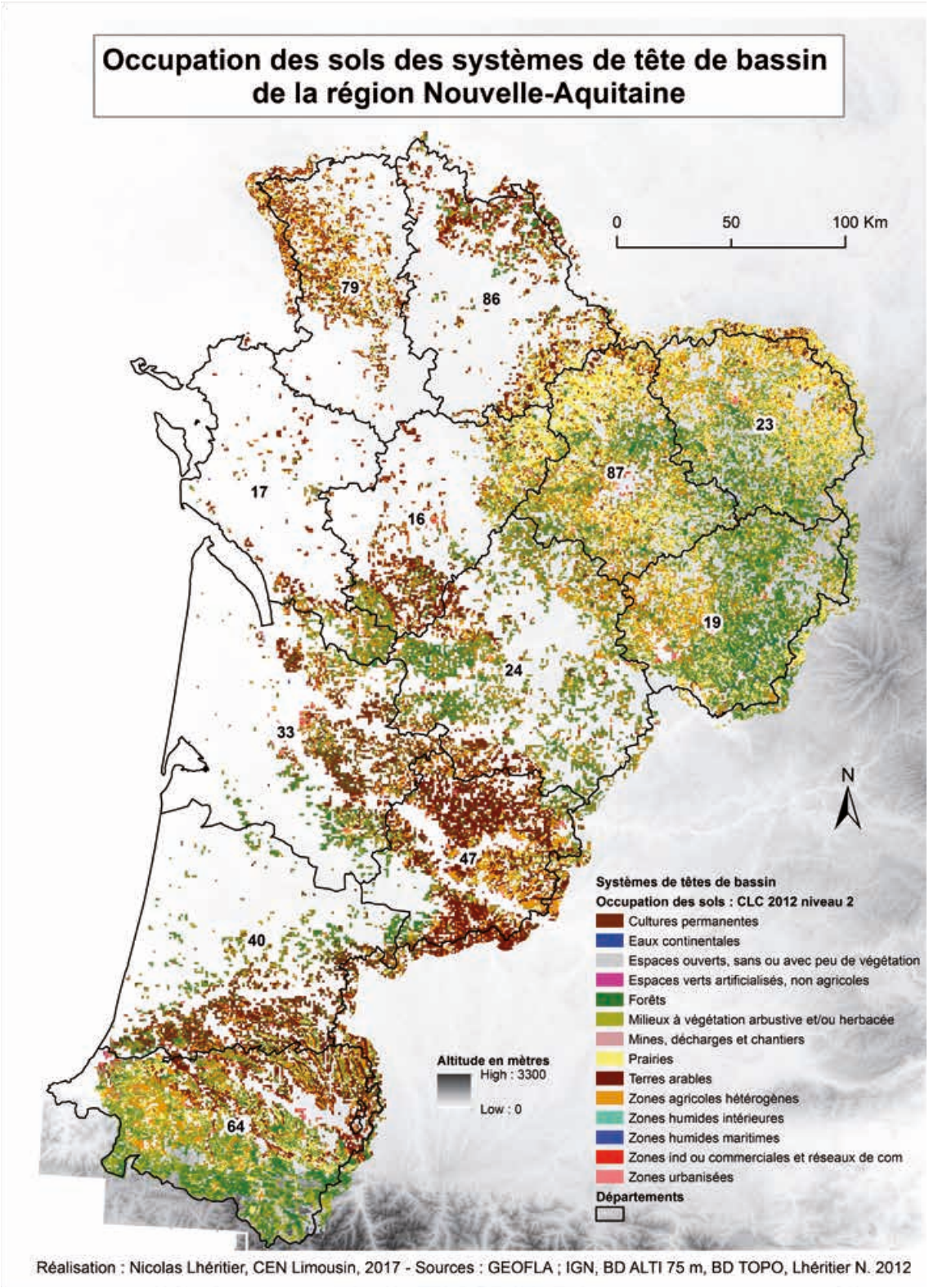


Figure 6 : *L'occupation des sols des systèmes de tête de bassin de Nouvelle-Aquitaine.*

PRESSIONS

L'emprise agricole sur les milieux humides de plaine est flagrante, ils ont connu une utilisation accrue depuis des siècles. Les fonds de vallons humides, non connectés aux ruisseaux, ont connu la même évolution. Les trente glorieuses ont vu cette conquête se confirmer sur tous les secteurs à bonne accessibilité pour les engins agricoles. La pression agricole devrait se maintenir à un niveau élevé, secondée par la pression urbaine rurale dans les grandes couronnes des petites et moyennes agglomérations.

La déprise s'opère depuis trente à cinquante ans sur les secteurs fortement vallonnés qui n'ont pas pu subir les remembrements requis pour l'intensification, où l'enfrichement boisé s'opère rapidement. Ce sont les territoires de la Montagne limousine, de la Charente et Dordogne qui sont les plus emblématiques. La Montagne limousine et son piedmont, régions de tête de bassin, (**Figure 7**) contiennent des zones humides de tête de bassin soumises à la déprise agricole et ou l'action du CEN (Conservatoire d'espaces naturels) Limousin consiste à maîtriser foncièrement ces zones, à les restaurer et à les rendre réutilisable par l'agriculture selon des modalités conformes à la préservation de milieux ouverts, (**Figure 8**). Le limousin comporte également des zones humides historiques qui ont été transformées, notamment par l'activité agricole.

Il existe aux échelles locales, des bases de données de référence pour les gestionnaires qui couvrent des territoires plus restreints et qui allient à cette prédétermination topographique une photo-interprétation de la végétation pour aboutir à une typologie selon la végétation. C'est le cas en Limousin sur les territoires d'intervention des Établissements Publics Territoriaux de la Dordogne et de la Vienne (EPIDOR et EPTB Vienne) avec les bases de données des Zones à Dominante Humide (ZDH).

Pour des territoires tels que celui de la Montagne limousine, le CEN Limousin dispose d'une cartographie de terrain (par celle des habitats à l'échelle des périmètres des plans de gestion) des zones humides suffisamment détaillées. Cet échantillonnage permet de calibrer la valeur seuil du TWI au-delà de laquelle la présence de zones humides est des plus probables. C'est pour cela que nous parlerons de Zones Topographiques Favorables à la présence de Zones Humides (ZTF-zh) lorsque nous les utiliserons pour analyser les pressions auxquelles sont soumises les zones humides de tête de bassin, par une comparaison des ZTF-zh avec les ZDH.

La comparaison des deux bases de données ZTH-zh du CEN Limousin et ZDH d'EPIDOR et de l'EPTB Vienne, permet d'identifier les zones topographiques favorables ZTF-zh à l'implantation qui n'en contiennent pas. Cela permet de localiser des secteurs ou les zones humides ont disparu du fait de pratiques de drainage notamment.

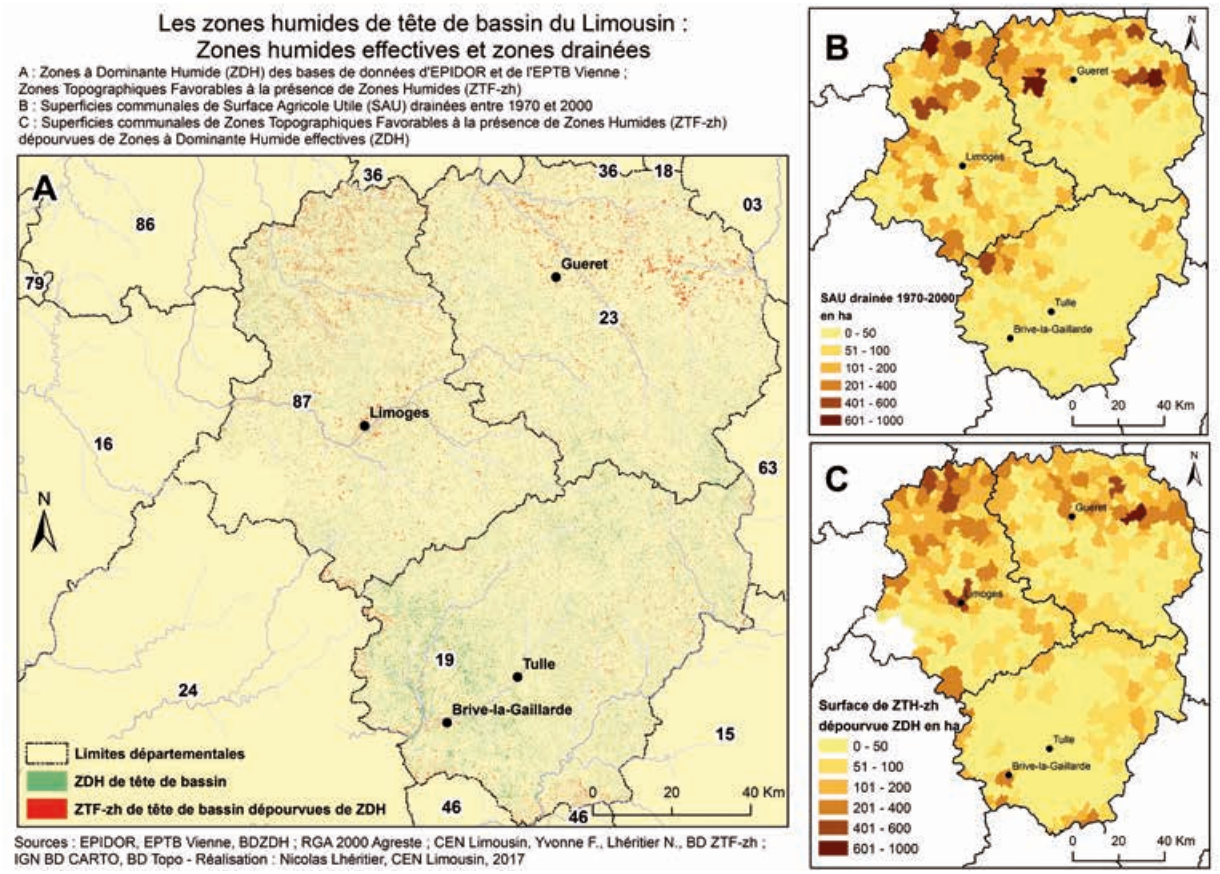


Figure 7 : *Zones humides actuelles et zones humides drainées l'exemple du Limousin.*

Sur la carte A, les ZTH-zh dépourvues de ZDH apparaissent en rouge, elles sont surtout localisées au nord de la Haute-Vienne et au Nord est de la Creuse. Les surfaces cumulées par commune (carte C) permettent d'avoir un élément de comparaison avec les surfaces de Surface Agricole (SAU) drainées par commune (carte B). Cette dernière carte confirme que beaucoup de zones topographiques favorables à la présence de Z.H. mais en étant pourtant dépourvues se trouvent effectivement dans les communes du nord Haute-Vienne et de Creuse. Ce sont les communes ou le drainage agricole a été le plus pratiqué entre les années 1970 et 2000. L'occupation des sols (issues de la BD Corine Land Cover 2012, IFEN) semble corroborer les tendances géographiques qui se dégagent de ces trois cartes. Les ZTF-zh dépourvues de zones humides sont essentiellement agricoles (plus de 60 % des surfaces) dont des prairies (34 % des surfaces) et des cultures (33 %). Les espaces forestiers représentent 28 % des surfaces. Les 6 % restant, sont essentiellement composés par le tissu urbain discontinu.

Afin de mieux comprendre les pressions à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine, les besoins de connaissances à des fins de protection devraient toucher l'hydrogéologie (nappes libres pour l'essentiel). Les mesures de renaturation ou de préservation butent en grande partie sur les liens zones humides-nappe, qui commencent néanmoins à être mieux connus à l'échelle de site, pour mettre en œuvre et/ou multiplier localement les actions adaptées au maintien des services hydrologiques notamment (recharge de nappe, auto épuration).

Les territoires de moyenne montagne et alpins sont en déprise partielle, avec un accroissement du couvert boisé. Leur évolution semble fortement corrélée à ce facteur, autant qu'au facteur climatique. Concernant ce dernier, les effets sur le paysage et sur les milieux humides, composés pour l'essentiel de micro-espaces en cuvettes ou à flanc de pente, vont concerner la montée des limites boisées vers le haut (rehausse altimétrique des isothermes) et les modifications des peuplements suite aux changements des régimes de précipitations. De forts impacts sont à attendre de ces changements sur l'hydrologie des zones humides, les groupements végétaux et la faune, très sensibles à ces facteurs : la thermophilisation constitue une hypothèse plausible, tandis que des phénomènes plus complexes liés à la précocité des pluies printanières, les moindres froids en fin d'hiver conduiraient à des modifications du fonctionnement hydrologique et des stratégies reproductives (cas de certains amphibiens). Les impacts sur la flore peuvent entraîner des préjudices aux activités économiques et notamment agricoles.

La question du changement climatique en altitude a été abordée dans le chapitre consacré à la montagne de Le Treut **[27]**.

Il semble difficilement envisageable de stabiliser la situation par des seules opérations de restauration localisées et pas encore assez nombreuses (rôle du génie écologique). Il convient alors de bien intégrer les milieux humides de tête de bassin dans la gestion globale des territoires et d'agir également de manière pédagogique et incitative sur la manière dont sont menées les activités qui utilisent ces espaces en sus de les protéger réglementairement. Pour cela, il paraît nécessaire de s'adresser directement aux usagers et gestionnaires de zones humides dans le cadre de programme territorial, *via* les collectivités locales, les Cellules d'Assistance Technique à la gestion des Zones Humides (CATZH) et les Réseaux de gestionnaires de Zones Humides (RZH). Les mesures de précaution à prendre pour limiter l'impact du réchauffement climatique suite à des décennies de transformation des zones humides de plaines, et des changements hydrologiques probables des têtes de bassin s'appuient sur une combinaison entre la restauration hydrogéologique réfléchie et programmée à l'échelle des territoires de tête de bassin et la ré-information pour une réappropriation de ces milieux par l'agriculture et l'élevage notamment (certains groupes d'éleveurs recherchant des systèmes plus économes et plus autonomes en utilisant la ressource fourragère des milieux semi-naturels dont les zones humides sont déjà engagées dans cette démarche).

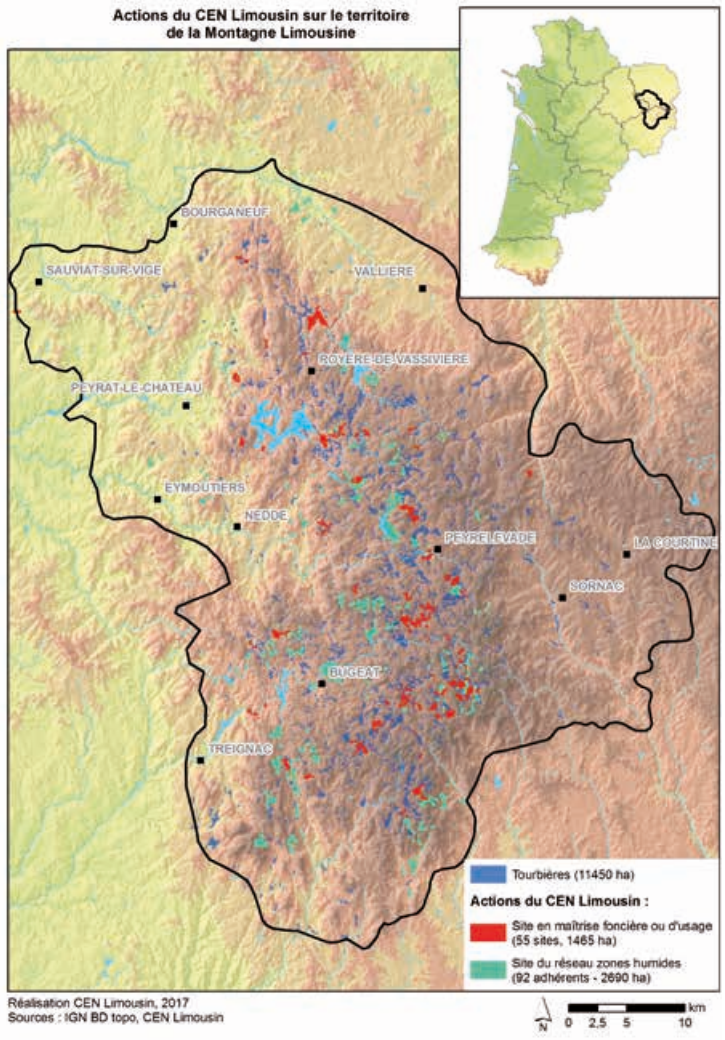


Figure 8 : *Actions du CEN Limousin sur le territoire de la Montagne limousine.*

TOURBIÈRES

ÉTAT

Les tourbières sont caractérisées par des sols issus de l'accumulation de végétaux à dégradation très lente, en raison de la présence permanente d'eau et le manque d'oxygène. Ces milieux très emblématiques des « marécages » inscrits dans l'imaginaire populaire constituent des foyers patrimoniaux en matière de paysage, de biodiversité et d'intérêt fonctionnel.

Les tourbières de Nouvelle-Aquitaine présentent toute la variété des typologies existantes, selon leur mode d'alimentation (nappe et/ou pluie) et leur localisation (massifs montagneux, plaines). Ces typologies basées sur l'origine et le mode d'alimentation hydrique sont bien connues et restituées territoire par territoire dans l'inventaire compilé en 2006 par le pôle relais Tourbières. Les plus fortes densités rencontrées le sont sur les substrats granitiques du Limousin, le massif montagneux des Pyrénées (**Figures 7, 9, 10**), et le long des cours d'eau de plaine.

Les valeurs associées aux fonctions des tourbières sont très importantes, notamment celles associées à la fonction hydrologique des tourbières de tête de bassin (cf. pages précédentes). L'archéologie et l'ethnologie peuvent se nourrir des vestiges que révèlent ces milieux fréquentés par l'homme depuis des millénaires. Leur capacité d'inscrire l'histoire du climat depuis 10 000 ans à travers les pollens, les graines et les plantes sont des révélateurs importants des tendances qui se dessinent. Leur valeur fonctionnelle est indéniable en matière de stockage de carbone, de stockage d'autoépurationdes eaux. Leur intérêt scientifique est du plus haut degré lorsque l'on considère les adaptations inédites réalisées par le vivant pour survivre dans ces rudes conditions : de l'antigel contenu dans le sang des lézards pour résister aux fréquentes gelées des tourbières, aux Droséras devenues carnivores dans ces milieux présentant de faibles disponibilités en nutriments minéraux, en passant par les espèces prostrées pour limiter les pertes d'eau, les espèces y produisent d'intenses efforts d'adaptation. Il en résulte que nombre d'entre elles sont endémiques et rares. Leur contribution à la biodiversité environnante est considérable (5 à 10 %) malgré leur faible proportion dans les espaces naturels (0,1 à 0,5 %).

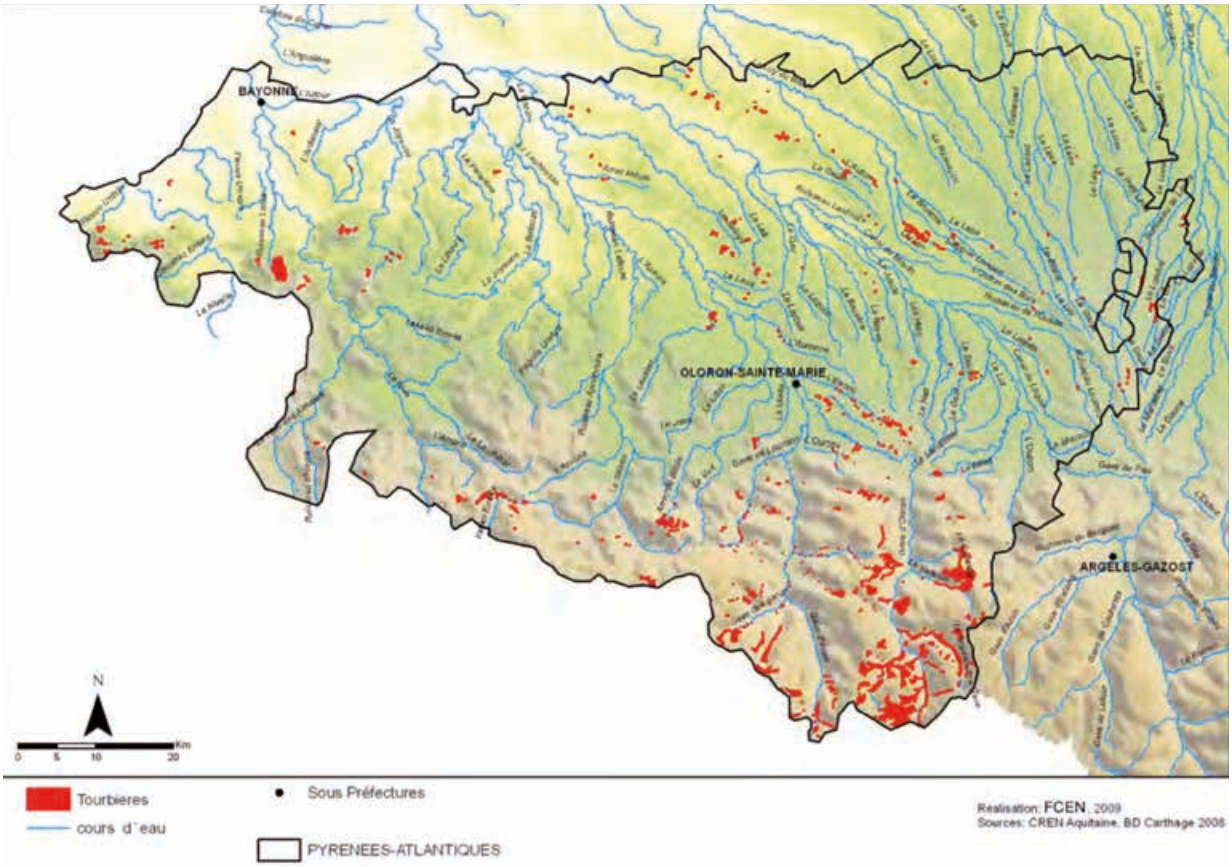


Figure 9 : *Tourbières des Pyrénées-Atlantiques (43).*

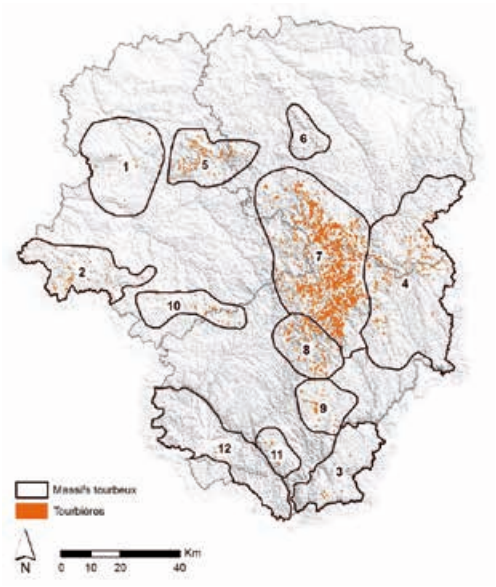


Figure 10 : *Les tourbières du Limousin : 1-Monts de Blond et secteurs environnant, 2-Monts de Châlus, 3-Xaintrie, 4-Est de la Montagne limousine, 5-Monts d'Ambazac et de Saint-Goussaud, 6-Monts de Guéret, 7-Plateaux de Millevaches et de Gentioux, 8-Monédières, 9-Plateaux sud-est corréziens, 10-Monts du Limousin, 11-Plateau d'Albussac, 12-Bassin sédimentaire de Brive (44).*

PRESSIONS

Les tourbières connaissent des pressions variées selon leur situation et leur mode d'alimentation. Les actions humaines demeurent au cœur de ces problématiques, tant directement (drainage, assèchement, comblement, etc.) (**Tableau 2**), qu'indirectement avec le risque d'assèchement lié à un bilan hydrique déficitaire (lié à des changements climatiques). Le détail par secteur géographique est disponible dans la synthèse précitée.

Sous l'angle purement quantitatif en matière de bilan hydrique, elles sont aujourd'hui particulièrement exposées notamment dans le cas des tourbières uniquement réalimentées par la pluie directe. Mais celles sous dépendance des nappes peuvent également connaître selon les cas une forte exposition à des étiages rallongés. La minéralisation et le tassement qui s'ensuivent demeurent des processus non rétrogrades. Même si des rares cas de reprise turfigène sont parfois décrits avec la reprise d'une réalimentation hydrique, il est globalement admis que les tourbières sont très faiblement résilientes.

TYPE D'ATTEINTE	NOMBRE DE CAS
Défrichement, surpâturage, coupes forestières	9
Incendies	9
Modification hydraulique	9
Piétinement, circulation motorisée	9
Artificialisation, décharges, remblais, routes	6
Création de plans d'eau	6
Drainages	6
Boisements, plantations, enfrichement	4
Fertilisation, pesticides, effluents	3
Exploitation ancienne de tourbe	1
Exploitation tourbe actuelle	1

Tableau 2 : *Classement des atteintes sur les tourbières inventoriées dans les Pyrénées-Atlantiques (43).*

4 LES ZONES HUMIDES ET LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Étant donné la diversité des zones humides sur le territoire, un exercice de prospective est conduit seulement sur la partie aquatique des zones humides avec un focus plus précis sur les marais rétro-littoraux, afin de mesurer l'influence des impacts du changement climatique.

INTERACTIONS ENTRE LES ZONES HUMIDES ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le réchauffement climatique est à l'origine d'une modification des équilibres pour un certain nombre de facteurs structurants pour le fonctionnement des zones humides. Les principaux facteurs forçants mis en cause sont les suivants :

- Le réchauffement de la température moyenne de la terre et des eaux superficielles. Depuis 1910, la température moyenne de la Terre s'est accrue d'environ 0,6 °C. Le scénario B2 du GIEC qui intègre une prise de conscience mondiale et une réduction significative des gaz à effet de serre prédit malgré tout une augmentation de la température moyenne globale de 2,4 °C et de 3 °C en France. Concernant la température moyenne des eaux superficielles, cette dernière a augmenté de 0,17 °C depuis 1969. C'est en Atlantique Nord qu'elle a été la plus marquée avec +0,4 °C **[45]**.
- L'élévation du niveau de la mer. Entre 1900 et 2000, une élévation moyenne globale de 1,7 mm/an a été relevée. Cependant, actuellement la tendance s'accélère avec une élévation de 31 cm sur un siècle pour les deux dernières décennies. Pour ce même scénario B2 du GIEC, cette augmentation du niveau marin serait comprise entre 0,20 et 0,43 m.
- L'augmentation de la fréquence d'apparition d'événements climatiques exceptionnels (vent, pluie…). Les crues et les submersions marines seront plus fréquentes.
- L'augmentation de la teneur en CO_2 de l'atmosphère, avec gain de production pour les producteurs primaires et acidification des eaux superficielles.

Ces principaux facteurs forçant du climat peuvent avoir une incidence directe sur le fonctionnement des zones humides mais aussi indirecte par l'impact sur les services et les usages. Inversement, les zones humides peuvent jouer un rôle dans la limitation du réchauffement climatique. En effet, les zones humides agissantes comme des puits de carbone, ont un rôle tampon, et pourraient aider à réduire dans une certaine mesure cette tendance. De plus, par leur capacité de régulation hydrologique, les zones humides participeront à atténuer l'incidence des événements climatiques aigus qui vont se multiplier. Pour toutes ces raisons, leur dégradation croissante pourrait être très préjudiciable et leur meilleure prise en compte est essentielle dans la définition d'une politique d'action en réponse au changement climatique.

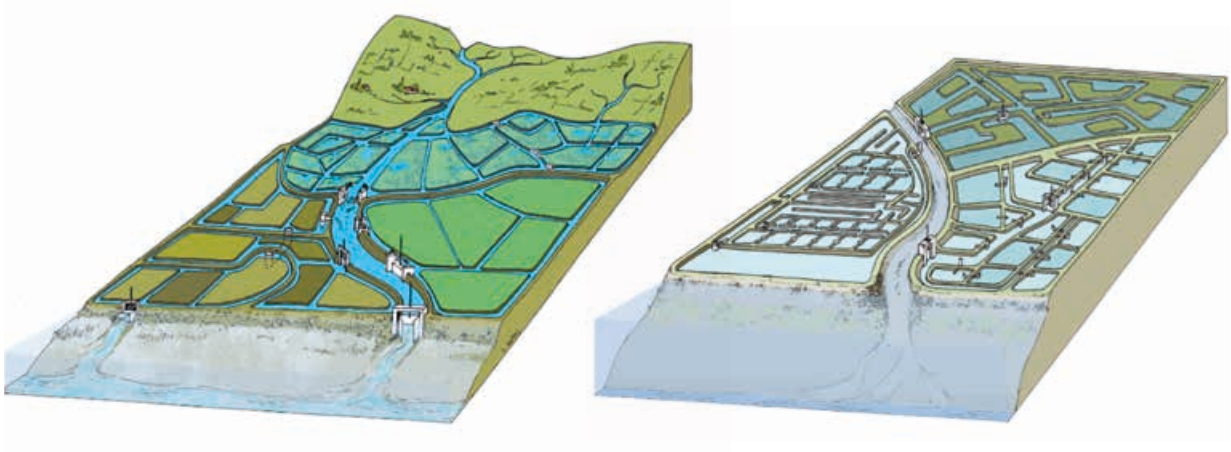
INCIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PARTIE AQUATIQUE DES ZONES HUMIDES : UNE ANALYSE PAR LE PRISME DU COMPARTIMENT PLANCTONIQUE SUR LES MARAIS RÉTRO-LITTORAUX

PRÉSENTATION SYNTHÉTIQUE DES MARAIS RÉTRO-LITTORAUX ET ESTUARIENS

Les marais rétro-littoraux se trouvent majoritairement sur le littoral océanique français le long des estuaires français soumis à la marée. Les deux estuaires majeurs sont celui de la Gironde et de la Loire. D'autres estuaires de dimensions plus modestes aboutissent parfois dans des régions de vastes marais, comme ceux de la Charente et de la Sèvre Niortaise. Ces marais s'inscrivent pour l'essentiel dans la tranche altimétrique comprise entre les plus hautes et les plus basses pleines mers.

C'est donc l'action de l'homme qui, par la construction de digue, a permis d'isoler ce territoire de l'influence de la marée et dans certains cas des fleuves. Même endiguées, ces zones de marais restent cependant sous la contrainte de la mer en rythmant les cadences de l'écoulement des eaux dans le réseau par l'ouverture des portes à la mer. L'anthropisation de ces zones humides a débuté au XIe siècle, et s'intensifie très fortement au cours du temps en fonction des usages développés sur les marais.

La **Figure 11** synthétise les principaux types de marais présents à ce jour sur la façade atlantique ainsi que leur fonctionnement hydraulique.



Marais doux (prairiaux ou cultivés). *Marais salés (salicoles, conchylicoles, piscicoles).*

Figure 11 : *Principaux types de marais présents à ce jour sur la façade atlantique (source : Forum des Marais Atlantiques).*

Du début du XIe siècle à nos jours, les marais estuariens ont vu leur statut et leurs usages évoluer très significativement. L'examen de l'histoire de la conquête des marais, de leurs aménagements et des usages associés témoigne d'une évolution originale des relations écologiques et économiques entre les marais et le sociosystème qui lui est associé (rôle ici des activités humaines en interaction avec les fonctionnalités et services assurés par les marais). Cette évolution s'est traduite par une influence réciproque des deux systèmes dans le temps **[26]**. Ainsi, on peut noter l'existence de rétroactions positives liées par exemple à l'amélioration sanitaire du fait du drainage qui rétablit la démographie et permet de mettre en culture ces mêmes marais, mais également des rétroactions négatives lorsque les guerres et l'insécurité ruinent les acteurs et conduisent à une régression forte des infrastructures associées.

Les zones humides de l'estuaire de la Gironde sont délimitées au sein du SAGE « Estuaire de la Gironde et Milieux Associés » par le Plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource en eau adopté par la Commission Locale de l'Eau (17 juin 2013). Elles représentent environ 10 % de la superficie totale et ces zones constituent un ensemble d'écosystèmes d'intérêt fonctionnel et patrimonial majeur au niveau de la région. Aux côtés de cette délimitation fonctionnelle, une délimitation administrative existe et repose principalement sur les communes, les syndicats intercommunaux hydrauliques ou de bassin versant (SIBV), des acteurs publics (conservatoire du littoral, conseil général), et les associations de propriétaires (ASP).

La nécessité de développer des politiques coordonnées à une échelle spatiale plus large s'est progressivement imposée à partir des années 1960 avec la création de dispositifs institutionnels particuliers (ASP et SIBV) encouragée par les communes. Le caractère de bien commun qui caractérise les marais étant mis en avant, une gestion commune territoriale s'est imposée. La gouvernance des zones humides dans l'estuaire de la Gironde se caractérise donc par

une diversité d'acteurs sur le territoire et une pluralité de niveaux d'intervention qui reflètent des compétences partagées entre les propriétaires et leur ASP d'appartenance, et les SIBV. C'est une gouvernance multiniveaux qui repose sur deux types de modèles, à savoir la fusion et l'union. Dans le cadre de l'union il y a mutualisation des moyens techniques mais les ASP continuent à assurer la gestion quotidienne de leur périmètre d'intervention. La fusion, quant à elle, favorise un modèle de gestion centralisé à l'échelle du SIVB. Cette dernière modalité est préférée par les collectivités publiques **[46]**.

Cependant, la priorité en matière d'intérêt public pour les zones humides a aujourd'hui changé. En effet, ce n'est plus l'assainissement et l'éradication des maladies palustres mais la conservation des fonctions assurées par ces écosystèmes qui devient un enjeu majeur pour la collectivité. Sur ce point, on peut noter qu'il persiste des activités économiques au sein de ces zones humides qui entretiennent des relations qui ne sont pas toujours complémentaires avec l'intérêt public, comme c'est le cas avec la poursuite de l'urbanisation ou encore de l'agriculture intensive. Plus récemment, des évolutions législatives ont renforcé la protection des zones humides avec notamment la loi du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux, la loi d'orientation agricole du 5 janvier 2006 et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006. On peut également citer les dispositifs adoptés dans le cadre du Grenelle 1 et 2 afin de restaurer la qualité des eaux et de préserver la biodiversité (exemple de la trame bleue pour la préservation des continuités écologiques des milieux nécessaires au bon état des eaux – DCE).

Par ailleurs, la Loi sur le Développement des Territoires Ruraux (2005) accorde une mission majeure aux ASP dans la gestion des dispositifs hydrauliques favorables aux zones humides. Cette perspective est en adéquation avec une logique préventive et de restauration de ces écosystèmes, riches en biodiversité. Considérant l'importance des zones humides estuariennes, les contours d'une gestion durable de ces écosystèmes, gestion multiniveaux et impliquant de nombreux acteurs du territoire, s'inscrivent dans un contexte réglementaire et institutionnel changeant où les ASP jouent un rôle incontournable dans le déploiement de l'action collective **[47]**.

Comme pour toute zone humide, le compartiment aquatique est déterminant pour les fonctions écosystémiques offertes par ces territoires. Toutefois, le caractère particulièrement anthropique des marais littoraux confère aux choix de gestion hydraulique un rôle prépondérant au cœur de ces équilibres. Ils constituent le facteur forçant essentiel de ces milieux.

Si la gestion quantitative est au cœur du statut « humide », l'appréciation de la résilience de ces milieux ne peut se passer de la connaissance des caractéristiques qualitatives de celles-ci. Les deux sont étroitement imbriquées dans une relation jouant sur les taux de renouvellement et le confinement de ces marais.

Essayer de prédire l'incidence du changement climatique sur les marais rétro littoraux passe donc notamment par une évaluation de la réaction du compartiment aquatique. Or, le fonctionnement des masses d'eaux des marais reste assez mal connu, mais se traduit de manière récurrente par des phénomènes de dystrophie plus ou moins marqués. Aussi, un programme entre l'UNIMA (Union des Marais de la Charente-Maritime), Forum des Marais Atlantiques (FMA) et l'Université de La Rochelle a débuté dans les années 2008 afin de mieux comprendre les facteurs influençant l'apparition des phénomènes de dystrophie et de développer des indicateurs de fonctionnement trophique pouvant traduire un bon fonctionnement des marais (bon état écologique, bonne qualité du milieu). L'étude du compartiment planctonique est apparue pertinente, du fait d'un compartiment biologique très réactif à des changements rapides dans l'hydrosystème **[48]**.

Les communautés planctoniques se succèdent au cours des saisons. Les conditions hydrologiques (teneurs en nutriments) et climatiques vont influencer directement l'apparition des successions planctoniques, dans l'ordre, hiver biologique puis réseau herbivore, réseau multivore faible, équilibré et fort **[49]**. Des blooms phytoplanctoniques (microalgues) apparaissent dès le début du printemps. Dans un milieu très courant, la rencontre entre les microalgues et les nutriments n'est pas optimale. De plus, la production est directement expulsée vers l'aval du système. Par conséquent, ces efflorescences algales sont favorisées lorsque le milieu présente un écoulement laminaire ou en conditions stagnantes (par exemple au moment de la fermeture des portes à la mer). De manière générale, les nitrates surtout montrent une forte saisonnalité avec des valeurs maximales en hiver résultant du drainage des sols par les précipitations et des valeurs en dessous de la limite de détection pendant la période productive planctonique. Cette consommation de nitrates est fortement reliée au développement du phytoplancton qui les assimile. Cependant, elle pourrait aussi bien être associée à des processus d'assimilation par les bactéries ou les macrophytes. Cette forte consommation de nitrates peut incarner la capacité épuratoire du marais (fonction biogéochimique), fonction primordiale des zones humides. Cependant, pour que l'épuration soit réelle, l'azote assimilé par le phytoplancton ou les macrophytes doit être exporté en dehors du système (ou séquestré dans le sédiment), soit physiquement en étant transporté à l'aval du système, soit par voie trophique *via* la prédation. Pour ce dernier mécanisme, le phytoplancton est directement source de nourriture pour des consommateurs primaires, le métazooplancton, à leur tour consommé par des juvéniles de poissons. La fonction habitat-nourricerie est optimale dans ces conditions. Au fur et à mesure de la saison, la maturation du réseau trophique planctonique s'opère, de l'hiver biologique vers un réseau multivore fort **[49]**. Cette fonction habitat peut être remise en cause lors de phénomènes de dystrophie où la biomasse planctonique est largement dominée par le compartiment bactérien, traduisant des phénomènes d'hypoxie marquée et parfois des développements de blooms de cyanobactéries dont certaines sont toxiques et constituent des impasses trophiques.

En fonction des espèces supérieures (poissons) et de leur tolérance à ces phénomènes, une remise en cause de leur condition d'accueil est possible. De plus, si des macrophytes (notamment la jussie, *Ludwigia*sp.) se développent en grande quantité en plein été, le développement phytoplanctonique est très fortement altéré. En cascade, les compartiments zooplanctoniques sont affectés. Le milieu assure la fonction biogéochimique mais en aucun cas la fonction habitat-nourricerie.

Ainsi, il est essentiel de comprendre le fonctionnement trophique des communautés planctoniques et les altérations possibles (bactéries, jussie, cyanobactéries, rajeunissement du système par apport de nutriments) afin d'en dégager les propriétés du système. L'ambition est de développer des indicateurs de fonctionnement trophique sur l'ensemble des marais rétro littoraux de la région Nouvelle-Aquitaine et de mettre à disposition des gestionnaires de zones humides un outil de diagnostic « indicateur de fonctionnement trophique » pour 1 l'aide à la gestion locale et 2 l'évaluation de l'état de santé des milieux aquatiques en marais ; cet indicateur vient en complément des boîtes à outils multithématiques développées par ailleurs par d'autres groupes experts (ex. boîte à outils « Rhomeo », indicateur du Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN), indicateurs Medwet, etc.).

SCÉNARII D'ÉVOLUTION ET INCIDENCE SUR LES FONCTIONS ET LES SERVICES DES ZONES HUMIDES : LE CAS DES MARAIS RÉTRO-LITTORAUX, GÉNÉRALISABLE SUR LA PARTIE AQUATIQUE DES ZONES HUMIDES

Scénarii sur le compartiment planctonique et son fonctionnement trophique

De façon fondamentale, les changements du climat vont agir sur le fonctionnement des communautés planctoniques des marais retro-littoraux et leurs fonctions/services associés. Ces modifications seront modulées par les choix de gestion qui seront pris en réponse à ce phénomène de changement.

L'augmentation de la température moyenne de la terre et des eaux superficielles vont modifier la biodiversité, les dynamiques et le fonctionnement des réseaux trophiques planctoniques.

Les espèces de phytoplancton (producteurs primaires) seraient potentiellement différentes : les cyanobactéries et les chlorophycées prolifèreraient plutôt que les diatomées **[50]**. La question sur l'altération de la fonction épuratoire se pose. Le zooplancton (consommateurs primaires) serait aussi potentiellement modifié : Garzke *et al.* **[51]** et Rasconi *et al.* **[50]** mentionnent que les communautés zooplanctoniques seraient de plus petites tailles (cladocères, copépodes). Les changements de biodiversité impliqueraient de potentiels changements de proies pour les consommateurs secondaires (comme des poissons). La fonction habitat serait alors altérée.

Les dynamiques et le fonctionnement des réseaux trophiques planctoniques pourraient être modifiés à cause de l'élévation de la température. Le passage d'un hiver biologique vers un réseau équilibré et fort serait modifié, et pourrait impacter le recyclage de la matière (boucle microbienne) qui pourrait se faire de façon beaucoup plus précoce et rapide dans la saison. Très tôt dans la saison, les producteurs primaires seraient contrôlés par les consommateurs primaires et secondaires **[52]**.

Une autre piste est que l'augmentation de la teneur en CO_2 pourrait permettre l'augmentation de la production du phytoplancton **[50]**. La fonction épuratoire (et la pompe à carbone) des eaux du marais serait ainsi largement favorisée jusqu'à la limite de la disponibilité des ressources en nutriments (azote et surtout phosphore en marais). Des modifications de la composition élémentaire du phytoplancton pourraient s'opérer et ainsi jouer sur l'intensité des processus de recyclage et le potentiel de la pompe à carbone. Cependant, le système basculerait très rapidement, par manque de nutriments, sur un système de recyclage de la matière (boucle microbienne très active) et diminuant significativement le piégeage du carbone dans le système (pompe à carbone).

Les périodes d'étiage vont s'accroître et la réalimentation naturelle ou artificielle des marais sera en baisse. Les niveaux d'eaux dans les marais seront en baisse malgré un besoin toujours présent de la ressource en eau pour les usages. Actuellement, dans les marais où les niveaux d'eau sont bas en fin d'été, sont remarqués des phénomènes de dystrophie avec une dominance du compartiment bactérien, traduisant des phénomènes d'hypoxie marquée et parfois des développements de blooms de cyanobactéries dont certaines sont toxiques (UNIMA, FMA, Université de La Rochelle, communication personnelle). Ces phénomènes de dystrophie ne feront qu'augmenter avec le changement climatique. La seule alternative, pour le moment pour éviter les phénomènes de dystrophie, serait d'être capable de renouveler la masse d'eau et/ou d'entretenir correctement les marais en conservant une lame d'eau suffisante servant de volume tampon (entretien régulier et raisonné des marais).

La submersion marine et la fréquence des événements climatiques extrêmes (tempêtes) auront tendance à augmenter. Les marais rétro-littoraux « récupèrent » assez vite en termes de fonctionnement trophique des communautés planctoniques (retour à un réseau trophique multivore équilibré au printemps) après une forte submersion marine (Xynthia en 2010). Ainsi le temps de résilience est de 3 à 4 semaines avec l'aide de l'homme, par remplacement de l'eau de mer par de l'eau douce dans les zones inondées. Mais si la fréquence de ces événements augmente, la question du temps de résilience de ces milieux reste à ce jour une question sans réponse par manque de connaissances fondamentales sur le sujet. Dans tous les cas, les communautés planctoniques auront une grande réactivité face aux changements climatiques.

En cas de maturation précoce du réseau planctonique, la fonction épuratoire des eaux du marais ne serait probablement pas altérée en début de saison, le carbone serait ainsi capté dans le système. Toutefois, les processus de recyclage de la matière s'installeraient ensuite rapidement (activation de la boucle microbienne), avec un fort taux de croissance bactérienne **[51]** baissant ainsi les besoins en apport de carbone extérieur (diminution de l'activité de la pompe à carbone).

L'impact sur la biodiversité, le développement d'organismes à taux de croissance rapide, la modification de l'efficacité écotrophique du système, nuisant gravement aux peuplements (invertébrés, batraciens, poissons), diminuerait la fonction habitat, entraînant une diminution des services rendus. Les dynamiques des communautés planctoniques pourraient aussi ne plus correspondre avec les cycles de vie des poissons ou autres organismes.

Même si la résilience apparente des milieux aquatiques peut sembler élevée face à des stress limités dans l'espace (ex. curage d'un marais) ou dans le temps (submersion marine temporaire), elle peut être mise à mal par réduction des renouvellements d'eau et l'intensification de pratiques stressantes pour le milieu (pressions agricoles et urbanisme). Il est donc nécessaire d'acquérir de la connaissance sur la résilience des marais et d'acquérir des indicateurs de bon état des milieux afin de mettre en évidence les altérations de ce « bon état », et à terme établir le lien avec les causes (nature et intensité des pressions sur les milieux). En tenant compte des limites importantes liées au niveau de connaissances actuel sur le fonctionnement et la résilience de ces milieux, la **Figure 12** présente différentes réponses envisageables du compartiment planctonique pour chaque scénario d'Adapt'Eau.

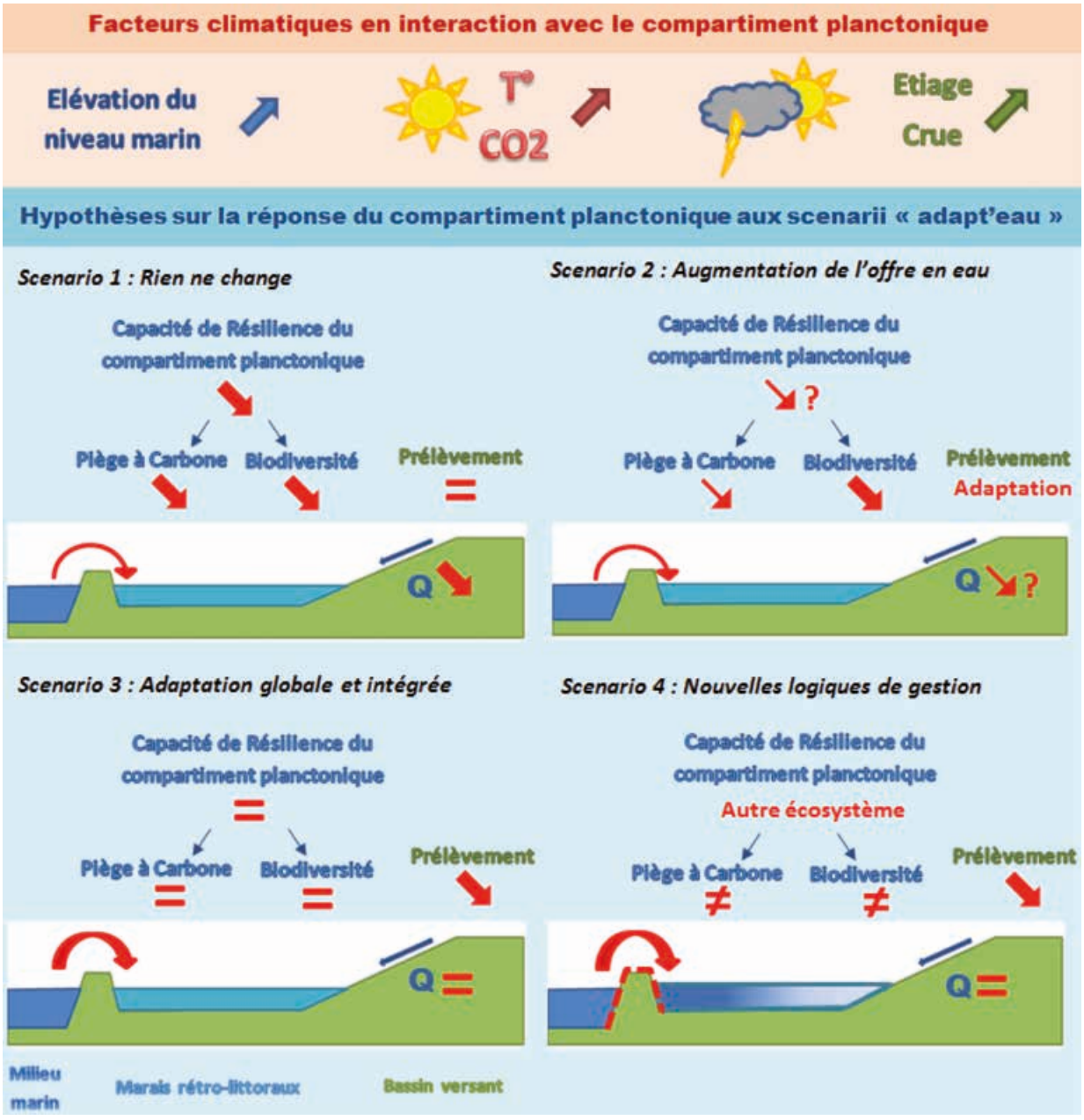


Figure 12: *Réponses envisageables du compartiment planctonique aux scénarii d'adaptation au changement climatique.*

En conclusion de cette partie, parmi les différentes possibilités ci-dessus, il apparaît que seul le facteur hydraulique représente un levier d'action réaliste pour construire une stratégie visant, pour le compartiment planctonique, à limiter l'incidence du réchauffement climatique voire à agir sur ce dernier.

Ce levier pourrait se décliner en deux axes de gestion comme :

- une augmentation du renouvellement de la masse d'eau par un travail global sur la ressource en eau

- un maintien du volume tampon offert par la hauteur de la lame d'eau par un entretien régulier et raisonné du réseau de canaux des marais (avec toutefois un risque de l'effet d'un curage de marais sur le compartiment planctonique encore en cours d'étude à ce jour et donc inconnu).

Scénarii généraux pour les marais littoraux

Il est proposé d'aborder de manière synthétique les cas de figures que nous voyons se dégager au vu des connaissances expertes actuelles. Trois facteurs forçant principaux seront retenus pour dessiner les cas suivants :

1. l'occupation agricole des sols, sous influence de la PAC (Politique agricole Commune européenne) et des politiques agricoles nationales ;

2. les déficits hydriques à l'étiage nécessitant des ré-alimentations à partir des cours d'eau ;

3. l'occurrence des expositions au risque de submersions (marines seule – et éventuellement fluviale conjointe). De manière synthétique les tendances sur ces trois facteurs forçant sont les suivantes :

- Une tendance forte d'allongement de la période d'étiage et de déficit hydrique. Les besoins en réalimentation s'accroissent dans la durée, et doivent faire l'objet de négociations tendues pour ménager les débits réservés pour les cours d'eau. Ce partage contribue à l'appauvrissement des débits d'alimentation estuariens connexes, amplifiant les problèmes de bouchon vaseux et de remontée du front de salé en amont.

- La politique agricole commune favorisant le subventionnement des cultures céréalières intensives, au détriment de l'élevage (extensif ou non), la demande en eau pour les zones de marais dédiées à cet usage demeure importante au printemps et l'été (et bas l'hiver). En l'absence d'entretien des réseaux hydrauliques tertiaires (tours de parcelles), qui se généralise dû aux manques de moyens des privés, et au recul de l'élevage qui occupe les espaces prairiaux, l'envasement de 60 à 80 % des réseaux se poursuit. Pour maintenir le rôle de clôture des fossés, la demande est orientée vers le maintien d'un niveau d'eau élevé l'été (au-dessus des vases qui s'accumulent). Au niveau du régime hydrologique, il faut noter que les niveaux d'eau induits sont inverses au régime naturel (haut l'hiver, s'amenuisant l'été). Les pratiques actuelles sont d'évacuer les excédents hivernaux à la mer (pour éviter l'ennoiement des semis) et d'alimenter les marais en eau de rivière pour conserver un niveau élevé de la nappe phréatique associée (pour éviter l'irrigation, et maintenir le rôle de clôture des fossés de bordure). En dépit de conflits d'usage, ces pratiques sont dans l'ensemble durablement installées dans les marais de culture et d'élevage, dont les usages imposent des niveaux hauts l'été et en début d'automne (pêche, chasse, loisir vert, certaines pratiques conservatoires).

- Les aléas de submersions marines sont demeurés faibles jusque dans les années 1980 même si celles-ci se sont produites à plusieurs reprises lors du siècle précédent. Toutefois, les météorologues s'entendent pour dire que l'exposition à cet aléa va croissant. Il s'est produit 2 submersions (1999, 2010) qui ont induit des temps de séjour de quelques jours à plusieurs semaines. Les stratégies de protection réalisées dans l'urgence pour y remédier ont consisté pour l'essentiel à restaurer ou renforcer les systèmes d'endiguement, et/ou améliorer les dispositifs hydrauliques de ressuiement (pour l'évacuation des trop-pleins). De rares cas de système intégrés (endiguements submersibles compartimentés à remplissage progressif) et/ou de dépoldérisation ont été entrepris, très peu de relocalisations d'activités ou d'usages ont été réalisés. Sur ce troisième facteur les occurrences statistiques de submersion sur les secteurs encore exposés à court et moyen terme demeurent incertaines, mais il est probable que leur impact sur les usages du sol sera contrasté en fonction de leur fréquence d'exposition.

À partir de ces tendances, et selon les combinaisons de ces facteurs, deux cas d'évolution tendancielle sont envisageables :

Cas 1 : *Statu quo* sur l'usage de l'eau et aléa de submersion peu fréquent

Les périodes d'étiage demeurent rallongées et la profession agricole obtient un partage de l'eau satisfaisant au maintien de l'activité céréalière et à l'élevage, dans le cadre d'une gouvernance qui maintient le statu quo des équilibres actuels (maintien de la PAC). La déprise de l'élevage se poursuit en raison de la chute des cours et l'indigence des aides publiques. Les zones prairials s'enfrichent sans reprise par les grandes cultures (interdictions légales), le réseau hydraulique s'envase, hormis sur les grands axes et en zones de grandes cultures, par abandon du curage du réseau prairial. L'exposition à l'atterrissement de ces zones s'intensifie, mais demeure réversible à 50 ans. L'aléa de submersion demeure à une occurrence à 1 pour 20 ans.

Au vu de la résilience des systèmes culturaux et prairiaux à la suite de Martin et Xynthia, la tenue des systèmes de culture et des prairies sont possibles (lessivage du sel en un à deux hivers).

La richesse écologique des milieux est suspendue à la gestion hydraulique de ces milieux semi-naturels. Les territoires en culture organisés en îlots concentrés conservent une faible typicité et richesse biologique, et les zones prairials qui offraient anciennement un fort potentiel de biodiversité connaissant une déprise progressive, s'exposent à une fermeture lente du paysage et un glissement de typicité vers des milieux humides semi-arborés pour, à terme (100 à 150 ans), s'atterrir et s'arborer (en dehors des zones soumises à l'aléa de submersion prolongée).

Lien avec scénarii 1 et 2 du chapitre « Disponibilité de l'eau et changement climatique ».

Cas 2 : *Statu quo* sur l'usage de l'eau et aléa de submersion fréquent

À situation agricole et gouvernance équivalentes, l'aléa de submersion est de 1 à 2 par décennie. Un effort des renforcements et rehaussement des digues par les pouvoirs publics est réalisé surtout dans les zones urbanisées. Au vu de la résilience des systèmes culturaux et prairiaux à la suite de Martin et Xynthia (lessivage du sel en un à deux hivers), la tenue des systèmes de culture atteint un seuil de non-rentabilité économique. En effet pour les exploitants ne disposant pas des ressources (trésorerie pour gypser les sols) et/ou des infrastructures (réseau drainant de ressuyage rapide) pour favoriser un lessivage dans la saison suivante, l'équilibre économique peut être mis en péril au bout de quelques submersions. Un pourcentage d'exploitations les plus fragiles, dans l'élevage et les grandes cultures, opère un retrait stratégique partiel de parcelles exploitées dès la seconde submersion. Les autres pratiquent ce retrait à partir des 4e et 5e (10 à 20 ans), plus par lassitude que par manque de moyens.

À terme l'emprise de ces usages se réduit, les milieux humides prennent une connotation mixte, avec des gradients salés, les endiguements des zones abandonnées hors zone urbaine se fragilisent. Des dispositifs de réduction des risques d'îlotage par submersion par contournement s'imposent sur les zones urbaines.

La biodiversité bénéficie progressivement du retrait des activités intensives, tout en connaissant des phases de transitions mosaïquées dans le temps et l'espace. La typicité purement « eau douce » recule en faveur d'espaces à salures intermédiaires, tandis que la biodiversité marine prend place temporairement sur une partie de l'espace.

Lien avec scénarii 2 et 3 du Disponibilité de l'eau et changement climatique. Les cas de figure des scénarii 3 et 4 du chapitre précité sont difficilement imaginables sans référentiels fonctionnels plus complets au niveau des hydrosystèmes de marais littoraux. Les systèmes artificialisés ne pouvant pas se référer à des états naturels pour prévoir des trajectoires écologiques, il demeure capital de développer ces connaissances (recherche-action, ingénierie) pour envisager des gains et les pertes fonctionnelles et de biodiversité. À cet effet, le développement d'indicateurs et leur déploiement sont des éléments clefs de cette connaissance. L'indicateur d'évaluation de la qualité trophique des milieux aquatiques peut avantageusement y contribuer. Il peut y jouer un rôle dans l'acquisition des connaissances fonctionnelles (écologie aquatique) et de révélateur du monde qui change (pression climatique, et liens milieux/usage).

Il est à noter que l'évolution des marais littoraux est également imaginée par différents groupes d'intérêt dont les visions et les modes d'actions sont partagés par une fraction croissante de la population. Ces groupes (associations : APN, pêche, chasse… ; structures parapubliques et publiques : conservatoires, État, collectivités territoriales, communes…) œuvrent avec énergie dans différents domaines : il s'agit de réduire l'emprise de l'agriculture intensive, redonner une place accrue à la gestion pastorale, glisser vers des régimes hydrologiques plus conformes au modèle naturel, modérer la consommation d'eau fluviale, réduire la pression urbaine, modérer et adapter le tourisme, augmenter la gestion conservatoire ; et commencer à réfléchir au retrait stratégique dans les zones humides exposées au risque de submersion.

Ces acteurs agissent dans un sens qui concorderait avec la proposition des scénarii 3 et 4 du chapitre « Disponibilité de l'eau et changement climatique ».

4 PERSPECTIVES

Dans un contexte de changement climatique, la préservation des zones humides constitue un enjeu de taille pour les territoires de Nouvelle-Aquitaine. Cette perspective peut être envisagée comme une coévolution des systèmes humains avec les systèmes naturels afin de rendre compte des processus de changements qui interviennent au sein des éléments des systèmes mais aussi entre les deux systèmes **[53]**.

Pour y parvenir, il devient urgent de définir la gestion durable des zones humides à partir d'une grille conceptuelle et opérationnelle à l'échelle globale. Dans cette perspective, une approche en termes de limites écologiques appliquées aux zones humides pourrait indiquer les seuils à l'intérieur desquels il serait possible de développer des activités humaines et économiques sans porter préjudice au fonctionnement des zones humides considérées. Ce faisant, elle permettrait d'appréhender la résilience des socioécosystèmes en se focalisant sur l'interface fonctionnalités-services.

Le développement de travaux interdisciplinaires complémentaires constitue ainsi une piste à poursuivre à la fois pour une meilleure compréhension des processus naturels à l'œuvre et en interaction avec les activités humaines qui s'organisent sur le territoire soumis aux changements climatiques.

BESOIN DE DESCRIPTEURS

Les zones humides ont longtemps été étudiées pour la biodiversité qu'elles abritent. La caractérisation des fonctions écosystémiques que ces territoires offrent est plus récente et tout particulièrement pour ce qui concerne le compartiment hydrique.

Ainsi, elles n'en demeurent pas moins un élément clé de l'atteinte du Bon État prescrit par la DCE. Elles sont de plus en plus prises en compte dans l'application française de la DCE via les programmes territoriaux et outils des agences de l'eau, où la notion de masses d'eaux est prépondérante. Cependant, il est primordial qu'elles y occupent à l'avenir une place plus importance encore, à la mesure des enjeux hydro-écologiques et sociétaux qu'elles représentent.

En vue de définir une politique d'action en réponse au réchauffement climatique, le développement d'un panel d'outils permettant de cartographier tous les types de zones humides, de décrire et d'évaluer les fonctions de ces milieux est essentiel. En effet, une meilleure description des fonctions écosystémiques permet en premier lieu d'identifier les leviers d'action sur lesquels seront bâties les différentes stratégies d'intervention, mais aussi d'anticiper l'incidence globale de ces politiques.

Pour reprendre l'exemple du compartiment planctonique, le développement de descripteurs fonctionnels permettrait de préciser la capacité de résilience de la masse d'eau selon les différents scénarii de gestion de l'eau et ainsi évaluer leur incidence sur les fonctions biogéochimiques (épuration) et habitat (biodiversité) du compartiment aquatique. Ceci permettrait de plus de disposer d'outils spécifiques à ces milieux pour suivre et évaluer les politiques d'action retenues, ce qui même dans le cadre strict de la DCE pose question en vue de la définition du Bon État.

Dans ce contexte, il est également primordial d'apprécier l'évolution des zones humides à partir d'un exercice de prospective territoriale, et cela dans un contexte marqué par de nombreuses incertitudes quant aux effets des changements climatiques. Un tel exercice peut compléter celui réalisé par le Conservatoire du Littoral sur l'évolution des territoires littoraux à l'horizon 2030 à la fois sur le plan socio-économique (urbanisation) et sur le plan des impacts climatiques **[54]**. La construction de scénarios à partir d'hypothèses relatives au risque de submersion marine ou à l'érosion pourrait rendre compte de nouveaux enjeux en matière de gestion intégrée du littoral. En ouvrant le champ des possibles, il serait possible d'identifier les transformations des zones humides et de leurs usages et d'entreprendre l'évaluation de ces socioécosystèmes particuliers à la fois en termes de patrimoine biologique et de services délivrés à la société. De tels enjeux sociétaux ne peuvent demeurer absents du domaine de l'action publique et invitent à reconsidérer la place des interdépendances entre les populations et ces écosystèmes dans l'élaboration des politiques publiques. Cette perspective conduit alors à s'interroger sur la manière de définir et mesurer la résilience des zones humides en privilégiant une approche de nature systémique susceptible de rendre compte de la dynamique complexe de ces socioécosystèmes.

Massifs montagneux

Le village et le cirque de Lescun © Lavigne

LES PYRÉNÉES
Coordination : **Frank D'Amico**
Rédacteurs : **Jean-Marc Arranz, Nathalie Bargerie, Christine Bouisset, Marion Charbonneau, Sébastien Chauvin, Frank D'Amico, Isabelle Degrémont, Gaelle Delétraz, Éloïse Deutsch, François Esnault, Didier Galop, Didier Grimal, Marc Pons, Emmanuel Rouyer, Éric Sourp**
Contributeurs : **David Amouroux, Idoia Arauzo, Matthieu Berroneau, Aurélien Besnard, Jules Chiffard Carricaburu, Fanny Mallard, Thomas Ruys, Juan Terrádez Mas, Blas Valero-Garces, Déborah Verfaillie, Samuel Morin, Jérémy Guerbette, Jean-Michel Soubeyroux**

MASSIF CENTRAL
Coordination : **Julien Dellier**
Rédacteurs : **Julien Dellier, Nicolas Lhéritier**

La montagne est un milieu vulnérable vis-à-vis du changement climatique comme l'indiquent déjà les évolutions paléoclimatiques.

Inédite à l'échelle des Pyrénées-Atlantiques, l'analyse de longues séries homogénéisées de données sur la période 1950-2013 indique une augmentation des températures de +0,2 °C à + 0,3 °C par décennie. Les projections climatiques établissent la poursuite du réchauffement : à l'horizon 2071-2100, selon le scénario RCP 8.5, le réchauffement pourrait atteindre 4°C. En matière d'enneigement, en dépit d'une forte variabilité inter-annuelle et d'une tendance plus marquée à basse altitude, une perte de 2 à 3 jours d'enneigement par décennie est observée depuis le début des années 1980 ; les projections futures présagent d'une accélération sensible à partir des années 2050. Ces changements physiques ont des conséquences sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes ainsi qu'un impact économique et social majeur. Les aspects opérationnels de l'appropriation du changement climatique, des stratégies d'adaptation et d'atténuation adoptées, mis en oeuvre à différentes échelles territoriales témoignent du besoin de mieux comprendre les interactions entre processus environnementaux et sociaux dans les espaces montagnards, avec au centre la question des perceptions et des représentations du changement climatique, qui demeure un volet essentiel pour saisir les freins et les leviers potentiels à l'adaptation des sociétés locales. En cherchant une meilleure résilience climatique et une planification plus durable de la totalité du modèle économique actuel, anticipation et adaptation sont les grands défis auxquels les différents territoires de montagne devront faire face. Cela passe nécessairement par une connaissance accrue de la question climatique et des risques naturels associés.

Concernant la montagne limousine, sa position en tête de bassin et ses ressources essentiellement de flux constituent un enjeu particulier vis-à-vis du changement climatique. Le maintien de zones humides et la biodiversité associée est conditionné par la préservation de la ressource en eau tandis que les pratiques agricoles, sylvicoles et d'élevage vont devoir quant à elles s'adapter à davantage de sécheresses. Sur le plan socio-environnemental, les caractéristiques démographiques (faible densité, ménages modestes) et l'ancienneté du bâti requièrent une attention particulière dans la mise en place de politiques d'accompagnement des territoires vers une meilleure résilience.

Nous, ou les générations futures, assisterons sans aucun doute à une recomposition des paysages montagnards. Sans réaction adaptée rapide, le risque est grand de laisser se modifier des services écologiques essentiels et d'impacter les activités et le bien-être d'une partie de la population dépendant des ressources de haute et moyenne altitudes.

ÉCHELLE LOCALE
pas intégrée dans
LES MODÈLES CLIMATIQUES

1950➡2013

+0,2 °C à +0,3 °C
PAR DÉCENNIE

-2 à 3
JOURS D'ENNEIGEMENT
PAR DÉCENNIE
entre décembre et avril depuis 1980

BIODIVERSITÉ
Avant
Après
- DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET ISOLEMENT POPULATIONNEL

RECOMPOSITION CONSTANTE

INCIDENCE SUR LES ÉCOSYSTÈMES
et sur les bénéfices qu'en tirent LES SOCIÉTÉS HUMAINES

PYRÉNÉES

TRÈS VULNÉRABLE AUX CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

Forêt

Prairies et écosystème agro-pastoral pyrénéen

LIMOUSIN

EN TÊTE DE BASSIN-VERSANT

PASSOIRES THERMIQUES

FAIBLE DENSITÉ

PAYSAGES DYNAMIQUES

CONNAÎTRE ET COMPRENDRE

LA QUESTION CLIMATIQUE ET LES RISQUES NATURELS ASSOCIÉS

SYSTÈMES AGROPASTORAUX

INFORMER, SENSIBILISER AUX PRATIQUES D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION

PERCEPTIONS ET REPRÉSENTATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR LES "MONTAGNARDS" POUR FAIRE ÉVOLUER LES PRATIQUES

ADAPTER LES MOBILITÉS ET LES FAÇONS D'HABITER

Figure 1 : *Localisation des zones montagneuses en Nouvelle-Aquitaine (UMR 6042 Géolab).*

LES PYRÉNÉES

« Points chauds » de biodiversité et d'habitats originaux, lieux d'interactions entre processus environnementaux et sociaux, les socioécosystèmes montagnards rendent des services écologiques extrêmement importants. Comme établi précédemment **[1]**, le changement est déjà bien visible dans les montagnes de la région Nouvelle-Aquitaine, avec des modifications climatiques et environnementales auxquelles elles répondent, de manière rapide et tangible, saisissables par des phénomènes alarmants comme la thermophilisation **[2] [3] [4]**.

L'analyse de la bibliographie récente corrobore ces faits, permet d'affiner certaines conclusions, et pointe des manques en matière de connaissance toujours trop prégnants. En matière de changement climatique, il semble que les régions de haute altitude soient plus sensibles que d'autres. Il est essentiel de vérifier cette tendance rapidement tant les changements climatiques dans ces zones d'altitude sont déterminants pour le fonctionnement de la cryosphère (par exemple bilan de masse des glaciers et transformations du manteau neigeux en hiver et au printemps) et des régimes hydrologiques associés (qui conditionnent à leur tour les usages sociétaux comme l'irrigation, l'hydroélectricité et l'industrie du tourisme hivernal). De même, ces mutations structurent le fonctionnement et la réaction des écosystèmes (en modifiant les communautés végétales et les réseaux trophiques par exemple) et aggravent les impacts sur la biodiversité. Certains résultats attestent d'un réchauffement amplifié avec l'altitude (Mountain Research Initiative EDW Working Group, **[5]**), un phénomène connu sous le nom technique de "réchauffement dépendant de l'altitude[1]": les environnements de haute montagne subissent des changements de températures plus rapides que la moyenne mondiale et que ceux de plus basse altitude. Cependant, notre compréhension du changement climatique (à la fois dans ses dimensions historique et future) dans les régions montagneuses est encore trop limitée, notamment en raison d'un manque d'observations à haute altitude et d'une représentation relativement grossière de la topographie de montagne dans les modèles climatiques.

Si les avancées récentes de la connaissance viennent renforcer des évidences, elles viennent aussi parfois bousculer des idées reçues. La topographie des montagnes est-elle nécessairement celle d'une pyramide ? Face à l'épreuve de la hausse des températures, la conséquence la plus évidente est-elle de voir chaque montagne comme un gigantesque « tapis roulant » qui va emporter les espèces de plus en plus haut ? En effet, la situation des populations d'espèces montagnardes devrait être particulièrement critique, avec des alternatives comme disparaître localement (extirpation), s'adapter sur place ou se déplacer **[6]**. La logique voudrait qu'elles fassent face à une réduction de la superficie d'habitat disponible et à un risque accru d'extinction sans déplacement rapide et possible vers des altitudes plus élevées un processus imagé en « effet escalator » **[7]**. Cependant, cette logique repose sur l'hypothèse que la surface diminue de façon progressive au fur et à mesure que les espèces se déplacent vers les sommets. Autrement dit, cela suppose que toutes les montagnes soient en forme de pyramide… ce qui n'est pas le cas ! Dans une étude originale, l'analyse de la relation entre la forme des montagnes de notre planète (à partir de courbes hypsographiques de 182 des chaînes de montagnes du monde) et la possibilité de déplacements des organismes a permis de révéler que 68 % de ces chaînes de montagnes avaient des topographies différentes de la forme classique de la pyramide **[8]**. En réalité, quatre types morphologiques (modèles hypsographiques) existent : pyramide (32 % des cas), pyramide inversée (6 %), diamant (39 %) et sablier (23 %). Les Pyrénées sont typiquement des montagnes en forme de pyramide, dans lesquelles tous les cortèges d'espèces montagnardes seront menacés par le changement climatique en raison des pertes de surface attendues si les limites de l'aire de répartition se déplacent uniformément vers le haut.

D'autres découvertes interrogent. Peut-on par exemple imaginer une fonte des neiges plus lente dans un contexte de réchauffement rapide ? Il semble que oui, comme nous en avertit l'étude de Musselman *et al.* **[9] [10] [11]**. Même si les résultats sont établis aux USA, cette étude démontre que si le réchauffement climatique entraîne une fonte des neiges plus précoce, celle-ci se trouvera décalée vers une période de l'année où l'intensité du soleil sera plus faible et moins puissante. Ainsi, en raison de la faible énergie du soleil, la neige devrait finalement fondre à un rythme plus lent **[10] [11]**. Ce qui pourrait avoir un large éventail d'impacts sur la production agricole, l'industrie, la production hydroélectrique et l'approvisionnement en eau de villes entières. Effectivement, dans les Pyrénées, comme dans de nombreuses régions du monde, la fonte de la neige accumulée en hiver représente la source dominante d'eau annuelle pour le débit et la recharge des nappes phréatiques **[10] [11]**. Cette ressource hydrique saisonnière est l'une des caractéristiques hydrologiques les plus changeantes du réchauffement climatique, avec des répercussions importantes sur l'économie, les fonctions et services écosystèmiques et la prise en compte de certains risques (inondations, avalanches…).

1 • 'elevation-dependent warming' en anglais

1 LE CLIMAT DU PASSÉ

Face aux changements climatiques annoncés pour les prochaines décennies, un regard sur les évolutions paléoclimatiques est utile, pour ne pas dire indispensable, ne serait-ce que pour prendre la mesure de la rupture qu'elles introduisent par leurs trajectoires, amorcées au cours des derniers millénaires. Mais ce retour sur le passé est également utile pour mieux appréhender les possibles conséquences du changement climatique sur les écosystèmes bien qu'en ce qui concerne le massif pyrénéen, la réalité nous confronte à l'existence d'un double déficit de connaissance dans ce domaine. Un déficit quantitatif tout d'abord : car les données paléoclimatiques régionales restent limitées, en particulier pour la partie nord-occidentale de la chaîne pyrénéenne. Situation qui contraste singulièrement avec la relative abondance des informations acquises ces dernières années sur le versant sud par les équipes de recherches espagnoles **[12]** ou sur la partie centrale et orientale du versant nord. Un déficit qualitatif ensuite : car si nous connaissons de mieux en mieux les effets des fluctuations climatiques passées sur la distribution de la couverture végétale, sur l'érosion et les phénomènes hydrologiques ou bien encore sur les régimes d'incendies **[13]**, les travaux ayant abouti à des reconstitutions quantifiées des paramètres paléoclimatiques (températures, précipitations) restent extrêmement rares dans les Pyrénées **[14] [15]**. Il y a dans ces deux déficits des enjeux majeurs pour la recherche scientifique des prochaines années.

Pour l'heure, ce sont seulement les deux enregistrements polliniques des tourbières d'Occabe (1 300 m, massif d'Iraty) et de Piet (1 155 m, vallée d'Ossau) (**Figure 2**) qui permettent de documenter les évolutions paléoclimatiques des montagnes de la Nouvelle-Aquitaine à partir des transformations de la végétation régionale survenues au cours des seize derniers millénaires.

Ces transformations sont intimement liées au cycle qui régit inexorablement le climat de la planète et fait alterner à des échelles de temps multimillénaires épisodes glaciaires et stades de réchauffement interglaciaires. Ainsi, depuis plus de quinze mille ans, les forêts pyrénéennes se sont mises en place à la faveur d'une amélioration climatique contrôlée par un changement des paramètres orbitaux et une augmentation de l'insolation estivale. Une dynamique marquée par le développement successif d'espèces forestières dont les derniers représentants (dans l'ordre d'apparition) ne sont autres que le sapin et le hêtre, espèces emblématiques des forêts basco-béarnaises.

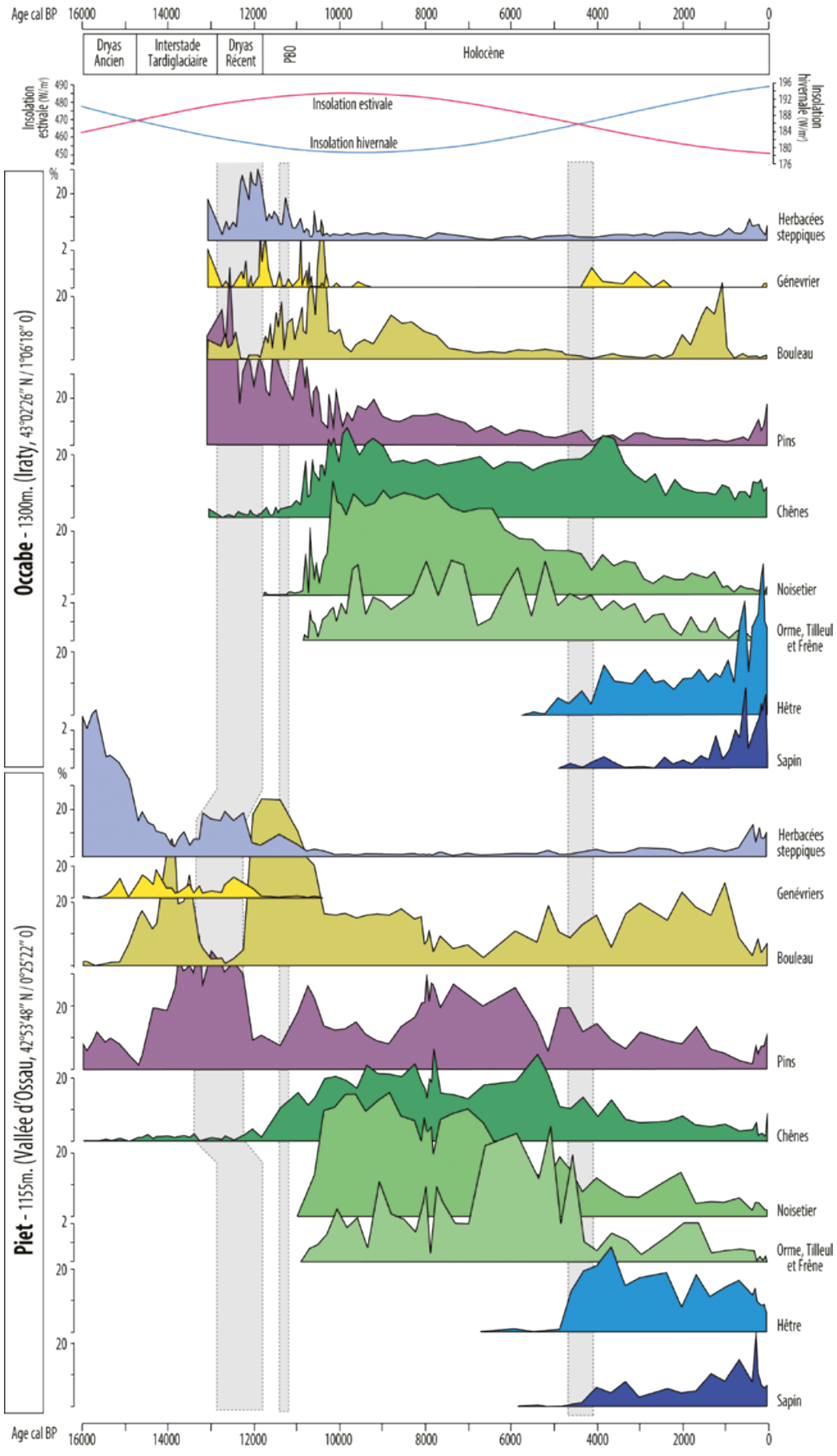


Figure 2 - *Diagrammes polliniques simplifiés des tourbières d'Occabe (Iraty) et de Piet (haute vallée d'Ossau) présentés sur une échelle chronologique en années calibrées avant le présent (1950). Ces enregistrements polliniques reconstituent les grandes étapes d'évolution de la couverture forestière au niveau de l'étage montagnard des Pyrénées basco-béarnaises. Les courbes d'évolutions de l'insolation sont établies à partir de Berger et Loutre (16).*

Il y a 16 000 ans, à la fin de l'épisode würmien et peu après le dernier maximum glaciaire, durant une phase froide reconnue sous le nom de Dryas ancien (GS-2) les paysages végétaux montagnards restent encore dominés par des cortèges herbacés steppiques à armoises, mais les premiers signaux d'une recolonisation forestière pionnière apparaissent avec le développement du genévrier. Cette reconquête forestière, corollaire de l'augmentation de l'insolation estivale et de l'amélioration des conditions climatiques, s'ancre véritablement il y a 15 000 ans, au cours de l'interstade *Bølling/Allerød* (GI-1). Elle s'accompagne du développement simultané des espèces pionnières que sont le genévrier et le bouleau, suivi de près par le pin. Le réchauffement général du climat est cependant ponctué par des événements climatiques abrupts. Ainsi, comme le montrent clairement les enregistrements polliniques, l'expansion forestière est stoppée il y a près de 12 700 ans par un épisode de refroidissement et d'aridité baptisé Dryas récent (GS-1). Cette détérioration climatique brutale et planétaire, responsable d'une nouvelle avancée des glaciers pyrénéens **[17]** est bien lisible dans les montagnes de Nouvelle-Aquitaine, notamment par le recul du bouleau et la réinstallation des steppes herbacées à armoises. À partir des restes de chironomes conservés dans les sédiments du paléolac du col d'Ech dans les Pyrénées centrales, des reconstitutions quantitatives ont pu être menées sur cet épisode et indiquent une chute des températures moyennes de l'air du mois le plus chaud de l'ordre de -1,5 °C par rapport à la période précédente **[15]**. Un millénaire plus tard, les conditions climatiques s'améliorent à nouveau, de manière durable cette fois. En effet, l'insolation estivale augmente et les températures de l'air atteignent 17 °C en moyenne pour le mois de juillet aux environs de Lourdes. Dès lors, la forêt connaît un nouvel essor (il y a un peu plus de 11 500 ans) et sur l'ensemble des montagnes basco-béarnaises, il se caractérise par une forte expansion du bouleau, suivi d'un développement des chênes, puis du noisetier. Ce dernier deviendra dominant tandis que se déploient à leur tour l'orme, le tilleul et le frêne. L'apogée de cette forêt mixte caducifoliée marque la phase la plus chaude de l'Holocène. Enfin, il y a moins de 5 000 ans, deux essences montagnardes à savoir le hêtre puis le sapin font leur entrée dans ce cortège forestier. Elles s'étendent rapidement au détriment des autres espèces, en bénéficiant d'un rafraîchissement des conditions climatiques qui résultent de l'abaissement de l'insolation estivale et de l'entrée dans un épisode néoglaciaire dont les manifestations les mieux connues correspondent à l'épisode du « Petit Âge Glaciaire » (XIV^{e}-XIX^{e} siècle) ; cet épisode récent et polyphasé de refroidissement des conditions climatiques a été particulièrement bien mis en évidence par l'étude des cernes de croissance des hêtres dans le massif d'Iraty **[18]**.

Bien que les données soient encore lacunaires et nécessitent des efforts tant dans l'acquisition de registres paléoclimatiques à haute résolution chronologique, que dans le domaine des reconstitutions quantitatives des paramètres climatiques, les tendances générales enregistrées au cours des seize derniers millénaires dans les Pyrénées-Atlantiques démontrent la sensibilité du milieu montagnard et la très forte réactivité des paysages végétaux d'altitude aux changements climatiques, y compris dans le cadre d'événements abrupts caractérisés par des variations de températures de quelques degrés. Cet enseignement devrait lever toute ambiguïté sur les conséquences à moyen terme du changement climatique en cours : nous, ou les générations futures, assisterons sans aucun doute à une recomposition des paysages végétaux montagnards.

Le Pic d'Anie depuis les Arres d'Anie

© Lavigne

2 CHANGEMENTS CLIMATIQUES DEPUIS 1950 ET PROJECTIONS

LES TEMPÉRATURES

Le milieu montagnard est fortement influencé par le changement climatique et, comme pour l'ensemble du globe, le signal le plus perceptible est l'élévation des températures. Sur les Pyrénées-Atlantiques, deux stations de montagne disposent de longues séries homogénéisées de températures sur la période 1950-2013, l'une à basse altitude : Accous (465 m) et l'autre à une altitude plus élevée (1 132 m) sur la commune de Laruns. En ces deux points de mesure la tendance annuelle d'évolution des températures est similaire. Sur la période 1950-2013, les températures ont augmenté de +0,2 °C à +0,3 °C par décennie. Cette tendance s'applique aussi bien aux températures minimales que maximales (**Figures 3 et 4**). Mis à part en automne, l'augmentation des températures au pas de temps saisonnier est du même ordre de grandeur (de l'ordre de +0,2 °C par décennie). La hausse des températures depuis le milieu du XX^{e} siècle est donc significative. En cela le climat montagnard s'inscrit totalement dans le schéma général observé sur l'ensemble de la France métropolitaine avec une accélération du réchauffement depuis les années 1980. Les projections climatiques montrent, sur les Pyrénées-Atlantiques, une poursuite du réchauffement annuel jusqu'aux années 2050, quel que soit le scénario. Sur la seconde moitié du XXI^{e} siècle, l'évolution de la température moyenne annuelle diffère significativement selon le scénario considéré. Le seul qui stabilise le réchauffement est le scénario qui intègre une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO_2 (RCP 2.6). Selon le scénario sans politique climatique (RCP 8.5), le réchauffement pourrait atteindre 4 °C à l'horizon 2071-2100.

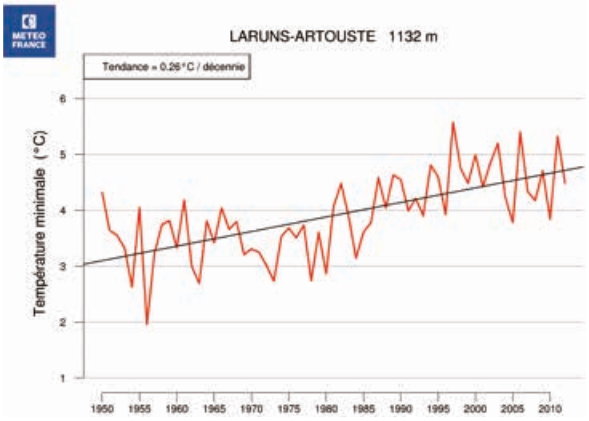


Figure 3 : *Évolution des températures minimales annuelles à Laruns (1 132 m) depuis 1950 (courbe rouge). La droite en trait noir correspond à la tendance linéaire calculée sur la période 1950-2013.*

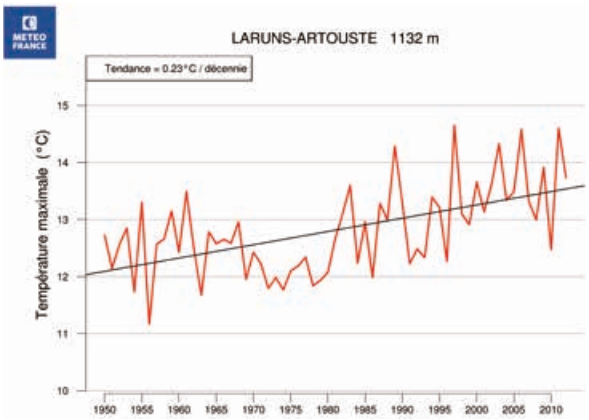


Figure 4 : *Évolution des températures maximales annuelles à Laruns (1 132 m) depuis 1950 (courbe rouge). La droite en trait noir correspond à la tendance linéaire calculée sur la période 1950-2013.*

ENCADRÉ 1 : SÉRIES HOMOGÉNÉISÉES

Les séries de mesures ne sont pas directement utilisables pour analyser les évolutions du climat. En effet, elles sont affectées par des changements dans les conditions de mesure au cours du temps, comme des déplacements de la station de mesure, ou des changements de capteurs. Ces changements provoquent des ruptures, qui peuvent être du même ordre de grandeur que le signal climatique. L'homogénéisation est un traitement statistique **[19]** qui consiste à détecter et corriger les ruptures dans les séries brutes, afin de produire des séries de référence adaptées pour quantifier le changement climatique. Pour les indicateurs ayant trait aux précipitations et aux températures, nous utilisons préférentiellement ces longues séries homogénéisées **[20]**.

LES PRÉCIPITATIONS

Sur les Pyrénées-Atlantiques, y compris en montagne, les précipitations annuelles présentent une grande variabilité d'une année sur l'autre. En moyenne, on observe une tendance à la baisse des cumuls de précipitations sur la période 1959-2009. Cette évolution[2] est cependant peu marquée et peut varier selon la période examinée. Quel que soit le scénario considéré, les projections climatiques montrent peu d'évolution des précipitations annuelles d'ici la fin du XXIe siècle sur les Pyrénées-Atlantiques. Le constat est identique pour les précipitations hivernales. En revanche, en été, le scénario sans politique climatique (RCP 8.5) indique une diminution des précipitations.

L'ENNEIGEMENT

La neige est un des éléments les plus sensibles au changement climatique, et le manteau neigeux présente une forte variabilité inter-annuelle. Depuis le début des années 1980, le nombre de jours avec un sol enneigé a notablement diminué sur la période décembre-avril. Par exemple à Iraty (1 327 m), en 30 ans, on a perdu entre 2 et 3 jours d'enneigement par décennie (**Figure 5**). Cette évolution est le résultat de débuts d'hiver plus tardifs et de fontes du manteau neigeux plus précoces en fin de saison. Cette tendance est plus marquée à basse altitude, signe également de la remontée de la limite pluie/neige.

Le nombre de jours fortement enneigés (épaisseur supérieure à 30 cm) tend aussi vers une diminution[3] au cours de ces 30 dernières années et pourrait résulter d'une réduction de l'épaisseur du manteau neigeux.

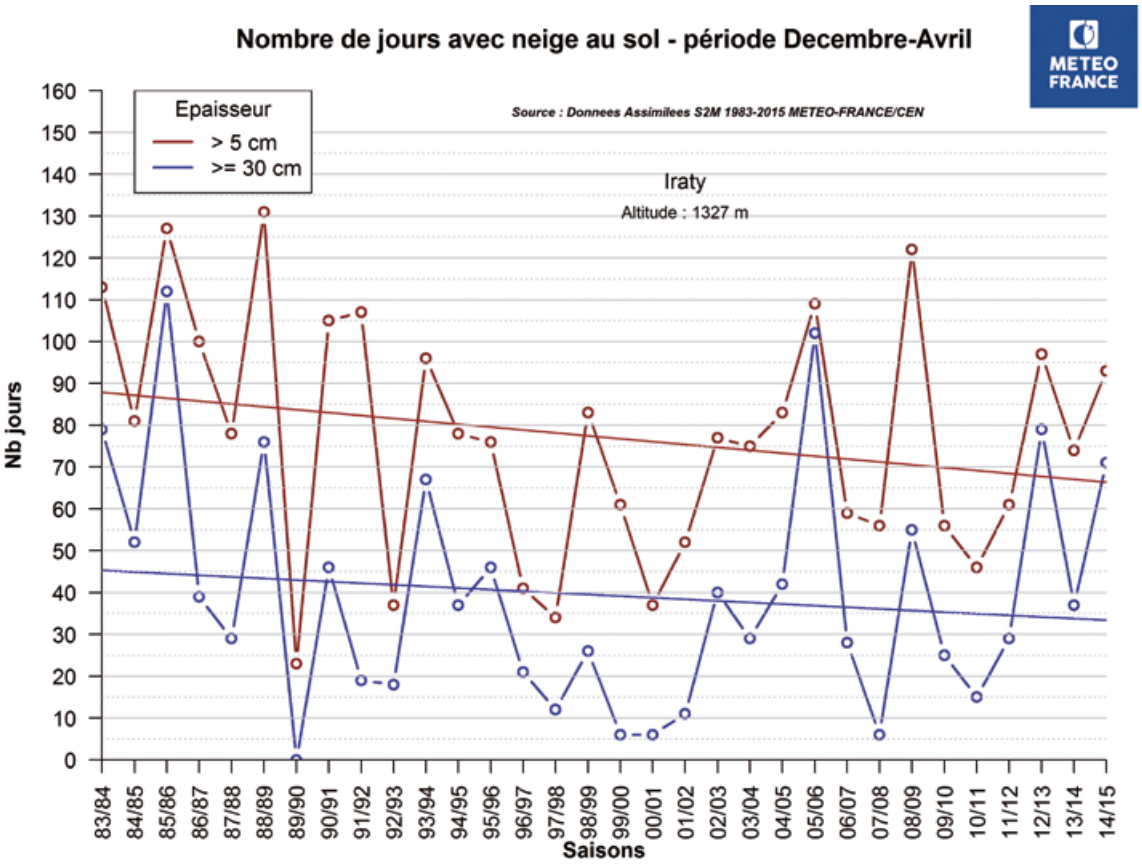


Figure 5 : *Évolution à Iraty (1 327 m) du nombre de jours avec neige au sol durant la saison hivernale (de décembre à avril), depuis décembre 1983. La courbe marron représente le nombre de jours avec plus de 5 cm au sol, la courbe bleue le nombre de jours avec plus de 30 cm au sol.*

*2 • ClimatHD : **www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd***

3 • C'est le cas aussi sur le versant espagnol des Pyrénées sur la période 1970-2007, où l'évolution est négativement corrélée avec la fréquence des jours chauds et secs [21].

Les projections futures montrent une légère baisse de la hauteur de neige à 1 800 m sur le massif Aspe-Ossau jusque dans les années 2030 puis une accélération sensible à partir des années 2050 (**Figure 6**).

Selon le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) à cette altitude la neige pourrait même devenir rare d'ici la fin du siècle.

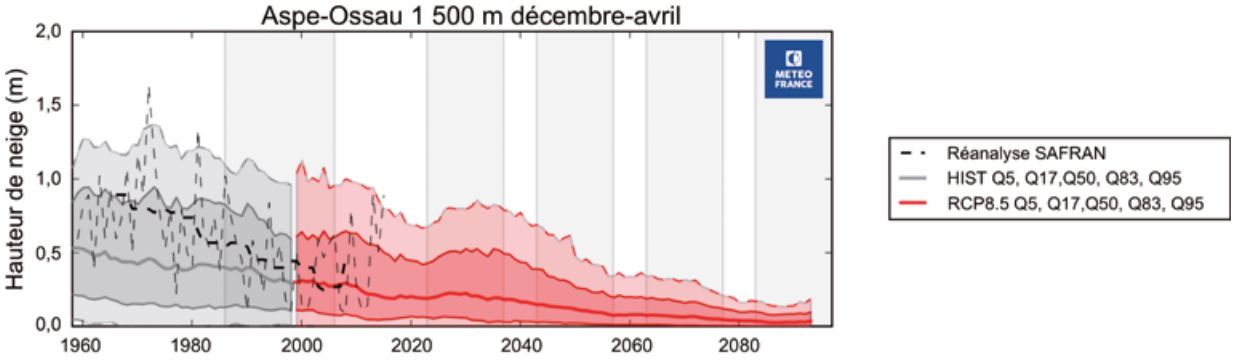


Figure 6 : *Analyse (traits noirs) et scénarios climatiques historiques (gris) et futurs (rouge – scénario RCP 8.5). Les valeurs présentées correspondent aux quantités 5 %, 17 %, 50 % (médiane), 83 % et 95 % des valeurs annuelles de hauteur de neige moyenne pour des périodes glissantes de 15 ans dans le massif Aspe-Ossau à une altitude de 1800 m. Les projections proviennent du projet européen EUROCORDEX, et ont été ajustées grâce à la méthode ADAMONT en utilisant la réanalyse SAFRAN-Nivo comme base d'observations (22).*

Le Pic d'Orhy depuis Iraty

© Lavigne

3 RÉPONSES DES ORGANISMES ET DES ÉCOSYSTÈMES

Les changements structurels dans la biodiversité ne sont pas sans incidence sur le fonctionnement des écosystèmes et sur les bénéfices qu'en tirent les sociétés humaines. Comme toutes les montagnes appartenant à la catégorie hypsographique des pyramides **[8]**, les Pyrénées hébergent une biodiversité particulièrement vulnérable vis-à-vis du changement climatique. Dans l'ouvrage précédent **[1]**, les connaissances encore lacunaires sur les réponses de quelques espèces emblématiques étaient présentées et l'attention du lecteur était attirée sur le manque flagrant de connaissances pour la plupart des espèces, qu'elles soient identifiées comme vulnérables ou non. Les nouveaux programmes de recherche lancés en réponse à l'identification de ces lacunes majeures *[cf. Webcomplément]* offrent de nouvelles connaissances.

LA BIODIVERSITÉ AU FRONT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les recherches récentes éclairant l'impact du changement climatique se sont surtout focalisées sur quelques espèces endémiques pyrénéennes ou pyrénéo-cantabriques comme le Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*), l'Euprocte des Pyrénées (*Calotrition asper*) et la Vipère de Seoane (*Vipera seoanei*). Les observations et les travaux de modélisation réalisés dans le cadre du Plan National d'Actions en faveur du Desman des Pyrénées ont quantifié le déclin de cette espèce en à peine 25 ans (i.e. entre la période 1985/1992 et 2011/2013) **[23] [24]** : la qualité moyenne d'habitat (c'est-à-dire la favorabilité) pour le Desman dans les Pyrénées françaises, exprimée sous forme de probabilité, qui était évaluée à 0,70 (± 0,27) en 1985-1992, a ainsi diminué jusqu'à 0,32 (± 0,17) en 2011/2013. Les facteurs climatiques et hydrologiques influent fortement sur la répartition de l'espèce ; corollaire de la modélisation effectuée, pendant cette période, une hausse des températures a été observée (+0,49 °C en moyenne), alors que les précipitations (-166,78 mm) et les débits des cours d'eau (-0,22 m^3/s) baissaient. Cependant, le déclin dramatique du Desman des Pyrénées est beaucoup plus rapide que la perte de qualité de son habitat (notamment dans les secteurs les plus pluvieux, les plus froids et les plus pentus, situés dans les Pyrénées occidentales et sur les zones les plus élevées) et des changements dans l'occupation du sol des 25 dernières années, ce qui laisse supposer l'influence de facteurs autres que climatiques. Les secteurs les plus favorables à l'espèce restent les têtes de bassin versant des grands cours d'eau des Pyrénées, avec un gradient décroissant est-ouest assez marqué révélant une vulnérabilité supérieure des populations dans les Pyrénées-Atlantiques **[24]**.

D'autres travaux de modélisation révèlent que le changement climatique limiterait également de manière drastique les possibilités de dispersion des individus d'Euprocte des Pyrénées **[25]**, bien qu'il subsisterait quand même des zones relativement stables dans l'aire de répartition de l'espèce, indiquant une possibilité de maintien relatif de certaines populations au fil du temps. Cependant, une perte majeure de diversité génétique des populations restantes est révélée, soulignant de surcroît l'importance de tenir compte de la variation génétique intraspécifique dans les études d'impact des changements climatiques.

La Vipère de Séoane, endémique du Pays Basque où elle est présente le long de la frontière depuis la côte atlantique jusqu'à la forêt d'Iraty et la chaîne cantabrique, devrait aussi subir des réductions dramatiques de sa répartition d'ici 2050 et une disparition totale dans notre région d'ici à 2080 **[26]**.

Les connaissances acquises à l'échelle régionale font état d'une réduction de la répartition des populations étudiées au cours des dernières décennies et, conformément aux prédictions théoriques plus globales, confirment donc la réalité et la prégnance des déplacements de populations d'espèces vers des altitudes plus élevées comme réponse majeure ou dominante. Loin d'être anecdotiques ou neutres, ces déplacements (effet « escalator ») entraînent une réduction de l'aire de répartition régionale et une augmentation de la fragmentation des populations (avec des conséquences génétiques). C'est une épée à double tranchant avec des conséquences positives et négatives sur la biodiversité : en suivant le changement climatique vers le haut, et malgré une certaine limite altitudinale vite contrainte par la réalité de la topographie, les espèces dont les enjeux de conservation sont considérés comme prioritaires pourraient persister localement **[6]**. Certaines de ces espèces « montantes » constituent cependant une nouvelle menace pour les communautés qu'elles rencontrent, de par les interactions potentielles qu'elles engendrent qui peuvent s'apparenter à des nouvelles invasions **[27] [28]**.

Hormis ces résultats, le constat établi en 2013 **[1]** prévaut toujours car les effets du changement climatique sur la très grande majorité de la biodiversité montagnarde régionale restent inconnus. Toutefois, à côté de programmes pérennes (par exemple le suivi des oiseaux migrateurs sur les cols basques), de nouveaux programmes[4] sont désormais financés pour combler certaines lacunes identifiées.

ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VITALITÉ D'ARBRES EN ZONE DE MONTAGNE PYRÉNÉENNE PAR ANALYSE DU DÉFICIT FOLIAIRE

La diminution du feuillage des arbres peut être la conséquence d'incidents climatiques, d'attaques de ravageurs, de champignons et de perturbations anthropiques. Un déficit de feuilles peut entraver la croissance des arbres, leur processus de reproduction, voire compromettre leur survie. Or la forêt occupe plus de la moitié de la surface des Pyrénées et fournit, tant au niveau local qu'au niveau régional, de nombreux biens et services (production de bois, protection des sols, régulation du régime hydrique, loisirs, paysage, etc.). Dans le cadre du premier projet de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (voir **ENCADRÉ 2** et le précédent rapport **[1]**) un travail spécifique a été réalisé en vue de définir et d'alimenter plusieurs indicateurs permettant d'évaluer l'incidence des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers pyrénéens. Un des indicateurs retenu et étudié pour déterminer l'impact du changement climatique sur la vitalité des arbres est le suivi du déficit foliaire : un déficit foliaire croissant est un signe que l'état de santé de l'arbre se dégrade. Le suivi de cet indicateur au niveau du Massif des Pyrénées a mobilisé plusieurs sources de données du Réseau Européen de Suivi des Écosystèmes Forestiers. Bien que les suivis permanents aient tous été mis en place en 1989, il a fallu attendre 1997 pour pouvoir disposer de données homogènes de suivi du déficit foliaire sur les Pyrénées. Ce sont ainsi 154 placettes (98 en Espagne, 11 en Andorre et 45 en France - dont 8 en zone de montagne des Pyrénées-Atlantiques) qui sont distribuées sur l'ensemble du Massif et concernent plus de vingt essences réparties sur l'ensemble des gradients d'altitude et d'exposition *[cf. Webcomplément]*. La valorisation de ces données a permis, d'une part, d'étudier les évolutions temporelles des espèces, et d'autre part, d'identifier des différences spatiales dans la réaction des écosystèmes forestiers. Une première tendance est à l'augmentation du déficit foliaire au fil des ans sur le versant français, même si cela cache de fortes disparités régionales *[cf. Webcomplément]*. De plus, deux périodes distinctes se dégagent, l'une avant l'été caniculaire de l'été 2003 et l'autre après 2003. Versant français, l'on peut distinguer trois périodes différentes :

- avant 2003 avec une majorité de placettes peu dépérissantes (entre 0 à 20 % de déficit foliaire),
- entre 2004 et 2009 incluses, avec une majorité de placettes présentant entre 20 et 40 % de déficit foliaire
- après 2009 avec un nombre de placettes entre 40 et 60 % de déficit foliaire en augmentation constante et significative.

Deuxième tendance, les placettes méditerranéennes semblent les plus touchées avec une hausse continue depuis 1997. À l'opposé, les placettes à tendance océanique semblent relativement épargnées. Ainsi, avant 2003 les placettes localisées en Pyrénées-Atlantiques présentent un déficit foliaire de 0 à 20 %. De 2004 à 2012 l'on constate que ces mêmes placettes présentent désormais un déficit foliaire de 20 à 40 % (sauf en 2011). Une troisième tendance concerne la réaction différentielle des essences : en France ce sont les feuillus dits thermophiles (chêne vert, chêne pubescent…) qui sont le plus touchés avec un taux qui a quasiment doublé entre 2003 et 2012 (passant de 25 % à 45 %).

4 • Suivi d'oiseaux emblématiques de la haute montagne par le Parc national des Pyrénées en collaboration avec le CEFE/CNRS [cf. Webcomplément] ; suivi d'espèces à mobilité réduite dans le cadre du programme « Sentinelles du Climat » porté par Cistude Nature avec ses partenaires [cf. Webcomplément].

Une hypothèse est que ces essences pourtant thermophiles occupent déjà les localités les plus défavorables et sont ainsi en limite de leur aire de distribution.

Au final, compte tenu des projections climatiques (possible augmentation des températures et réduction de la disponibilité hydrique) il n'est pas impossible que la tendance constatée à l'Est de la chaîne (Méditerranée) se transfère peu à peu à l'ouest (océanique). Les chercheurs et les gestionnaires forestiers ont ainsi un rôle important à jouer, tant dans l'acquisition de connaissances complémentaires que dans les mesures d'adaptation à mettre en œuvre pour accompagner ces changements. Il s'agit en effet de garantir aux générations futures que les forêts pyrénéennes continueront à remplir leurs multiples « fonctions » en faveur des hommes, des animaux et des plantes.

ENCADRÉ 2 : L'OBSERVATOIRE PYRÉNÉEN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LE PROJET FEDER EFA082/15 OPCC2

L'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique ou OPCC, a pour objectif de réaliser un suivi et de comprendre le phénomène du changement climatique dans les Pyrénées pour aider le territoire à s'adapter à ses impacts. L'Observatoire Pyrénéen est une initiative transfrontalière de coopération territoriale de la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP), lancé en 2010 sous la présidence de l'ancienne Région Midi-Pyrénées. Les membres de la CTP et par conséquent de l'OPCC, sont les gouvernements de l'Aragon, la Nouvelle-Aquitaine, la Catalogne, l'Euskadi, la Navarre, l'Occitanie et de la Principauté d'Andorre. Son ambition est de devenir une plateforme de référence sur le changement climatique et l'adaptation du Massif Pyrénéen, au travers d'une politique de coopération, de transparence et d'échange d'information. Actuellement, l'Observatoire pilote le projet OPCC-2, qui a été créé pour poursuivre la ligne de travail de l'OPCC et capitaliser sur ses résultats. La Communauté de Travail des Pyrénées est le principal partenaire (chef de file) du projet de l'Observatoire Pyrénéen, qui intègre six autres partenaires stratégiques, des deux côtés de la frontière, chacun à la tête des axes de travail thématiques suivants : l'Université de Saragosse (UNIZAR), pour la climatologie ; l'Institut Pyrénéen d'Écologie (IPE) du CSIC, pour les écosystèmes de tourbières et les lacs de haute montagne ; Forespir, pour les forêts ; le Conservatoire Botanique des Pyrénées, pour la flore, et la Station Expérimentale Aula Dei du CSIC (EEAD) avec le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) pour les ressources hydriques. Les quatre premiers partenaires piloteront également les quatre projets programmés et associés à l'Observatoire : respectivement Climpy, Replim, Canopee et Florapyr. L'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique harmonise la communication et la divulgation de la connaissance sur le changement climatique dans le massif. L'une de ses actions la plus importante est la plateforme d'information en ligne qui regroupe les bases de données de bonnes pratiques d'adaptation et le geoportail d'information cartographique. Le portail a pour objectif d'identifier, sélectionner et systématiser le maximum d'information disponible sur l'adaptation au changement climatique dans des territoires de montagne pour la vulgariser et la rendre accessible. L'Observatoire publie des rapports d'impact, de vulnérabilité et d'adaptation régulièrement et la prochaine publication est prévue pour le premier semestre de 2018. L'Observatoire organise aussi des séminaires scientifiques et des ateliers sectoriels pour promouvoir la participation et l'appropriation de la connaissance par tous les acteurs.

Tourbière de Piet (Laruns / Vallée d'Ossau)

© D'Amico

4 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TRANSFORMATIONS TERRITORIALES

Comme cela a été abordé dans l'ouvrage précédent **[1]**, le tourisme a été consolidé d'un point de vue socio-économique dans la plupart des régions liées à la zone pyrénéenne. Dans de nombreux cas, cette activité est la principale source de revenus et la force motrice du développement local. Or, bien que le climat et la météo ne soient qu'une partie des facteurs qui affectent le tourisme (notamment en hiver), leur forte dépendance fait des impacts du changement climatique une question clé et l'adaptation à ces changements un des principaux défis auquel notre territoire montagnard pyrénéen devra faire face dans les prochaines décennies.

Mieux comprendre les interactions entre processus environnementaux et sociaux dans les espaces montagnards, avec au centre la question des perceptions et des représentations du changement climatique, est un volet essentiel pour saisir les freins et les leviers potentiels à l'adaptation des sociétés locales. Aspects non traités dans la version précédente **[1]**, une large place leur est dédiée ici.

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE TOURISME HIVERNAL ET LA PRATIQUE DU SKI EN PARTICULIER

Pour appréhender les impacts du changement climatique et anticiper ses effets, plusieurs rapports gouvernementaux et intergouvernementaux ont mis en évidence la fragilité du tourisme d'hiver dans différentes régions du monde face aux changements prévus. Considérant qu'ils sont affectés significativement par la diminution de la durée et la disponibilité d'une couverture de neige suffisante **[29]**, il est à craindre que ces changements aient un impact économique et social important, en raison de la baisse attendue de la viabilité et de la durabilité des activités hivernales, en particulier pour l'industrie du ski. Par conséquent, l'anticipation et l'adaptation au changement climatique sont les grands défis auxquels les différentes régions des Pyrénées[5] devront faire face, en accroissant leur résilience climatique et en effectuant une planification durable non seulement du secteur touristique mais également de la totalité de son modèle économique actuel **[30]**.

5 • Le projet NIVOPYR [Influence du changement climatique sur le tourisme d'hiver dans les Pyrénées] se concentre sur l'analyse des vulnérabilités et des impacts climatiques sur le secteur du ski alpin Pyrénéen [30]. Il a été financé par la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) et réalisé dans le cadre d'un partenariat transnational et interdisciplinaire formé par des scientifiques, des autorités locales, des associations et des stations de ski (Observatoire du Développement Durable de l'Andorre-OBSA, Domaine Skiable de France, Météo France, Université Polytechnique de la Catalogne, Centre d'Études de la Neige et la Montagne de l'Andorre, ARAMON, Association Catalane de Stations de Montagne, SkiAndorra, Conselh Generau de la Val d'Aran ou Institut Pyrénéen de l'Écologie – CSIC, entre autres). Le projet NIVOPYR a été basé sur des connaissances existantes et l'approfondissement du degré de vulnérabilité qu'il est nécessaire d'embrasser pour mettre en œuvre les stratégies d'adaptation les plus appropriées dans les différentes régions de tourisme d'hiver des Pyrénées. En effet, la vulnérabilité et les impacts au sein du massif pyrénéen peuvent être très différents selon les facteurs géographiques, physiques, ou encore socio-économiques, ce qui rend logiquement nécessaire l'identification de stratégies d'adaptation propres à chaque zone.

Parmi les stations de ski pyrénéennes, celles des Pyrénées-Atlantiques (Gourette, La Pierre Saint-Martin) ont été classées de moyenne-haute vulnérabilité. Gourette est actuellement la plus résiliente d'entre elles, malgré la basse altitude d'une partie importante du domaine skiable (spécialement Artouste et La Pierre Saint-Martin). En effet, l'influence d'une climatologie plutôt océanique permet d'assurer un enneigement suffisant la plupart des saisons à une altitude inférieure à 2100 mètres à l'inverse de stations sous influence plus continentale et méditerranéenne. Toutefois, il sera de plus en plus difficile d'assurer une couche de neige suffisante les premières semaines de saison, ce qui sera compromettant pour la skiabilité. Dans un scénario de changement climatique moyen (anomalie de +2 °C de la température moyenne hivernale), les mesures techniques d'adaptation (damage des pentes, neige de culture…) pourraient suffire à garantir la skiabilité durant la plupart des saisons, spécialement à Gourette. Mais dans un scénario plus sévère (anomalie de +4 °C de la température moyenne hivernale et précipitations réduites), ces trois stations, sans exception, pourraient subir des répercussions importantes sur la skiabilité, en raison d'un déficit de précipitations sous forme de neige et de la difficulté à produire de la neige de culture. Dans ce dernier scénario, diversifier l'offre touristique des domaines sera plus que nécessaire afin de garantir leur durabilité, en envisageant ce qui s'appelle un « all-year mountain resort » capable de garantir l'activité économique hors saison **[31]**.

En plus des impacts climatiques physiques sur les domaines skiables, il est également important d'analyser la réponse des skieurs face au changement climatique. Des études sur ce sujet ont démontré que seulement 5 % des skieurs arrêteraient leur activité si le domaine skiable qu'ils ont l'habitude de fréquenter est fermé. Le reste (soit 95 %) ferait preuve de flexibilité, en s'adaptant temporellement ou spatialement, ce qui signifie attendre l'ouverture plus tardive du domaine dans la saison ou chercher un domaine skiable avec des meilleures conditions de skiabilité ; ce dernier comportement d'adaptation est d'ores et déjà le plus observé **[32]**. Cette dynamique doit être bien considérée dans les études de vulnérabilité car les futurs changements de la fréquentation et de la distribution des skieurs dans les domaines seront la conséquence conjointe des changements des conditions locales de skiabilité et du comportement d'adaptation des skieurs.

Les résultats espérés du projet CLIMPY *[cf. Webcomplément]* dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) **[cf. ENCADRÉ 2]** permettront d'avoir dans les prochaines années des analyses d'impact plus détaillées sur chaque domaine skiable. Ces analyses permettront de définir des stratégies d'adaptation au changement climatique les plus appropriées pour chaque station, ainsi que pour les domaines de ski de fond dont la vulnérabilité n'a pas été encore bien caractérisée.

INTERACTIONS ENTRE ÉVOLUTIONS ENVIRONNEMENTALES ET SOCIÉTÉS MONTAGNARDES : PERCEPTIONS ET REPRÉSENTATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Des projets de sciences humaines et sociales[6] cherchent à comprendre les interactions entre processus environnementaux et sociaux dans les espaces montagnards : la question des perceptions et des représentations sociales du changement climatique est notamment fondamentale pour saisir les freins et les leviers potentiels à l'atténuation et à l'adaptation des sociétés locales. Deux catégories d'acteurs importants dans l'espace montagnard ont été étudiées : les éleveurs du secteur pastoral et les élus des collectivités (communes et communautés de communes). Ces dernières ont pour caractéristiques d'être peu peuplées (au point qu'elles bénéficient de dérogations au seuil minimum de 15000 habitants fixé par la Loi NOTRe aux communautés de communes) et de disposer de peu de moyens à la fois financiers et humains. En l'absence de services techniques municipaux, la fonction de conseil voire d'expertise et d'ingénierie publique autrefois assurée par les services de l'État relève du secteur privé depuis le milieu des années 2000. Ces évolutions pèsent sur les possibilités d'action des petites collectivités, sur leur capacité à intégrer les multiples évolutions législatives et réglementaires ainsi qu'à s'approprier et à opérationnaliser des problématiques nouvelles et complexes comme celle du changement climatique. Les résultats préliminaires montrent, à partir d'entretiens semi-directifs auprès des élus d'Aspe et d'Ossau, que la réalité des changements environnementaux est un fait établi pour les personnes interrogées. Mais, plutôt que de parler de changement climatique au sens strict, ils font état d'une série d'indices témoignant à leurs yeux de changements environnementaux au sens large : le recul des glaciers, le raccourcissement de la période d'enneigement ou encore l'augmentation d'épisodes orageux, la présence d'espèces animales et végétales à des altitudes jugées inhabituelles, etc. Il semble que, sauf expérience professionnelle ou mandat politique spécialisé sur la thématique au niveau d'échelons supérieurs (élus départementaux ou régionaux), la connaissance de la question climatique par les élus locaux demeure limitée à celle fournie par les médias généralistes. La technicité du sujet tend à leur faire englober sans trop de distinction la question du climat dans celle de l'environnement en général : un élu interrogé sur les mesures prises dans sa commune à propos du changement climatique s'est par exemple prévalu de l'interdiction de l'usage des produits phytosanitaires, mesure davantage en lien avec les questions de pollution, de santé et de biodiversité qu'avec le changement climatique au sens strict **[33]**.

6 • Le programme CESAR (Changement Environnemental et Stratégies d'Adaptation en Région) et le programme en cours RiTTA (Risques et transformations territoriales en Aquitaine) ont été financés par le Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine.

En termes d'action, les initiatives évoquées demeurent donc modestes et relèvent le plus souvent des évolutions réglementaires nationales de toute façon imposées et reliées aux politiques d'atténuation et d'adaptation, notamment en matière énergétique. Les mesures les plus facilement engagées sont en effet celles qui permettent d'espérer des co-bénéfices à court ou moyen terme comme l'isolation des bâtiments qui concourt à la fois à la limitation de la production des gaz à effet de serre (GES) et à la réduction de la facture énergétique. Du coup, s'ils disent percevoir les effets du changement climatique, les élus confirment l'idée que l'appropriation de ses enjeux à l'échelle locale est difficile car elle nécessite une vision stratégique à long terme. Or, la gestion communale relève davantage de la gestion et de la résolution de problèmes concrets du quotidien comme la réfection de la route et le fonctionnement de l'école. Il en va de même pour les éleveurs interrogés, les enquêtes ayant montré que la question du changement environnemental (d'origine anthropique et pris dans son acception la plus large) faisait bien plus sens auprès des acteurs de la filière pastorale basco-béarnaise que celle de l'adaptation ou du changement climatique **[34] [35] [36]**, les dimensions naturalistes ou climatiques étant appréhendées comme secondaires au regard des enjeux sociopolitiques actuels.

Ces études constatent ainsi que pour les éleveurs des Pyrénées-Atlantiques comme pour les structures d'encadrement, le changement climatique est très largement associé à un élément d'ordre météorologique envisagé comme un simple aléa pouvant impacter ponctuellement la production mais avec lequel la profession a toujours dû composer. En effet, les éleveurs interrogés **[35]** évoquent de potentiels changements naturels[7] mais ils ne les associent pas avec certitude à une évolution du climat et ils les considèrent comme peu impactants pour leur activité. Les représentations varient néanmoins entre les rares producteurs sous contrainte[8] **[37]** qui se disent déjà touchés par les sécheresses récurrentes, ceux plus confiants qui se sentent encore préservés et se rassurent en identifiant diverses alternatives (semer de la luzerne ou diminuer le chargement par exemple) mais qui reconnaissent que la situation pourrait devenir problématique si la fréquence et l'intensité des sécheresses augmentaient, et ceux qui pensent que les systèmes d'élevage se sont toujours adaptés et continueront à le faire. On retrouve cette position chez les agents d'encadrement qui considèrent que les enjeux liés aux évolutions réglementaires, économiques et à la montée des préoccupations environnementales chez le consommateur passent bien devant la question climatique. S'ils reconnaissent qu'une demande publique existe et que le réchauffement modifie la composition des prairies permanentes et leur qualité, impactant donc la production fourragère **[38]**, cela reste pour eux un enjeu sur le long terme qui ne constitue pas une priorité pour les systèmes d'élevage. La valorisation de milieux et de ressources différenciés (botaniquement, fonctionnellement et altitudinalement), la flexibilité des systèmes ainsi que la « plasticité animale »[9] **[39]** devraient pour eux permettre aux producteurs d'ajuster progressivement la conduite de leur troupeau (*via* la revalorisation des estives, des zones intermédiaires et de la diversité prairiale ou l'ajustement des dates d'estivage notamment) sans avoir à envisager un tournant brusque, radical et donc potentiellement déstabilisant. Ils affirment ainsi se focaliser avant tout sur la question du développement local et de la pérennisation des systèmes d'élevage, même si un tournant semble en cours (cf. section consacrée à l'agropastoralisme face au changement climatique, p. 21). Ce positionnement s'explique par le poids des enjeux territoriaux (diminution du nombre d'exploitations, fermeture du paysage et maintien de l'attractivité des territoires) et surtout par la dimension économique qui incite les éleveurs à jouer sur deux principaux leviers : la recherche d'autonomie fourragère et l'optimisation des aides de la PAC (Politique Agricole Commune de l'Union Européenne). Si l'incertitude liée à l'augmentation et à la fluctuation des prix des intrants (produits phytosanitaires, engrais, matériel agricole, semences mais surtout fourrages) préoccupe de plus en plus les éleveurs, l'aspect réglementaire est au cœur de toutes les discussions en raison du changement de cahier des charges de l'AOP (interdiction de l'ensilage de maïs d'ici 2018), de la refonte récente de la PAC (réforme de 2014 aujourd'hui encore en cours d'ajustement), mais surtout du poids des aides européennes pour la profession, dans la mesure où 50 à 70 % du revenu des exploitations pastorales dépend de ces subventions (en moyenne 25 000 euros par exploitation selon Bonotaux *et al.* **[40]**). Dans un tel contexte, la stratégie des exploitants repose largement sur une optimisation de ces aides fluctuantes qui sont sources d'incertitude (quant aux exigences et aux montants) et perçues comme une forme de dépendance, voire de tyrannie, impliquant des adaptations rapides et fréquentes.

Les regards, des élus et des éleveurs, qui viennent d'être développés, soulignent que les enjeux du changement climatique au sens strict leur paraissent difficilement saisissables car lointains et marqués par l'incertitude. Les contraintes concrètes immédiates ou prochaines qu'imposent les évolutions réglementaires ou économiques préoccupent bien plus les acteurs locaux et les structures encadrantes. Elles sont considérées comme menaçantes, voire comme portant atteinte à la survie même des sociétés montagnardes, plus que les effets à venir du changement climatique.

7 • Sécheresses plus marquées, violence des précipitations, variabilités saisonnières, diminution des débits des rivières, risques d'étiages plus précoces et plus sévères, crues plus rapides et violentes ou changement de composition et de productivité des prairies.

8 • Non transhumants, vendant leur lait aux laiteries ou installés sur des terrains séchants.

9 • Mises bas groupées et races adaptées à la saisonnalité.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RISQUES MONTAGNARDS : DES LIENS DE CAUSE À EFFET DIFFICILES À APPRÉHENDER À L'ÉCHELLE LOCALE

Les Pyrénées, comme tous les espaces montagnards français, ont, à partir du milieu du XIXe siècle, subi des évolutions socio-environnementales de grande ampleur : déclin démographique, recul de l'activité agropastorale, puis fragile développement touristique estival et hivernal. Ces transformations territoriales, à commencer par le tourisme (fréquentation de nouveaux espaces selon une nouvelle saisonnalité, construction de nouveaux équipements) ont contribué à faire évoluer la géographie des risques naturels en modifiant la vulnérabilité des populations et en interférant avec les aléas : crues, avalanches, mouvements de terrain. Ces derniers sont susceptibles d'être affectés par les changements climatiques si l'on tient compte des derniers modèles de projection climatique sur la montagne française. Et ce, même si les prédictions d'évolution paraissent peu précises tant au niveau spatial (grandes disparités locales) que temporel (variabilités saisonnières et interannuelles) **[41]**. En effet, les changements climatiques et environnementaux, s'ils combinent des dynamiques globales, relèvent aussi de facteurs très locaux, particulièrement complexes dans le cas de la montagne où les risques sont multiples et les processus interdépendants. Il est donc très difficile de prévoir l'impact du changement climatique sur les aléas à l'échelle locale et de distinguer sa responsabilité dans la survenue de tel ou tel événement. C'est pourquoi des opérations visant à l'évaluer précisément ont été engagées, par exemple dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique ou par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) qui a mené des expérimentations sur l'évaluation de l'aléa glissement de terrain sur plusieurs sites pilotes dont celui de Gourette dans les Pyrénées-Atlantiques (OPCC **[42]**). Mais ces initiatives restent encore très ponctuelles.

Les perceptions que les élus locaux et les techniciens des services de l'État ont des effets du changement climatique sur les aléas[10] sont souvent contradictoires et font écho à cette incertitude scientifique. Par exemple, l'abondance de neige et d'avalanches observée en 2015 ou 2016 est interprétée par certains agents de l'État comme la preuve que le réchauffement climatique ne réduit pas la nivosité et ne change pas le risque avalancheux, et par d'autres, au contraire, comme la preuve du dérèglement et d'un fonctionnement nouveau car des avalanches se sont déclenchées dans des secteurs habituellement peu actifs **[43]**. Mais si les techniciens s'interrogent, les élus eux, ne perçoivent pas nécessairement d'évolution : « *Non, non, cela n'a pas évolué, ce sont toujours les mêmes [risques]* » (entretien, vallée d'Ossau, avril 2017).

Incertitude scientifique et absence de perception des changements pourraient justifier de ne rien entreprendre au plan opérationnel. Mais, outre les aléas eux-mêmes, l'impact du changement climatique peut contribuer à accroître la vulnérabilité de la société locale et à fragiliser les mesures de gestion et de maîtrise des risques **[44]**. La montagne, du fait de la faible densité du réseau routier, de la petite taille des communes et de leur manque de moyens, apparaît très vulnérable : un événement a priori mineur comme une chute de blocs sur le réseau routier, est susceptible d'avoir un impact local majeur, voire comme en vallée d'Aspe sur la RN 134 qui relie la France à l'Espagne, d'avoir un retentissement international, faute d'itinéraire alternatif. Certains lieux et infrastructures vitaux pour le peuplement et l'activité économique en montagne (par exemple les nombreux campings en bord de rivière) sont particulièrement vulnérables. À cet égard, l'effet du changement climatique sur le couvert végétal constitue un enjeu majeur dans la protection des zones vulnérables : les mesures de génie biologique, en particulier les forêts dites de protection, utilisées depuis le XIXe siècle pour lutter contre les phénomènes érosifs et les avalanches, jouent un rôle essentiel dans la protection de nombreuses zones exposées (**Figure 7**). L'affaiblissement, voire la disparition de ce couvert forestier, soit du fait d'un dépérissement spontané soit d'un incendie de forêt (issu par exemple d'un écobuage mal maîtrisé) sont susceptibles de réactiver immédiatement les risques, comme les avalanches, qu'ils permettaient de maîtriser. Cet enjeu de vulnérabilité est parfaitement identifié par les services en charge de la gestion des risques, moins par les élus valléens.

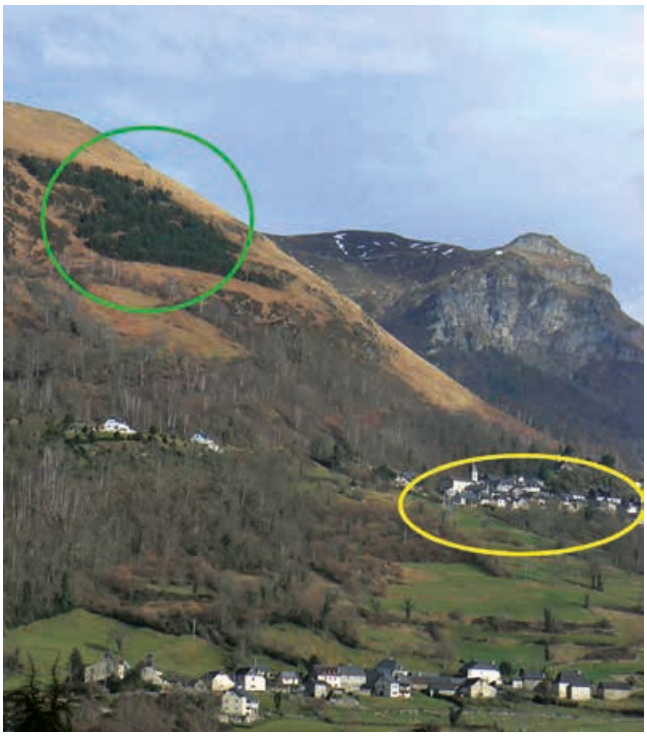


Figure 7 : *Vallée d'Ossau. Forêt de protection contre les avalanches (en vert) située au-dessus du village d'Aas (en jaune).*

10 • Programme régional de recherche en cours RiTTA – Risques et transformations territoriales en Aquitaine.

Vue occidentale depuis le Pic d'Orhy, crêtes de Zazpigain

© Lavigne

D'ailleurs, en termes d'actions collectives et de politiques publiques dans le domaine du changement climatique, les initiatives locales restent rares en montagne et sont souvent issues d'échelons supérieurs ou d'autres instances comme le Parc national, le Département des Pyrénées-Atlantiques ou le Conseil des élus du Pays-Basque (à l'origine des seuls plans climat de la partie aquitaine de la chaîne). Ces initiatives font le plus souvent peu de place à la question des « risques naturels ». Il faut souligner en effet que dans ce domaine, l'action publique est jusqu'à présent, pour l'essentiel, entre les mains de l'État, ce qui n'incite guère les collectivités locales à agir.

Plus généralement, et même si à titre individuel les agents en charge de la gestion des risques interrogés ont conscience des enjeux, la question de l'adaptation au changement climatique demeure marginale dans les documents opérationnels tels que les Plans de Prévention des Risques (PPR). Même lorsque l'impact immédiat du changement climatique pourrait être évoqué (par exemple dans le PPR des Eaux-Bonnes où dépérissement et incendies menacent les forêts paravalanches qui protègent une grosse résidence touristique), il n'est pas concrètement intégré à l'évaluation du risque **[45]**. Il faut dire que cette dernière, basée sur les événements historiques et des méthodes de modélisation, fait très souvent l'objet de contestations (notamment sur les limites des zonages et la méthodologie employée) de la part des communes et des riverains concernés car elle contrarie des projets d'aménagement ou débouche sur des contraintes importantes (inconstructibilité, obligations de mises aux normes…). Il est donc difficile pour les acteurs publics de mettre en avant les risques à venir et l'incertitude qui les entoure même si, depuis le XIX^{e} siècle, la variabilité spatio-temporelle des risques montagnards a toujours été grande dans des contextes de coévolution rapide de l'occupation du sol et des milieux **[46]** et si l'imprévisibilité de toute façon inhérente aux risques naturels **[47]** ne devrait pas justifier l'inaction.

5 DES PROJETS PARTAGÉS D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION

Anticipant, ou avançant en parallèle des recherches sur les freins et les leviers potentiels à l'atténuation et à l'adaptation des territoires, des sociétés locales et des socioécosystèmes, leurs acteurs s'enhardissent et agissent. Les aspects opérationnels de l'appropriation du changement climatique, des stratégies d'adaptation et d'atténuation mises en œuvre, sont examinés à deux échelles territoriales (celle du Département tout d'abord et celle d'un espace naturel protégé, le Parc national des Pyrénées) et à l'échelle d'une filière prise comme modèle, la filière agropastorale.

COMMENT UN DÉPARTEMENT S'APPROPRIE-T-IL LA QUESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MONTAGNE ET COMMENT ADAPTE-T-IL SA POLITIQUE PUBLIQUE ?

Les Pyrénées-Atlantiques constituent un territoire singulier dont la moitié de la surface se situe en zone de montagne et qui partage un tiers de la frontière franco-espagnole avec les trois régions autonomes que sont l'Aragon, la Navarre et l'Euskadi. La montagne est aussi le siège d'une activité économique importante notamment en ce qui concerne l'élevage. Le Département est propriétaire de deux stations de ski (Gourette et La Pierre Saint Martin totalisant 450 000 journées/skieur), d'un équipement touristique majeur (train de la Rhune, 28e site récréatif de France), d'un réseau routier en montagne dont il faut assurer la viabilité hivernale pour garantir les échanges internationaux, ainsi que de bâtiments sensibles tels que des casernes de pompier, maisons de retraite et collèges. Il dispose donc de leviers pour agir mais son appartenance à la zone « montagne » engendre aussi une fragilité intrinsèque sur le plan des aléas (avalanches interdisant le passage sur la RN 134 entre l'Espagne et la France, incendies liés aux écobuages dans les terrains en déprise, pluies torrentielles).

En 2013, l'institution, comme toutes les collectivités de plus de 50 000 habitants, s'est dotée d'un Plan Climat, décliné en plusieurs réalisations *[cf. Webcomplément]*, pour réduire son empreinte énergétique. S'agissant maintenant de l'adaptation au changement climatique, force est de constater que les initiatives sont moins nombreuses. L'écueil majeur tient beaucoup à l'absence de connaissances quant aux conséquences certaines à moyen terme de ses effets. Il est difficile d'engager des décisions politiques, nécessitant parfois des investissements coûteux ou des décisions lourdes de conséquence, dont les résultats ne sont pas assurés. C'est pourquoi le Département participe aux travaux de recherche en mettant à disposition des terrains pour créer des arboretums du changement climatique (programme REINFORCE) visant à identifier les espèces ligneuses les plus adaptées. Il finance des programmes pluriannuels pour comprendre les effets sur la biodiversité (Sentinelles du Climat, FLORAPYR, etc.) et souhaite s'impliquer dans l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) **[cf. ENCADRÉ 2]**.

En 2016, un Plan Montagne a été produit sur la base d'une concertation avec tous les acteurs économiques de la zone de montagne. Ce plan a vocation à préserver et développer l'activité économique pour maintenir les populations et les services publics en montagne. Il s'agit d'une projection jusqu'en 2027, qui identifie la question de l'impact du changement climatique comme étant un élément à prendre en compte dans les projets à soutenir ou à développer,

comme par exemple les projets de la promotion d'une montagne quatre saisons plus accueillante l'été et hors saison.

MOBILISER LES ACTEURS D'UN TERRITOIRE POUR METTRE EN ŒUVRE UN PROJET PARTAGÉ D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION : L'EXEMPLE DU PARC NATIONAL DES PYRÉNÉES

Depuis une dizaine d'années, le Parc national soutient ou met en place plusieurs suivis scientifiques (suivi des glaciers, des oiseaux d'altitude, des combes à neiges et des lacs d'altitude) relatifs à une veille écologique et à l'impact du changement climatique [**ENCADRÉ 2** et *[cf. Webcomplément]*]. Parallèlement à ces actions de développement de la connaissance et conformément à sa charte validée en 2012, le Parc a rassemblé les acteurs du territoire de toutes thématiques confondues (tourisme, forêt, eau, collectivités, etc.) pour définir une stratégie d'atténuation et d'adaptation pour les années à venir. Elle est consignée dans le Plan Climat Énergie 2015-2020 et s'appuie sur deux éléments de diagnostic : le bilan des émissions de gaz à effet de serre et l'analyse de la vulnérabilité climatique du territoire. Le premier élément a été réalisé selon la méthode SCOPE3 Bilan Carbone® territoire développée par l'ADEME. Il a permis d'identifier que les activités présentes sur le territoire du Parc national en 2012 étaient responsables de l'émission de 693 717[11] tonnes équivalent CO_2. Le 45 % de ces émissions sont dues aux déplacements effectués par les habitants et les visiteurs *[cf. Webcomplément]*. Afin de réfléchir à une stratégie d'adaptation, le Parc a également initié une analyse de la vulnérabilité climatique des activités de son territoire. Cette démarche avait pour but de caractériser les sensibilités et les vulnérabilités - actuelles et prévisibles - au changement climatique, et ceci sur la base d'un état des lieux de la connaissance, d'une synthèse des données et ressources existantes et de deux séminaires de travail avec les parties-prenantes. Cette analyse consiste d'une part en une présentation du climat actuel et des prévisions climatiques disponibles pour le territoire, aux échéances 2030, 2050 et 2080 dont résulte une liste des principaux aléas climatiques et d'autre part, en une caractérisation des diverses composantes (milieux naturels, population, activités économiques) à un instant « *t* » obtenue en intégrant les perspectives d'évolution qui priorisent une série de milieux et de secteurs prioritaires.

Le croisement de ces deux analyses a permis d'évaluer : l'exposition aux aléas climatiques (liée à sa localisation et à ses caractéristiques physiques), la sensibilité du territoire (en fonction de l'ampleur des enjeux humains, financiers, etc.) et la capacité d'adaptation (degré de sensibilisation des acteurs aux enjeux, actions déjà mises en place…).

Une trentaine de personnes d'horizons variés (Agence de l'eau, Chambre d'agriculture, CRPF, CNRS, DDT, Conseil Général, EDF…) ont participé aux ateliers de travail dont l'objectif était de répondre aux deux questions suivantes : 1) à quoi pourrait ressembler le climat dans les Pyrénées au XXIe siècle ? 2) quels impacts ce climat pourrait-il avoir sur les milieux, la société, l'économie ? Les participants ont été amenés à produire leur propre diagnostic de la vulnérabilité du territoire au changement climatique. Impacts, sensibilité et capacité d'adaptation ont été détaillés pour identifier les grands défis du territoire. Ce travail a abouti à la réalisation d'une matrice de risque qui a mis en évidence une vulnérabilité accrue de la biodiversité endémique des milieux froids et de l'activité touristique hivernale face aux changements climatiques. Cette démarche[12] a permis aux participants de sélectionner des actions d'adaptation et d'atténuation à mener en priorité dans les prochaines années. Le Plan Climat comprend sept axes dont un entièrement dédié à l'adaptation (n° 2) [Tableau *[cf. Webcomplément]*] a pu être validé en mars 2015.

L'AGROPASTORALISME FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CONTRIBUER À ATTÉNUER LE RÉCHAUFFEMENT ET S'ADAPTER AUX ÉVOLUTIONS PRÉVISIBLES

L'activité agropastorale occupe une place majeure dans le massif pyrénéen, tant au niveau de l'occupation de l'espace que du poids économique, voir les données de cadrage au [Tableau *[cf. Webcomplément]*]. A ces surfaces agricoles, viennent se rajouter les surfaces pastorales collectives, soit 96 991 ha en Nouvelle-Aquitaine et 395 424 ha pour l'ensemble du massif. La problématique du changement climatique est vraiment devenue une préoccupation des filières d'élevage au cours des cinq dernières années, avec d'une part la question de l'adaptation (parfois assimilée à la sécurisation et à la gestion des aléas), et d'autre part celle de la réduction de l'empreinte climatique des activités agricoles. L'intégration de ces deux enjeux dans le développement agricole des territoires pyrénéens résulte à la fois de l'appropriation des outils et méthodes proposés au niveau national

11 • Soit l'équivalent des émissions d'une voiture qui parcourrait 66 000 fois le tour de la Terre.

12 • L'ensemble de cette stratégie - à court, moyen et long terme - est en partie financé par des partenaires publics (ADEME) ou privés et des appels à projet (ex : Territoires à Énergie Positive pour la Croissance Verte) et s'appuie sur un réseau de partenaires pluridisciplinaires (Syndicats Départementaux de l'Énergie, Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement 64 et 65, SOLIHA, etc.).

et de l'auto-conception d'outils locaux basés sur les spécificités des systèmes de production pyrénéens[13] *[cf. Webcomplément]*. Les interprofessions nationales laitières (CNIEL) et viandes (INTERBEV) se sont engagées à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) de 20 % à l'horizon 2025 au travers de programmes qui concernent en priorité les agriculteurs et leurs organisations (programmes « life carbon dairy » et « life beef carbon »). En aval des méthodologies conçues avec l'ADEME (agribalyse), l'Institut de l'Élevage a développé une ingénierie d'accompagnement des producteurs (CAP'2ER®, Climalait) et des filières pour atteindre ces objectifs, y compris pour les producteurs du massif pyrénéen.

Des approches territoriales, mobilisables par les collectivités, ont par ailleurs été conçues, telles que le diagnostic ClimAgri® (ADEME **[49] [50]**) relatif à l'agriculture et la forêt. Le conseil des élus du Pays Basque a répondu en 2012 à l'appel à projet de l'ADEME et engagé une réflexion collective en utilisant l'outil ClimAgri® à l'échelle du Pays Basque (ADEME **[51]**). Le diagnostic a permis d'identifier des pistes d'actions prioritaires : meilleure valorisation de la forêt (filière bois énergie), réduction des consommations d'énergie, autonomie protéique et fourragère (réduction des aliments et des engrais), filière courte de mise en marché des produits. L'ambition poursuivie est de réduire les consommations d'énergie de 26 % et les émissions de GES de 29 %.

Les systèmes agropastoraux valorisent une grande diversité de ressources et de milieux, avec des déplacements saisonniers aux différents étages altitudinaux des Pyrénées **[39]**. Celle-ci leur confère une grande flexibilité et une sensibilité moindre aux aléas. La non-spécialisation des espèces et des races animales vient renforcer les capacités d'adaptation et atténue la vulnérabilité de l'élevage agropastoral en regard d'autres activités agricoles. À l'instar de l'élevage des petits ruminants autour du bassin méditerranéen, pour lesquels on dispose d'un retour d'expérience certain, l'activité agropastorale contribue à l'entretien d'un écosystème agropastoral pyrénéen original, reconnu pour sa biodiversité et plus généralement pour un ensemble de services écosystémiques **[52]**. Néanmoins, les émissions de GES restent importantes, surtout si les indicateurs retenus sont exprimés par unité de production (lait ou viande). Un des postes majeurs d'émission est lié aux achats d'aliments et donc à une autonomie alimentaire limitée. Les réponses peuvent passer par des formes d'intensification (surface fourragère, productivité animale) ou au contraire d'extensification (moins d'exploitations, troupeaux plus petits), sous la dépendance de facteurs exogènes. L'identification de compromis doit s'appuyer sur des démarches multi-acteurs (ensemble des parties prenantes) et pluridisciplinaires. Les politiques publiques doivent aussi retrouver des formes de souplesse permettant de mieux intégrer les spécificités régionales.

LES PROJETS LOCAUX PORTÉS PAR LE SECTEUR PASTORAL : VERS UNE TRADUCTION EN TERMES D'ADAPTATION

Comme détaillé plus haut, plusieurs actions émergent autour de la contribution de la filière pastorale à l'atténuation et à l'adaptation. Relevant tantôt de l'étude, tantôt de l'accompagnement ou du financement, certaines cherchent à caractériser, comprendre ou évaluer la situation ou les perspectives (GES émis, services écosystémiques rendus par les exploitations agricoles) alors que d'autres visent à informer, à sensibiliser voire à inciter les éleveurs à s'engager dans des pratiques d'atténuation et/ou d'adaptation. Certaines sont centrées sur l'exploitation ou la parcelle et reposent sur des récompenses (concours prairies fleuries), des rémunérations (ICHN, MAEC[14]) ou des simulations de stratégies (Geroko) alors que d'autres travaillent sur une base plus territoriale (certains projets proposent des diagnostics, des pistes d'actions comme ClimAgri® et d'autres encouragent l'autonomie et la flexibilité des systèmes d'élevage *via* l'utilisation des zones intermédiaires et des estives[15] ou la complémentarité plaine-montagne).

La préoccupation de la filière au niveau national et la diversité des démarches existantes ne doivent pas pour autant amener à penser que la question climatique est une préoccupation majeure pour le secteur pastoral dans le département. Les enjeux liés au réchauffement constituent certes le cœur de certains projets, mais portés par des structures d'encadrement, des instituts techniques ou de recherche, ils ne reposent pas nécessairement sur une demande provenant des éleveurs des Pyrénées-Atlantiques[16]. Lorsque la demande existe (ATOUS, Geroko, semences locales, constitution d'un agroréseau/GIEE[17], etc.), elle repose sur des motivations d'un autre ordre. En effet, les projets émergents autour de l'autonomie protéique et fourragère (au cœur d'ATOUS, de Geroco ou du projet plaine-montagne) permettent d'envisager des pistes pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO_2 tout en favorisant la flexibilité et

13 • Dans le cadre du programme CASDAR « ATOUS », Geroko a été conçu comme un outil de simulation pour évaluer les performances économiques, environnementales et climatiques des exploitations agropastorales [48]. L'utilisation de cet outil montre qu'il existe une grande variabilité de services écosystémiques rendus entre exploitations, que les indicateurs de services environnementaux et climatiques sont souvent opposés, et donc qu'il faut travailler sur les compromis entre services.

14 • ICHN : indemnité compensatoire de handicaps naturels. MAEC : Mesures agroenvironnementales et Climatiques.

15 • Remise aux normes des cabanes, installation de salles de traite, portage, diagnostics pastoraux, etc.

16 • Les démarches engagées par les filières « ruminants » évoquées ailleurs dans le texte ne sont ainsi pas ciblées sur les Pyrénées-Atlantiques et ne prennent pas nécessairement en compte le département.

17 • Groupement d'Intérêt Écologique et Économique.

donc l'adaptabilité, mais ils sont avant tout motivés par des préoccupations économiques et réglementaires[18]. De la même façon, un certain nombre de projets ou d'actions visant à maintenir les services rendus par les éleveurs (quatre PAEC[19] présents sur le territoire montagnard du département, concours de prairies fleuries, etc.) encouragent les pratiques de stockage du carbone, *via* notamment le maintien ou l'entretien des prairies, des parcours, des haies et des bosquets, sans que la question climatique ne constitue pour autant un élément moteur de leur mise en œuvre. Face à l'importance des aides du second pilier de la PAC pour la profession, et au classement en zone Natura 2000 de plus de 70 % du territoire pastoral pyrénéen du département, ces démarches visent avant tout à encourager des modes de production compatibles avec ce statut de protection et l'octroi de ces subventions.

En définitive, l'intégration et l'assimilation de la question climatique passent par la territorialisation et l'écologisation de la filière **[36]**. L'élevage, déjà largement marqué par le processus d'écologisation du secteur agricole **[53]**, valorise les systèmes alimentaires territorialisés (à travers l'AOP Ossau-Iraty et la vente directe) et collabore bien plus que d'autres secteurs avec les acteurs locaux extérieurs au monde agricole.

Cette désectorisation de la filière et des projets qu'elle porte pèse sur la perception du changement environnemental, sur l'orientation des actions mises en œuvre, ouvertes aux enjeux des différents acteurs, et donc sur la sensibilité des éleveurs aux enjeux climatiques. Au milieu de la palette d'injonctions, notamment environnementales, touchant les producteurs, la question climatique est intégrée comme une modalité parmi d'autres.

Si la question climatique commence donc à prendre une place importante dans les projets portés par les institutions travaillant avec le secteur pastoral, les actions en cours s'affichent plus clairement dans les mesures d'atténuation que dans celles visant l'adaptation **[35]**. Néanmoins, les réponses apportées par le secteur à des enjeux réglementaires ou économiques, perçus comme urgents, sont de plus en plus traduites en termes d'adaptation. Elles constituent des stratégies « éco-opportunistes » **[54]** : elles répondent en premier lieu à des besoins à court terme tout en allant dans le sens d'un renforcement de l'adaptation à plus long terme, considérée alors comme une conséquence de l'action[20] non nécessairement intentionnelle **[55]**.

Production de neige de culture-Gourette le 3 déc. 2017

© F. D'Amico

18 • La hausse et la variabilité du prix des intrants, notamment du fourrage, ainsi que l'interdiction de l'ensilage de maïs d'ici 2018 incitent les éleveurs à interroger leur système fourrager et parfois même à envisager une sortie de l'AOP Ossau-Iraty.

19 • PAEC Montagnes du Béarn et du Pays Basque, Montagnes de Cize, Montagne des Aldudes, Massif du Mondarrain-Artzamendi.

20 • PAC : Politique Agricole Commune de l'Union Européenne.

6 PERSPECTIVES

Dans cette édition actualisée du rapport sur les effets du changement climatique sur la montagne de la région Nouvelle-Aquitaine, une large période de temps a été balayée ; entre les changements survenus depuis quelques milliers d'années (tels qu'ils sont documentés par les études palynologiques) et les changements à venir d'ici à la fin du XXIe siècle (tels qu'ils sont envisagés sur la base de la modélisation mathématique), certaines transformations contemporaines sont mieux appréhendées et servent déjà de support à l'action. A l'échelle de notre région, d'autres mutations restent encore incomprises ou insuffisamment étudiées voire totalement ignorées. Certaines d'entre elles sont complexes car elles impliquent différents compartiments (environnementaux, anthropologiques, géochimiques) et transcendent certaines frontières dimensionnelles. Bien comprendre les héritages de l'utilisation passée des éléments (sol, eau…) est utile pour accompagner les mutations nécessaires, comme celles de la transition écologique.

Même si le changement climatique est aujourd'hui une réalité peu contestée, l'appropriation de ce sujet aux différentes échelles territoriales abordées dans ce chapitre et sa traduction concrète restent difficiles. Il existe, en effet, plusieurs freins encore très puissants qui s'interposent comme, par exemple, le décalage entre le temps électif et les effets attendus d'une décision, la prégnance dans le débat des retentissements de la crise économique, le manque de recul et d'études sur les réels effets en montagne, les habitudes de travail, les représentations et perceptions, etc. À l'inverse, comme cela a été exprimé à l'échelle territoriale du département, des actions à effets immédiats ou des actions dites « sans regret » peuvent être assez facilement mises en œuvre surtout lorsqu'elles ont la vertu d'être visibles et de se traduire par des économies pour la collectivité (accompagnement par des aides d'État ou réduction de coûts de fonctionnement).

LE MASSIF CENTRAL

Figure 8 : *Vue de la tourbière du Longeyroux sur le plateau de Millevaches (cliché : Frédérick Yvonne).*

1 MOYENNES ALTITUDES ET FAIBLES DENSITÉS

Géographiquement, la Montagne limousine (**Figure 1**) désigne la terminaison nord-ouest du Massif central, région de moyenne montagne aux altitudes comprises entre 700 et 900 m. Sur le plan écologique et humain, la Montagne limousine représente un territoire à enjeu du fait de sa position en tête de bassin versant. Les conditions de gestion de ses ressources en eau mais aussi des bassins versants dans leur globalité (sommets, versants, fonds de vallée, zones humides), en termes de quantité et plus encore peut-être de qualité, sont déterminantes pour le bon fonctionnement du bassin versant dans son ensemble.

En tête de bassin versant, la qualité et la quantité de la ressource sont extrêmement liées à l'utilisation du territoire. Dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature, lors du séminaire technique de la plateforme Eau Espaces Espèces de 2009, la notion de territoire de tête de bassin a été expliquée par Valadas B. **[1]** en insérant la notion de « front pionnier écologique » de Guyot S. **[1] [3]**. La description géographique de la Montagne limousine de Valadas est alors très proche de la définition de **[4]** qui ont particulièrement étudié les territoires de tête de bassin du globe : *« les têtes de bassin sont les zones aux marges des hydrosystèmes, mais elles sont également aux marges de systèmes environnementaux et sociétaux. Elles correspondent aux bassins versants des rangs 0 et 1, où les fleuves sont nés, toutes les rivières grandes et petites ».* Haigh J.M. *et al.* **[5]** précisent qu'à l'échelle des nations, beaucoup de têtes de bassin sont des fronts de développement de l'agriculture, de la sylviculture, du tourisme, de la préservation de la nature, de la production hydroélectrique et de l'approvisionnement en eau. Beaucoup sont également des fronts socio-économiques régionaux ou nationaux qui constituent des limites politiques entre des groupes sociaux. Les têtes de bassins sont souvent associées à des zones de faibles densités de population, isolées des développements industriels et économiques et occupées majoritairement par l'espace forestier **[5]**.

Il est donc très important pour la Montagne limousine, territoire de tête de bassin versant, de considérer l'enjeu sociétal et écologique face au dérèglement climatique, étant donné les incidences que l'un peut avoir sur l'autre.

Plus que pour ce nom générique de Montagne limousine, ce territoire est connu pour certaines de ses sous-régions : plateau de Millevaches et Monédières. À l'image du reste du Massif central et d'autres régions de montagne, ses paysages ont connu de profonds bouleversements au cours du xx^{e} siècle. Les landes (sèches et humides) et tourbières associées au modèle pastoral ont laissé place avec l'exode rural et les politiques de plantations à la constitution d'un massif boisé très présent mêlant plantations résineuses et plus rarement feuillues, à une dynamique d'enfrichement des terrains délaissés (**Figure 8**). De fait, le paysage a connu une dynamique de fermeture sans précédent qui n'est aujourd'hui que très peu intégrée par les habitants de la Montagne limousine, même pour les plus récemment arrivés, tenant paradoxalement pour plus naturel le paysage anthropisé de landes et tourbières **[6] [7]**.

Territoire de très faible densité il est, sur bien des points caractéristiques des territoires ruraux, fragiles ; mais sa capacité à attirer de nouveaux habitants permet à la Montagne limousine de limiter l'érosion de ses effectifs démographiques depuis les années 1980. Plus encore, cette dynamique migratoire est devenue essentielle pour un territoire où elle représente l'essentiel de l'apport en population en deçà de 60 ans (même si les plus de 60 ans représentent une part non négligeable des nouveaux arrivants).

Dans ce contexte, les enjeux de l'adaptation aux changements climatiques sont pluriels : il s'agit alors d'interroger tant la résilience des milieux que des sociétés locales.

2 ÉVOLUTION PAYSAGÈRE AU FILTRE DES RELATIONS HOMME/CLIMAT

Des études palynologiques ont été menées pour déterminer l'évolution paysagère de la Montagne limousine **[8] [9]**. Ces études montrent à la fois l'évidence des premières activités humaines et leurs impacts sur l'environnement végétal dans le secteur.

Des fréquences polliniques d'arbres ou d'autres végétaux caractéristiques de couverts forestiers montrent que la Montagne limousine était couverte par des hêtraies et hêtraies-chênaies au IVe siècle avant notre ère. Depuis cette période jusqu'au IIe siècle avant notre ère, une réduction à 10 % des fréquences polliniques du hêtre et du chêne montre une déforestation associée à une activité pastorale importante (apparition des grains de pollen de céréales). D'autre part, les études menées sur les mines de l'ouest et sud-ouest du Massif central ont montré que des gisements aurifères ont été exploités dès les Ve et Ier siècles avant notre ère. Le développement de ces activités minières et métallurgiques dès cette période pourrait donc aussi expliquer pour partie la déforestation.

À partir de la fin du IIe – début du IIIe siècles de notre ère, les déforestations prennent de l'ampleur, dégageant des nouveaux territoires ruraux à vocation agropastorale. Une agroéconomie diversifiée apparaît, l'élevage étant associé à une polyculture céréalière qui coïncide avec une influence gallo-romaine importante. Les données archéologiques montrent une augmentation de la densité de population du plateau de Millevaches marquée à cette époque par une phase de forte emprise agricole.

Cependant ce système n'est pas immuable pour autant et un repli de la pression agropastorale est avéré au plus tôt à la fin du IIIe siècle de notre ère avec un relatif retour régional de la forêt. Ce retour des forêts et l'éloignement des activités anthropiques à la fin du IIIe siècle sont assez courts. Une reprise pastorale décelée par l'analyse pollinique, est observée aux alentours des VIIe-IXe siècles. Une économie agropastorale totalement mixte s'amorce et les surfaces cultivées notamment en seigle progressent marquant les Xe-XIIe siècles comme une véritable charnière dans l'histoire agraire du Plateau de Millevaches. Le XIVe siècle fut une période particulièrement froide générant des bouleversements socio-économiques dont l'abandon des villages d'altitude à la fin du Moyen Âge/début des Temps modernes dans le Massif central (probablement lié aux caractéristiques de cette période appelée le Petit Âge Glaciaire).

Depuis le Moyen Âge une partie des terres anciennement exploitées est abandonnée sur le plateau de Millevaches mais aussi dans toutes les autres fenêtres limousines des bas-plateaux de Tulle, des Monts d'Ambazac ou des monts de Guéret, comme l'indique l'étude des pollens de la végétation, au bénéfice des milieux forestiers (chênaies, hêtraies et plus récemment forêts de résineux exotiques (épicéa, mélèze, douglas) en relation avec une politique de reboisement).

Depuis la fin du XIVe siècle et jusqu'au XIXe siècle l'emprise agricole reste néanmoins forte, continue et très diversifiée et optimisée de toute l'histoire sur le Plateau de Millevaches. De pelouses, les milieux de pâture se transforment, par exemple, progressivement en une formation plus prairiale à la valeur agronomique plus élevée. L'important exode rural qui marquera le XIXe siècle et la première moitié du XXe siècle sur le Plateau de Millevaches entraînera un complet bouleversement de ce paysage avec l'apparition de friches forestières à dominantes feuillues et de plantations résineuses.

LES ZONES HUMIDES DE TÊTE DE VERSANT : UN REFUGE POUR CERTAINES ESPÈCES SENSIBLES À LA TEMPÉRATURE DE LEUR ENVIRONNEMENT

Les travaux menés en écologie, notamment par le Conservatoire d'espaces naturels (CEN) Limousin et par des chercheurs s'appuyant sur les sites gérés par le CEN Limousin comme terrain de recherche, démontrent l'importance de la Montagne limousine comme espace refuge. Il en est ainsi pour les ectothermes (insectes, reptiles, poissons…) qui trouvent dans les milieux tourbeux et humides des habitats de qualité. Pour autant, ces espèces sont, pour certaines, sensibles aux effets d'un réchauffement. La truite commune, emblématique des rivières limousines et associée aux têtes de bassin, en est un exemple. La corrélation entre le réchauffement des cours d'eau et leur raréfaction est attestée par une étude sur le Pays Monts et Barrages **[10] [11]**. *A contrario*, elle trouve dans les secteurs tourbeux relativement plus élevés de la Montagne Limousine des conditions intéressantes en termes d'habitats, de nourriture et de stabilité thermique **[11]**.

Certaines actions inscrites dans les Contrats Territoriaux Milieux Aquatiques (CTMA) signés avec l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et la Région Nouvelle-Aquitaine tel que le CTMA « Sources en actions » pour le bassin de la Vienne amont visent d'ores et déjà à réduire l'accentuation anthropique d'un réchauffement climatique. Ces actions tendent notamment à gérer les zones humides et les boisements riverains des cours d'eau, mais aussi à réduire l'impact des nombreux plans d'eau situés en tête de bassin versant de la Vienne, ou encore à diminuer les surfaces d'espaces lentiques (et plus exposé au réchauffement) associées aux seuils transversaux sur la Vienne et ses affluents. Ces actions sont menées en maîtrise d'ouvrage par les collectivités et associations intégrées au contrat ou par l'assistance technique, l'accompagnement individuel de propriétaires ou de gestionnaires par ces mêmes collectivités ou le Réseau Zones Humides animé par CEN Limousin.

Une autre étude **[12]**, concernant cette fois les carabes et les araignées, traite de l'importance de la préservation des zones humides sur les terres agricoles pour offrir un refuge à ces espèces.

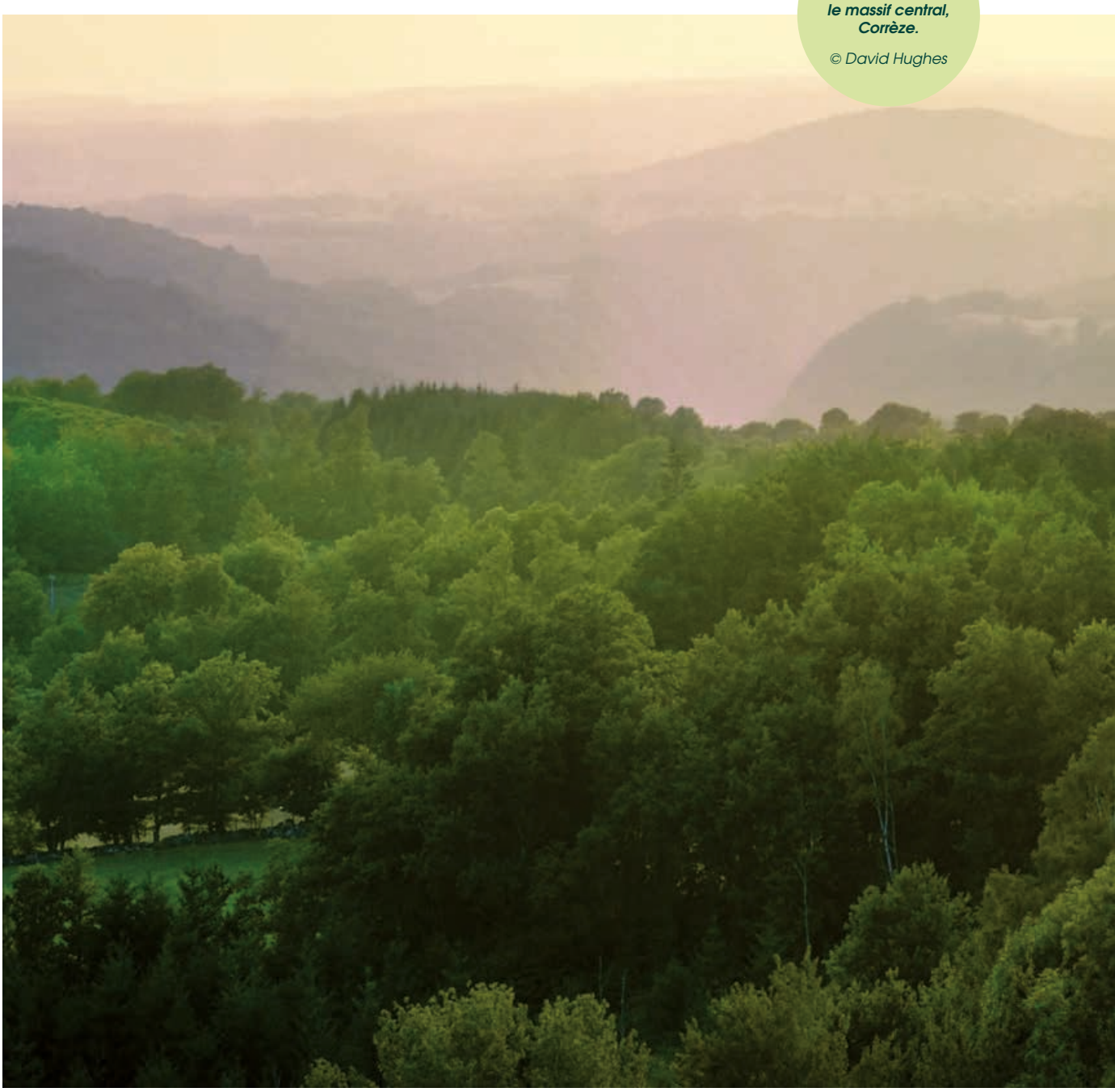
A contrario, d'autres espèces montrent une plus grande capacité d'acclimatation au réchauffement des eaux et colonisent progressivement de nouveaux milieux aux dépends des espèces emblématiques, tel que le Chevesne qui progresse vers l'amont des rivières creusoises **[13]**.

Les zones humides, au premier plan desquelles la tourbière, sont donc bien plus qu'un paysage emblématique de la Montagne limousine. Elles sont, à moyen terme, un refuge pour certaines espèces.

VALORISER LES ZONES HUMIDES AGRICOLES POUR PRÉSERVER ÉLEVAGE ET MILIEUX

D'un point de vue productif, la présence d'un socle granitique et de réserves en eau limitées pose la question de l'adaptabilité des pratiques agricoles et sylvicoles. La recrudescence des sécheresses printanières interroge ainsi la disponibilité en herbes et fourrages dans un modèle dominé par l'élevage. Plusieurs initiatives, dont un groupe CIVAM (Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural) nommé ADAPA (Association pour le Dévelop-

pement d'une Agriculture Plus Autonome), travaille sur des systèmes d'élevage recourant à des prairies naturelles afin de mieux intégrer les prairies humides dans les rotations. Les zones humides sont ainsi valorisées comme un outil d'aide à la résilience face aux sécheresses. Ces expériences, accompagnées par le Conservatoire des espaces naturels du Limousin, reposent sur la valorisation en circuits de proximités de productions animales qualitatives qui nécessitent un engagement des consommateurs à compenser le surcoût d'une production n'entrant pas dans les formats des filières longues (Réseau Zones Humides en Limousin, rencontres 2017 **[14]**). Mais cette valorisation est surtout à destination des espèces locales et/ou adaptées à l'entretien de ces milieux. Implantées pour certaines depuis plusieurs dizaines d'années, ces initiatives proposent un renversement intéressant du système de valeurs pour des milieux jusqu'alors considérés comme peu productifs et difficiles vers des zones de remédiation aux impacts des changements climatiques sur l'activité d'élevage. Il reste cependant à bien négocier cette transition pour ne pas dégrader des milieux fragiles, car si un réchauffement climatique et la gestion des milieux peuvent avoir des conséquences aux échelles régionales et locales, la manière de gérer la structure des végétations à l'échelle du site ou de la parcelle peut avoir des effets sur les mésoclimats et les microclimats, c'est-à-dire au plus près de l'échelle qui correspond à l'habitat d'une espèce à une période particulière **[12]**. Ce constat est d'autant plus vrai sur la Montagne limousine avec sa position en tête de bassin versant.



Un lever de soleil brumeux dans le massif central, Corrèze.

© David Hughes

4 QUELLE FORÊT POUR DEMAIN ?

La forêt de la Montagne limousine s'est constituée essentiellement au cours du xx^{e} siècle par déprise agricole et par plantation. Reposant pour l'essentiel sur une structure foncière de petits propriétaires, une filière bois s'est structurée autour de l'exploitation de résineux (Épicéa puis Douglas) sur un modèle sylvicole [futaie régulière]/[coupe rase]. Les boisements issus de l'enfrichement de terres agricoles, notamment des terres les moins facilement mécanisables, font essentiellement l'objet d'une valorisation pour du bois de chauffage, et plus ponctuellement pour l'approvisionnement de structures en bois de trituration.

Les travaux concernant l'impact des changements climatiques sur ces forêts et ce modèle sylvicole portent notamment par le réseau mixte technologique AFORCE. Il en ressort une nécessité de sélectionner de nouvelles essences, notamment adaptées à l'aléa sécheresse dont les effets sont redoutés à moyen terme (50-100 ans) sur les populations de Hêtre et de Douglas. Les réflexions des acteurs de la filière vont à la fois vers la sélection en pépinières de plants résistants et le raccourcissement des cycles de rotation. Une thèse sur le potentiel adaptatif de la génétique du Douglas a d'ailleurs été lancée par l'Université de Limoges dans le cadre de la Chaire d'excellence « Ressources et Usages du bois ».

Cependant, au regard des caractéristiques de la filière bois constituée autour de la Montagne limousine, fortement tournée vers l'export et produisant très peu de valeur ajoutée, des travaux questionnent la capacité de structurations alternatives de la filière à offrir des solutions face aux défis économiques mais également d'adaptation du massif forestier aux changements climatiques **[15]**. En proposant une approche par les proximités, il s'agit d'explorer les potentialités de développement de circuits de proximité (c'est-à-dire la conjonction d'une commercialisation sous la forme d'un circuit court et la prise en compte d'une notion de proximité géographique) à l'image de ceux existants en agroalimentaire.

5 DU DÉFI D'ADAPTATION AU TERRITOIRE D'EXPÉRIMENTATION

Au-delà des milieux, les sociétés locales dans leur fonctionnement quotidien et leur organisation sont aussi impactées par le changement climatique. A l'image des campagnes limousines, on retrouve dans la Montagne limousine des populations disposant en moyenne de revenus plus faibles que dans le reste du territoire régional, plus âgées et résidant dans un habitat très majoritairement individuel et ancien (antérieur à 1980 voire 1949). Il faut ajouter à cette équation les très faibles densités de ce territoire - 12 habitants au km² pour le Plateau de Millevaches - qui imposent des déplacements motorisés et individuels. Cette situation d'ensemble est problématique à l'heure d'inscrire les sociétés dans une démarche de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de renchérissement des énergies (notamment carbonées). Il s'agit ici d'agir tant sur l'habitat que les mobilités et ceci dans un contexte contraint par des ménages à faibles revenus et propriétaires de biens immobiliers, qui en dehors de leur valeur patrimoniale, restent difficiles à traiter en regard des normes environnementales.

Il faut cependant se garder de faire un constat uniquement à charge pour cette société de la Montagne limousine dans ses capacités d'adaptation aux changements climatiques. Au contraire, ce territoire se révèle riche d'initiatives publiques ou citoyennes (voir encart). Le mélange et la complémentarité de ces initiatives en font un potentiel laboratoire d'expérimentation pour la résilience des milieux ruraux fragiles face aux changements climatiques. En grande partie fédérée par l'existence du Parc naturel Régional (PNR) de Millevaches, la Montagne limousine s'est ainsi dotée, pour ce qui concerne le PNR, d'un Plan Climat Énergie Territorial (PCET) en 2012. Ce PCET fait suite à des actions engagées dès 2004 en lien avec l'ADEME et l'ex-Région Limousin. Cette approche transversale qui propose nombre d'actions de sensibilisation s'inscrit dans un territoire où des initiatives citoyennes ont depuis longtemps déjà posé les bases du débat environnemental. Il en va ainsi de la présence de TéléMillevaches, qui depuis plus de 30 ans propose un média d'information et de sensibilisation à destination des habitants du plateau, sans oublier l'existence d'un journal associatif, IPNS, dont les dossiers font souvent écho à la problématique climatique. Cet engagement citoyen se retrouve aussi dans le domaine de l'urbanisme, avec la création de la SCIC L'Arban, dont l'objet est d'intervenir dans les projets d'urbanisme et d'habitat, avec par exemple l'accompagnement de la commune de Faux-la-Montagne dans la création de son écoquartier. L'innovation est ici autant dans la conception des projets, qui se veulent exigeants en termes sociaux et environnementaux, que sur la forme privilégiant la participation et la coconstruction.

INITIATIVES TERRITORIALES. L'EXEMPLE DE CHAVANON EN ACTION

Le PNR (Parc naturel Régional) de Millevaches a mis en place un contrat territorial pour 5 ans sur le bassin versant du Chavanon en se positionnant comme coordinateur et animateur de ce projet. Le contrat territorial est fondé sur un multipartenariat entre 20 porteurs de projet. Tous les organismes ayant un rôle à jouer dans la protection de l'eau se sont rassemblés : communes, communautés de communes, syndicats mixtes, associations…

« Chavanon en action » est destiné à préserver les milieux aquatiques du bassin transcendant les limites administratives (des communes, départements, régions) afin d'agir à une échelle cohérente d'un point de vue hydrographique.

Le programme comporte plus de 200 actions divisées en trois volets : amélioration de la qualité de l'eau ; préservation des milieux aquatiques et gestion de la ressource en eau ; communication, suivi et animation. Ces actions visent à atteindre le bon état des eaux et la mise en place d'une gestion équilibrée des milieux aquatiques dans une perspective de développement durable.

Sources : **www.pnr-millevaches.fr et www.chavanon-en-action.fr**

6 CONCLUSION

La Montagne limousine apparaît donc comme un territoire mis au défi de s'adapter : adapter les mobilités, la façon d'habiter, la valorisation de ses zones humides supports d'élevage et de ses forêts. De plus, de par sa position géographique et topographique, la Montagne limousine est un condensé d'enjeux pour les milieux naturels régionaux, et plus particulièrement concernant les milieux semi-naturels, dont les zones humides. Ces enjeux deviennent dès lors sociétaux lorsque ces milieux sont déjà ou seront d'autant plus intégrés dans des systèmes de production du fait des changements climatiques.

Paysage de Turenne en Corrèze.

© CoralieG

Paysage du Limousin, France.

© Traveller70

Participation locale et appropriation citoyenne

Shutterstock © Rawpixel.com

Coordination : **Daniel Compagnon**

Rédacteurs : **Daniel Compagnon, Daniel Delestre, Alain François, Camille Jonchères, Sophie Le Floch, Alice Mazeaud, Julien Rebotier, Denis Salles, Faustine Sanz Espagnon, Pascal Tozzi**

Contributeurs : **Stéphanie Dechézelles, Jean-Yves Rossignol**

La mise en œuvre d'actions publiques à l'échelle de la région et des territoires locaux, pour répondre au défi du changement climatique, implique que les populations concernées par ces projets s'en approprient les finalités et modalités. La question de la participation du public aux décisions d'aménagement et de développement durable a fait l'objet d'une abondante littérature qui souligne les ambiguïtés de l'exercice et les limites des outils utilisés. Jusqu'à présent les expérimentations menées autour du changement climatique, à l'échelle territoriale, ne dérogent guère à ce constat. Si la production d'un savoir adapté est cruciale, l'éducation à l'environnement joue également un rôle central. Les exemples de l'implantation de projets d'énergie renouvelable, celui des écoquartiers urbains ou des TEPOS (Territoires à Energie POSitive, devenus récemment TEPCV) attestent qu'il faut changer de modèle décisionnel et sortir de la recherche d'une « acceptabilité sociale » à moindre coût.

ACCROÎTRE L'IMPLICATION

ACCEPTABILITÉ SOCIALE

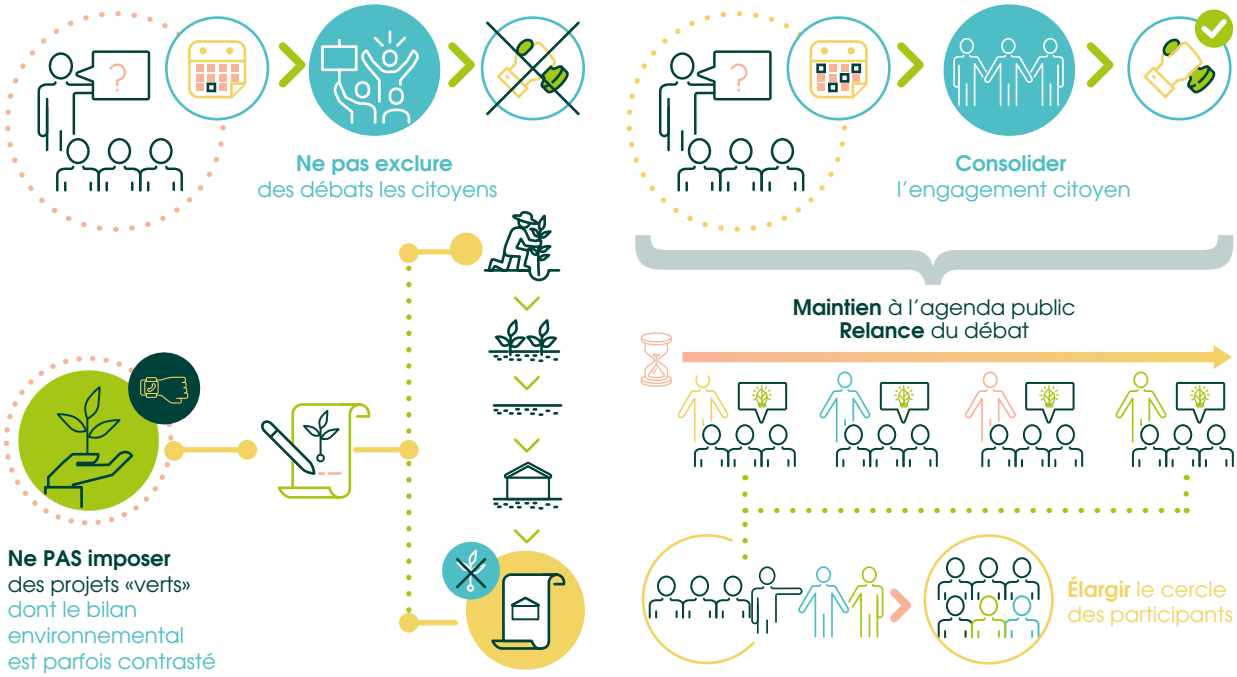
LÉGITIMER LES POLITIQUES PUBLIQUES

FAVORISER L'APPROPRIATION PAR LA POPULATION

ÉCOUTER L'OPPOSITION L'INTÉRÊT GÉNÉRAL

DIFFUSER DES POLITIQUES CLIMATIQUES

ADAPTATION AJUSTEMENT → ADAPTATION TRANSFORMATIONNELLE



Ne PAS imposer des projets «verts» dont le bilan environnemental est parfois contrasté

1 INTRODUCTION

La complexité du changement climatique dans ses dimensions à la fois scientifiques et sociétales influence la façon dont les décisions collectives sont prises, acceptées par les populations concernées, mais aussi la façon dont elles sont mises en œuvre. La gouvernance des transitions écologique et énergétique suppose une mise en cohésion de l'ensemble des parties prenantes, des initiatives citoyennes et des publics. La participation des publics concernés par les politiques mises en œuvre, si elle se pose à tous les échelons de l'organisation sociopolitique, est particulièrement cruciale aux échelles territoriales qui nous intéressent ici. Du fait de ses caractéristiques (incertitudes scientifiques, interdépendances territoriales, sectorielles et temporelles) la problématique du changement climatique constitue un champ d'expérimentation sociale particulièrement pertinent pour les démarches de participation permettant de donner du « sens » aux transitions à engager.

QUEL SAVOIR POUR QUELLE DÉCISION ?

Outre le progrès des connaissances fondamentales, la science produit des savoirs pour l'action **[1]** portant aussi bien sur le contenu technique que sur la dimension comportements collectifs des politiques publiques. C'est à ce besoin de nouvelles connaissances à l'échelle de nos territoires que répond l'Observatoire des politiques climatiques dans l'ex-région Poitou-Charentes (encadré ci-dessous). Toutefois la production d'une recherche universitaire ne suffit pas. De nombreuses études de cas, en France **[2]** comme à l'étranger **[3]**, documentent la diversité des savoirs qui accompagnent le changement climatique et leur articulation difficile dans la mise en place de stratégies d'adaptation. L'importance d'une meilleure connaissance des logiques sociales a été depuis longtemps soulignée **[4]**, mais la question de la connaissance nécessaire à produire pour l'action reste entière. Il convient donc, en connaissance de cause, d'opérer des choix parmi la diversité des savoirs légitimes, y compris les savoirs profanes – hors monde académique et technocratique. Or l'action publique environnementale s'est longtemps fondée sur le discours expert, les dispositifs techniques, ou sur un cadre réglementaire qui fournissait l'opportunité d'un nouveau pilotage à distance **[5]** **[6]**.

L'OBSERVATOIRE DES POLITIQUES CLIMATIQUE EN EX-POITOU-CHARENTES

Dès 2004, l'ex-région Poitou-Charentes s'est distinguée par la mise en place précoce de politiques publiques environnementales et climatiques. S'inscrivant dans cette tradition, le Contrat de Plan État-Région (CPER INSECT, 2015-2020 : Innovation sociale économique et culturelle dans des territoires en mutation) finance depuis 2015 la mise en place d'un Observatoire des politiques publiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique en ex-région Poitou-Charentes porté par le laboratoire *Ruralités* (EA 2252) de l'Université de Poitiers, dont les travaux ont débuté au premier trimestre de l'année 2016. Il s'agit de répondre à la nécessité de construire des instruments d'observation, de suivi et d'analyse des politiques publiques régionales de mise en œuvre, sur les territoires, de la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) du 17 août 2015. On sait en effet que ces politiques interviennent dans un contexte institutionnel nouveau et complexe en matière de lutte contre le changement climatique du fait du nombre croissant de textes réglementaires, de documents d'orientation et de planification territoriale précisant les modalités et les objectifs ambitieux des politiques d'atténuation et d'adaptation à mettre en œuvre.
D'autre part, ces dispositifs réglementaires interviennent alors que la région connaît une réforme institutionnelle profonde. La « Nouvelle Organisation Territoriale de la République » (loi NOTRe, 2015), la loi relative aux communes nouvelles en 2015 et l'adoption des nouveaux Schémas Départementaux de Coopération Intercommunale (SDCI) en 2016, engendrent en effet une importante réorganisation du paysage territorial et de ses modes de gouvernance, lesquels expliquent certaines difficultés opérationnelles : changement de périmètres, nouvelles réalités institutionnelles, transferts de compétences, mutualisations de services entre communes membres d'un Établissement Public de Coopération Intercommunal (EPCI)… Néanmoins, cette nouvelle organisation territoriale offre potentiellement de nombreuses opportunités à saisir pour l'élaboration des politiques de lutte contre le changement climatique.
De nouvelles échelles d'observation et d'organisation sont en effet requises désormais, pour penser et construire des programmes d'action et de planification concertés à des échelons élargis et plus cohérents, ceux notamment où se posent les véritables enjeux de mobilité (bassin de vie) et d'activité (bassin d'emploi) sur les territoires.
Ainsi, cet observatoire régional offrira un espace de réflexion, de production de connaissances, d'échange et de partage d'informations à partir d'approches transdisciplinaires et intégratives plus holistiques et systémiques que les approches sectorielles actuellement dominantes.
Il s'agit, à terme, d'interroger l'efficacité de la nouvelle régulation des systèmes territoriaux en matière de transition énergétique, d'atténuation et d'adaptation face aux changements climatiques à l'échelle régionale.

Une coproduction de la connaissance pour l'action correspond à un registre de mise en lien des acteurs assez différent d'un simple « porté à connaissance », ou des exercices de « concertation », « consultation » ou de « débat public » traditionnellement mis en avant dans les stratégies environnementales des collectivités territoriales. Ainsi, lorsqu'on considère l'action publique face au changement climatique, ce sont autant les modes de production de connaissances que leur statut, leur rôle et leur circulation dans un collectif et sur un territoire qui doivent retenir l'attention. L'incapacité à impliquer les parties prenantes dans la production des connaissances pertinentes pour l'action contribue à l'échec de l'action publique locale, notamment sur les questions environnementales, et à sa faible appropriation par les acteurs de terrain. Le développement des pratiques de science participative constitue l'une des réponses possibles à ce défi, dès lors qu'il ne s'agit pas d'un simple exercice de relations publiques : la participation signifie à la fois une mise en partage des connaissances autant qu'un partage de la décision.

La littérature en sciences sociales distingue plusieurs définitions de l'adaptation au changement climatique **[7] [8]**. Une « Adaptation-Ajustement » – proche de celle traditionnellement envisagée par le GIEC – visant essentiellement à créer les conditions d'une adaptation des systèmes humains actuels au changement climatique futur, se distingue d'une « Adaptation transformationnelle », notion émergente dans le dernier rapport GIEC 2014, qui conçoit l'adaptation comme un processus de transformation significative des mécanismes institutionnels, techniques, financiers visant une transition vers un système socioécologique durable **[8] [9] [10]**. Au cœur de cette tension entre ajustement et transformation c'est le mode de pilotage des politiques locales d'adaptation au changement climatique qui est en jeu. Une multitude d'initiatives ou d'expérimentations de l'adaptation ont progressivement émergé à l'échelle nationale et des territoires, des plus institutionnelles (Plan national d'adaptation au changement climatique en cours de révision, ou plans d'adaptation des agences de l'eau) aux plus spontanées, en passant par l'émergence d'« organisations frontières » à l'interface de l'expertise scientifique et de la décision (AcclimaTerra, GIP littoral…), ou encore d'expérimentations qui visent à tester des options d'adaptation. En tout état de cause, le savoir utile produit par ces expériences doit faire l'objet d'une coproduction avec les citoyens et collectivités intéressés ; l'adaptation transformationnelle requiert notamment une implication encore plus forte des acteurs de terrain.

UNE PROLIFÉRATION CONTRE-PRODUCTIVE DES DISPOSITIFS DE CONCERTATION ?

Les dispositifs de concertation/participation se sont multipliés depuis plus de vingt ans dans le champ diversifié des politiques de l'environnement **[11] [12]**, contribuant à améliorer la conduite de nombreux projets en décloisonnant des visions trop exclusivement sectorielles et en introduisant du temps long, contre une gestion souvent à court terme des problèmes. Les problématiques environnementales ont constitué un véritable laboratoire d'innovations en matière de concertation des publics et des parties prenantes **[13] [14]**. Les attentes à l'égard des dispositifs de concertation concernaient leur capacité à transformer substantiellement la conduite de l'action publique et à favoriser une meilleure prise en compte de l'environnement.

L'espoir d'une convergence croissante entre démocratie et efficacité environnementale a été entretenu par de nombreuses innovations procédurales **[15] [16] [17]**, dont une spécificité française, la Commission nationale du débat public **[18]**.

Toutefois, à partir des années 2000, les modalités et les effets de la concertation ont fait l'objet de critiques de plus en plus vives **[19]**. Un premier constat souligne l'incapacité croissante de la concertation à résoudre les conflits politiques territoriaux autour de l'environnement qui ont tendance à se multiplier et à se radicaliser (parmi les plus médiatisés et aussi les plus virulents, la retenue d'eau de Sivens, l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, ou le site d'enfouissement des déchets nucléaires de Bure). Ces difficultés attribuées au processus de concertation sont aussi intrinsèquement liées aux tensions irréductibles entre les enjeux environnementaux et ceux du développement économique et technique. Deuxième ordre de critiques, dans l'esprit des mobilisations récentes « contre les grands projets inutiles et imposés » - dont certaines ont touché le territoire de la Nouvelle-Aquitaine, la concertation ne devrait pas se cantonner à la garantie d'une conformité formelle des projets d'aménagement aux normes juridiques, mais, plus fondamentalement, devrait également permettre d'interroger leur opportunité et leur utilité sociale ; mettant ainsi en débat le projet de société au-delà du projet d'aménagement.

Autrement dit, deux critiques de la concertation s'opposent frontalement : pour beaucoup de décideurs et maîtres d'ouvrage, elle est une perte de temps et une contrainte procédurale coûteuse qui entrave la conduite de projets jugés nécessaires au développement ; pour beaucoup d'ONG et d'activistes de la protection de l'environnement, la concertation instituée et ses multiples dispositifs constituent un écran de fumée destiné à légitimer des décisions acquises d'avance, sans gains supplémentaires du point de vue environnemental **[20]**. Bien entendu, les dispositifs participatifs dans le cadre des politiques liées au changement climatique n'échappent pas à cette remise en question.

En ex-Aquitaine, les protecteurs de l'environnement ont souvent été échaudés dans le passé par le dévoiement des processus participatifs et leur scepticisme a quelque fondement. Par exemple, à propos du projet de contournement autoroutier de Bordeaux, un comité interministériel du 18 décembre 2003 avait décidé de mener le projet sans attendre l'achèvement du débat public - prévu le 15 janvier 2004 - ni le rapport de la Commission particulière du débat public, dont les membres avaient aussitôt démissionné[1].

De la même façon, sous un gouvernement différent, un décret du 2 juin 2016 déclarait « d'utilité publique et urgents » les projets de Ligne Grande Vitesse Bordeaux-Toulouse et Bordeaux-Dax, en contradiction avec l'avis défavorable et le rapport très argumenté de la commission d'enquête publique, notamment sur le plan de la rationalité du projet (« le projet est coûteux pour des gains de temps assez limités, notamment vers le sud-aquitain »), de la pertinence du tracé et de la protection d'espaces naturels remarquables[2], critiquant au passage le fractionnement de l'enquête publique en trois segments, contraire à la loi française et européenne. Ce dernier exemple rappelle combien la procédure d'enquête publique – pourtant plusieurs fois réformée – ne joue pas souvent son rôle et a perdu une grande partie de sa légitimité aux yeux des populations. Si l'on souhaite impliquer les populations concernées par les projets relatifs au changement climatique en Nouvelle-Aquitaine il conviendrait de rétablir d'abord la confiance des citoyens dans les dispositifs participatifs – peut-être au moyen des conférences de consensus territoriales évoquées récemment par le nouveau ministre de la transition écologique.

1 • Cette décision endossée par le ministère des transports avait été annulée le 1er mars 2007 par le tribunal administratif de Bordeaux, saisi par un collectif d'associations, et le projet fut abandonné en 2008.

2 • « Grand projet ferroviaire du Sud-ouest (GPSO). Réalisation des lignes nouvelles Bordeaux-Toulouse et Bordeaux-Dax par Réseau Ferré de France (RFF) devenu SNCF Réseau. Enquête préalable à la déclaration d'utilité publique et à la mise en compatibilité des documents d'urbanisme », Rapport de la commission d'enquête GPSO/LN, 27 mars 2015, 623 p. Il convient de noter le Tribunal administratif de Bordeaux a annulé la DUP concernant l'un des trois segments le 29 juin 2017.

2 PARTICIPATION DES CITOYENS À LA CONCEPTION DES POLITIQUES ET SENSIBILISATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

« Si la COP 21 était un débat citoyen, le climat serait en passe d'être sauvé »[3].

La presse, relatant les résultats du débat citoyen planétaire organisé quelques semaines avant la COP 21, rappelait ce qui est souvent présenté comme une évidence : une participation accrue des citoyens serait nécessairement favorable à la protection de l'environnement. La participation des citoyens est supposée agir « comme un correctif indispensable au poids des logiques administratives et économiques, [...] favorisant la prise en compte de valeurs sociales supposées plus soucieuses de l'environnement et davantage orientées vers le long terme » **[21]**. Cette affinité élective de la participation des citoyens et de la protection de l'environnement a été consacrée à de nombreuses reprises par le droit.

Pourtant les effets bénéfiques de la participation sont plus souvent postulés que démontrés. Ces effets sont évalués habituellement sur la base de critères non pas environnementaux, mais procéduraux. De fait, mesurer les effets de la gestion concertée sur la qualité de l'environnement supposerait de mobiliser également des outils biologiques et écologiques sur des temps longs **[22]**, outils pas nécessairement disponibles. En outre, certains travaux plus récents ont pu pointer des effets négatifs sur la protection de l'environnement **[11].** Quoi qu'il en soit, la participation des citoyens, sous des formes diverses, est de plus en plus un point de passage obligé des politiques climatiques principalement locales. Il s'agit le plus souvent d'associer les citoyens à la formulation de ces politiques dans le cadre de l'adoption d'Agendas 21 locaux ou de Plans Climat Énergie Territoriaux (PCET) ; plus rarement il s'agit d'associer des citoyens et parties prenantes à la mise en œuvre d'engagements sur la durée, voire à l'évaluation desdites politiques.

Enfin, on peut signaler des expériences de participation des citoyens à la conception des politiques climatiques globales.

PARTICIPATION DES POPULATIONS CONCERNÉES AUX POLITIQUES CLIMATIQUES LOCALES

Quels sont les bénéfices engendrés par la participation présentée comme un enjeu central de la qualité des politiques climatiques locales ? À partir d'une revue de littérature **[12]**, trois grands objectifs peuvent être identifiés.

Premièrement, dans une logique instrumentale, ces procédures peuvent favoriser l'acceptation du changement et la responsabilisation des acteurs. D'une part, la participation tend à engendrer une plus forte acceptabilité des externalités négatives engendrées par les projets de lutte contre le changement climatique. C'est notamment le cas pour les installations d'équipements collectifs (voir le cas des éoliennes développé ci-dessous) ou dans l'imposition de restrictions d'usages, etc.

3 • La Gazette des communes, 9 juin 2015.

La participation du public permettrait également, sinon d'éliminer, du moins d'atténuer les conflits en modifiant les relations entre les différentes parties, *via* une dynamique d'apprentissage social. D'autre part, la participation peut viser une plus forte responsabilisation des acteurs, invités à « prendre conscience » de l'enjeu du changement climatique et à s'engager dans une démarche de solution du problème. À noter toutefois que l'idée d'une « appropriation » des projets par le grand public, renvoie bien souvent à une vision strictement pédagogique, voire infantilisante, de la concertation, qui exclut a priori que ledit public ait une opinion initiale digne d'intérêt.

Deuxièmement, dans une logique substantielle cette fois, les procédures de concertation/participation permettraient l'émergence d'idées nouvelles, de propositions alternatives, améliorant ainsi la qualité des décisions grâce à l'apport du savoir (savoir territorial, expertise d'usage) et des valeurs des parties prenantes et groupes affectés. La participation apporterait du contenu, constituerait un processus d'abondement en idées et suggestions « alternatives ». L'idée d'alternative renvoie ici à la capacité des participants à présenter des solutions, soit des propositions qui n'avaient pas été encore envisagées (voire avaient été explicitement ignorées) par les promoteurs du projet. Il s'agit notamment de la capacité des profanes à défendre des points de vue à long terme que les décideurs auraient tendance à écarter au profit des logiques à court terme.

Troisièmement, la participation des citoyens permettrait de maintenir à moyen et long terme la politique climatique sur l'agenda. Le passage d'une communauté débattante à une communauté locale de gestion du problème climatique, au-delà des seules autorités publiques, faciliterait la structuration et la stabilisation des engagements dans la durée.

Une évaluation de la concertation dans l'adoption des PCET réalisée en 2012 par le cabinet Planète Publique pour l'ADEME **[23]** livre des conclusions nuancées sur chacun de ces trois effets possibles. Tout d'abord, si ces démarches de concertation mobilisent souvent plus d'une cinquantaine de personnes, elles ont du mal à mobiliser au-delà du cercle des parties prenantes habituelles. L'effet en termes de responsabilisation d'une large diversité d'acteurs est donc limité. Ainsi, l'évaluation souligne qu'« outre les partenaires habituels de la collectivité sur les problématiques climatiques, les acteurs généralement les plus impliqués dans la concertation sont les élus. (...) Non seulement ces acteurs acceptent mieux le changement climatique, mais en plus ils sont responsabilisés et peuvent participer à la mise en œuvre d'actions sur le territoire, sans toutefois réorienter totalement leur stratégie. Il s'agit cependant du seul type de partie prenante pour lequel un passage à un registre « actif » de participation (intéressement, enrôlement, mobilisation, engagement) est fréquemment observé ».

Pour les autres parties prenantes, la participation à la démarche renforce seulement les registres « passifs » d'intérêt pour les enjeux climat-énergie (perception, information, connaissance et compréhension), au travers d'une sensibilisation effectuée auprès des acteurs socio-économiques (et de leurs représentants) ou encore de la société civile. En ce qui concerne les partenaires de la collectivité (acteurs institutionnels, associatifs, consulaires…), déjà sensibilisés et engagés sur ces enjeux-là, « leur implication dans la concertation du PCET vise avant tout à accompagner et faciliter sa mise en œuvre ». Toutefois, « la concertation est porteuse d'effets (…) et peut ainsi permettre de passer d'une relation bilatérale à une interconnaissance plus transversale, avec des participants qui apprennent à se connaître, mais aussi et surtout à identifier des personnes-ressources potentielles, tant sur les plans techniques, que politiques ou de la communication ».

La participation des populations concernées est principalement recherchée au stade de la conception des politiques climatiques locales, mais les organisateurs sont confrontés à la difficulté classique de ne parvenir à mobiliser que ceux des acteurs qui ne sont pas déjà organisés et mobilisés. En effet, les processus participatifs n'échappent pas aux biais classiques de la participation politique. La relative absence des citoyens ordinaires non-mobilisés sur les questions climatiques constitue ici un enjeu d'autant plus important que ces processus ont aussi un objectif pédagogique. C'est pourquoi ces processus sont régulièrement accompagnés de démarches d'éducation à l'environnement et s'appuient sur des outils numériques destinés à élargir le cercle des participants, comme par exemple la mise en place d'une plateforme participative en ligne pour l'élaboration de l'acte II de l'Agenda 21 de Bayonne[4].

Ensuite, on peut noter que ces processus de concertation ne font qu'exceptionnellement émerger des propositions alternatives. Cependant et contrairement à la critique élitiste classique, cette faible créativité politique est moins le signe d'une faible capacité imaginative ou d'une compétence limitée des participants à la consultation, qu'elle ne traduit l'emprise du cadrage de la concertation tel qu'imposé par les décideurs et la faible politisation du débat. De fait, le cadrage de la concertation est tel – il s'agit d'abord de rechercher des solutions techniques pour l'adaptation locale au changement climatique – que les participants s'interdisent de formuler des propositions alternatives reposant par exemple, sur la remise en cause de notre modèle de développement. Cependant, il est souligné dans l'évaluation sur les PCET de Planète Publique que la concertation favorise une meilleure prise en compte des attentes des acteurs du territoire et contribue à faire émerger des solutions techniques plus adaptées, et surtout à les légitimer.

Enfin, ce rapport d'évaluation pointe la difficulté à dépasser le moment de la conception de la politique climatique. Si la démarche de concertation permet à

*4 • **www.bayonne.fr/developpement-durable/ma-ville-durable/982-agenda-21.html***

la politique climatique locale de gagner en visibilité, elle ne permet pas la véritable structuration d'une communauté de gestion au-delà des seuls partenaires habituels. « Deux phénomènes affaiblissent l'écho que pourraient porter la concertation et le PCET dans l'affirmation à moyen et long terme d'une politique publique climatique : d'un côté, la faible appropriation du PCET par les acteurs du territoire, y compris par les participants à la concertation ; de l'autre, l'insuffisante mise en cohérence des actions des PCET avec les dynamiques d'action locales ». Cette difficulté à faire une place à l'engagement citoyen dans la durée est d'autant plus problématique que cette participation est supposée favoriser l'appropriation de l'enjeu climatique mais aussi une transformation des comportements en conséquence.

C'est pourquoi certaines collectivités territoriales ont engagé des démarches participatives dans la durée avec des familles volontaires, tel l'atelier climat organisé par Nantes Métropole en 2011[5]. Cette démarche expérimentale associa, pendant un an, 150 ménages de l'agglomération réunis dans un « Atelier Climat », qui visait un double objectif : mesurer les facteurs favorisant les changements d'habitude des personnes concernées, ou les freins, et tester les politiques publiques accompagnant les habitants dans un changement ou une adaptation de leurs habitudes. Au terme de cet Atelier un avis citoyen et des réponses ont été apportés par Nantes Métropole autour de quatre questions : Qu'envisagez-vous de faire, individuellement et collectivement, pour contribuer à l'objectif climat de Nantes Métropole, et pourquoi ? Quels sont les principaux obstacles que vous rencontrez aujourd'hui pour réduire fortement vos émissions de GES ? Qu'est-ce qui vous permettrait d'agir davantage pour réduire vos émissions de GES et comment Nantes Métropole peut contribuer à vous y aider ? Comment rendre les 600 000 habitants de Nantes Métropole plus acteurs d'une forte réduction des émissions de GES ?

Dans une autre logique, le maintien sur l'agenda de la question climatique peut également être recherché par le recours à une évaluation participative de la politique climatique. On peut évoquer ici l'organisation en 2008 d'un jury citoyen sur l'évaluation de la politique climatique conduite par l'ex-région Poitou-Charentes. L'originalité de cette expérience est double : le tirage au sort de citoyens ordinaires en substitut de l'appel aux volontaires d'une part et une participation visant l'évaluation et non la conception de la politique climatique d'autre part. « Le jury citoyen est un dispositif de démocratie participative dans lequel un groupe de 25 personnes environ, tirées au sort, formulent des recommandations sur un sujet de politique publique à l'issue d'un processus d'information et de délibération de quelques jours » **[25]**. Plusieurs enseignements peuvent être tirés de l'expérience. D'un côté, la participation des citoyens peut être envisagée comme un dispositif de rendu de comptes et de suivi des engagements ; de l'autre, si elle a confirmé l'intérêt d'un large public pour l'enjeu climatique et pour la méthode, l'observation confirme également la difficulté à politiser le débat sur les questions climatiques, à dépasser le consensus des bonnes intentions.

Ainsi, les dispositifs de participation des citoyens se sont banalisés dans la fabrique des politiques climatiques locales mais leur portée réelle reste limitée. D'une part le public impliqué n'est que rarement élargi au-delà du seul cercle des partenaires habituels et d'autre part, les démarches sont souvent orientées vers la responsabilisation des individus dans leurs pratiques et la recherche de solutions techniques visant l'adaptation au changement climatique. Les choix liés au changement climatique sont ainsi largement dépolitisés et individualisés alors qu'ils se posent à l'échelle des sociétés, du devenir collectif, et en tant que tels sont fondamentalement politiques.

PARTICIPATION DES CITOYENS AUX POLITIQUES CLIMATIQUES GLOBALES

En parallèle de la concertation au service de l'action publique locale, des expériences visant à une participation des citoyens aux politiques climatiques à l'échelle internationale ont été menées. Il s'agit d'abord de mieux informer les citoyens sur les enjeux des négociations climatiques en cours et de contribuer à développer une réflexion sur la place qu'ils peuvent y tenir. En effet, en dépit de l'affluence croissante aux conférences internationales, les citoyens restent les grands absents de ces négociations. C'est pourquoi le cycle de conférences et de forums organisé pendant la COP21 par l'ex-région Poitou-Charentes, en collaboration avec l'association « Les petits débrouillards », visait à favoriser l'appropriation citoyenne des enjeux. La contribution des gens ordinaires intéressés aux politiques climatiques globales ne prend pas la forme, bien sûr, d'une intervention directe et technique fondée sur l'expertise pointue du changement climatique, mais celle d'un apport indirect et politique, par l'expression d'une opinion collective éclairée susceptible de faire pression sur les décideurs.

Dans cet esprit, une première expérimentation a été conduite en 2008. L'ex-région Poitou-Charentes et deux autres régions européennes ont expérimenté un « *e-town meeting* » électronique de type « IDEAL-EU » consacré aux questions climatiques. Il s'agit d'un dispositif original appuyé sur les technologies numériques, permettant la délibération simultanée de trois groupes en France, en Espagne et en Italie. Il avait d'abord une forte dimension pédagogique puisque les participants étaient principalement des jeunes, essentiellement des lycéens. Il avait également pour objectif de peser sur l'agenda européen *via* une remise officielle du résultat de la délibération au Parlement de l'U.E. IDEAL-EU n'a pas échappé au fétichisme de la procédure et visait d'abord à afficher l'expérimentation d'un dispositif délibératif original **[26] [27]**.

5 • Nantes Métropole, Cahiers de connaissance, « Agir avec les citoyens pour le climat » [24].

Toutefois, cette expérience a montré que la grande échelle n'était pas un obstacle rédhibitoire à la mise en œuvre de démarches participatives.

Ce constat a été validé à une échelle plus vaste encore, celle du projet « *world wide views* »[6]. La première expérimentation de ce débat citoyen planétaire a été conduite en 2009 sur la thématique du changement climatique, et a concerné 4000 participants dans 38 pays. En 2012, un second débat a porté sur la biodiversité, et a concerné 3000 participants dans 25 pays. Enfin, en 2015, un débat citoyen planétaire sur le climat et l'énergie a rassemblé plus de 10000 participants dans 76 pays. Cette dernière expérience a été conduite pour la France en partenariat avec la Commission nationale du débat public et plusieurs Régions françaises, dont les ex-Poitou-Charentes et l'ex-Aquitaine : le 6 juin 2015, 100 participants dans chacun des 76 pays ont débattu sur la base de cinq sujets clefs des négociations climatiques. Le projet a été labellisé COP21 et l'avis citoyen a été ensuite présenté aux négociateurs pendant la COP21. La méthode utilisée était celle du « e-town meeting », soit des délibérations en petits groupes avec un système de d'échange de contenus et de vote électronique permettant de changer d'échelle. À l'instar des expériences précédentes, le débat était particulièrement cadré et faiblement politisé. L'objectif ostensible n'était pas de faire émerger des idées alternatives mais de permettre aux citoyens de s'approprier les enjeux déjà énoncés de la négociation, tout en favorisant un dialogue entre les citoyens et les décideurs sur les problématiques climatiques. Ce « débat citoyen » planétaire a indéniablement participé à la visibilité de la COP21 et à la popularisation des enjeux, sans avoir nécessairement influencé significativement le contenu des négociations. On touche ici à nouveau aux limites des logiques participatives.

ÉDUCATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET APPROPRIATION DES POLITIQUES

L'appropriation par le public des objectifs et instruments de l'action publique sur le changement climatique requiert son accès à une information pertinente, au-delà de ce qui est véhiculé par les grands médias et qui n'est pas nécessairement bien assimilé. Les actions d'éducation à l'environnement et en particulier aux différents aspects du changement climatique jouent un rôle décisif. Une recherche réalisée auprès de trente classes de lycées de Bordeaux Métropole en collaboration avec l'association TaCa[7] montre que le réchauffement climatique est enseigné à l'école mais mal compris **[28]**.

LES INTERVENTIONS « LE CLIMAT ET MOI » DE L'ASSOCIATION TACA

En 2013, TaCa a fait appel à des stagiaires de master en psychologie sociale pour concevoir l'opération « Le Climat et Moi », pour faire comprendre aux lycéens la relation que chaque être humain entretient avec le climat dans sa vie quotidienne. Malgré les cours au programme de seconde en Sciences de la Vie et de la Terre et en Géographie, le changement climatique reste mal compris par une majorité de lycéens. Les informations erronées persistent (par exemple, le trou dans la couche d'ozone associé à l'épaississement de la couche de GES). Surtout, les élèves interrogés sont bien en peine d'identifier les actions quotidiennes qui participent au réchauffement climatique. Si l'on cherche à mettre à jour leur représentation sociale du réchauffement climatique, en tant « qu'ensemble organisé d'opinions, d'attitudes, de croyances et d'informations se référant à un objet ou une situation » **[29]**, l'image mobilisée par la plupart est celle de la fonte des glaces des pôles, qui les éloigne des préoccupations locales.
Fort de ces constats, l'association TaCa a repris avec les élèves les connaissances élémentaires sur le changement climatique, afin qu'ils en comprennent les implications au plan local et individuel, pour qu'ils puissent mieux s'approprier les actions préconisées. Cela a pris la forme de la diffusion d'un extrait de *Chasing Ice*, documentaire réalisé par Jeff Orlowski en 2012 **[30]** sur la fonte des glaciers, suivie d'une présentation des conséquences du réchauffement climatique en France et en Aquitaine, puis d'une explication de ses origines anthropiques. Le but de l'intervention étant de rendre les élèves acteurs du changement, elle s'achevait par un débat sur les solutions envisageables, dont celle soutenue par TaCa : le signal prix carbone. L'intervention de deux heures impliquait la participation active des lycéens. Une analyse de leur perception du réchauffement climatique avant l'intervention et après l'intervention, pour en apprécier l'évolution, a donné des résultats encourageants.
L'intervention associative a permis de contrer les informations erronées en créant un système cohérent à partir de réalités et de connaissances éparses. Si les mécanismes de déni sont peu répandus chez les lycéens – contrairement à d'autres publics - la résistance au changement y est bien présente. Accepter la réalité du réchauffement climatique est plus aisée que d'accepter la responsabilité de chacun et les politiques contraignantes contre le changement climatique. La démarche au plan individuel est loin d'être simple **[31]** et doit se construire à l'intérieur d'un collectif.
Le débat dans la classe a montré ici une efficacité supérieure à la dissémination d'informations par d'autres biais. « Le Climat et Moi » offre aux élèves une synthèse accessible de l'analyse scientifique du problème, les préparant ainsi à prendre part au débat public sur les solutions à adopter. De plus, l'intervention a été conçue pour inciter les élèves à s'impliquer en réfléchissant aux actions dans leur vie quotidienne et au-delà, et à réfléchir de façon critique aux politiques actuelles en matière d'environnement. Cependant, l'implication des élèves après l'intervention est restée faible. L'association accompagne son action d'une partie recherche, *via* des questionnaires remplis par les élèves avant et après l'intervention et analysés sous l'angle psychosociologique. TaCa essaie de mieux comprendre leur relation au réchauffement climatique. Chaque année, les interventions sont modifiées pour s'adapter davantage au public lycéen. Le but est d'intégrer des processus ascendants (élèves→intervenant) autant que descendants (intervenant→élèves) dans l'éducation au changement climatique et à l'appropriation des politiques.

6 • Cf. Le Débat citoyen planétaire sur le climat et l'énergie ***www.debatpublic.fr/debat-citoyen-planetaire-world-wide-views-climat-lenergie***

7 • Fondée à Bègles en 2008, l'association TaCa lutte contre le réchauffement climatique en sensibilisant le public sur notre consommation de carbone et en mobilisant les citoyens pour changer les modes de consommation.

3 PARTICIPATION DES CITOYENS À LA MISE EN ŒUVRE DE PROJETS AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES TERRITORIALES

L'ASSOCIATION DU PUBLIC CONCERNÉ À LA DÉCISION DANS LES PROJETS LOCAUX D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

Le développement de l'éolien en Bretagne, où les projets ont précédé ceux qui ont émergé en Nouvelle-Aquitaine, offre des enseignements précieux pour comprendre les résistances locales, en apparence paradoxales, à une forme d'énergie renouvelable qui bénéficie pourtant d'une aura positive, au plan global et même à l'échelon national. Suite aux premières implantations d'éoliennes dans le Finistère, la question de la participation du public a émergé localement, au moment où s'organisaient des mouvements de contestation (associations de riverains, ONG environnementalistes). Ceux-ci mettaient principalement en avant l'argument de la dégradation de paysages auparavant préservés : la « violence matérielle » de l'objet éolienne conduisait à une agression visuelle considérée comme sans précédent **[32]**. En l'absence de réglementation et d'outil de régulation spécifiques dans ce domaine de l'aménagement du territoire, les acteurs publics et privés impliqués dans le développement éolien ont tenté d'éviter ces contestations, et les blocages qui en résultaient, en impulsant des démarches participatives formelles.

Toutefois, les travaux empiriques montrent qu'il n'existe pas, en amont des processus de planification et de conception des projets, de démarches participatives fondées sur une communication réellement à double sens entre les acteurs ayant le pouvoir de décider et d'agir et des populations plus larges avec lesquelles ce pouvoir serait par hypothèse partagé. Au-delà des explications classiques avancées par les enquêtés (manque de temps et de ressources, difficulté d'adapter les méthodes, *etc.*), il nous semble qu'il y a avant tout des difficultés d'ordre conceptuel. La mobilisation de la notion d'« acceptabilité sociale » par les décideurs est symptomatique de ces difficultés : rendre les projets « acceptables socialement » n'équivaut pas dans leur esprit à un exercice de démocratie locale, mais constitue une technologie politique de gestion/prévention des contestations. La conception de la participation apparaissant en filigrane derrière les objectifs, les dispositifs et les lieux censés s'y rapporter, répond à une logique de type managérial et non à une logique démocratique – c'est-à-dire qui mettrait l'accent sur le bon fonctionnement démocratique de nos sociétés **[33]**. Il s'agit d'œuvrer à la « bonne gestion des relations » entre les acteurs susceptibles d'intervenir dans l'élaboration et l'instruction des projets éoliens. Cette logique est visible dans les trois modes de participation dominants : information, concertation et négociation. La participation serait donc pour une bonne part instrumentalisée **[34]**. La conception du public cible de la participation pose également problème. S'intéresser au « public », terme si mal défini, suppose que l'on sorte du dilemme où ce dernier serait soit porteur d'intérêts strictement particuliers, et en cela immanquablement disqualifié, soit préoccupé d'un hypothétique intérêt général. Riverain, citoyen ou habitant sont autant de figures d'une participation en quête de légitimité à partir d'une proximité géographique avec un projet en cours, d'un droit revendiqué à pouvoir débattre des enjeux locaux ou nationaux, ou bien d'une relation existentielle du fait de l'appartenance à un lieu **[35]**.

Cette dimension d'appropriation des choix de politiques écologiques par la population concernée au premier chef, souvent balayée du revers de la main par la pensée technocratique, est pourtant au cœur du blocage du plan éolien aquitain.

En effet, le schéma régional éolien (SRE) en ex-Aquitaine approuvé par arrêté du préfet de région le 6 juillet 2012 et annexé au SRCAE, a été annulé par le tribunal administratif de Bordeaux le 12 février 2015[8], à la demande de 6 associations et 162 personnes physiques, freinant considérablement le développement de nouveaux projets. Certes, l'ex-Aquitaine n'est pas la seule dans ce cas : les SRCAE incluant un SRE, soumis à enquête publique entre 2012 et 2014, ont été attaqués systématiquement devant la justice administrative par les organisations regroupant les opposants (FED et Vent de Colère) : ils ont été annulés dans onze régions[9]. Les jugements soulignent l'absence d'évaluation environnementale préalable en violation du droit européen. Le 7 mai 2014, le Conseil Constitutionnel a déclaré inconstitutionnelle la disposition concernant la participation du public de la loi dite « Grenelle II » concernant ces schémas SRCAE/SRE **[36]**. Sur le terrain, la critique du caractère technocratique et « descendant » de la mise en œuvre territorialisée des objectifs nationaux dans l'éolien terrestre se retrouve dans de nombreuses régions comme dans l'Aude et en Ariège où les opposants évoquent « le sentiment d'opacité qu'ils ont pu éprouver à l'égard des institutions localement chargées d'élaborer les schémas régionaux, ainsi que ce qu'ils désignent comme un déficit de démocratie à l'égard d'une procédure qui n'incluait pas la consultation en amont des populations susceptibles d'être les plus directement concernées par les zones déclarées favorables à l'éolien » **[37]**. Les associations qui s'y opposent localement sont souvent accusées de réflexe NIMBY[10], une stigmatisation d'ailleurs souvent très abusive **[38] [39] [40]**, ou d'invoquer de futiles prétextes esthétiques. Cependant, la SEPANSO, comme les autres fédérations régionales de France Nature Environnement, s'efforce de défendre l'intérêt général et une vraie cohérence de l'action publique en matière d'environnement (cf. encadré ci-dessous).

UNE CRITIQUE CITOYENNE RAISONNÉE DE PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES ET ÉOLIENS EN EX-AQUITAINE

Le développement des énergies renouvelables étant désormais présenté comme une urgente nécessité, les pouvoirs publics et les industriels sont portés à minimiser les impacts environnementaux de ces technologies. La SEPANSO, association reconnue d'utilité publique, favorable au développement de ces nouvelles sources d'énergie – mais encore davantage à la réduction de la consommation énergétique globale –, défend aussi la protection de la biodiversité et des espaces naturels et le respect des objectifs du Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) d'Aquitaine adoptée en 2015. Or, les choix d'implantation des centrales éoliennes et photovoltaïques sont dictés par la seule logique industrielle et commerciale (concentration, faible coût du foncier, faibles contraintes techniques, facilité de raccordement au réseau RTE).
Sur une quarantaine de projets de centrales photovoltaïques au sol recensés actuellement en Gironde, 95 % concernent des espaces forestiers, naturels ou agricoles, et 5 % seulement des zones anthropisées. Sur l'ensemble des centrales photovoltaïques recensées fin 2016 en Gironde, seuls 45 hectares de sols déjà artificialisés (parkings au Parc des Expositions de Bordeaux ou à Bassens, terrains industriels comme à Pauillac) ont été utilisés contre 720 hectares de sols naturels agricoles ou forestiers. Le solaire photovoltaïque aggrave l'artificialisation des sols et s'ajoute aux autres impacts (infrastructures de transport, gravières, étalement urbain incontrôlé). Cette exigence d'utiliser des espaces déjà artificialisés est d'ailleurs partagée par la Chambre d'Agriculture de Gironde, qui a émis de fortes réserves à propos du projet de ferme photovoltaïque d'Arsac. Dans de nombreux cas, comme la centrale de Gabardan dans les Landes, l'évitement d'émissions de CO_2 équilibre à peine l'impact négatif du défrichement – selon des chiffres de l'ADEME – et il faut s'en remettre à la compensation pour obtenir un bilan positif sur le plan des GES. Or cette compensation se traduit souvent, en ex-Aquitaine, par des plantations sur des parcelles détruites ou dégradées par les tempêtes récentes, donc comptant déjà dans les espaces forestiers. De telles mesures ne peuvent totalement compenser la destruction d'un milieu et la rupture de la continuité forestière.
Les contraintes environnementales sont souvent écartées : modification expresse du POS à Cestas car un projet EDF de 60 ha concernait un espace boisé à conserver, proximité d'une zone Natura 2000 pour Gabardan, non-respect de la loi Littoral à Naujac-sur-mer[11]. La préservation de la biodiversité est pourtant un objectif aussi important et corrélatif à celui du climat, comme l'a rappelé la « loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages » promulguée le 8 août 2016. La SEPANSO a obtenu l'annulation par la justice administrative des autorisations préfectorales de plusieurs projets solaires et éoliens ; ces derniers menaçant des réservoirs de biodiversité de la trame verte et bleue et menaçant les couloirs de migration de l'avifaune. L›impact des éoliennes sur les oiseaux et les chauves-souris est plus important en milieu forestier et partout sur les rapaces **[41]**. La dissémination de projets d'éolien industriel sur les territoires ruraux (avec des hauteurs de mâts et diamètres de pales de plus en plus importants[12]) suscite de nombreuses résistances des populations concernées, que les décideurs doivent entendre. Il faut également étudier les retours d'expérience des parcs éoliens déjà en service sur tous les aspects (faune, bruit, impact paysager) et privilégier l'implantation dans les zones industrielles, les friches industrielles et minières, les zones portuaires et zones inconstructibles en bordure de sites Seveso. La concertation doit être engagée beaucoup plus en amont des projets et une implantation d'aérogénérateur devrait toujours s'inscrire dans un projet territorial de politique climatique au niveau de l'intercommunalité (non de la seule commune car les impacts sont plus larges), de façon à favoriser son appropriation par les citoyens.

8 • Bien que l'annulation pour excès de pouvoir soit fondée sur un vice de forme, le jugement souligne que le schéma régional éolien, en qu'il détermine les zones où l'éolien est autorisé à se développer, a le « caractère d'une décision faisant grief », mais surtout que ce schéma régional aurait dû faire l'objet d'une évaluation environnementale d'ensemble.

9 • Nord-Pas-de-Calais, Aquitaine, Île de France, Basse-Normandie, Rhône Alpes, Bretagne, Limousin, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Lorraine, Pays de Loire, Auvergne et Midi-Pyrénées, mais partiellement seulement.

10 • Acronyme de « not in my backyard », « pas dans mon jardin », expression désignant l'opposition de principe des riverains.

11 • La législation interdit l'implantation à moins de 500 mètres de toute habitation, mais la jurisprudence traite un parc éolien comme une urbanisation, laquelle, selon la loi Littoral, doit être en continuité du bâti [42].

12 • En fonction des conditions du terrain, les machines mesurent actuellement entre 120 et 200 mètres de hauteur (en bout de pale) contre une cinquantaine de mètres pour les premières machines installées au début des années 1990.

La non prise en compte (ou la sous-estimation) des contraintes environnementales contraint les associations à une guérilla juridique stérile et créatrice d'incertitude pour l'industrie du renouvelable. Une consultation plus systématique des associations locales, détentrices d'une vraie expertise, en amont des projets (notamment dès l'étape de l'élaboration des SRE), permettrait de mieux contrôler leur impact environnemental et de renforcer leur légitimité comme choix collectif aux yeux des populations affectées. Le développement de la filière éolienne attise des conflits locaux en France et en Europe **[42]**, que l'injonction technocratique ne suffira pas à faire disparaître, compte tenu notamment de la dimension émotionnelle qui caractérise aussi ces mobilisations.

PILOTAGE DES POLITIQUES CLIMATIQUES À L'ÉCHELLE DES INTERCOMMUNALITÉS

Entre Dordogne et Garonne, l'Entre-deux-Mers dispose d'un gisement énergétique plutôt favorable mais sous-développé, avec une production photovoltaïque de 0,82 GWh (soit 11 fois moins que la moyenne française par km^2) et aucune éolienne installée. Il s'agit pourtant d'un territoire labellisé TEPOS, puis TEPCV (cf. ci-dessous), considéré comme précurseur : en 2008, il a mis en service les deux premiers réseaux de chaleur ruraux de Gironde. Les collectivités, *via* le Syndicat Interterritorial du Pays du Haut Entre-Deux-Mers (SIPHEM), y ont étudié plusieurs projets qui se sont heurtés à de fortes oppositions locales. En effet, le développement des énergies renouvelables n'est pas uniquement une question de faisabilité technique, d'arbitrages entre différents modes de production ou encore de moyens financiers **[43]**.

LES TEPOS

Le programme « Territoire à Énergie Positive » ou TEPOS émane de la volonté d'élus locaux de baisser la consommation d'énergie sur leurs territoires ruraux et de développer la production d'énergies renouvelables ayant des retombées économiques positives. À l'origine du programme figure également le Comité de Liaison des Énergies Renouvelables (CLER), un réseau qui milite pour la transition énergétique et a œuvré à traduire cette volonté en ambition commune, faisant progressivement des émules auprès d'autres territoires. Le CLER invente le concept de « Territoire à énergie positive » (TEPOS) en mai 2010, à l'occasion de son assemblée générale et conférence plénière à Lyon. En 2012, l'ex-région Aquitaine lance avec l'ADEME un programme d'action intitulé « Aquitaine - énergie positive » avec un financement dédié et lance un Appel à Manifestation d'Intérêt. Les anciennes régions Rhône-Alpes, Bourgogne, puis en 2014 Franche-Comté et Poitou Charentes emboîtent le pas. Le concept TEPOS est ensuite repris à l'échelle nationale avec l'appel à projet « 500 Territoires à Énergie Positive pour la Croissance Verte » (TEPCV), lancé en décembre 2014 par le Ministère de l'Écologie et mis en œuvre par l'ADEME. En février 2015, 212 territoires sont lauréats et représentent 43 % de l'ensemble de la population française d'après l'institut européen de la recherche sur l'énergie. En juillet 2016, ils sont 400 territoires à être TEPCV, TZDZG (Zéro Déchets Zéro Gaspillage) ou villes respirables[13]. Toutefois, on s'est écarté du concept originel : d'une part, les TEPOS s'adressaient en premier lieu à des territoires ruraux valorisant un programme d'actions innovantes ; d'autre part, les actions financées par TEPCV sont essentiellement des investissements dans des infrastructures du bâtiment (40,9 %) et de mobilité (22,7 %)[14], avec seulement 3,5 % des montants pour « l'éducation à l'environnement, l'écocitoyenneté et la mobilisation locale ». La création ou l'entretien d'un « dispositif global d'animation territoriale » se retrouvent dans 21 des 212 territoires lauréats ; or la matrice TEPOS faisait de l'animation et de la mobilisation locale et citoyenne un fondement de toute la démarche.
Peu de temps après le lancement du programme TEPCV et en profitant de la dynamique de la préparation de la COP 21, la loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (TECV) fut promulguée en août 2015. Elle fixe les ambitions et la stratégie de la France en matière de transition énergétique en ouvrant notamment le financement participatif des projets aux collectivités et citoyens, faisant de l'engagement des acteurs locaux une clé de la réussite de la transition énergétique. Aujourd'hui, un nouvel appel à projet TEPOS est lancé par la Région Nouvelle-Aquitaine et l'ADEME, pour renouer avec une démarche intégrée aux territoires, en prônant par exemple la construction ou la consolidation d'une « gouvernance énergétique locale », ce qui va dans le sens d'une des préconisations du CLER de « faire émerger une cohérence territoriale des projets, une stratégie d'aménagement ».

Pour comprendre ces blocages, deux études concomitantes ont été menées, entre mars 2016 et mars 2017, l'une encadrée par l'ADEME **[46]**, l'autre diligentée par l'Association de Défense de l'Environnement de l'Entre-deux-Mers (ADEEM, dont l'objet principal est d'œuvrer pour le développement durable) et réalisée par une équipe de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Les enquêtes effectuées montrent que les représentants des associations expriment unanimement leur frustration face à l'absence de dialogue avec les élus, tandis que les acteurs territoriaux liés au SIPHEM ayant répondu au questionnaire voient dans l'absence de financement adéquat et le manque de temps les principaux freins à l'engagement des autres acteurs du territoire. La difficulté réside donc, sur le territoire de l'Entre-deux-Mers comme souvent, dans l'absence de collaboration entre les dirigeants des collectivités chargés de mettre en place la transition énergétique et les réseaux d'acteurs de la société civile.

13 • MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer). Juillet 2016. La loi de transition énergétique pour la croissance verte : un an après [44].

14 • Les territoires à Énergie Positive pour la Croissance verte : étude statistique des programmes d'actions des lauréats de l'appel à projets national. European Institute For Energy Research (EIFER) [45].

Certes, certains élus interrogés dans ces enquêtes affirment une volonté d'un dialogue plus étroit avec les associations et voient la coopération comme une démarche nécessaire à la mise en place de projets d'énergies renouvelables. Ils mettent cependant en avant le manque de temps, de compétences et parfois le manque d'appui politique pour y parvenir. Pour répondre à ce défi, il a été proposé, d'une part, la structuration d'un réseau d'initiateurs construit autour de projets citoyens auquel les collectivités territoriales pourraient s'associer selon différents paliers d'engagement, et d'autre part, la mise en place d'un Conseil de Développement (obligatoire pour les collectivités de plus de 20 000 habitants depuis la loi NOTRe, art. 88) intégrant la société civile. Au-delà de cette représentation institutionnelle, plusieurs modalités concrètes de participation existent, comme les forums hybrides **[15]**.

La gouvernance énergétique locale est indispensable dans une société où les flux énergétiques ont pris une place centrale, leur contrôle constituant une forme de pouvoir **[47]**, et doit impliquer les populations concernées au-delà de quelques groupes restreints d'opérateurs et d'acteurs locaux. Si la participation des citoyens paraît plus simple à mettre en œuvre à une échelle communale, une stratégie énergétique doit s'élaborer à l'échelle beaucoup plus vaste de l'intercommunalité ou du département. L'important est que chaque territoire ne se contente pas de dupliquer des exemples ou de copier des recettes, mais au contraire que les acteurs locaux puissent définir un projet adapté aux spécificités de leur territoire, dans une construction partagée entre institutions élues démocratiquement et société civile organisée. Cette dernière est en tout état de cause un levier indispensable à mobiliser dans une stratégie de transition énergétique conçue pour mais aussi *par* le territoire.

PARTICIPATION ET VILLE DURABLE

Dans la transition vers une ville plus sobre en énergie et s'adaptant au changement climatique (voir chapitre « Territoires urbains et mobilités ») la qualité du processus d'aménagement va de pair avec son appropriation par les habitants. De la consultation à la codécision, de multiples méthodes tentent d'associer les citoyens aux politiques menées, notamment concernant les projets de type « Écoquartier ». Dans beaucoup d'opérations, cependant, la participation répond à des impératifs tacites de pacification ou de déverrouillage social, autant qu'à des attentes plus explicites tenant au management urbain participatif souvent mis en avant dans le discours **[48]**. Une enquête réalisée auprès des collectivités locales françaises montre que la participation des habitants est destinée à faciliter le fonctionnement et la gestion adaptative du quartier **[49]**. *In fine* ce sont les municipalités, maître d'ouvrage des projets, qui décident ce qui peut être négocié ou simplement débattu dans le cadre de la participation. L'analyse de dispositifs bordelais révèle moins de participation « active » ou « directe », que d'information, de consultation ou de concertation des habitants. Ces modes « participatifs » sont les plus mobilisés par les maîtres d'ouvrage et ont en commun une logique plutôt descendante. Quand elle n'est pas limitée à de la communication pure et simple, la transformation urbaine participative semble souvent se réduire à des modalités de « sensibilisation participative » ou se résumer à quelques adaptations marginales du projet.

On retrouve ainsi à Bordeaux cette tendance générale : les grandes orientations de mise en durabilité des territoires, celles qui traversent les écoquartiers, sont planifiées par les autorités publiques ; l'implication des habitants restant plutôt focalisée sur les aspects secondaires des opérations, lesquels ne risquent pas de remettre radicalement en question les stratégies d'aménagement telles que prédéfinies par le décideur politique. Or, pour favoriser une véritable appropriation de la démarche Écoquartier, il conviendrait de faire porter la discussion sur les enjeux forts du projet et de s'appuyer sur l'expertise habitante. Il ne faut pas non plus enfermer la participation dans un catalogue de « bonnes pratiques », dont les routines finissent par épuiser la créativité et l'innovation sociales. Enfin, la réalité de la concertation, qui vise idéalement un partage plus abouti de l'expertise, est plutôt celle d'une coopération symbolique **[50] [51]**. Le programme Bordeaux Euratlantique, qui intègre le projet d'Écoquartier Belcier, affiche bien une charte en la matière ; mais si référence est faite à une « concertation exigeante », cette dernière est finalement limitée à « des réunions plénières d'information et de débats sur l'avancement des projets », « des expositions des projets urbains », des « ateliers thématiques » et des visites « point de vue pour appréhender la complexité des territoires et leur mutation »[15].

Bien que seuls des enjeux interstitiels du projet fassent habituellement l'objet d'une consultation du public, dans des approches qui demeurent technocratiques, les deux Écoquartiers girondins déjà évoqués (« chapitre Territoires urbains et mobilités ») attestent de ce que les porteurs de projets gagnent à s'appuyer sur les acteurs associatifs locaux, voire à déléguer une partie de cette tâche à des acteurs « spécialisés » dans l'animation sociale et socioculturelle. Dans l'opération de requalification urbaine (Arago), la présence historique du Centre social (CS) de la Châtaigneraie a permis, en amont de l'opération, un vaste travail de concertation autour de la redéfinition des espaces extérieurs (place, voirie, jardins). Le matériau recueilli a permis au Comité de suivi « Gestion urbaine de proximité »[16] de rechercher des arbitrages au plus près du souhait des habitants. La commune et le bailleur ont aussi confié au CS la réalisation d'un journal bimen-

15 • **www.bordeaux-euratlantique.fr/concertation/**

16 • *Composé du bailleur Domofrance et de sa maîtrise d'œuvre, du Centre Social et d'Animation Arago-la Châtaigneraie, de l'amicale des locataires, du Comité de quartier, de l'État via la déléguée du Préfet, et de représentants de la ville de Pessac.*

suel d'information et de sensibilisation des habitants, *HQE - Habiter au Quotidien Ensemble*, tiré à 1 500 exemplaires. Pour le projet de reconquête de friches et de construction ex-nihilo (Ginko), seule la configuration du bâtiment et la définition des espaces fonctionnels intérieurs ont pu être discutées avec l'Association des centres d'animation de quartiers de Bordeaux (ACA-QB[17]), ce afin de répondre aux demandes exprimées par les habitants et au cahier des charges de la CAF. Les enjeux socioculturels se sont plutôt concentrés sur l'animation de la vie d'un quartier nouveau, sans histoire ni mémoire.

Plus largement, la participation des habitants est entravée par l'attitude des porteurs de projet, d'éventuels conflits communautaires ou de voisinages, une perception limitée des enjeux, un défaut d'information et le manque de temps. Quand les habitants sont associés (dans le cadre d'une rénovation urbaine par exemple), la technicité des normes utilisées et des objectifs fixés font obstacle à une véritable appropriation collective du projet de ville durable. Le déficit de participation est important au début du projet. En outre, la démarche de labellisation ne prend pas réellement en compte l'accompagnement des habitants après livraison du projet et l'animation subséquente du quartier. Dans la perspective d'une prochaine révision du label Écoquartier, il convient d'insister sur la nécessité d'associer plus étroitement les populations concernées et la société civile à l'élaboration des projets.

RÉCEPTION LOCALE DES INSTRUMENTS D'ACTION PUBLIQUE POUR L'ADAPTATION

Si d'autres se sont penchés sur les implications des stratégies d'adaptation pour les formes de l'action publique locale, du développement territorial et pour les rapports de pouvoir **[52]**, une étude menée en ex-Aquitaine a permis de mettre en évidence la relative non-rencontre entre d'une part, les outils réglementaires et les politiques descendantes, et d'autre part, les acteurs de terrain, leur appropriation de ces outils et la réception de ces outils plus largement sur le territoire **[53]**. En s'appuyant sur l'analyse des sites Internet des collectivités ex-aquitaines en 2012 (cf. chapitre « Territoires urbains et mobilités »), celle des documents mis en ligne par elles ; mais également sur des observations de terrain et des entretiens semi-directifs auprès de fonctionnaires territoriaux ou d'élus, il est possible de dégager quelques constats quant aux difficultés d'appropriation des instruments d'action publique mis en place après le Grenelle de l'environnement.

Le poids des cadres normatifs et réglementaires enfermant l'action publique et le travail des techniciens dans une logique bureaucratique, peu créative et détachée du territoire. Si la notion d'adaptation est présente dans les discours, elle ne suscite pas d'imaginaire local qui déclencherait un effet d'entraînement significatif sur le terrain, dans la vie de chacun ou dans la pratique professionnelle des acteurs **[54]**. Les stratégies mises en place par les collectivités utilisent les mêmes termes, les mêmes principes, mobilisent les mêmes outils et reproduisent des formats très proches. Le cadre des Plans Climat Énergie Territoriaux (PCET) est cloné, de la même manière que les diagnostics carbone ou la boîte à outils des « fiches actions ». L'apologie des « bons comportements » et l'invocation de « l'écocitoyenneté » abondent. Cette reprise peu nuancée d'un cadre indifférencié et descendant interroge sur le degré d'appropriation locale et d'adhésion des acteurs. Des pouvoirs publics locaux souvent très sollicités et déjà fortement en tension sur les questions environnementales n'ont pas vraiment la latitude pour décliner finement des logiques de développement propres à leur territoire et correspondant aux attentes des acteurs locaux. La mise en place des stratégies d'adaptation est dominée par l'injonction du « faire » qui laisse peu de place au retour sur le contenu ou sur la portée de ces stratégies pour les territoires.

Ce succès rhétorique de l'adaptation au changement climatique est conforté par un cadre réglementaire qui atterrit sur des territoires déjà aux prises avec nombre de problématiques environnementales ou non. L'effet d'urgence suscité par des discours catastrophistes, ou par l'agenda politique national, conforte le caractère invasif d'un mot-massue (ou *buzzword*) qui supplante (au moins dans l'affichage) nombre d'autres dossiers importants. L'idée de « transversalisation » (ou *mainstreaming*) est souvent mise en avant pour justifier l'omniprésence de la notion… au détriment d'autres perspectives qui peuvent paraître tout aussi impérieuses à bien des acteurs. Outre cet affichage prioritaire et transversal de l'adaptation, l'impératif est décliné dans les différents domaines d'intervention des pouvoirs publics locaux. Les stratégies d'adaptation ne bouleversent pas réellement les modes d'agir, mais participent d'une forme de brouillage de l'agenda de l'action publique locale et de ses priorités d'action, suscitant plus sûrement la défiance que l'adhésion au discours légitime largement promu. Sur des territoires marqués par une diversité d'acteurs, la pratique s'accommode mal de l'unanimisme de la lutte contre le changement climatique. Il est temps de comprendre que les stratégies d'adaptation à mettre en place sont traversées par quantité d'autres problématiques propres au territoire en question, et auxquelles il faut simultanément apporter des réponses… au risque de manquer la cible.

17 • Qui gère sur la commune 10 centres d'animation dont 8 agréés « centre social ».

L'articulation entre les différentes échelles (de compétence ou d'intervention) semble peser dans la difficulté d'opérationnalisation locale des stratégies d'adaptation. Le caractère descendant de politiques élaborées loin des territoires locaux et de leurs caractéristiques les rend quelque peu irréelles. L'articulation avec la notion de développement durable, plus familière, est également mal comprise. Bien sûr, on peut observer des variations d'une collectivité à l'autre.

Là où certaines s'emploient (souvent avec difficulté) à répondre aux obligations réglementaires en considérant que les pouvoirs publics sont fondés à orchestrer le collectif ; d'autres collectivités saisissent l'opportunité de placer la satisfaction des besoins essentiels des habitants et l'activité citoyenne au cœur de l'action publique locale, cette dernière devenant alors un intermédiaire, un instrument, et non plus un prescripteur toujours difficilement audible **[53]**.

En définitive, plus que le contenu et les objectifs des politiques d'adaptation, ce sont les formes, les conditions, et la réception sur le terrain de ces dispositifs et initiatives qui constituent les freins les plus importants à leur appropriation par les acteurs locaux. Il ne s'agit donc pas de « convaincre », « d'éduquer » ou de « sensibiliser » dans le sens de l'application d'instruments « objectifs » que la raison forcerait à adopter ; mais plutôt de reconnaître des priorités et des intérêts locaux pluriels auxquels il convient de faire une place. Néanmoins, tous ces intérêts et ces priorités ne se valent pas. C'est dans l'ouverture de la discussion autour des arbitrages opérés à l'endroit de ces priorités et de ces intérêts, dans une articulation entre acteurs et entre territoires, que l'appropriation des outils de l'adaptation pourrait trouver de bonnes chances de réussite.

Les spécificités territoriales ne sont pas les seules à compter dans la réception et la mise en œuvre des dispositifs d'adaptation. Les représentations du changement environnemental sont étroitement liées à la filière d'activité, au type de profession exercée au sein des filières (producteur, techniciens, agents administratifs, agents d'encadrement, etc.) et aux échelles auxquelles interviennent les acteurs (du très local aux institutions nationales, européennes ou internationales). Une étude sur les filières viticoles du Bordelais et pastorales des Pyrénées aquitaines **[55]**, souligne que le mode de structuration du secteur (vertical et organisationnellement fort pour la vigne et plus horizontal et diffus pour l'élevage de montagne) et la capacité inégale à faire valoir ses intérêts face au dispositif « descendant » des réglementations et normes environnementales de toutes sortes, à l'échelle pertinente de la décision (sensiblement plus important dans la viticulture que dans l'élevage pyrénéen) sont des facteurs déterminants dans l'attitude des professionnels des filières face aux injonctions des autorités publiques. Ainsi, le changement climatique est plus à la marge encore des préoccupations des producteurs de la filière pastorale que de celles des viticulteurs du Bordelais, non pas qu'ils en n'ont pas conscience, ou préfèrent l'ignorer - au contraire, ce type de changement est constitutif de leur pratique professionnelle -; mais simplement parce que leurs problèmes majeurs sont ailleurs.

C'est donc dans un triangle entre le rapport au territoire, l'organisation du secteur productif, et les formes de l'action publique que se nouent la compréhension, le remodelage, et la mise en place des stratégies et instruments permettant d'agir sur le changement climatique. Plus que le contenu de la position des professionnels des secteurs agricoles sur le changement climatique, l'étude précitée invite à questionner des formes et leviers de l'action publique environnementale. Le contexte dans lequel interviennent les politiques environnementales est donc un objet de connaissance tout aussi crucial à travailler que les types de recommandations ou d'instruments d'action publique à mettre en œuvre.

4 CONCLUSION

L'adhésion des différents acteurs de la société aux diagnostics, aux valeurs, aux objectifs, en un mot au « sens » des actions publiques en faveur de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique est indispensable à leur mise en œuvre. Cela suppose que la démarche suivie soit collectivement discutée et validée. La participation des citoyens à une décision encore largement monopolisée par les dirigeants, au nom soit de la légitimité électorale soit de la compétence technique, est indispensable pour que chacun s'approprie les objectifs ambitieux des politiques destinées à atténuer les effets du changement climatique et à adapter nos territoires à ses conséquences.

La participation ne peut se résumer à une technique de manipulation destinée à forcer « l'acceptabilité sociale » des projets d'aménagement, ne serait-ce que parce que c'est contre-productif comme le montrent les projets d'énergie renouvelable sur différents territoires. La multiplication des outils (type TEPOS) et des documents de planification (PCAET) ne suffira pas à traiter le problème si la population n'est pas davantage impliquée depuis la conception jusqu'à l'exécution.

Plutôt qu'une réorientation profonde et démocratiquement innovante des modèles de développement, le pilotage politique de l'adaptation peut au contraire sembler poursuivre d'anciennes dynamiques, que certains qualifient de « néolibérales » **[56]** et que l'implication des citoyens n'est pas censée remettre radicalement en question. En d'autres termes, le défi du changement climatique doit nous inciter à repenser notre pratique de la démocratie locale au quotidien.

Conclusion

QUELQUES ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

Ce deuxième rapport sur le changement climatique en (Nouvelle)-Aquitaine décrit une situation qui apparaîtra peut-être à certains très similaire à celle qu'a décrite le premier rapport, il y a 5 ans – à ceci près qu'il s'agit maintenant de la Nouvelle-Aquitaine, donc d'un territoire largement augmenté par rapport à celui de l'Aquitaine. Un sentiment de « déjà-vu » peut en effet accompagner les manifestations d'une évolution climatique qui est aujourd'hui largement prévisible et qui, évaluée via le prisme de certains médias, semble parfois se résumer à amener année après année les mêmes records de chaleur et les mêmes alertes, en suscitant l'indifférence d'une partie de la population. Pourtant, cette impression est trompeuse ; rarement un problème environnemental aura évolué de manière aussi rapide que celui du changement climatique : les records de température qui sont désormais battus annuellement ou presque nous amènent progressivement à des situations climatiques que la planète Terre n'a pas connues depuis des dizaines de milliers d'années. Et cette situation ne peut que s'accentuer : tant que l'introduction, au niveau mondial, de gaz à effet de serre dans l'atmosphère continuera à un rythme bien supérieur à ce que la nature peut reprendre, le réchauffement global de la planète se poursuivra lui aussi. Comme les gaz à effet de serre restent des décennies, ou des siècles, dans l'atmosphère, c'est un processus qui engagera notre futur à ces mêmes échéances. Il faudra peut-être toute la durée de ce siècle et au-delà pour que les températures se stabilisent à un niveau qui sera sensiblement plus élevé qu'aujourd'hui.

La Région n'a pas le pouvoir de modifier sur son territoire ce qui relève de cette dynamique des gaz à effet de serre : ces gaz sont émis partout sur la planète (de manière très inégale), ils sont brassés par la circulation atmosphérique, ils viennent de très loin – et ils vont très loin. Le territoire de la Nouvelle-Aquitaine est de ce point de vue un acteur parmi d'autre, dans une situation qui se négocie d'abord à l'échelle mondiale. Mais ce rôle d'acteur, la Région se doit de le tenir de manière engagée, car c'est très souvent à son niveau que les enjeux et les impacts du réchauffement se font sentir de la manière la plus mesurable et la plus sensible, qu'il s'agisse d'impacts physiques (intensité des précipitations, sécheresses, canicules, enneigement, étiages de cours d'eau), de l'évolution du vivant (protection de la biodiversité, ressources agricoles, ressources exploitées par la pêche ou la conchyliculture) ou du rôle des différents acteurs sociaux et politiques. **S'adapter aux manifestations du changement climatique se conçoit avant tout à l'échelle des territoires :** le but de cet ouvrage est de favoriser cette démarche et de fournir des informations qui aident les prises de décisions, en s'adressant aux divers acteurs de la Nouvelle-Aquitaine, et en particulier aux élus et à ceux qui les élisent.

Pour autant, il ne faut pas opposer les actions d'atténuation du changement climatique (de diminution des émissions de gaz à effet de serre) et celles d'adaptation à la part inévitable des changements à venir : il est au contraire très important d'appréhender quelles peuvent être les synergies entre ces types d'action, ce que l'on appelle désormais le plus souvent les co-bénéfices. En effet, atténuation et adaptation se définissent souvent en référence aux mêmes domaines cibles (transport, chauffage, agriculture, logement…), et elles peuvent s'appuyer sur des spécificités régionales. Ce sont ces perspectives de co-bénéfices qui nous ont incité à consacrer un chapitre factuel, dédié au panorama des ressources énergétiques utilisées au niveau régional, avec bien sûr un accent plus particulier sur celles qui sont plus spécifiques à la Nouvelle-Aquitaine.

Pour s'attaquer à ces enjeux, il est utile de rappeler plusieurs éléments de contexte. Le premier est sans doute le problème du temps qui passe, la notion d'urgence, qui devient désormais un élément dimensionnant de toutes les politiques climatiques. Il ne s'agit maintenant plus seulement de réagir aux changements climatiques déjà avérés, aux accidents météorologiques récents les plus visibles, mais aussi d'anticiper ce qui pourra se produire dans les prochaines décennies, qu'il s'agisse de risques assez précisément définis, ou de situations plus aléatoires. Tout aménagement du territoire, tout développement social ou économique de moyen terme, doit désormais se concevoir en sachant qu'il s'appliquera dans un contexte où le climat aura inexorablement continué à changer. À cela s'ajoute une autre contrainte importante : celle de la complexité des choix à venir. La simplicité nécessaire des discours d'alerte sur le changement climatique n'est pas suffisante pour déterminer un agenda d'actions qui prenne en compte la complexité des systèmes socio-éco-climatiques du monde réel. Nous avons cherché à approfondir, de la manière la plus factuelle et descriptive possible, pourquoi il est si difficile de gérer l'interface entre le diagnostic des sciences de la nature et la complexité du fait social, qu'il s'agisse du droit, des réglementations, ou des différentes strates de la gouvernance. Cette dimension du problème occupe dans le rapport une place plus importante qu'il y a 5 ans, avec plusieurs chapitres entièrement nouveaux qui lui sont dédiés.

Bien sûr le respect de cette complexité ne doit pas faire écran aux messages principaux de ce travail. Dans ce but, tous les chapitres ont été complétés d'un résumé de 3 pages qui permet d'en saisir les enjeux principaux. Et nous voulons aussi saisir l'occasion de cette conclusion pour récapituler des idées qui nous paraissent particulièrement importantes. Certaines sont transverses par rapport aux différents chapitres. Elles ont un caractère général, étaient parfois déjà présentes dans le précédent rapport et jouent un rôle clef dans la définition des enjeux climatiques. D'autres correspondent à des recommandations ou des besoins de vigilance qui relèvent de préoccupations plus précises.

QUEL BÉNÉFICE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE PEUT-ELLE RETIRER D'UNE DÉMARCHE RÉGIONALE ?

L'échelle régionale apporte une dimension supplémentaire à la définition d'actions d'adaptation au changement climatique. S'adapter cela ne veut pas dire « bricoler » des colmatages de circonstance, en réponse à des problèmes rencontrés un à un, mais c'est au contraire inventer un futur différent : cette idée revient de manière forte dans plusieurs des chapitres de notre rapport. À l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine, les changements en cours ou à venir ont ou auront, en effet, un caractère souvent systémique : tous les impacts envisagés sont liés par des vecteurs physiques (l'air et l'eau principalement), chimiques (pollution des milieux), écologiques (espèces invasives, pollution des milieux) ou encore socio-économiques. Ils doivent s'étudier de manière conjointe. Ce caractère systémique des changements attendus interagit de manière parfois négative avec la complexité des outils de gouvernance et de réglementations venant des niveaux régionaux eux-mêmes mais aussi des niveaux nationaux, européens ou internationaux – outils qui n'ont pas été initialement conçus en fonction du risque climatique, mais ont cherché à l'inclure au fil du temps, sans pouvoir toujours respecter la cohérence nécessaire des actions à venir.

Il faut par ailleurs rajouter qu'à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine, tous les territoires sont vulnérables mais souvent à des niveaux différents ce qui impose de mettre en place des actions plurielles et différenciées, avec une temporalité adaptée à des inégalités qui sont souvent bien identifiées. Certains territoires cumulent ainsi des vulnérabilités socio-économiques, démographiques, sanitaires, et environnementales, dans le domaine de l'habitat et de la qualité de l'eau notamment. Une part non négligeable des territoires non-urbains situés au Nord-Est de la Nouvelle-Aquitaine (Creuse, Corrèze, Haute-Vienne) sont dans ce cas, présentent des caractéristiques de vulnérabilités cumulées qui affectent leur adaptabilité aux changements climatiques et réclament une attention particulière.

Inventer ce futur, ne peut bien sûr se faire qu'au nom d'une certaine idée des liens entre l'Homme et son Environnement. Sans surprise, ce besoin apparaît de manière particulièrement forte dans le chapitre sur la Santé – comme cela a déjà été mentionné dans l'introduction de cet ouvrage. Mais on retrouve ce souci de manière un peu différente chaque fois qu'il s'agit de gérer des collectivités complexes : zones urbaines, massifs montagneux, etc. Le rôle de l'histoire est intéressant à souligner dans ce contexte. Parce que la gestion de l'adaptation au changement climatique procède d'un mouvement récent et qu'elle reste largement inachevée lorsqu'il s'agit de la rendre opérationnelle à l'échelle des territoires, la profondeur historique contribue, à sa manière, à la préparation des populations vulnérables et de leurs élus. La connaissance des trajectoires d'adaptation de nos prédécesseurs peut par exemple favoriser un consensus pour emprunter des pratiques anciennes, réalisées autrefois et à nouveau réalisables à des coûts nettement plus faibles que des travaux d'ingénierie nouveaux, qui risquent d'être peu durables sur un plan environnemental. C'est par exemple le cas de la gestion des espaces littoraux, avec le rôle protecteur de marais artificiels. Pour les décideurs et les scientifiques investis dans ce champ de l'adaptation, l'approche historique invite donc aussi à rester connecté aux réalités du monde et du terrain.

LA NÉCESSITÉ D'UNE GOUVERNANCE NOUVELLE ?

La gouvernance, le droit ont constitué des thèmes (et des chapitres) nouveaux de ce rapport. Un espace important a été consacré à la fois à la diversité des structures qui encadrent le problème climatique dans sa dimension régionale et à la réglementation qui est souvent un point d'appui majeur pour toute l'action publique. Le rapport met en évidence la complexité des mécanismes qui régissent les interactions entre citoyens, lieux de conseil et lieux de décision. Cette complexité appelle des mécanismes de simplification et de mise en cohérence. Et elle ne doit pas non plus empêcher une participation et même une appropriation citoyenne des processus de décision et de mise en œuvre de l'action publique, qui est cruciale pour l'avenir. Le choix des méthodes de concertation constitue dans ce contexte un élément clef. Des méthodes de concertation inadaptées, ou encore une insuffisante prise en compte de la diversité des points de vue conduisent très souvent à se limiter à des mesures ponctuelles d'ajustement, gérées par des techniciens, plutôt qu'à développer une « adaptation transformationnelle », c'est-à-dire visant une transition vers un système socioécologique réellement différent et durable. En effet les orientations qui seront choisies – tout comme celles qui ne le seront pas - vont affecter profondément le mode vie de tout un chacun. L'actualité des dernières années l'a montré : l'adhésion citoyenne à ces changements est un facteur de réussite absolument nécessaire au succès des politiques sur le changement climatique.

De ce point de vue, la problématique de l'adaptation au changement climatique, même si elle doit contribuer aussi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et partage l'urgence associée, offre un espace de temps un peu plus important pour les débats citoyens, parce que les impacts du changement climatique se font avec un délai vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre qui est souvent de quelques décennies. Il est essentiel de faire un usage maximal de ce moment où les conséquences du réchauffement climatique sont encore modérées et où les débats ne se présentent pas encore de manière trop passionnelle : le problème de l'usage de l'eau, discuté plus bas, en est une illustration importante. Le Comité AcclimaTerra veut jouer un rôle dans ce processus. Il met en place, en accompagnement de ce rapport

des cahiers d'acteurs et des actions de médiation qui sont en cours de définition (il faudra consulter le site ***www.acclimaterra.fr***).

UN BESOIN DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Face à un problème aussi rapidement évolutif que le problème climatique, il existe un besoin très fort de surveillance, de vigilance face à des risques mal établis. Ce besoin recoupe un besoin de mieux comprendre la dimension systémique, et donc interdisciplinaire, des évolutions en cours. À cet égard la recherche à entreprendre est à la fois nouvelle et difficile. Une région de la dimension de la Nouvelle-Aquitaine constitue un milieu hétérogène : vouloir suivre son évolution, c'est se poser beaucoup de questions qui sont aujourd'hui sans réponse. Par exemple : les sécheresses se sont multipliées dans les dernières décennies en Nouvelle-Aquitaine. Tous ces épisodes ont-ils les mêmes conséquences sur la faune, la flore, les réserves en eau ? Certains ont-ils été plus critiques ? On retrouve ces questionnements à tous niveaux : comment gérer la complexité de l'écosystème pyrénéen sans mieux assurer son suivi ? Les progrès dépendent de bases de données plus facilement interconnectées, de définition d'indicateurs, qui permettent de mieux rendre visible et de mieux comprendre les dynamiques multiples associées au changement climatique régional. Il est nécessaire de mieux estimer la vulnérabilité des territoires, en utilisant la modélisation, la mise en images (cartes, vidéos, schémas), ainsi qu'une mise en récits de ces informations allant jusqu'aux savoirs d'usager. Là aussi, AcclimaTerra souhaite apporter dans le futur une aide à ces dynamiques scientifiques indispensables. Mais elles demanderont une mobilisation qui va bien au-delà de ce que peut faire un comité de scientifiques bénévoles.

DES ACTIONS NÉCESSAIRES

Ces éléments généraux définissent donc déjà des espaces d'actions précis, dans les domaines de l'éducation aux problématiques environnementales, de la consultation des citoyens, ou dans la capacité à définir une forme de bilan de santé environnemental de la Région. Tout au long de ce rapport des besoins de décision plus spécifiques se sont aussi fait jour. Ils ont fait l'objet de plusieurs débats au sein du Comité AcclimaTerra et nous les reprenons ici dans un ordre et sous des intitulés qui ne sont pas toujours ceux des différents chapitres.

L'eau, sa gestion et son partage, constitue un élément central des politiques d'adaptation. L'élévation des températures (air et eau), la modification des conditions de fonte du manteau neigeux en montagne la fréquence croissante d'événements extrêmes (crues, étiages, canicules), la variation incertaine de la pluviométrie, l'augmentation beaucoup plus certaine de l'évapotranspiration, la variation des débits des rivières que tous ces facteurs provoqueront à l'échelle des décennies prochaines (-20 % à – 50 % en période d'étiage) vont créer une tension sur la disponibilité des eaux superficielles et souterraines. La qualité des eaux, déjà dans un état très moyen, subira également des effets notables tels que l'augmentation de la température, la diminution de la dilution ou la libération d'une partie des stocks de polluants des sols et sédiments, avec des impacts sur la biodiversité et sur la santé publique. Des conséquences importantes sont aussi à anticiper sur la satisfaction des usages, sur l'évolution de la biodiversité aquatique, sur la croissance des végétaux. L'anticipation de ces difficultés est essentielle. La politique « hydroclimatique » à mettre en place doit respecter le caractère inévitablement croissant des aléas à venir, et proposer une gestion durable de cette évolution, plutôt qu'une gestion de crises ponctuelles, qui n'offre aucune visibilité sur le futur. Il s'agit de définir des futurs possibles et souhaitables en articulant l'expertise scientifique et technique des gestionnaires, les savoirs professionnels, mais aussi les savoirs d'usagers-citoyens.

Dans toute cette démarche, la ressource en eau doit aussi être considérée comme finie et unique, intégrant les interdépendances entre eaux superficielles et souterraines ainsi que les solidarités territoriales d'amont en aval et entre bassins, ou encore l'organisation temporelle (au niveau saisonnier en particulier). Elle doit aussi concerner une ressource territoriale gérée comme telle, selon un mode « de l'eau pour les territoires et les milieux », qui doit avoir une priorité sur une gestion plus sectorielle visant exclusivement « de l'eau pour les usages ».

Imaginer le « mix hydrique » de demain implique ainsi d'explorer plus en détail des problématiques multiples : comment satisfaire des usages et comment les choisir, tout en fixant des seuils de prélèvements qui respectent des limites acceptables pour la préservation des écosystèmes ? Comment anticiper des débats difficiles sur le stockage de ressources tout en valorisant en priorité des solutions basées sur la nature ? Il peut s'agir :

- de préserver le potentiel des têtes de bassin et des zones humides,
- de favoriser l'infiltration lente pour ralentir le ruissellement,
- d'assurer une dés-imperméabilisation des villes,
- de restaurer des fonctionnalités écologiques, en atteignant les objectifs du « bon état écologique » de la DCE,
- de réaménager les lits des cours d'eau,
- defavoriser le ré-usage sans augmenter la pollution,
- d'expérimenter et d'évaluer des techniques telles que la recharge artificielle de nappes d'accompagnement, ou des aquifères profonds stratégiques.

L'évolution de l'agriculture, activité centrale pour l'économie de la région, s'articule de manière forte avec les contraintes de la gestion de l'eau. L'augmentation déjà constatée de certains aléas climatiques (par ex. sécheresses estivales, canicules, mais également gels de printemps), situation qui ne peut que croître dans le futur, est révélatrice des problèmes à venir de l'agriculture et de l'élevage. Il peut exister des impacts positifs par exemple la maturation plus complète des fruits et le rendement plus élevé de certaines cultures, du fait du rôle fertilisant du CO_2 dans l'atmosphère et de l'allongement des cycles. Mais les impacts négatifs resteront a priori plus importants, notamment en ce qui concerne la disponibilité en eau et l'augmentation de la température pour les élevages.

Des choix importants en matière de systèmes de production doivent être réalisés. L'ensemble des enjeux, qu'ils soient techniques, environnementaux, économiques et sociétaux, devront être pris en compte, notamment la durabilité économique des exploitations agricoles dans leur diversité, et les changements d'habitudes alimentaires. Une agriculture plus économe en eau et en intrants doit d'ores et déjà être envisagée. Pour limiter les conséquences négatives du changement climatique, différents leviers techniques devront être combinés, comme dans le cadre de l'agroécologie. Il est très important d'évaluer dès maintenant leur impact environnemental en matière d'émission de CO_2 et de consommation en eau. Le volet « atténuation du changement climatique » de l'agriculture, autrement dit sa capacité à stocker du carbone dans le sol et à réduire ses émissions de gaz à effet de serre, doit être considéré à parts égales avec le volet « adaptation aux changements climatiques » pour déterminer les politiques régionales. Il est déterminant d'anticiper la mise en œuvre des changements nécessaires en travaillant d'ores et déjà avec tous les acteurs impliqués. Il faut profiter des interrogations actuelles sur le modèle de production agricole, notamment vis-à-vis des intrants phytosanitaires, pour reconcevoir dès maintenant des systèmes de production intégrant l'ensemble de ces enjeux, dont l'enjeu climatique. Dans 10 ans, il sera trop tard.

Les territoires urbains, qui participent à hauteur de 70 % à la production des émissions de CO_2, et qui sont les sièges principaux des épisodes de pollution atmosphérique tels que particules et ozone, seront fortement affectés par l'accroissement des températures et ses conséquences. La métropole de Bordeaux et la douzaine d'aires urbaines de plus de 100 000 habitants sont d'ores et déjà confrontées au double défi de l'atténuation et de l'adaptation, ce dernier se manifestant notamment par des îlots de chaleur en période caniculaire et des risques d'inondation, voire de submersion, dans la vallée de la Garonne. L'agglomération est un échelon approprié pour mettre en œuvre les politiques climatiques, mais la multiplication de documents de planification territoriale non contraignants, redondants et sans traduction dans les faits ne peut suffire. Des efforts peuvent être engagés ou intensifiés dans des domaines très concrets : l'ajustement, mais aussi l'application réelle des règles d'urbanisme (notamment dans les zones inondables), la végétalisation accrue de la ville et le respect absolu des zones humides et vertes existantes. La densification de l'habitat, nécessaire pour lutter contre l›étalement urbain, notamment en périphérie d›agglomération, nécessaire aussi pour optimiser les réseaux de transports publics, ne doit cependant pas conduire à une ville encore plus minérale, au détriment des espaces verts publics ou privés. Ceci est particulièrement important au regard de la problématique des îlots de chaleur mentionnée ci-dessus, qui ira en s'accentuant au fil du temps, avec un impact considérable sur les problèmes de santé. Une organisation multipolaire où les différents quartiers sont bien reliés par transports en commun et séparés par des zones vertes a montré son efficacité ailleurs en Europe. L'intégration des enjeux climatiques aux politiques urbaines, en particulier l'adaptation longtemps ignorée, doit devenir une priorité. Dans ce cadre la réduction accélérée de la place de l'automobile au profit des modes collectifs et non polluants est primordiale, de même que la prise en compte des inégalités environnementales et sociales qui pourraient en résulter. Cette prise en compte de la dimension du changement climatique est urgente, car la morphologie urbaine évolue lentement et les investissements lourds qui sont requis (dans le domaine transport ou dans des programmes d'urbanisme comme Euratlantique), portent des conséquences sur plusieurs décennies.

Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine est particulièrement vulnérable aux aléas d'érosion et de submersion marine. Ces aléas sont pour une part d'origine naturelle, et il reste difficile de séparer la part des changements naturels de celle qui est liée aux activités anthropiques. L'impossibilité de produire des prévisions exactes constitue un élément de difficulté incontournable dans la gestion des littoraux. Une partie des évolutions à venir, par exemple en termes de position du trait de côte et de niveaux d'eau extrêmes, dépend non seulement des futures émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de la variabilité propre du climat, ou encore de l'action aléatoire des événements les plus violents qui, comme le montrent les simulations rétrospectives et les travaux des historiens, ont frappé le littoral de Nouvelle-Aquitaine bien avant les manifestations du changement climatique. Ces événements rares peuvent laisser une trace profonde, particulièrement lorsqu'ils coïncident avec des marées hautes de grand coefficient. Des évolutions importantes sont inévitables et toucheront les régimes de vagues ou les débits des fleuves, avec des conséquences sur l'érosion des côtes ou l'apport de sédiments. Surtout, même si les régimes de tempêtes météorologiques sont difficiles à anticiper, l'élévation du niveau de la mer est un phénomène inéluctable, dont seule l'amplitude précise pose question. Une accentuation notable de l'aléa érosion par l'élévation du niveau de la mer pourrait ainsi survenir plus tard, dans la seconde moitié du XXIe siècle. En revanche, dès les prochaines décennies, l'augmentation du niveau moyen des mers entraînera mécaniquement une augmentation de la fréquence et de l'intensité des submersions marines dans les zones basses, telles que le Bassin d'Arcachon, l'intérieur des estuaires ou des rivages de Charente-Maritime. L'amélioration des modèles, le travail de compréhension des mécanismes naturels qui entrent en jeu pourra réduire les

incertitudes autour de la prévision des évolutions futures, mais pas la supprimer : elle a un caractère intrinsèque.

Dans ce contexte, définir des stratégies de gestion du littoral est à la fois nécessaire et délicate, notamment au regard du coût des défenses de plus en plus élevées et des capacités limitées de financement de la puissance publique. Et ceci d'autant plus que la nouvelle réforme GEMAPI prévoit le transfert du coût des mesures de prévention des risques aux collectivités locales qui devront les financer par le recours à une redevance dédiée. Croiser les enjeux sociaux et économiques avec les risques physiques permettra, à différentes échelles, de déterminer des stratégies d'action à partir d'une ou plusieurs des options suivantes :

- le maintien et le renforcement des défenses côtières,
- la mise en place d'une adaptation plus souple par ajustement aux évolutions physiques,
- la renaturation qui peut être accompagnée d'une remise en libre évolution de certains espaces littoraux non stratégiques.

Ces mesures d'adaptation fondées sur la nature présentent de nombreux avantages : réduction des coûts de défense, accroissement des zones de nurseries pour les poissons, zones d'habitats pour les oiseaux migrateurs. Sur les secteurs côtiers, parmi les options qui deviendront à terme et par endroits inévitables, la relocalisation impliquant de redonner des espaces à la mer et de relocaliser les activités et les biens en arrière-littoral pourra conduire à des recompositions des usages sur les territoires et invite à de nouvelles approches d'aménagement et de gestion des littoraux en vue de construire un intérêt général territorialisé, tenant compte à la fois des dynamiques locales et des changements globaux. Parmi les voies à explorer – et nous avons déjà insisté plus haut sur la manière dont certaines peuvent se nourrir des leçons du passé – figurent les expérimentations de relocalisation des biens et des activités réalisées récemment dans trois communes de Nouvelle-Aquitaine. Elles ont permis d'identifier les principaux freins et leviers aux plans financiers, économiques, juridiques et politiques et l'enjeu est désormais de passer de ces logiques expérimentales à des transformations durables, en vue de diminuer les vulnérabilités littorales. Pour ce faire, des propositions législatives bâties sur des expérimentations en Nouvelle-Aquitaine notamment, sont débattues au Parlement et constituent autant d'outils pour explorer plus avant la faisabilité d'opérations de relocalisation selon les spécificités des territoires.

La montagne constitue aussi un domaine particulièrement vulnérable. C'est à la fois un domaine où toutes les activités économiques sont articulées avec des ressources naturelles, et une réserve sans équivalent de biodiversité, étagée en altitude et menacée de manière directe par le réchauffement. C'est aussi un domaine où les paysages façonnés par des millénaires de pastoralismes tendent à disparaître. C'est enfin un milieu où la synergie adaptation/atténuation des changements climatiques doit être confrontée à une présence marquante : l'hydroélectricité.

Les enjeux sont différents selon les massifs. Pour la Montagne limousine, notre rapport pointe les vulnérabilités environnementales et sociétales, auxquelles les politiques d'adaptation aux changements climatiques et à leurs conséquences devront porter une attention particulière. La montagne pyrénéenne, elle, a fait l'objet, dans le rapport précédent d'un travail approfondi sur l'évolution des écosystèmes face au changement climatique et au cadre socio-économique en évolution rapide. Le présent rapport redit l'importance de réagir rapidement, au risque de laisser se modifier des services écologiques essentiels et par voie de conséquence d'impacter les activités et le bien-être d'une partie de la population qui dépend des ressources de haute altitude. Par rapport à ce risque, les connaissances sur la montagne restent encore trop lacunaires et le déficit de scénarios fiables à l'échelle locale est toujours palpable et pénalisant. Les effets possibles du changement climatique en montagne peuvent être très dépendants des situations locales. Ils justifient la nécessité de construire des projets expérimentaux de longue durée dans des contextes socio-écosystémiques diversifiés, et invitent à promouvoir des recherches concertées, basées sur des observations de terrain, complémentaires aux travaux de modélisation, dans le cadre d'Observatoires notamment. Un enjeu majeur est de renforcer cette construction dans une logique améliorée d'échanges entre et au sein d'initiatives menées aux différentes échelles territoriales montagnardes – par exemple au sein de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques (OPCC), qui est transfrontalier, à la fois en termes de frontières à la fois régionales et nationales.

Tant sur le plan technique qu'en termes de représentations et de pratiques, le changement climatique est encore fort peu pris en compte dans la prospective territoriale à long terme. La réalité de changements est certes un fait reconnu par les différents acteurs, mais la confusion entre les changements environnementaux au sens large et le changement climatique au sens strict pénalise l'action. Que les effets possibles du changement climatique puissent être très dépendants des situations locales, que les scénarios à ces échelles manquent, qu'il existe en parallèle une certaine incertitude scientifique, ne doit pas servir à excuser voire à argumenter la timidité de l'action, mais devrait au contraire conduire à renforcer les études sur tous ces thèmes.

À ce stade, rappeler de manière insistante la nécessité de repenser la gouvernance ou celle « de penser différemment avec une réelle réactivité », comme cela a été fait dans le précédent rapport, n'a pas encore produit les effets escomptés. En termes d'action, les initiatives relèvent le plus souvent des évolutions réglementaires au niveau national, imposées de toute façon, et sont reliées aux politiques générales d'atténuation et d'adaptation, notamment en matière énergétique. Les initiatives locales restent rares et sont souvent issues d'échelons supérieurs ou d'autres instances comme le Parc National des Pyrénées, le Département des Pyrénées-Atlantiques ou le Conseil des élus du Pays-Basque (à l'origine des seuls plans climat de la partie aquitaine de la chaîne).

La forêt. Suscitées par les impacts déjà perceptibles du changement climatique sur le fonctionnement des arbres et des forêts, les politiques de gestion adaptative basées sur une sylviculture plus dynamique et diversifiée se mettent progressivement en place. Dans ce contexte, la préoccupation des pouvoirs publics s'est déplacée majoritairement sur le rôle que la forêt et plus généralement la filière forêt-bois pourraient jouer dans une économie plus décarbonée.

Au niveau de la Nouvelle-Aquitaine, la contribution de la forêt se définit le long d'un contraste « extensification versus intensification ». D'une part les forêts soumises à une sylviculture intensive (pin maritime, douglas, peupliers, soit un tiers de la surface forestière) offrent une ressource et des produits de substitution à d'autres matériaux plus producteurs de carbone. D'autre part les forêts mixtes feuillues (plus des deux tiers de la surface), répondant à une sylviculture plus extensive auraient plutôt vocation à stocker du carbone dans l'écosystème forestier. Le Programme National Forêt Bois soutient globalement cette dynamique, en encourageant d'une part une gestion adaptative de la forêt, et en incitant d'autre part très fortement à l'utilisation des ressources ligneuses pour renforcer les politiques d'atténuation. Ce soutien se traduit par des actions publiques visant une gestion forestière plus énergique et la promotion du bois construction, ou encore le fléchage de financements carbone. Il reste désormais à renforcer ces dispositifs et initiatives à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine et à les décliner localement dans le cadre du Programme régional de la Forêt et du Bois en cours de construction. Ces dispositifs restent cependant très fragiles au regard de l'impact d'événements extrêmes (tempête, feux, attaques de parasites) qui pourraient remettre en cause leurs capacités de contribution à l'atténuation du changement climatique. Leur implémentation dans un contexte plus incertain, en considérant des variations graduelles ou extrêmes du climat reste un sujet d'investigation.

Les zones humides de la Nouvelle-Aquitaine sont des écosystèmes très variés qui délivrent à la société de nombreux services écologiques : régulation hydrologique, séquestration du CO_2, qualité de l'eau, biodiversité, maîtrise des crues… Il existe à leur égard deux problématiques un peu différentes. La première consiste à préserver leur emprise territoriale, face aux besoins du développement urbain ou agricole, mais aussi face aux menaces d'assèchement venant du changement climatique lui-même.

Une problématique associée est de préserver au mieux les fonctions écologiques des zones humides face à la croissance de ce changement climatique. On constate en effet que les dynamiques fonctionnelles des zones humides sont peu à peu menacées, ce qui implique de reconsidérer à l'avenir leur rôle dans le développement du territoire. L'étude du compartiment planctonique, très réactif à des évolutions rapides, fournit un exemple instructif de l'impact d'un changement climatique. Celui-ci va en effet affecter le fonctionnement des communautés planctoniques des marais rétro-littoraux ainsi que leurs fonctions et services associés. L'augmentation de la température moyenne de la Terre et des eaux superficielles vont modifier la biodiversité, les dynamiques et le fonctionnement des réseaux trophiques planctoniques. Les périodes d'étiage vont s'accroître et la réalimentation naturelle ou artificielle des marais sera en baisse. La submersion marine aura tendance à augmenter et l'impact des événements climatiques extrêmes, en particulier des tempêtes, risque de se modifier. Dans un tel contexte, un levier d'action réaliste pour construire une stratégie visant à limiter l'incidence du réchauffement climatique sur le compartiment planctonique est le facteur hydraulique. Sa gestion pourrait se décliner en deux axes : d'une part l'augmentation du renouvellement de la masse d'eau par un travail global sur sa ressource, et d'autre part le maintien du volume tampon offert par la hauteur de la lame d'eau, grâce à l'entretien régulier du réseau de canaux des marais.

De manière plus générale il faut construire des outils scientifiques pour mieux identifier les transformations des zones humides et de leurs usages, et entreprendre l'évaluation de ces socioécosystèmes particuliers à la fois en termes de patrimoine biologique et de services délivrés à la société. La caractérisation des fonctions écosystémiques des zones humides est en effet récente, tout particulièrement en ce qui concerne le compartiment aquatique. Une meilleure description permettrait d'identifier les leviers d'action sur lesquels bâtir les différentes stratégies d'intervention, et en anticiper la réussite.

La conchyliculture – essentiellement la culture des huîtres et des moules en Nouvelle-Aquitaine – constitue un exemple d'exploitation de ressources régionales, qui fournissent des ressources économiques et participent à la biodiversité. Elles sont vulnérables face à l'impact du changement global et de ses effets, qui augmentent la variabilité déjà forte de l'environnement côtier. Les coquillages et en particulier l'huître voient leurs aires de répartition et leurs conditions de reproduction changer, mettant sous concurrence la fourniture de juvéniles, jusqu'à présent spécialité des entreprises de la région Nouvelle-Aquitaine.

Les conchyliculteurs de la région Nouvelle-Aquitaine, en phase avec la grande variabilité des écosystèmes dont ils font partie, ont depuis longtemps adopté une capacité à évoluer et s'adapter. À l'intérieur de leurs sites de production respectifs, certains éloignent leurs élevages de la côte et de ses pollutions. En liaison avec les autres sites de production français, les échanges de cheptel permettent aussi d'optimiser les ressources nutritives des sites. Enfin les nouveaux standards de consommation et de distribution dans le monde entier autorisent une partie du cycle d'élevage dans d'autres pays de l'Union européenne. Dans ces conditions, le futur de la conchyliculture de la région Nouvelle-Aquitaine se pose en ces termes :

- Fournir aux sites de production de la région Nouvelle-Aquitaine une qualité d'eau littorale intégrant les conditions ad hoc de salure et la réduction drastique des pollutions actuelles et émergentes. Il s'agira notamment de maintenir une courantologie minimale et un apport d'eau douce de qualité dans les parcs ostréicoles ;

- Quel que soit le site d'élevage, soutenir le maintien des entreprises et de leur commercialisation dans la région Nouvelle-Aquitaine ;

- À terre comme en mer, développer une politique foncière dynamique (régime des concessions en mer) et sécurisée (disponibilité du foncier sur la côte), dans un contexte toujours plus concurrentiel entre les usages.

La pêche est aussi une activité économique importante de la région Nouvelle-Aquitaine qui subit l'influence du changement climatique, en pleine mer comme dans les domaines estuariens ou dans le bassin d'Arcachon. Parmi les changements, on observe des déplacements des limites biogéographiques des espèces exploitées par la pêche vers le nord. Actuellement, ils ne semblent pas être compensés par l'arrivée d'espèces nouvelles en quantité suffisante pour une exploitation dans le golfe de Gascogne. Les navires néo-aquitains sont en grande partie de taille petite à moyenne. Si des navires ne sont plus en capacité de « suivre la ressource » ou de l'exploiter au moment où elle est présente le long des côtes de Nouvelle-Aquitaine, le risque à moyen/long termes est que leur exploitation locale s'arrête et que cette ressource soit exploitée ailleurs par des investisseurs extérieurs à la région (et pour lesquels l'activité est plus rentable). Pour le territoire, cela constitue un risque de perte de richesses (basées sur une activité de collecte de ressources naturelles) et de « patrimoine économique et culturel ». Il est donc important de maintenir le lien entre l'activité de pêche et le territoire.

L'adaptation des entreprises de pêche dans le contexte du changement climatique réclame de faire évoluer la réglementation et la gestion des pêches au niveau européen pour que les droits d'accès à la ressource (TAC/quotas) intègrent dans la répartition spatiale de ces droits, les modifications dans la dynamique des différentes espèces, induites par le changement climatique. Pour les unités en capacité de suivre la ressource, cela signifie leur permettre d'aller plus au nord. Pour les plus petites unités qui sont contraintes dans leurs déplacements, cela signifie leur permettre d'accéder plus facilement à la ressource lorsqu'elle est « à portée ». Cette gestion adaptative est nécessaire pour préserver l'activité de pêche. Ces réajustements devront également prendre en compte la nécessaire protection des espèces fragilisées par le changement climatique.

Plusieurs autres actions sont aussi importantes :

- Développer une culture alimentaire qui permette d'optimiser l'activité de pêche, notamment en valorisant au mieux l'ensemble des captures, dont celles d'espèces qui étaient jusqu'à récemment peu considérées (tacaud, vive…) ;

- Favoriser une diversification d'activité en développant des systèmes d'exploitation basés sur la pluriactivité (intrapêche avec pêcheries multispécifiques, tourisme…) pour que les entreprises soient moins vulnérables aux variations de la ressource, avec des pratiques sélectives minimisant les captures accessoires d'espèces non valorisées ou en danger.

Par ailleurs, la pêche joue un rôle de « sentinelle » face au changement climatique. Le rôle du pêcheur est aussi de contribuer à la collecte de données sur l'arrivée des espèces à affinité « plus méridionale ».

Participation locale et appropriation citoyenne.
Les inflexions importantes des politiques publiques territoriales, dont notre rapport a montré qu'elles sont nécessaires dans de nombreux domaines, nous rappellent pour finir que rien ne pourra se faire sans une forte adhésion des citoyens.

Ceux-ci sont affectés à la fois par les changements climatiques et par les mesures censées y porter remède, qui peuvent être accompagnées d'effets secondaires non souhaités. La légitimité des décideurs et élus locaux n'apporte qu'une réponse partielle à ce défi, et la question controversée de la participation est au cœur de cette nécessité d'appropriation citoyenne du changement. Si de prometteuses expérimentations sont menées dans les territoires, comme l'illustre le chapitre sur l'eau, dans de nombreux autres cas les dispositifs de concertation et de participation - souvent d'ailleurs d'ordre législatif et réglementaire - montrent leurs limites. Renouveler les pratiques permettant d'associer les populations concernées à la décision, au plus près du terrain, et favoriser un large débat public prenant en compte l'expertise citoyenne, portée notamment par le monde associatif, paraissent essentiels à l'acceptation sociale des choix d'action publique (par exemple dans le domaine des énergies nouvelles). La démocratie participative peut devenir le moteur d'une transition écologique réussie.

Glossaire

Accore : rupture de pente dans le relief sous-marin. L'accore du plateau continental et l'accore de reliefs moins profonds constituent souvent des zones très fertiles recherchées par les pêcheurs car elles sont le lieu de brassages verticaux (remontées de sels nutritifs, upwellings).

Accrus : espaces agricoles délaissés par l'agriculture et recolonisés par des semis spontanés d'arbres forestiers.

Adventices : plante qui pousse dans un endroit (champs, massifs…) sans y avoir été intentionnellement installée. Les adventices sont généralement considérées comme nuisibles à la production agricole, bien qu'elles puissent également être bénéfiques.

Aérosols : particules solides ou liquides plus ou moins finement dispersées dans l'air avec des temps de présence de quelques jours.

Altérite : formation géologique produite par l'altération physico-chimique d'autres formations géologiques.

Anoxie (conditions anoxiques en écologie) : manque d'oxygène (O_2) dissous dans un milieu aquatique.

Aquifère : une formation géologique ou une roche, suffisamment poreuse et/ou fissurée (pour stocker de grandes quantités d'eau) tout en étant suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement.

Arthropodes : invertébrés possédant un squelette externe articulé (crustacés, insectes).

Assecs : état temporaire d'une masse d'eau superficielle (rivière, lac, étang…) sans eau.

Assemblages benthiques : organismes aquatiques vivants libres sur le fond ou fixés dans une zone écologique et se ressemblant par les caractéristiques biologiques qu'ils présentent.

Assolements : division des terres d'une exploitation agricole ou d'un territoire en parties distinctes, appelées soles, consacrées chacune à une culture donnée pendant une saison culturale.

Biodégradation : réaction de dégradation naturelle (ou provoquée) sous l'action d'assimilation et de digestion par les micro-organismes (par exemple les bactéries). Cette réaction peut conduire à la dégradation totale de nombreux composés organiques, mais également à la formation de métabolites. Elle est généralement lente (voire très lente pour les composés peu biodégradables).

Biodisponibilité : la biodisponibilité d'un élément pour les organismes est déterminée par la forme du composé favorisant sa liaison ou son passage au travers des surfaces en contact avec l'eau ou avec la fraction assimilable de la nourriture (*e.g.* téguments, muqueuses branchiales ou intestinales…) et entraînant, ainsi, son entrée dans les tissus. Cette bioaccumulation de l'élément par l'organisme peut découler de processus passifs (chimiques) ou actifs (biologiques).

Biofilms épilithiques : les biofilms sont des milieux d'architecture complexe associant un consortium de micro-organismes, incorporés dans une matrice polymérique organique qui contient également des minéraux, des algues, des protozoaires… Les biofilms épilithiques se développent notamment dans les masses d'eau superficielles sur tous les matériaux au contact de l'eau comme les roches, les sédiments, les plantes aquatiques…

Biosphère : désigne les trois milieux (terre, eau, atmosphère) dont les interactions physico-chimiques permettent la vie. Elle s'étend du fond des océans à l'atmosphère sur une distance qui de son point le plus bas au plus élevé compte une vingtaine de kilomètres.

Chironomes : famille d'insectes appartenant à l'ordre des Diptères (mouches). La larve de chironome est connue sous le nom vernaculaire de « ver de vase ». Ce sont des marqueurs des paléoclimats utilisés pour une mise en perspective précise du réchauffement actuel.

Circulation géostrophique : circulation océanique théorique résultant de l'équilibre entre les forces de pression horizontales au sein des masses d'eau et les forces d'accélération liées à la rotation de la Terre.

Circulation thermohaline : circulation à grande échelle dans l'océan mondial liée à la température et à la salinité des masses d'eau.

Conchyliculture : ensemble des procédés et des techniques utilisés pour favoriser la production des coquillages (huîtres, moules, palourdes, ormeaux, coquilles Saint-Jacques, etc.).

Convention RAMSAR : est un accord mondial et intergouvernemental sur l'environnement qui a pour mission « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier ».

Courbe hypsométrique : hypsogramme et courbe hypsométrique traduisent la répartition des altitudes. L'hypsogramme représente le graphique sur lequel les valeurs des altitudes sont réparties en intervalles sur l'axe des abscisses ; tandis qu'en ordonnées, apparaissent les surfaces exprimées en pourcentage de la surface totale comprise entre deux altitudes

successives. La courbe hypsométrique est une courbe qui peut être construite sur le graphique précédent avec des ordonnées représentant la surface qui se trouve au-dessus des côtes d'altitudes portées en abscisse.

Cryosphère : (terme du grec kryos signifiant le froid, la glace) Ensemble des endroits de la surface de la Terre où l'eau est présente à l'état solide, comprenant banquises, lacs et rivières gelés, régions couvertes de neige, glaciers, inlandsis et sols gelés, de façon temporaire ou permanente (pergélisol). Autrement dit, la cryosphère représente la partie du système terrestre où l'eau se présente sous forme d'eau gelée.

Cyanobactéries (algues bleues) : algues microscopiques (procaryotes photosynthétiques) pouvant produire plusieurs types de toxines (cyanotoxines) susceptibles d'agir sur des organes différents (fois, système nerveux, reins, intestins) chez les mammifères. Elles se développent particulièrement bien en milieu aquatique eutrophisé, au printemps et en été (cf. Eutrophisation)

Cycle d'un élément : cycle biogéochimique d'un élément (carbone, azote, phosphore…) sur une planète

Dénitrification : processus biologique en absence d'oxygène de transformation de l'azote nitreux (nitrates) en diazote (N_2). Ce processus dans les sols est source de production de protoxyde d'azote (GES)

Dévalaison : action pour un poisson migrateur de descendre un cours d'eau pour retourner dans son lieu de reproduction ou de développement.

Dystrophique : relatif à la dystrophie qui est une richesse excessive conduisant à des déséquilibres (crise anoxique, malaïgue).

Éco-région : les éco-régions ont été fixées comme les domaines pour lesquels des objectifs écologiques seraient définis lors de la mise en œuvre d'une approche écosystémique dans les eaux européennes. Les limites des éco-régions sont ainsi fondées sur des caractéristiques biogéographiques et océanographiques, compte tenu des divisions politiques, sociales, économiques et de gestions existantes.

Écologie : en tant que science étudie et élabore des théories explicatives des relations des êtres vivants (animaux, végétaux, micro-organismes) avec leur environnement, ainsi qu'avec les autres êtres vivants (écosystème).

Écotone : zone de transition écologique entre deux écosystèmes.

Écotoxicité : l'écotoxicologie est l'étude du comportement et des effets des polluants dans les écosystèmes. L'écotoxicité d'une substance représente la toxicité (aiguë ou chronique) de cette substance vis-à-vis d'organismes vivant dans les milieux naturels et généralement utilisés pour évaluer les risques écologiques (invertébrés, algues, poissons, bactéries…). Les mammifères sont plutôt utilisés pour tester la toxicité d'une substance en vue de l'extrapoler à l'humain.

Éléments traces métalliques (ETM) : les éléments en traces (ou éléments traces) sont les 80 éléments chimiques dont la concentration moyenne dans la croûte terrestre continentale est inférieure à 0,1 % pour chacun. La plupart sont des métaux, d'où ETM. Par habitude, pour les milieux aquatiques et les sols pollués, ce sont plutôt les métaux lourds, sous entendu les plus toxiques, qui sont regroupés dans cette dénomination.

Épidémiologie : science qui étudie, au sein de populations (humaines, animales, voire végétales), la fréquence et la répartition des problèmes de santé dans le temps et dans l'espace, ainsi que le rôle des facteurs qui les déterminent.

Epilimnion : couche supérieure des retenues d'eau (lacs naturels, barrages…), la plus chaude et la plus bioproductive, notamment pour les développements d'algues.

Épisodes de pollution : utilisé notamment dans les arrêtés préfectoraux, ce terme défini la période au cours de laquelle la concentration dans l'air ambiant d'un ou plusieurs polluants atmosphériques est supérieure au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte.

Équivalent CO_2 (pour autres GES) : par rapport à la référence CO_2, les potentiels de réchauffement global (PRG) des autres GES, en kg équivalent CO_2/kg de GES, sont de 23 pour le méthane, 310 pour le protoxyde d'azote et d'environ 1 000 à 23 000 pour les gaz fluorés (selon les types de gaz).

Espèce acclimatée : espèce introduite capable de se développer et de maintenir une reproduction (par graines ou pousses végétatives) depuis au moins 10 ans dans une nouvelle aire géographique sans intervention directe de l'Homme.

Espèce autochtone : espèce dont l'histoire évolutive a eu lieu dans une aire géographique donnée et dont la présence ou l'arrivée récente dans l'aire ne résulte pas de l'intervention de l'Homme.

Espèce introduite : espèce dont la présence dans une aire géographique donnée est due à une introduction accidentelle ou intentionnelle résultant de l'activité humaine.

Estran : également connu comme zone de marnage ou zone intertidale, est la partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées.

État chimique (d'une masse d'eau superficielle) : état défini (par la DCE) à partir de la concentration d'une liste de substances chimiques prioritaires. Il existe deux états : bon et mauvais

État écologique (d'une masse d'eau superficielle) : état défini (par la DCE) principalement par un en-

semble d'éléments de qualité biologique ou indices biologiques (macro-invertébrés, diatomées, poissons, macrophytes), sous-tendu par des éléments physico-chimiques et par la concentration de certains polluants spécifiques. Il existe 5 états : très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais. Les conditions hydromorpohologiques sont susceptibles de déclasser un très bon état écologique en bon état écologique

État global (d'une masse d'eau souterraine) : état défini (par la DCE) par un état chimique et un état quantitatif. Il existe 2 états globaux : bon (quand les deux états chimique et quantitatif sont bons) et mauvais (quand un des deux états est mauvais).

Étiage : le débit minimal d'un cours d'eau. Il correspond statistiquement (sur plusieurs années) à la période de l'année où le niveau d'un cours d'eau atteint son point le plus bas (basses eaux). Cette valeur est annuelle.

Eutrophisation : processus d'accumulation des nutriments (notamment azote et phosphore) dans un milieu aquatique (entre autres) entraînant des développements intenses d'algues (bloom algaux) lors de l'augmentation de l'ensoleillement et de la température. Cette prolifération d'algues induit des conditions physico-chimiques dans certaines zones de la masse d'eau qui peuvent libérer certains métaux (fer et manganèse) du fond géochimique.

Évapotranspiration : la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

Facteur 4 : désigne un objectif ou engagement écologique qui consiste à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre d'un pays ou d'un continent donné, à l'échelle de temps de 40 ans.

Fond géochimique (pour métaux) : fond géochimique naturel ou bruit de fond, servant de référentiel à la gestion des milieux pollués. Sa valeur est réglementée (pour les eaux par exemple) ou évaluée sur des milieux géochimiques donnés non contaminés (pour les sols et sites pollués par exemple).

Holisme : le tout est plus que les parties.

Humification (processus d') : ensemble complexe de processus naturels (biologiques et abiotiques) se produisant dans les sols et dans les milieux aquatiques, qui conduisent à la décomposition de la matière organique végétale et animale organisée, en composés organiques plus simples appelés souvent « substances humiques » ou « humus » plus ou moins solubles dans l'eau. Ces transformations peuvent conduire très lentement à une minéralisation quasi-totale selon les conditions physico-chimiques et biologiques.

Hydrolyse : réaction chimique naturelle (ou provoquée) sous l'action des ions hydrogène (hydrolyse acide) ou hydroxyde (hydrolyse basique) et des molécules d'eau. Cette réaction peut conduire à la transformation de certains composés organiques (dont les micropolluants) en métabolites. Elle est généralement lente en milieu naturel.

Hypoxie : condition dans laquelle la teneur en oxygène est inférieure à sa teneur normale.

Hypoxie (et conditions hypoxiques) : l'hypoxie est un terme (généralement médical) utilisé pour désigner un manque d'apport en oxygène au niveau des tissus d'un organisme vivant.

Ichtyoplancton : ensemble des organismes planctoniques, constitué par les œufs et les larves de poissons.

Indices biologiques : cf. état écologique (d'une masse d'eau superficielle)

Inférence : opération par laquelle on passe d'une assertion considérée comme vraie à une autre assertion au moyen d'un système de règles qui rend cette deuxième assertion également vraie.

Initiation florale : développement des différentes parties des fleurs dans le bourgeon floral. Cette étape fait suite à l'induction florale et précède la floraison.

Itinéraire sylvicole : séquence de toutes les opérations sylvicoles réalisées dans un peuplement forestier pendant une durée déterminée.

Jusant : période pendant laquelle la marée est descendante.

Juvénile : stade du développement pendant lequel l'individu est très semblable à l'adulte en termes de morphologie, d'anatomie, de physiologie, de mode et de milieu de vie mais n'est pas en capacité de se reproduire. La phase juvénile est une période de croissance.

Le Débit Objectif d'Étiage (DOE) : est le débit de référence permettant l'atteinte du bon état des eaux et au-dessus duquel est satisfait l'ensemble des usages, en moyenne 8 années sur 10. À chaque point nodal, la valeur de DOE est visée chaque année en période d'étiage en valeur journalière (Smeag, 2014).

Les eaux de surface (ou superficielles) sont les eaux qui coulent (fleuves, rivières) ou qui stagnent (lacs, étangs, mares, terres humides, canaux artificiels…) à la surface du sol.

Les eaux souterraines sont les volumes d'eau de pluie infiltrée dans le sous-sol (pluie efficace) et qui s'écoulent en nappes souterraines dans les aquifères (roches poreuses ou fissurées) où ils peuvent être captés.

(Limites) biogéographie (ques) : l'étude de la distribution spatiale des organismes. Elle intègre tous les processus biologiques et écologiques en rapport avec l'évolution (spéciation, adaptation, diffusion, etc.) à des processus qui influencent l'environnement physique (création de voies d'échange, barrières physique ou climatique, etc.).

Lusitanienne : espèces des eaux tempérées chaudes dont la répartition va de l'ouest de l'Irlande ou du nord de la France jusqu'au Sénégal.

Marée dynamique : correspond à la propagation de l'onde de marée dans la vallée fluviale jusqu'au point où le courant du fleuve vers l'aval n'est plus inversé par les marées.

Masse d'eau : tout ou partie d'un cours d'eau ou d'un canal, un ou plusieurs aquifères, un plan d'eau, une portion de zone côtière – Masse d'eau homogène dans ses caractéristiques physiques, biologiques, physico-chimiques et dans son état (*cf.* État chimique et État biologique).

Matière organique des sols : mélange de résidus végétaux et animaux, d'organismes vivants allant des matières organiques fraîches jusqu'aux matières organiques dégradées en interaction avec la phase minérale, le tout quantifiée ou analysé comme la matière organique dissoute.

Matière organique dissoute : mélange de composés organiques d'origine naturelle (*e.g.* substances humiques) et anthropique (*e.g.* rejets de stations d'épuration urbaines), quantifié globalement en pratique par oxydation thermique ou chimique, mais qui peut être analysé par fractions ou classe de composés en laboratoire de recherche

Métabolites : sous-produits de dégradation partielle et naturelle d'un composé organique (pesticide par exemple) par des réactions biologiques ou abiotiques (hydrolyse, photolyse, etc.). Par exemple, l'AMPA est un métabolite du glyphosate.

Métallogenèse : processus biologique en anaérobie de transformation de la matière organique hydrolysée (après hydrolyse te acétogénèse) en méthane (CH_4) qui est un GES

Micro-Organismes pathogènes allogènes : micro-organismes (virus, bactérie, champignon, protozoaire, etc.) capables de proliférer dans un organisme supérieur en provoquant des troubles de santé (chez l'homme ou l'animal) plus ou moins graves. Ils sont dits « allogènes » (ou allochtones) quand ils viennent d'ailleurs en envahissant les micro-organismes autochtones.

Micropolluants : composés organiques ou minéraux en microconcentrations dans un milieu, notamment dans l'eau.

Mix énergétique : pour l'énergie le mix énergétique désigne les différentes sources d'énergie primaire énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon), le nucléaire, les énergies renouvelables (biomasse, éolien, géothermie, hydraulique, solaire) dans la consommation finale d'énergie d'une zone géographique donnée.

Mortes-eaux : marées d'amplitude inférieure à la moyenne.

Mulch : technique agricole consistant à recouvrir le sol (avec des déchets organiques, du compost, des paillis, etc.) pour le garder meuble, limiter l'évaporation et l'érosion.

Mycorhize : la mycorhize est une association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes.

Mytiliculture : élevage des moules.

Naissain : très jeunes coquillages (huîtres et moules) résultant de la fixation des larves pélagiques de ces espèces sur un support solide naturel ou utilisé par l'homme pour leur capture (= collecteur).

Nitrification : processus biologique en présence d'oxygène de transformation de l'azote organique et ammoniacal en nitrate. Ce processus dans les sols est source d'acidité et de production de protoxyde d'azote (GES)

Nourricerie : zone où se regroupent les alevins et juvéniles d'une espèce mobile pour s'y nourrir et poursuivre leur développement. Une zone de nourricerie peut être fréquentée par plusieurs (nombreuses) espèces.

Nutriments : cf. Eutrophisation

Oligoéléments : composés minéraux nécessaires à la vie d'un organisme, mais en concentration très faible. Chez les végétaux, il s'agit principalement des éléments suivants : B, Cu, Fe, Mn, Zn et Mo.

Ostréiculture : élevage des huîtres.

P.C.S. : Pouvoir de Combustion Supérieur, correspond à l'énergie libérée par la combustion d'un hydrocarbure, le gaz carbonique se trouvant à l'état de gaz et l'eau de combustion étant condensée (sa chaleur de condensation intègre l'énergie fournie).

Palynologie : branche de la science qui s'intéresse à l'étude du pollen, des spores et des palynomorphes (cellules et organismes microscopiques à parois organiques) et des fossiles similaires. La paléopalynologie (étude des grains de pollen et des palynomorphes fossiles) est l'application la plus largement développée, dans le cadre de l'évaluation rétrospective de la réponse des écosystèmes à des changements climatiques.

Panache fluvial : eau douce turbulente qui coule de la terre dans la partie distale d'une rivière (bouche) à l'extérieur des limites d'un estuaire ou d'un cours de rivière.

Parasitique : qui est engendré par des parasites végétaux ou animaux

Pédologie : est une science ayant pour but d'étudier la formation et l'évolution des sols.

Pescatourisme : opérations de transports de passagers effectués à bord des navires armés à la pêche (ou navires aquacoles), à titre d'activité complémentaire rémunérée, pour leur faire découvrir le métier de marin pêcheur (ou conchyliculteur) et le milieu marin.

Photolyse : réaction photochimique naturelle (ou provoquée) sous l'action des photons (rayonnement UV ou visible) et des molécules d'eau. Cette réaction peut conduire à la transformation de certains composés organiques (dont les micropolluants) en métabolites. Elle peut être très rapide surtout lorsqu'elle est catalysée par certains métaux ou par des matières organiques naturelles (réaction photocatalytique)

Plante adventice : plante herbacée ou une plante ligneuse indésirable à l'endroit où elle se trouve.

Polder : est une étendue artificielle de terre gagnée sur l'eau, le plus souvent dont le niveau est inférieur à celui de la mer, à partir de marais, estuaires, lacs ou des zones littorales.

Pollinarium sentinelle : un espace dans lequel sont réunies les principales espèces locales de plantes sauvages (herbes, arbustes et arbres) dont le pollen est allergisant.

Principe de stabilité relative : clé de répartition invariable de répartition du TAC entre les États membres concernés, tenant compte du niveau historique d'exploitation des stocks de chaque État membre.

Réseau trophique : un réseau trophique est un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent sous forme d'échanges d'éléments (carbone et azote notamment) entre les différents niveaux de la chaîne alimentaire.

Réserve utile en eau du sol : quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la végétation.

Rotation culturale : cela se produit lorsque la même succession de cultures se reproduit dans le temps en cycles réguliers. Il peut ainsi avoir des rotations biennales, triennales, quadriennales… Il s'agit de succession culturale lorsqu'il n'existe pas de cycles réguliers.

Sous-produits de désinfection : produits chimiques organiques ou minéraux issus de la réaction d'un désinfectant chimique avec les composés organiques et minéraux présents naturellement dans le milieu – Terme utilisé principalement lors de la désinfection de l'eau en vue de la rendre potable.

Spéciation (des éléments et molécules chimiques) : séparation d'un élément ou d'une molécule en plusieurs espèces de par leurs propriétés « acide/base », « oxydant/réducteur », de formation de complexe, sous l'influence du milieu (pH, $E_{red/ox}$, charge organique et minérale)

Stochastique : décrit un phénomène aléatoire.

Subsidence : terme géologique caractérisant un lent affaissement de l'enveloppe terrestre rigide de la surface de la Terre.

Substances prioritaires : cf. État chimique (d'une masse d'eau superficielle)

Surface agricole utile : est un instrument statistique destiné à évaluer la surface foncière déclarée par les exploitants agricoles comme utilisée par eux pour la production agricole.

Surface terrière : métrique utilisée en sylviculture au niveau d'un arbre ou d'une aire. La surface terrière d'un arbre est la surface de la section de son tronc à 1,30 mètre de hauteur. La surface terrière d'une aire est la somme des surfaces terrières de tous les arbres présents sur cette aire (exprimée en m^2/ha).

Symbiote : organisme qui vit en symbiose avec un autre. La symbiose est une association intime et durable entre deux organismes appartenant à des espèces différentes.

Symbiotique : qui est relatif à la symbiose ou qui vit en état de symbiose (cf. Symbiose)

tep : tonne d'équivalent pétrole. Il s'agit de la quantité d'énergie moyenne contenue dans une tonne de pétrole brut, que l'on peut dégager par combustion.

Thermohaline : qui concerne à la fois la température et la salinité.

Thermophilisation : (terme récent traduit de l'anglais thermophilization). Processus par lequel les espèces vivantes à preferendum thermique froid disparaissent et les espèces vivantes à preferendum thermique chaud se développent. La thermophilisation des communautés végétales montagnardes reflète l'intensité du réchauffement récent. Dans la logique du changement climatique projeté, les transformations d'ores et déjà observées suggèrent un déclin progressif des espèces et communautés vivant d'ordinaire dans les habitats les plus froids.

Traits biologiques et écologiques : les traits biologiques et écologiques représentent l'ensemble des caractéristiques biologiques des écosystèmes ainsi que leurs relations avec l'environnement.

Trente Glorieuses : corresponde à une période entre 1946 et 1975 d'une forte croissance économique et de l'amélioration des conditions de vie de la grande majorité des pays développés.

Upwelling : ou remontée d'eau est un phénomène océanographique dans lequel les vents mettent l'eau en mouvement à la surface des océans. Les eaux profondes, qui sont denses, froides et riches en nutriments, remontent alors vers la surface pour y remplacer les eaux chaudes et généralement pauvres en nutriments qui ont été poussées par les vents. Les upwellings génèrent des eaux côtières fertiles et poissonneuses mais ils induisent un climat très sec le long de la côte.

Vives-eaux : marées d'amplitude supérieure à la moyenne.

Wc : watt crête, la puissance reçue par un dispositif, au maximum de ses performances (exemple : capteur photovoltaïque avec rayons solaires perpendiculaires au panneau, éolienne en production maximale…).

Acronymes

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AMPA : Acronyme anglais « Amino Methyl Phosphonic Acid », métabolite du glyphosate

ARB (NA) : Agence Régionale de la Biodiversité (de Nouvelle-Aquitaine)

AREC : Agence Régionale d'Évaluation environnement Climat

ASP : Association Syndicale de Propriétaires

ATMO (NA) : Diminutif d'« Atmosphère » - Fédération des AASQA (de Nouvelle-Aquitaine)

CA : Chiffre d'affaires

CE : Communauté Européenne

CERFACS : Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

CLIMAQ : acronyme du projet « Adaptation des forêts d'Aquitaine au changement climatique »

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

COV (et COSV) : Composés Organiques Volatils (et Semi-Volatils)

CREDOC : Centre de Recherche pour l'ÉtuDe et l'Observation des Conditions de vie

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DDTM : Direction départementale des territoires et de la mer

DIRM : Direction interrégionale de la mer

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

DSF : Département Santé des Forêts

EDCH : Eau Destinée à la Consommation Humaine (eau potable)

EFI-ATLANTIC : European Forest Institute

EPTB : Établissement Public Territorial de Bassin

ETM : Éléments Traces Métalliques

FEADER : Fonds Européen Agricole pour le DÉveloppement Rural

FORRISK : Réseau européen pour la gestion intégrée des risques en forêts du Sud-Ouest de l'Europe

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ***www.ipcc.ch***

GIP : Groupe d'Intérêt Public

IFN : Inventaire Forestier National

IGN : Institut géographique national

MAC : Acronyme anglais « Maximum Acceptable Concentration »

MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

MOD : Matière Organique Dissoute

MOS : Matière Organique du (ou des) Sol(s)

MPO : Micro-Polluant Organique

NAO : North Atlantic Oscillation

NQE : Norme de Qualité Environnementale

OMS : Organisation mondiale de la Santé

ONF : Office National des Forêts

PCAET : Plan Climat Air Énergie Territorial

PCET : Plan Climat Énergie Territorial

PM_{10} et $PM_{2.5}$: Particules de tailles moyennes inférieures ou égales à 10 micromètres (PM_{10}) ou 2,5 micromètres ($PM_{2.5}$)

PNEC : Acronyme anglais « Predicted No Effect Concentration »

POP : Polluants Organiques Persistants

PRFB : Programme Régional Forêt Bois

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

PUF : Particules Ultra-fines

REINFFORCE : RÉseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatiquE

RSR : Root Shoot Ratio

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIBV : Syndicats hydrauliques ou de bassin versant

SOER ACBB : Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme pour la Recherche en Environnement – Agroécosystèmes, Cycles Bio géochimiques et Biodiversité

SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires

SRCAE : Schéma Régional Climat Air Énergie

SYSDAU : Syndicat Mixte du Schéma Directeur de l'Aire Métropolitaine bordelaise

TAC : Total Admissible de Capture

TEPCV : Territoires à Énergie Positive pour la Croissance Verte

TEPOS : TErritoire à Énergie Positive

U.E. : Union Européenne

UMR : Unité Mixte de Recherche

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

Références bibliographiques

PRÉAMBULE

TERRITOIRE

Ceser - Insee, *Dynamiques territoriales, métropolisation et réseaux en Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes,* Dossier, N° 3, septembre 2016.

Direction Générale des collectivités locales, *Les collectivités territoriales en chiffres, 2016.*

Insee – Decorme, H., Kolpak, M. J., Raffin, C., *La Nouvelle-Aquitaine à grands traits*, Insee Analyses, N° 36, novembre 2016.

Insee – Statistiques, *Comparateur de territoire - Bordeaux Métropole.*

Pôle emploi, *Diagnostic territorial 2016 Aquitaine Limousin Poitou-Charentes - Analyse du marché du travail et de l'emploi.*

Région Nouvelle-Aquitaine, *Atlas régional 2016,* 200 p.

ÉCONOMIE

Agreste Nouvelle-Aquitaine. *Mémento de la statistique agricole.* 2016.

Agreste Poitou-Charentes. *La Charente-Maritime est le premier département producteur de coquillages*, N° 16, octobre 2014

Carroué L. *La France des 13 régions*, Armand Colin, mars 2017.

Comité Régional de Tourisme, *Nouvelle-Aquitaine - Les chiffres clés du tourisme*, éditions 2016.

Direccte Nouvelle-Aquitaine, *Panorama socio-économique de la région Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes et de ses départements,* mai 2016.

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nouvelle-Aquitaine (DREAL), *Base de données SIT@DEL sur les constructions neuves*.

Insee, *Valeur ajoutée par secteur en 2014 - Comparaisons régionales,* Chiffres clés, février 2017.

Ministère de la transition écologique et solidaire. *Base de données EIDER sur l'environnement, l'énergie, le transport, le logement et la construction.*

Préfecture et services de l'État en Région Nouvelle-Aquitaine. *La région Nouvelle-Aquitaine compte 12 départements, 4 503 communes et 5,9 millions d'habitants soit 8,9 % de la population française,* Données économiques, décembre 2015

Pôle emploi. *Diagnostic territorial 2016 Aquitaine Limousin Poitou-Charentes - Analyse du marché du travail et de l'emploi.*

Pôle emploi, *Le marché du travail dans la silver économie en Nouvelle-Aquitaine*, Éclairages et synthèses, septembre 2016.

VILLES ET POPULATION

a'urba - agence d'urbanisme. *Les systèmes territoriaux de la grande région Nouvelle-Aquitaine* - Cahier 1 : organisation spatiale et mobilités quotidiennes, Rapport d'étude, décembre 2016.

Agreste, *Enquête Teruti-Lucas.* L'utilisation du territoire en 2008.

Ceser – Insee. *Dynamiques territoriales, métropolisation et réseaux en Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes,* Dossier, N° 3, septembre 2016.

Insee. *Panorama Nouvelle-Aquitaine, Chiffres clés.* avril 2017.

Insee, *Estimation de la population au 1er janvier 2016 - Séries par région, département, sexe et âge de 1975 à 2016.* Chiffres détaillés, janvier 2017.

Insee - Ferret, J. P., *5 844 177 habitants en Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes au 1er janvier 2013*, Insee Analyses, janvier 2016.

Insee – Giraud, A., Lacour, C., Mallemanche, C., Simonneau, G., *Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes : 5,8 millions d'habitants en 2012,* Insee Analyses, janvier 2015.

Préfecture et services de l'État en Région Nouvelle-Aquitaine. *La région Nouvelle-Aquitaine compte 12 départements, 4 503 communes et 5,9 millions d'habitants soit 8,9 % de la population française,* Données économiques, décembre 2015.

EAUX CONTINENTALES

Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes (ORE). *Zoom sur les prélèvements,* Zoom thème Eau Nouvelle-Aquitaine, juin 2016.

Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes (ORE). *Zoom sur le bon état des masses d'eau*, Zoom thème Eau Poitou-Charentes, mars 2013.

Site Réseau Partenarial des Données sur l'Eau (RPDE)

LITTORAL

Agreste primeur - Recensement de la conchyliculture 2012, *160 000 tonnes de coquillages commercialisés*, N° 316, juillet 2014.

Association des Ceser de l'Atlantique, *Submersion marine et érosion côtière - Connaître, prévenir et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique*, septembre 2015.

Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF), *Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux*, septembre 2012.

Commissariat Général au Développement Durable - Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le Climat, *La distance à la mer : principal facteur de caractérisation sociodémographique du territoire littoral*, Data LAb, mai 2017.

Commissariat Général au Développement Durable - Ministère de la Transition Écologique et solidaire, *Les concentrations spatiales et saisonnières du tourisme*.

Direction Interrégionale de la mer Sud-Atlantique (DIRM SA), *Monographie de l'économie maritime de la façade Sud-Atlantique*, édition 2016.

Direction Interrégionale de la mer Sud-Atlantique (DIRM SA), *La conchyliculture, Tableau de bord de la façade Sud-Atlantique 2015.*

France AgriMer, *Les filières pêche et aquaculture en France - Production Entreprises Échanges Consommation*, avril 2016.

Observatoire Nationale de la Mer et du Littoral.

Observatoire Nationale de la Mer et du Littoral, *Occupation du sol en 2006 et artificialisation depuis 2000 en fonction de la distance à la mer,* Fiche Indicateur.

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, *Le littoral dans le contexte du changement climatique*, La documentation Française, 2015.

Perherin, C., Roche, A., Trmal, C., Pons, F., Boura, C., Devaux, E., Desire, G., Vulnérabilité du territoire national à la submersion marine. *XIIIe Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Jul 2014, Dunkerque, France*. 2014, pp. 917-924.

PATRIMOINE NATUREL

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nouvelle-Aquitaine (DREAL)

Site Réseau Partenarial des Acteurs du Patrimoine Naturel (RPAPN)

AGRICULTURE - ÉLEVAGE

Agence Bio.

Agra Presse, *Radiographie agricole des 13 nouvelles régions, Réforme régionales*, avril 2015.

Agreste Nouvelle-Aquitaine, *Mémento 2016*.

Agreste, *Aquitaine - Limousin - Poitou-Charentes, la première région agricole et forestière de France*, Analyses et Résultats, N° 1, mai 2015.

Agreste, *Aquitaine - Limousin - Poitou-Charentes sera la première région agricole européenne,* Analyses et Résultats, N° 2, mai 2015.

Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine, *L'agriculture en Nouvelle-Aquitaine - Panorama de la première région agricole de France et d'Europe.*

Institut National de l'Origine et de la Qualité.

Région Nouvelle-Aquitaine, *Terre agricole, terre gourmande.*

Unifa.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE/PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE/ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat Nouvelle-Aquitaine (AREC NA), *Profil énergie et gaz à effet de serre de la région Nouvelle-Aquitaine*, Les chiffres pour comprendre année 2015, édition 2017.

PUITS DE CARBONE

Agreste, *Aquitaine - Limousin - Poitou-Charentes, la première région agricole et forestière de France,* Analyses et Résultats, N° 1, mai 2015.

Agreste, *Aquitaine - Limousin - Poitou-Charentes dispose du plus vaste massif forestier national*, Analyses et Résultats, N° 4, mai 2015.

Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt Nouvelle-Aquitaine, *Production et filières Forêts-Bois*.

Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes, *Évolution de la surface toujours en herbe*, Indicateurs en Nouvelle-Aquitaine, juin 2017.

PEFC France et Nouvelle-Aquitaine.

Région Nouvelle-Aquitaine, *Atlas régional 2016*.

CHAPITRE N° 1
CLIMAT GLOBAL, CLIMAT LOCAL : QUELLE DÉPENDANCE ?

[1] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[2] Special Report on Emission Scenarios (SRES), IPCC, 2000 – N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.), Cambridge University Press, U.K., 570 p.

[3] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.-K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., U.S.A.

[4] IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., U.S.A., 881 p.

[5] Boucher, O., Criqui, P., Benveniste, H., INDCs ans 2 °C trajectories. Groupe Interdisciplinaire sur les Contributions Nationales (GICN), 2015, COP21, 20 p.

[6] Boucher, O., Bellassen, V., Benveniste, H., Ciais, P., Criqui, P., Guivarch, C., Le Treut, H., Mathy, S., Séférian, R., Opinion: In the wake of Paris Agreement, scientists must embrace new directions for climate change research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016 July, 113 (27) pp. 7287-7290.

[7] Ribes, A., Corre, L., Gibelin, A.-L., Dubuisson, B., Issues in estimating observed change at the local scale – a case study: the recent warming over France. *International Journal of Climatology,* 2016, 36, pp. 3794 – 3806.

[8] Bulteau, T., Mugica, J., Mallet, C., Garnier, C., Rosebery, D., Maugard, F., Nicolae Lerma, A., Nahon, A., Évaluation de l'impact des tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur la morphologie de la Côte Aquitaine. *Rapport du BRGM, BRGM/RP-63797-FR*, 2014, 182 p.

[9] Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Mendlik, T., Landgren, O., Nikulin, G., Teichmann, C., Jacob, D., The European climate under a 2 °C global warming. *Environmental Research Letters,* 2014, 9, 034006, 11 p.

[10] Cassou, C., Minvielle, M., Terray, L, Perigaud, C., A statistical-dynamical scheme for reconstructing ocean forcing in the Atlantic. Part I: weather regimes as predictors for ocean surface variables. *Climate Dynamics,* 2011, vol. 36, issue 1-2, pp. 19-39.

[11] Folland, C. K., Knight, J., Linderholm, H. W., Fereday, D., Ineson, S., Hurrell, J. W., The Summer North Atlantic Oscillation: Past, Present, and Future. *Journal of Climate,* 2009, Vol. 22, pp. 1082–1103.

[12] Deser, C., Phillips, A., An overview of decadal-scale sea surface temperature variability in the observational record. *PAGES Magazine*, 2017, vol. 25 (1), pp. 2-6.

[13] Cattiaux, J., Cassou, C., Opposite CMIP3/CMIP5 trends in the wintertime Northern Annular Mode explained by combined local sea ice and remote tropical influences. *Geophysical Research Letters*, 2013, 40, pp. 3682-3687.

[14] Cattiaux, J., Vautard, R., Cassou, C., Yiou, P., Masson-Delmotte, V., Codron, F., Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate. *Geophysical Research Letters,* 2010, vol. 37, L20704.

CHAPITRE N° 2
UNE MÉMOIRE POUR UNE MEILLEURE ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

[1] Albespy, F., *L'ascension sociale d'une famille de parlementaires : les Navarre*, TER Bordeaux III, 1996, 176 p.

[2] Gaufreteau, J. de., *Chronique bordeloise*. Bordeaux : Lefebvre, 1878, 478 p.

[3] Le Mao, C., *Chronique du Bordelais au crépuscule du Grand Siècle : le Mémorial de Savignac*. Bordeaux : PUB-Société des Bibliophiles de Guyenne, 2004, 656 p.

[4] Garnier, E., Surville, F. (dir.)., *Climat et révolutions autour du Journal du négociant Jacob Lambertz (1733-1813)*, préface du Professeur Emmanuel Le Roy Ladurie, Saintes, Le Croît vif, 2010, 576 p.

[5] Pelosse, V., Observations météorologiques et sociétés savantes de province, ou la désignation du bon objet scientifique (1821-1878). *Études rurales*, 1990, n° 118-119, pp. 69-82.

[6] Bleuse, P., La série climatologique ancienne de Rochefort. *La Météorologie*, 2010, n° 68, pp. 41-49.

[7] Garnier, E., *Les dérangements du temps, 500 ans de chauds et froids en Europe,* Paris, Plon, 2010, 244 p. Prix Gustave Chaix d'Est Ange de l'Académie des Sciences Morales et Politiques (Institut de France).

[8] Garnier, E., Cinq siècles de tempêtes dans les forêts françaises. In: Taillentou, J.-J., Nuchy, V., *Tempêtes sur la forêt landaise. Histoires, mémoires*, Mont de Marsan, L'Atelier des Brisants, 2011, pp. 53-64.

[9] Taillentou, J.-J., Nuchy, V. ,*Tempêtes sur la forêt landaise. Histoires, mémoires*, Mont de Marsan, L'Atelier des Brisants, 2011, 243 p.

[10] Cauna, baron de., *Armorial des Landes et partie du Béarn suivi de la relation des événements de la Chalosse (1638-1670)*, Paris-Bordeaux, Société des Antiquaires de France et Justin Dupuy et Comp., 1869, 573 p.

[11] Bouisset, C., Puyo, J.-Y., Tempêtes : un regard géographique sur deux siècles de catastrophes dans le Sud-Ouest aquitain. In: Taillentou, J.-J., Nuchy, V. *Tempêtes sur la forêt landaise. Histoires, mémoires*, Mont de Marsan, L'Atelier des Brisants, 2011, p. 147-157.

[12] Garnier, E., Xynthia, February 2010: Autopsy of a Forseable Catastrophe, In: Quevauviller, P., Ciavola, P., Garnier, E., *Management of the Effect of Coastal storms*, Chichester, John Wiley & Sons, 2017, pp. 3-41.

[13] Garnier, E., Henry, N., Desarthe, J., Visions croisées de l'historien et du courtier en réassurance sur les submersions. Recrudescence de l'aléa ou vulnérabilisation croissante ? In: Hallegatte, S., Przylluski, V., *Gestion des risques naturels. Leçons de la tempête Xynthia*, Paris, Éditions Quae, 2012, p. 107-130.

[14] Beck, U., *Risk Society: Towards a New Modernity*, Londres, Sage, 1992, 260 p.

[15] Garnier, E., Fausse science ou nouvelle frontière ? Le climat dans son histoire, *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine,* n° 57-3, juillet septembre 2010, pp. 7-41.

[16] Garnier, E., Ciavola, P., Armaroli, C., Spencer, T., Ferreira, O., Historical analysis of storm events: case studies in France, England, Portugal and Italy. *Coastal Engineering*, 2017.

[17] Augustin, J.-P., L'attractivité plurielle d'une station océane : Lacanau-Océan dans le sud-ouest de la France. *Téoros*, 2007, n° 26-2, pp. 39-45.

[18] Garnier, E. (rapporteur), *La crise Xynthia à l'aune de l'histoire*, rapport aux missions d'enquêtes parlementaire et sénatoriale sur Xynthia, 2010, 112 p.

CHAPITRE N° 3
LES INSTRUMENTS JURIDIQUES DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

[1] Lubac, J. C., Un nouvel outil communautaire de coopération : le groupement européen de coopération territoriale. *La Semaine Juridique Administrations et Collectivités territoriales.* 27 novembre 2006 - n° 48

[2] Garcia-Ureta, A., Lasagabaster, I., Lazcano, I., The Pyrenees: Missing a Convention? In: Quillac, P., Onida, M. (éd.). Environmental Protection and Mountains: Is Environmental Law Adapted to the Challenges Faced by Mountain Areas? Permanent Secretariat of the Alpine Convention, 2011, 207 p.

[3] Urban, M. C., Accelerating extinction risk from climate change. Science, 2015, vol. 346, n° 6234, pp. 571-573.

[4] 47Usher, M. B., *Conserver la diversité biologique européenne dans le contexte du changement climatique.* Conseil de l'Europe (éd.), collection : Sauvegarde de la Nature, 2007, n° 149, 68 p.

[5] Trouwborst, A., International Nature Conservation Law and the Adaptation of Biodiversity to Climate Change: a Mismatch? *Journal of Environmental Law*, 2009, vol. 21, n° 3, pp. 419-442.

[6] Bonnin, M., Les corridors écologiques : vers un troisième temps du droit de la conservation de la nature ? L'Harmattan, collection : droit du patrimoine culturel et naturel. 2008, 274 p.

[7] Cans, C., Makowiak, J., Code de l'environnement ; annoté et commenté, Dalloz, édition 2016.

[8] Les entreprises et le développement durable en 2011. Enquête sur les entreprises et développement durable. Insee Résultats – 2012, n° 62.

CHAPITRE N° 4
SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

[1] Raguenaud, M. E., Germonneau, P., Pirard, P., Motreff, Y., *Surveillance des conséquences psychologiques suite à la tempête Xynthia en Charente-Maritime en 2010.* Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 2011. 29 p.

[2] Doherty, T. J., Clayton, S., The psychological impacts of global climate change. *American Psychologist*, vol. 66, n° 4, 2011, pp. 265-276.

[3] Watts, N., Adger, W. N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., Cooper, A., Cox, P. M., Depledge, J., Drummond, P., Ekins, P., Galaz, V., Grace, D., Graham, H., Grubb, M., Haines, A., Hamilton, I., Hunter, A., Jiang, X., Li, M., Kelman, I., Liang, L., Lott, M., Lowe, R., Luo, Y., Mace, G., Maslin, M., Nilsson, M., Oreszczyn, T., Pye, S., Quinn, T., Svensdotter, M., Venevsky, S., Warner, K., Xu, B., Yang, J., Yin, Y., Yu, C., Zhang, Q., Gong, P., Montgomery, H., Costello, A., Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet*, vol. 386, n° 10006, 2015, pp. 1861-1914.

[4] Watts, N., Adger, W. N., Ayeb-Karlsson, S., Bai, Y., Byass, P., Campbell-Lendrum, D., Colbourn, T., Cox, P., Davies, M., Depledge, M., Depoux, A., Dominguez-Salas, P., Drummond, Ekins, P., Flahault, A., Grace, D., Graham, H., Haines, A., Hamilton, I., Johnson, A., Kelman, I., Kovats, S., Liang, L., Lott, M., Lowe, R., Luo, Y., Mace, G., Maslin, M., Morrissey, K., Murray, K., Neville, T., Nilsson, M., Oreszczyn, T., Parthemore, C., Pencheon, D., Robinson, E., SchüTte, S., Shumake-Guillemot, J., Vineis, P., Wilkinson, P., Wheeler, N., Xu, B., Yang, J., Yin, Y., Yu, C., Gong, P., Montgomery, H., Costello, A., The Lancet Countdown: tracking progress on health and climate change. *The Lancet*, 2017, vol. 389.

[5] Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., Friel, S., Groce, N., Johnson, A., Kett, M., Lee, M., Levy, C., Maslin, M., Mccoy, D., Mcguire, B., Montgomery, H., Napier, D., Pagel, C., Patel, J., De Oliveira, J. A., Redclift, N., Rees, H., Rogger, D., Scott, J., Stephenson, J., Twigg, J., Wolff, J., Patterson, C., Managing the health effects of climate change: Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. *The Lancet*, vol. 373, n° 9676, 2009, pp. 1693-1733.

[6] Observatoire régional de la santé d'Aquitaine, Baromètre Santé Environnement 2015 : Enquête auprès des habitants de la région Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes sur leurs perceptions, leurs connaissances et leurs pratiques en santé environnement, 2016, 24 p.

[7] PNUE, Rapport Annuel 2014 - Programme des Nations Unies pour L'Environnement. 2014.

[8] Lovell, A., Le triage social et les limites du care : penser la catastrophe, le care et les capabilités à travers l'exemple de Katrina. *Raison Publique*, nov. 2015.

[9] Lovell, A., Pandolfo, S., Das, V., Laugier, S., *Face aux désastres : une conversation à quatre voix sur le care, la folie et les grandes détresses collectives.* Ithaque, 2013.

[10] Ministère des affaires sociales et de la santé, Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social et Ministère de l'intérieur et de l'habitat durable, Instruction interministérielle DGS/DUS/DGOS/DGCS/DGSCGC/DGT n° 2013-152 du 10 avril 2013 relative au plan national Canicule 2013.

[11] Santé Publique France, Point Epidémio Spécial n° 5 du 18 novembre 2016. Intoxications au monoxyde de carbone déclarées en 2015 en Nouvelle-Aquitaine. Nov. 2016.

[12] Observatoire Régional de Santé du Limousin, « Etat-des-lieux_Sante-Environnement.pdf », Agence Régionale de Santé, Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement.

[13] ATMO N.A. Bilan 2016 de la surveillance des pollens en Nouvelle-Aquitaine Rapport final, février 2017.

[14] Lake, I. R., Jones, N. R., Agnew, M., Goodess, C. M., Giorgi, F., Hamaoui-Laguel, L., Semenov, M. A., Solomon, F., Storkey, J., Vautard, R., Epstein, M. M., Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives,* 2016, vol. 125, n° 3.

[15] Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV). Influence du réchauffement climatique sur la propagation des maladies vectorielles et de leurs vecteurs, CNEV, février 2016.

[16] Medlock, J. M., Hansford, K. M., Schaffner, F., Versteirt, V., Hendrickx, G., Zeller, H., Van Bortel, W., A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases,* vol. 12, 2012, n° 6, pp. 435-447.

[17] Centre National d'Expertise sur les Vecteurs. Guide à l'attention des collectivités souhaitant mettre en œuvre une lutte contre les moustiques urbains vecteurs de Dengue, de Chikungunya et de Zika. CNEV, 2016, 72 p.

[18] OMS. Détection précoce, évaluation et réponse lors d'une urgence de santé publique. 2014, 74 p.

[19] U.S. Global Change Research Program. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. Crimmins, A., Balbus, J., Gamble, J. L., Beard, C. B., Bell, J. E., Dodgen, D., Eisen, R. J., Fann, N., Hawkins, M. D., Herring, S. C., Jantarasami, L., Mills, D. M., Saha, S., Sarofim, M. C., Trtanj, J., Ziska, L., *Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington*, DC, 2016, 312 p.

[20] Dahlgren, G., Whitehead, M., Policies and strategies to promote social equity in health Background document to WHO – Strategy paper for Europe. Arbetsrapport/Institutet för Framtidsstudier, 2007.

[21] OMS. Combler le fossé en une génération : instaurer l'équité en santé en agissant sur les déterminants sociaux de la santé : rapport final de la Commission des Déterminants Sociaux de la Santé. 260 p.

[22] Tong, S., Confalonieri, U., Ebi, K., Olsen, J., Managing and Mitigating the Health Risks of Climate Change: Calling for Evidence-Informed Policy and Action. *Environmental Health Perspectives,* vol. 124, n° 10, 2016, pp. A176-A179.

[23] Wild, C. P., The exposome: from concept to utility. *International Journal of Epidemiology*, vol. 41, n° 1, 2012, pp. 24-32.

[24] Barouki, R., Environnement et santé : la combinatoire des expositions. *Questions de Santé Publique,* n° 26, 2014, pp. 1-4.

[25] De' Donato, F. K., Leone, M., Scortichini, M., De Sario, M., Katsouyanni, K., Lanki, T., Basagaña, X., Ballester, F., Åström, C., Paldy, A., Pascal, M., Gasparrini, A., Menne, B., Michelozzi, P., Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, n° 12, 2015, pp. 15567-15583.

[26] Hecketsweiler, P., *Histoire de la médecine : Des malades, des médecins, des soins et de l'éthique biomédicale*. Paris : Ellipses, 2010, 836 p.

[27] Gaudilliere, J.-P., *La médecine et les sciences, XIXe-XXe siècles*. Paris : La Découverte, 2008.

[28] Multigner, L., Kadhel, P., Rouget, F., Blanchet, P., Cordier, S., Chlordecone exposure and adverse effects in French West Indies populations. *Environmental Science and Pollution Research*. vol. 23, n° 1, 2016, pp. 3-8.

[29] Forbat, J., De la spécificité du concept de santé environnementale vis-à-vis du développement durable. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 2014, vol. 5, n° 2.

[30] Forbat, J., *Les politiques publiques de santé environnementale en Europe : un parent pauvre de développement durable ?* Université de Genève, juin 2014.

[31] Flahault, A., Schütte, S., Guegan, J-F., Pascal, M., Barouki, R., Health can help saving negotiation on climate change. *The Lancet*. vol. 385, n° 9985, 2015, pp. 49-50.

[32] Jas, N., Gaudillière, J.-P., Les perturbateurs endocriniens en France. Une autre trajectoire. *Sciences Sociales et Santé,* vol. 34, n° 3, 2016, pp. 19-45.

[33] Déclaration d'Helsinki sur l'environnement et la santé, Helsinki. Deuxième Conférence européenne sur l'environnement et la santé. Helsinki, Finlande 20 – 22 juin 1994.

[34] Conférence européenne sur l'environnement et la santé. (1re : 1989 : Francfort). Environnement et santé : la Charte européenne et son commentaire. Première conférence européenne sur l'environnement et la santé. Francfort, 7 au 8 décembre 1989.

[35] Smuts Hon, J. C, *Holism And Évolution*. Macmillan And Company Limited., 1927, 398 p.

[36] Seattle, C., Harang, J., Simington, D., Rivière, P., *Nous sommes peut-être frères… : paroles du chef Seattle et de ses fils spirituels*. Utovie, 2007, 32 p.

[37] Blanc, G., Demeulenaere, E., Feuerhahn, W., *Humanités environnementales : enquêtes et contre-enquêtes.* Publications de la Sorbonne, 2017, 352 p.

[38] Jørgensen, S. E., An integrated ecosystem theory. *Annals of the European Academy of Sciences*, 2006, pp. 19 – 33.

[39] Donhauser, J., Theoretical ecology as etiological from the start. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, vol. 60, 2016, pp. 67-76.

[40] Charrier, J.-P., *Scientisme et Occident : essais d'épistémologie critique*. Connaissances et Savoirs. Paris, 2005, 400 p.

[41] Kuhn, T., *La Structure des révolutions scientifiques, traduit par Laure Meyer.* Paris: Flammarion, 2008, 284 p.

[42] Engel, S. M., Wolff, M. S., Causal Inference Considerations for Endocrine Disruptor Research in Children's Health. *Annual Review of Public Health*, vol. 34, n° 1, 2013, p. 139-158.

[43] Pestre, D., *Le gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*. La Découverte, Recherches, 2014, 300 p. ISBN : 9782707175045

[44] Fagin, D., Toxicology: The learning curve, *Nature*, vol. 490, n° 7421, 2012, p. 462-465.

[45] Brenner, A., *Les origines françaises de la philosophie des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France, Science, histoire et société, 2003, 236 p. ISBN : 9782130531500

[46] Leopold, A., *Almanach d'un comté des sables - suivi de quelques croquis. Traduit par Anna Gibson*. Paris : Flammarion, 2000, 290 p.

[47] Callicott, J. B., *Éthique de la terre, traduit par Christophe Masutti et Dominique Bellec*. Marseille : Wildproject, 2010.

[48] Rousseau, N., John Baird Callicott : Éthique de la terre. *Actu Philosophia*, 26-oct-2012.

[49] Gil, R., Ingrand, I., Pluchon, C., Turque, C., Jaafari, N., Entre éthique et droit : le jugement moral, facteurs cognitifs et émotionnels. Une enquête chez 938 sujets. *Revue générale de droit médical*, vol. 53, 2014, pp. 165-92.

[50] Gilbert, C., La fabrique des risques. *Cahiers internationaux de sociologie*., n° 114, 2007, pp. 55-72.

[51] Fontaine, P., Qu'est-ce que la science ? De la philosophie à la science : les origines de la rationalité moderne. *Recherche en Soins Infirmiers*, 2008, vol. 1, n° 92, pp. 6-19.

[52] Jacquet, P., Pachauri, R. K., Tubiana, L., *Regards sur la terre 2009*. L'annuel du développement durable, La gouvernance du développement durable. Presses de Science Po.

[53] Snijders, T., Bosker, R., Multilevel Analysis, An Introduction to Basic and Advanced Multilevel Modeling. London: SAGE, 2012, 368 p.

[54] Hill, A. B., The Environment and Disease: Association or Causation? *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, vol. 58, n° 5, 1965, pp. 295-300.

[55] Dahan, A., Guillemot, H., Les relations entre science et politique dans le régime climatique : à la recherche d'un nouveau modèle d'expertise ? *Natures Sciences Sociétés*, vol. Supplément, n° Supp. 3, 2015, pp. 6-18.

[56] Resweber, J.-P., Les enjeux de l'interdisciplinarité. *Question Communication*, n° 19, 2011, pp. 171-200.

[57] Vinck, D., *Pratiques de l'interdisciplinarité : mutations des sciences, de l'industrie et de l'enseignement*, Presses Universitaires de Grenoble. 2000, 221 p.

[58] Arvonny, M., Miquel, A., Vincent, C., Witkowski, N., *Les Chemins de la Science. Regards sur la Recherche*, Éditions CNRS, Paris, 1990.

[59] Jackson, R. J., Environment Meets Health, Again. *Science*, 2007, vol. 315.

[60] COMEST. *Les implications éthiques du changement climatique mondial*. Unesco, 2010, 44 p.

[61] Jouzel, J., Michelot, A., *La justice climatique : enjeux et perspectives pour la France.* Les avis du CESE. 2016, 107 p.

[62] Marano, F., Pascal, M., Simons, J., Bard, D., Hubert, P., Pacteau, C., Recommandations issues du Congrès 2015 de la SFSE Changement climatique et santé : quels risques, quels remèdes ? *Environnement, Risques & Santé*, vol. 15, n° 3, 2016, pp. 266 – 271.

[63] Baromètre Santé Environnement Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes. 2015, 22 p.

[64] OMS. Charte d'Ottawa pour la promotion de la santé, 1986.

[65] Mittelmark, M. B., Sagy, S., Eriksson, M., Bauer, G., Pelikan, J. M., Lindström, B., Espnes, G. A., Éd., *The Handbook of Salutogenesis*. Cham: Springer International Publishing, 2017, 461 p. ISBN 978-3-319-04599-3.

[66] Cassen, C., Guivarch, C., Lecocq, F., Les cobénéfices des politiques climatiques : un concept opérant pour les négociations climat ? *Natures Sciences Sociétés*, Supplément n° 3, 2015, p. 41-51.

[67] Smith, K. R., Woodward, A., Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. In: *IPCC, 2014: Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., USA, 2014, 1132 p.

[68] Haines, A., McMichael, A. J., Smith, K. R., Roberts, I., Woodcock, J., Markandya, A., Armstrong, B. G., Campbell-Lendrum, D., Dangour, A. D., Davies, M., Bruce, N., Tonne, C., Barrett, M., Wilkinson, P., Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers. *Lancet London England*, 2009, vol. 374, n° 9707, pp. 2104-2114.

[69] La Rochelle : Le chemin parcouru. ***www.ville-larochelle.fr/environnement-sante-publique/mobilite/le-chemin-parcouru.html***

[70] Marmot, M., Wilkinson, R., *Les Déterminants Sociaux de la Santé : Les Faits*. Geneva ; Herndon: World Health Organization ; Stylus Publishing, LLC Distributor, 2004.

[71] Boudon, R., Bourricaud, F., *Dictionnaire critique de la sociologie*, Presses Universitaires de France. Paris, 1982.

[72] Craveiro, D., The role of personal social networks on health inequalities across European regions. *Health Place*, vol. 45, 2017, pp. 24-31.

[73] Maas, J., van Dillen, S. M., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. *Health Place*, vol. 15, n° 2, 2009, pp. 586-595.

[74] Berman, M. G., Kross, E., Krpan, K. M., Askren, M. K., Burson, A., Deldin, P. J., Kaplan, S., Sherdell, L., Gotlib, I. H., Jonides, J., Interacting with nature improves cognition and affect for individuals with depression. *Journal of Affective Disorders*, vol. 140, n° 3, 2012, pp. 300-305.

[75] Berger, R., Tiry, M., The enchanting forest and the healing sand — Nature therapy with people coping with psychiatric difficulties. *The Arts in Psychotherapy,* vol. 39, n° 5, 2012, pp. 412-416.

[76] James, P., Banay, R. F, Hart, J. E., Laden, F. A., Review of the Health Benefits of Greenness. *Current Epidemiology Reports*, vol. 2, n° 2, 2015, pp. 131-142.

[77] OMS. Huitième Conférence mondiale sur la promotion de la santé. Helsinki, Finlande, 10 – 14 juin 2013, WHO.

[78] Apter, D., Une approche interdisciplinaire de l'interdisciplinarité, *Revue internationale des sciences sociales*, n° 196, 2013, pp. 7-19.

[79] Trebouet, E., Lipp, D., Dimet, J., Orion, L., Fradin, P., Urgences cardiologiques et catastrophe naturelle. Étude prospective autour de la tempête Xynthia. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*, vol. 60, n° 1, 2011, pp. 39-41.

[80] Van Rensselaer, P., *Global Bioethics: Building on the Leopold Legacy*. Michigan State University Press, 1988, 204 p.

CHAPITRE N° 5
QUALITÉ DES MILIEUX NATURELS

[1] Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes. *Bilan de la qualité des eaux en Poitou-Charentes.* Édition 2015, 2016, 54 p.

[2] Rodier, J., Legube, B., *L'analyse de l'eau, contrôle et interprétation, 10e édition.* Chapitre C-2. Paris : Dunod, 2016, 1 759 p.

[3] Guibal, R., Lissalde, S., Brizard, Y., Guibaud, G., Semi-continuous pharmaceutical and human tracer monitoring by POCIS 1 sampling at the watershed-scale in a headwater stream. *Science of the Total Environment* STOTEN-S-17-04684 (à paraître).

[4] Guibal, R., Lissalde, S., Charriau, A., Cleries, K., Leblanc, J., Poulier, G., Mazzella, N., Rebillard, J-P., Brizard, Y., Guibaud, G., Overview of pesticide contamination in polyculture-breeding headwaters. *Environmental Science and Pollution Research* Réf ESPR-D-17-00629R1 (à paraître).

[5] Aubertheau, E., Stalder, T., Mondamert, L., Ploy, M-C., Dagot, C., Labanowski, J., Impact of wastewater treatment plant discharge on the contamination of river biofilms by pharmaceuticals and antibiotic resistance. *Science of The Total Environment*, 2017, 579, pp. 1387-1398.

[6] Lopez, B., Laurent, A., *Campagne exceptionnelle d'analyse des substances présentes dans les eaux souterraines de métropole : Exploitation des résultats à l'échelle de la métropole.* Rapport final ONEMA et BRGM, juin 2013.

[7] Bertrand, O., Mondamert, L., Grosbois, C., Dhivert, E., Bourrain, X., Labanowski, J., Desmet, M., Storage and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments downstream of a major coal district in France. *Environmental Pollution*, 2015, 207, pp. 329-340.

[8] ONEMA, Université de Tours. *Température des cours d'eau : analyse des données et modélisation : application au bassin de la Loire.* Rapport final, mars 2015, 66 p.

[9] Quintin, J-Y., Sottolichio, A., Derrienic, H., Schmidt, S., Doremus, S., Agion, T., Hervio Heath, D., Sautour, B., Parra, R., Dindinaud, F., Bachelet, G., Leconte, M., *Surveillance Écologique du site du Blayais - Année 2014*, 2015.

[10] Chevillot, X., Maud, P., Drouineau, H., Chaalali, A., Sautour, B., Lobry, J., 2016. Abrupt shifts in the Gironde fish community: an indicator of ecological changes in an estuarine ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 2016, vol. 49, pp. 137 – 151.

[11] Chaalali, A., Chevillot, X., Beaugrand, G., David, V., Luczak, C., Boet, P., Sottolichio, A., Sautour, B., Changes in the distribution of copepods in the Gironde estuary: A warming and marinisation consequence? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, vol. 134, pp. 150 – 161.

[12] Hader, D. P., Helbling, E. W., Williamson, C. E., Worrest, R. C., Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2007, vol. 6, pp. 267-285.

[13] Zepp, R. G., Erickson III, D. J., Paul, N. D., Sulzberger, B., Interactive effects of solar UV radiation and climate change on biogeochemical cycling. In: *The Environmental Effects Assessment Panel Report for 2006*.

[14] Hejzlar, J., Dubrovsky, M., Buchtele, J., Ruzicka, M., The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter in a temperate stream (the Malše River, South Bohemia). *Science of the Total Environment*, 2003, vol. 310, pp. 143-152.

[15] Evans, C. D., Monteith, D. T., Cooper, D. M., Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: observations, possible causes and environmental impact. *Environmental pollution*, 2005, vol. 137, pp. 55-71.

[16] Skjelkvale, B. J., Stoddard, J. L., Jeffries, D. S., Tørseth, K., Høgåsen, T., Bowmane J., Mannio, J., Monteith, D. T., Moselloh, R., Rogorah, M., Rzychon, D., Vesely, J., Wieting, J., Wilander, A., Worsztynowiczi, A., Regional scale evidence for improvements in surface water chemistry 1990-2001. *Environmental Pollution*, 2005, vol. 137, pp. 165-176.

[17] Sebilo, M., Mayer, B., Nicolardot, B., Pinay, G., Mariotti, A., Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 2013, vol. 110, n° 45, pp. 18185-18189.

[18] Lanceleur, L., Schäfer, J., Chiffoleau, J. F., Blanc, G., Auger, D., Renault, S., Baudrimont, M., Audry, S., Long-term (30 years) records and relationships of cadmium and silver contamination in sediment and oysters from the Gironde fluvial-estuarine continuum. *Chemosphere*, 2011, vol. 85, pp. 1299-1305.

[19] Blanc, G., Lapaquellerie, Y., Maillet, N., Anschutz, P. A., Cadmium budget for the Lot-Garonne fluvial system (Fr). *Hydrobiologia*, 1999, 410, pp. 331-341.

[20] Audry, S., Schäfer, J., Blanc, G., Bossy, C., Lavaux, G., Anthropogenic components of Heavy metal budgets (Cd, Zn, Cu and Pb) in the Lot-Garonne fluvial system (France). *Applied Geochemistry*, 2004, 19, pp. 769-786.

[21] Schäfer, J., Blanc, G., Lapaquellerie, Y., Maillet, N., Maneaux, E., Etchebet, H., Ten-Year-Observation of the Gironde Fluvial System: Fluxes of Suspended Matter, Particulate Organic Carbon and Cadmium. *Marine Chemistry*, 2002, 79, pp. 229-242.

[22] Masson, M., Blanc, G., Schäfer, J., Geochemical signals and source contributions to heavy metal (Cd, Zn, Pb, Cu) fluxes into the Gironde Estuary via its major tributaries. *Science of the Total Environment,* 2006 370, pp. 133-146.

[23] Masson, M., Blanc, G., Schäfer, J., Parlanti, E., Le Coustumer, P., Copper addition by organic matter degradation in the freshwater reaches of a turbid estuary. *Science of the Total Environment*, 2011, 409, pp. 1539-1549.

[24] Bareille, G., *Quantification de la pression polymétallique sur le gave de Pau : origine et variabilité (approche flux)*. Rapport final de fin d'étude : rapport de synthèse accessible au grand public (9 p.) et rapport technique détaillé (77 p. + annexes) – Convention Agence de l'Eau Adour-Garonne N° 930 64 0006. Mars 2008.

[25] Ma, J., Hung, H., Blanchard, P., How do climate fluctuations affect persistent organic pollutant distribution in North America? Evidence from a decade of air monitoring. *Environmental Science & Technology*, 2004, vol. 38, pp. 2538-2543.

[26] Blais, J. M., Schindler, D. W., Muir, D. C. G., Sharp, M., Donald, D., Lafrenière, M., Braekevelt, E., Strachan, W. M. J., A major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2001, vol. 30, pp. 410-415.

[27] SOeS. Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux - Période 2007-2009. *Études & documents*, 2011, n° 54, 60 p.

[28] Chiovarou, E. D., Siewicki, T. C., Comparison of storm intensity and application timing on modeled transport and fate of six contaminants. *Science of the Total Environment,* 2007, vol. 389, pp. 87-100.

[29] Masson, M., Blanc, G., Schäfer, J., Parlanti, E., Le Coustumer, P., Copper addition by organic matter degradation in the freshwater reaches of a turbid estuary. *Science of the Total Environment*, 2011, vol. 409, pp. 1539-1549.

[30] Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Schulz, R., Scenario-based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, vol. 62, pp. 145-159.

[31] Chen, C. C., Mc Carl, B. A., An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. *Climatic Change*, 2001, vol. 50 (4), pp. 475-487.

[32] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013)

[33] Stirling, I., Lunn, N. J., Lacozza, J., Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change. *Arctic*, 1999, vol. 52, pp. 294-306.

[34] Schiedek, D., Sundelin, B., Readman, J. W., Macdonald, R. W., Interactions between climate change and contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, vol. 54, pp. 1845-1856.

[35] Gamain, P., Gonzalez, P., Cachot, J., Clérandeau, C., Mazzella, N., Gourves, P. Y., Morin, B., Combined effects of temperature and copper and S-metolachlor on embryo-larval development of the Pacific oyster, Crassostrea gigas. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, vol. 115, pp. 201-210.

[36] Boukadida, K., Banni, M., Gourves, P. Y., Cachot, J., High sensitivity of embryo-larval stage of the Mediterranean mussel, Mytilus galloprovincialis to metal pollution in combination with temperature increase. *Marine Environmental Research*, 2016, vol. 122, pp. 59-66.

[37] Waring, C. P., Moore, A., The effect of atrazine on Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in freshwater and after sea water transfer. *Aquatic Toxicology*, 2004, vol. 66, pp. 93-104.

[38] Gamain, P., Gonzalez, P., Cachot, J., Pardon, P., Tapie, N., Gourves, P. Y., Budzinski, H., Morin, B., Combined effects of pollutants and salinity on embryo-larval development of the Pacific oyster, Crassostrea gigas. *Marine Environmental Research*, 2016, vol. 113, pp. 31-38.

[39] Gust, M., Buronfosse, T., Geffard, O., Coquery, M., Mons, R., Abbaci, K., Giamberini, L., Garric, J., Comprehensive biological effects of a complex field poly-metallic pollution gradient on the New Zealand mudsnail Potamopyrgus antipodarum (Gray). *Aquatic Toxicology*, 2011, vol. 101, pp. 100-108.

[40] Legeay, A., Achard-Joris, M., Baudrimont, M., Massabuau, J. C., Bourdineaud, J. P., Impact of cadmium contamination and oxygen levels on biochemical responses in the Asiatic clam Corbicula fluminea. *Aquatic Toxicology*, 2005, vol. 74, pp. 242-253.

[41] Pierron, F., Baudrimont, M., Gonzalez, P., Bourdineaud, J. P., Elie, P., Massabuau, J. C., Common pattern of gene expression in response to hypoxia or cadmium in the gills of the European glass eel Anguilla anguilla. *Environmental Science & Technology*, 2007, vol. 41, pp. 3005-3011.

[42] Roubeix, V., Fauvelle, V., Tison-Rosebery, J., Mazzella, N., Coste, M., Delmas, F., Assessing the impact of chloroacetanilide herbicides and their metabolites on periphyton in the Leyre River (SW France) via short term growth inhibition tests on autochthonous diatoms. *Journal of Environmental Monitoring*, 2012, vol. 14, pp. 1655-1663.

[43] Delage, N., Cachot, J., Rochard, E., Fraty, R., Jatteau, J., Hypoxia tolerance of European sturgeon (Acipenser sturio L., 1758) young stages at two temperatures. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014, vol. 30, pp. 1195-1202.

[44] Andres, S., Baudrimont, M., Lapaquellerie, Y., Ribeyre, F., Maillet, N., Latouche, C., Boudou, A., Field transplantation of the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* along a polymetallic contamination gradient (river Lot, France) - Part I: Geochemical characteristics of the sampling sites and cadmium and zinc bioaccumulation kinetics. *Environmental Toxicology and Chemistry,* 1999, 18, pp. 2462-2471.

[45] Baudrimont, M., Andres, S., Metivaud, J., Lapaquellerie, Y., Ribeyre, F., Maillet, N., Latouche, C., Boudou, A., Field transplantation of the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* along a polymetallic contamination gradient (river Lot, France) - Part II: Metallothionein response to metal exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, 18, pp. 2472-2477.

[46] Marie, V., Baudrimont, M., Boudou, A., Cadmium and zinc bioaccumulation and metallothionein response in two freshwater bivalves (*Corbicula fluminea* and *Dreissena polymorpha*) transplanted along a polymetallic gradient. *Chemosphere*, 2006, 65, pp. 609-617.

[47] Arini, A., Baudrimont, M., Feurtet-Mazel, A., Coynel, A., Blanc, G., Coste, M., Delmas, F., Comparison of periphytic biofilm and filtering bivalves metal bioaccumulation (Cd and Zn) to monitor hydrosystem restoration after industrial remediation: a year of biomonitoring. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011, 13, pp. 3386-3398.

[48] Arini, A., Daffe, C., Gonzalez, P., Feurtet-Mazel, A., Baudrimont, M., What are the outcomes of an industrial remediation on a metal-impacted hydrosystem? A 2-year field biomonitoring of the filter-feeding bivalve *Corbicula fluminea*. *Chemosphere*, 2014, 108, pp. 214-224.

[49] Tran, D., Massabuau, J. C., Garnier-Laplace, J., Impact of hypoxia on hemolymph contamination by uranium in an aquatic animal, the freshwater clam *Corbicula fluminea*. *Environmental Pollution*, 2008, 156 (3), pp. 821-826.

[50] Barjhoux, I., Baudrimont, M., Morin, B., Landi, L., Gonzalez, P., Cachot, J., Effects of copper and cadmium spiked-sediments on embryonic development of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2012, 79, pp. 272-282.

[51] Le Bihanic, F., Morin, B., Cousin, X., Le Menach, K., Budzinski, H., Cachot, J., Developmental toxicity of PAH mixtures in fish early life stages. Part I: adverse effects in Rainbow trout. *Environmental Science and Pollution Research,* 2014, 21, pp. 13720-13731.

[52] Mai, H., Cachot, J., Brune, J., Geffard, O., Belles, A., Budzinski, H., Morin, B., Embryotoxic and genotoxic effects of heavy metals and pesticides on early life stages of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64, pp. 2663-2670.

[53] Mai, H., Morin, B., Pardon, P., Gonzalez, P., Budzinski, H., Cachot, J., Environmental concentrations of irgarol, diuron and S-metolachlor induce deleterious effects on gametes and embryos of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Marine Environmental Research*, 2013, 89, pp. 1-8.

[54] Gamain, P., Gonzalez, P., Cachot, J., Clérandeau, C., Mazzella, N., Gourves, P.-Y., Morin, B., Combined effects of temperature and copper and S-metolachlor on embryo-larval development of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 115, pp. 201-210.

[55] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species [WWW Document], 2015, URL 659 ***www.iucnredlist.org/details/60344/0*** (accessed 20.06.16).

[56] Baillon, L., Pierron, F., Coudret, R., Normandeau, E., Caron, A., Peluhet, L., Labadie, P., Budzinski, H., Durrieu, G., Sarraco, G., Elie, P., Couture, P., Baudrimont, M., Bernatchez, L., Transcriptome profile analysis reveals specific signatures of pollutants in Atlantic eels. *Ecotoxicology*, 2015, 24, pp. 71 – 84.

[57] AMAP, 2004. Arctic Monitoring and Assessment Program. AMAP Assessment 2002: persistent organic pollutants in the Arctic. Oslo, Norway ; 2004.

[58] IPCC, 2013. Climate Change 2013: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

[59] Lacoue-Labarthe, T., Martin, S., Oberhänsli, F., Teyssie, J. L., Markich, S. J., Jeffree, R., Bustamante, P., Effects of increased pCO_2 and temperature on trace element (Ag, Cd and Zn) bioaccumulation in the eggs of the common cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Biogeosciences,* 2009, 6, pp. 2561-2573.

[60] Lacoue-Labarthe, T., Reveillac, F., Oberhänsli, F., Teyssie, J. L., Markich, S. J., Jeffree, Gattuso, J-P., Effects of ocean acidification on trace element accumulation in the early-life stages of squid *Loligo vulgaris*. *Aquatic Toxicology*, 2011, 105, pp. 166-176.

[61] Dupuy, M., Binet, M., Bouteleux, C., Herbelin, P., Soreau, S., Héchard, Y., Permissiveness of freshly isolated environmental strains of amoebae for growth of Legionella pneumophila. *FEMS Microbiology Letters*, 2016, vol. 363.

[62] Fouque, E., Trouilhe, M-C., Thomas, V., Hartemann, P., Rodier, M-H., Hechard, Y., Cellular, Biochemical, and Molecular Changes during Encystment of Free-Living Amoebae. *Eukaryot Cell*, 2012, 11 (4), pp. 382-387.

[63] Décret n° 2010-1 250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air. JORF n° 0247 du 23 octobre 2010, page 19011.

[64] OMS, 2005. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.

[65] IPCC, 2007. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 996 p.

[66] Westerling, A., Bryant, B., *Climate change and wildfire in and around California: fire modeling and loss modeling.* California Climate Change Center. Sacramento, 2006

[67] Atmo Nouvelle-Aquitaine, ICARE v 3.1

[68] SRCAE, Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie.

[69] Deletraz, G., Etchelecou, A., *Pollution automobile azotée des axes de transit montagnards des Pyrénées-Atlantiques : concentrations, dispersion et vulnérabilité des écosystèmes de proximité aux dépôts atmosphériques.* 9e colloque scientifique international sur les Transports et la Pollution de l'air, Avignon, juin 2000, Collection Actes INRETS, vol. 3, pp. 629-634.

[70] Kleeman, M. J., A preliminary assessment of the sensitivity of air quality in California to global change. *Climatic Change,* 2008, vol. 87, pp. S273-S292.

[71] Villenave, E., Aymoz, G., Beekmann, M., Baeza-Squiban, A., Colosio, J., La pollution de l'air par les particules : des connaissances scientifiques au service des acteurs. *Pollution atmosphérique*, numéro spécial « Particules », 2012, 8 p.

[72] Brasseur, G. P., Roeckner, E., Impact of improved air quality on the future evolution of climate. *Geophysical Research Letters*, 2005, vol. 32 (23), pp. 704-707.

[73] Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980, *Geophysical Research Letters*, 2014.

[74] AIRAQ, 2004. Rapport annuel 2003, activités et bilan de la qualité de l'air.

[75] Bernard, S. M., Samet, J. M., Grambsch, A., Ebi, K. L., Romieu, I., The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 2001, vol. 109 (2), pp. 199-209.

[76] Giorgi, F., Meleux, F., Modelling the regional effects of climate change on air quality. *Comptes Rendus Geoscience*, 2007, vol. 339, pp. 721-733.

[77] Johnson, C. E., Stevenson, D. S., Collins, W. J., Derwent, R. G., Role of climate feedback on methane and ozone studied with a coupled ocean- atmosphere-chemistry model. *Geophysical Research Letters,* 2001, vol. 28, pp. 1723-1726.

[78] Bedsworth, L., Air quality planning in California's changing climate. *Climatic Change,* 2012, vol. 111, pp. 101-118.

[79] Motabelli, N., Sogutlugil, M., McCauley, E., Taylor, J., 2008. Climate change impact on California on-road mobile source emissions. *Climatic Change,* 2008, vol. 87, pp. S293-S308.

[80] Monks, P. S., Granier, C., Fuzzie, S., Stohlf, A., Williams, M. L., Akimotoh, H., Amanni, M., Baklanov, A., Baltensperger, U., Bey, I., Blakem, N., Blakea, R. S., Carslawn, K., Cooper, O. R., Dentener, F., Fowler, D., Fragkou, E., Frost, G. L., Generosor, S. P., Ginoux, P., Grewet, V., Guentheru, A., Hansson, H. C., Henne, S., Hjortho, J., Hofzumahaus, A., Huntriesert, H., Isaksen, ISA., Jenkin, M. E., Kaiser, J., Kanakidou, M., Klimonti, Z., Kulmala, M., Laj, P., Lawrence, M. G., Lee, J. D., Liousse, C., Maione, M., McFiggans, G., Metzger, A., Mieville, A., Moussiopoulos, N., Orlando, J., O'Dowd, C. D., Palmer, P. I., Parrish, D. D., Petzold, A., Platt, U., Pöschlgg, U., Prévôt, ASH., Reeves, C. E., Reimann, S., Rudich, Y., Sellegri, K., Steinbrecher, R., Simpson, D., Brink, H., Thelokeu, J., Werf, G. R., Vautard, R., Vestreng, V., Vlachokostas, C., Glasow, R., Atmospheric composition change – global and regional air quality. *Atmospheric Environment,* 2009, vol. 43, pp. 5268-5350.

[81] Commission Européenne. Commission proposes strategy to protect Europe's soils. 2006, IP/06/1 241

[82] Chabbi, A., Lemaire, G., Long-term agro-ecosystem platforms for assessing biogeochemical cycles, environmental fluxes and biodiversity. In: B. Christensen, J. Petersen & M. Schacht (eds): Long term field experiments – a unique research platform. Proceedings of NJF seminar 407. *DJF plant science,* 2008, n° 137, pp. 73-75.

[83] Système d'observation et d'expérimentation sur le long terme pour la recherche en environnement - agroécosystème, cycle bio-geochimique et biodiversité

[84] Hättenschwiler, S., Biodiversity and ecosystem functioning in the Mediterranean. Agence Nationale de la Recherche. 2013, pp. 52-54.

[85] Yigini, Y., Panagos, P., Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of the Total Environment*, 2016, vol 557-558, pp 838-850.

[86] Gray, J. M., Bishop, T., Change in soil Organic Carbon stocks under 12 Climate Change Projections over New south Wales, Australia. *Soil Science Society of America Journal,* 2016, pp. 1296-1307.

[87] Torn, M-S., Chabbi, A., Crill, P., Hanson, P-J., Janssens, I-A., Luo, Y., Hicks, Pries, C., Rumpel, C., Schmidt, M-W. I., Six, J., Chrumpf, M., Zhu, B., A call for international soil experiment networks for studying, predicting, and managing global change impacts. *Soil*, 1, pp. 575-582.

[88] PCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

[T.-F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., USA.

[89] Braun, E., United Nations Environment Programme (Division of Technology, Industry, and Economics) Woods Hole Research Center (Woods Hole, Mass). *Reactive Nitrogen in the Environment: Too Much or Too Little of a Good Thing.* Paris: UNEP/Earthprint, 2007, 51 p.

[90] Davidson, E. A., The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. *Nature Geoscience, 2009, vol.* 2, pp. 659 – 662.

[91] Saby, N. P. A., Marchant, B. P., Lark, R. M., Jolivet, C. C., Arrouays, D., Robust geostatistical prediction of trace elements across France. *Geoderma*, 2011, vol. 162, n° 3-4, pp. 303-311.

[92] Castro, H. F., Classen, A. T., Austin, E. E., Norby, R. J., Schadt, C. W., Soil microbial community response to multiple experimental climate change drivers. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, vol. 76, pp. 999 – 1 007.

[93] Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T., Escolar, C., Gallardo, A., Ochoa, V., Gozalo, B., Prado-Comesaña, A., Direct and indirect impacts of climate change on microbial and biocrust communities alter the resistance of the N cycle in a semiarid grassland. *Journal of Ecology*, 2014, vol. 102, pp. 1 592 – 1 605.

[94] Whitaker, J., Ostle, N., McNamara, N. P., Nottingham, A. T., Stott, A. W., Bardgett, R., Salinas, N., Ccahuana, A., Meir, P., Microbial carbon mineralization in tropical lowland and montane forest soils of Peru. *Frontiers in Microbiology*, 2014, vol. 5, pp. 1-13.

[95] Isobe, K., Koba, K., Otsuka, S., Senoo, K., 2011. Nitrification and nitri-fying microbial communities in forest soils. *Journal of Forest Research,* 2011, vol. 16, pp. 351 – 362.

[96] Lars, R., Bakken, L. R., Bergaust, L., Liu, B., Frostegård, A., Regulation of denitrification at the cellular level: a clue to the understanding of N_2O emissions from soils. *Philosophical Transactions B*, 2012, vol. 367, pp. 1 226 – 1 234.

[97] Salles, J. F., Le Roux, X., Poly, F., 2012. Relating phylogenetic and functional diversity among denitrifiers and quantifying their capacity to predict community functioning. *Frontiers in Microbiology,* 2012, vol. 3.

[98] Bodelier, P. L. E., Hahn, A. P., Arth, I. R., Frenzel, P., Effects of ammonium-based fertilisation on microbial processes involved in methane emission from soils planted with rice. *Biogeochemistry*, 2000, vol. 51, pp. 225 – 257.

[99] Fischer, D. G., Chapman, S. K., Classen, A. T., Gehring, C. A., Grady, K. C., Schweitzer, J. A., Whitham, T. G., Plant genetic effects on soils under climate change. *Plant and Soil,* 2014, vol. 379, pp. 1 – 19.

[100] Mohan, J. E., Cowden, C. C., Baas, P., Dawadi, A., Frankson, P. T., Helmick, K., Hughes, E., Khan, S., Lang, A., Machmuller, M., Taylor, M., Witt, C. A., Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review. *Fungal Ecology,* 2014, vol. 10, pp. 3 – 19.

[101] van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I. R., Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature,* 1998, vol. 396, pp. 69-72.

[102] Friesen, M. L., Porter, S. S., Stark, S. C., von Wettberg, E. J., Sachs, J. L., Martinez-Romero, E., Microbially Mediated Plant Functional Traits. *Annual Review of Ecology, Évolution, and Systematics,* 2011, vol. 42, pp. 23 – 46.

[103] Wagner, M. R., Lundberg, D. S., Coleman-Derr, D., Tringe, S. G., Dangl, J. L., Mitchell-Olds, T., Natural soil microbes alter flowering phenology and the intensity of selection on flowering time in a wild Arabidopsis relative. *Ecology Letters,* 2014, vol. 17, pp. 717 – 726.

[104] Kardol, P., Cregger, M. A., Campany, C. E., Classen, A. T., Soil ecosystem functioning under climate change: plant species and community effects. *Ecology,* 2010, vol. 91, pp. 767 – 781.

[105] Lau, J. A., Lennon, J. T., Rapid responses of soil microorganisms improve plant fitness in novel environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, vol. 109 (35), pp. 14058-14062.

[106] Nuccio, E. E., Hodge, A., Pett-Ridge, J., Herman, D. J., Weber, P. K., Firestone, M. K., An arbuscular mycorrhizal fungus significantly modifies the soil bacterial community and nitrogen cycling during litter decomposition. *Environmental Microbiology*, 2013, vol. 15, pp. 1870-1881.

[107] Clemmensen, K. E., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R. D., Wardle, D. A., Lindahl, B. D., Roots and Associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science*, 2013, vol. 339, pp. 1615-1618.

[108] Leifheit, E. F., Verbruggen, E., Rillig, M. C., Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. *Soil Biology & Biochemistry* 2015, vol. 81, pp. 323-328.

[109] Moore, J. A. M., Jiang, J., Post, W. M., Classen, A. T., Decomposition by ectomycorrhizal fungi alters soil carbon storage in a simulation model. *Ecosphere*, 2015, vol. 6 (3), pp. 1-16

[110] Hawkes, C. V., Hartley, I. P., Ineson, P., Fitter, A. H., Soil temperature affects carbon allocation within arbuscular mycorrhizal networks and carbon transport from plant to fungus. *Global Change Biology,* 2008, vol. 14, pp. 1181 – 1190.

[111] De Boer, W., Folman, L. B., Summerbell, R. C., Boddy, L., Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. *FEMS Microbiology Reviews*, 2005, vol. 29, pp. 795 – 811.

[112] Nazir, R., Warmink, J. A., Boersma, H., van Elsas, J. D., Mechanisms that promote bacterial fitness in fungal-affected soil microhabitats. *FEMS Microbiology Ecology,* 2010, vol. 21, pp. 169-185

[113] McFall-Ngai, M., Hadfield, M. G., Bosch, T. C., Carey, H. V., Domazet-Loso, T., Douglas, A. E., Dubilier, N., Eberl, G., Fukami, T., Gilbert, S. F., Hentschel, U., King, N., Kjelleberg, S., Knoll, A. H., Kremer, N., Mazmanian, S. K., Metcalf, J. L., Nealson, K., Pierce, N. E., Rawls, J. F., Reid, A., Ruby, E. G., Rumpho, M., Sanders, J. G., Tautz, D., Wernegreen, J. J., Animals in a bacterial world, a new imperative for the life sciences. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 2013, vol. 113, pp. 3229 – 3236.

[114] Paoletti, M. G., *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes: Practical use of invertebrates to assess sustainable land use*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands, 2012, 460 p.

[115] Werren, J. H., Baldo, L., Clark, M. E., Wolbachia: master manipulators of invertebrate biology. *Nature Reviews Microbiology,* 2008, vol. 6 (10), pp. 741-751.

[116] Moya, A., Pereto, J., Gil, R., Lattore, A., Learning how to live together: genomic insights into prokaryote-animal symbioses. *Nature Reviews Genetics,* 2008, vol. 9, pp. 218 – 29.

[117] Souty-Grosset, C., Badenhausser, I., Reynolds, J., Morel, A., Losdat, S., Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *European Journal of Soil Biology,* 2005, vol. 41 (3-4), pp. 109-116.

[118] Dittmer, J., Lesobre, J., Moumen, B., Bouchon, D., Host origin and tissue microhabitat shaping the microbiota of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare*. *FEMS Microbiology Ecology,* 2016, 92 (5).

[119] Bouchon, D., Zimmer, M., Dittmer, J., The terrestrial isopod microbiome: An all-in-one toolbox for animal-microbe interactions of ecological relevance. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7:1 472.

CHAPITRE N° 6
DISPONIBILITÉ DE L'EAU ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

[1] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[2] Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., Maccracken, S., Mastrandrea, P. R., White, L. L. (eds.), IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate ChangeWorld Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 190 p.

[3] Dayon, G., *Évolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies.* Thèse Université Toulouse 3, 2015, 223 p.

[4] Dayon, G., Boé, J., Martin, E., Transferability in the future climate of a statistical downscaling method for precipitation in France. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 2015, 120 (3) :1023-1043.

[5] EPTB Charente. Sage Charente. État initial. 2012. 477 p.

[6] Seguin, J-J., Wuilleumier, A., Gestion des eaux souterraines en région aquitaine - Recherche d'évolutions climatiques et hydrologiques dans les bassins versants des Gaves de Pau et d'Oloron. Module 3.3 – Année 1. *Rapport Final. BRGM/RP-66802-FR.*, 2017, 122 p. 67 fig. 30 tab. 8 ann.

[7] EPTB Charente. Assistance à la gestion de l'ÉTIAGE. Modélisation moyen terme scénarii climatiques. 2010, 35 pp.

[8] Boé, J., Terray, L., Martin, E., Habets, F., Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century. *Water Resources Research*, 2009, 45 (8).

[9] Sauquet, E., Imagine 2030. Climat et aménagement de la Garonne : Quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ? Rapport technique, 2009, 120 p.

[10] Ducharne, A., Sauquet, E., Habets, F., Deque, M., Gascoin, S., Hachour, A., Martin, E., Oudin, L., Page, C., Terray, L., Thiery, D., Viennot, P., Évolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique. *La Houille Blanche*, 2011, vol. 1, pp. 51-57.

[11] Sauquet, E., Arama, Y., Blanc-Coutagne, E., Bouscasse, H., Branger, F., Braud, I., Brun, J.-F., Johan, C., Cipriani, T., Darty, T., Ducharne, A., Hendrickx, F., Hingray, B., Krowicki, F., Le Goff, I., Le Lay, M., Magand, C., Malerbe, F., Mathevet, T., Monteil, C., Perring, C., Poulhe, P., Rossi, A., Samie, R., Strosser, P., Thirel, G., Tilmant, F., Vidal, J.-P., Projet R2D2 2050. Risque, Ressource en eau et gestion Durable de Durance en 2050. Rapport technique, 2014.

[12] Bachner, S., Kapala, A., Simmer, C., Evaluation of daily precipitation characteristics in the CLM and their sensitivity to parameterizations. *Meteorologische Zeitschrift*, 2008, 17 (4) : 407- 419.

[13] Douez, O., Explore 2070 - *Évaluation de l'impact du changement climatique – Hydrologie souterraine – Modélisation des nappes Jurassique de Poitou-Charentes.* Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. BRGM/RP-61483-FR – vol. 5., 2012, 79 p.

[14] Dorfliger, N., Schomburgk, S., Bouzit, M., Petit, V., Caballero, Y., Durst, P., Douez, O., Chatelier, M., Croiset, N., Surdyk, N., *Montée du niveau marin induite par le changement climatique : Conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en Métropole. Rapport Final.* BRGM/RP-60829-FR., 2011, 302 p.

[15] Douez, O., Bichot, F., *Contribution à la gestion quantitative des ressources en eau par modélisation hydrodynamique - exemple avec le modèle Crétacé du sud des Charentes.* CFH-AIH. Dix-neuvièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. 30 au 31 mai 2013 – Bordeaux, 2013

[16] Thiery, D., Amraoui, N., Gomez, E., Pedron, N., Seguin, J. J., *Regional model of groundwater management in North Aquitania aquifer system: Water resources optimization and implementation of prospective scenarios taking into account climate change.* Water Security in the Mediterranean Region, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. 2011, pp. 275-290. eds. A. Scozzari & B. El Mansouri.

[17] Douez, O., Abou Akar, A., Bourgine, B., Caperan, F., De Las Heras, A., Grabenstaetter, L., Branellec, M., Corbier, P., Fondin, A., Mazurier, C., Ayache, B., Réseau département de suivi des nappes profondes de Gironde – Bilan de l'état des nappes en 2015. *Rapport BRGM/RP-66626-FR-FR*, 2017, 163 p., 121 ill., 6 tabl., 6 ann.,

[18] Vernoux, J. F., Réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines. *Rapport final. BRGM/RP-64858-FR*, 2015, 51 p., 18 fig., 7 tabl., 1 ann.

[19] Delottier, H., *Quantification et réduction des incertitudes associées aux modèles hydrodynamiques de gestion quantitative des eaux souterraines*. Thèse de doctorat : Hydrogéologie, Université Bordeaux Montaigne – Bordeaux INP, 2017.

[20] Vaucelle, S., Paredes, E., de Grissac, B., Herbet, C., Pichon, A., *Enseignements de la canicule 2003 et des années 2007 et 2008 pour la prise en compte des changements climatiques dans l'estimation des besoins futurs en eau potable, les enjeux pour le SAGE nappes profondes de Gironde.* Communication colloque SHF sur les événements climatiques extrêmes, Lyon octobre 2009.

[21] Jouzel, J., Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., Vautard, R., *Le climat de la France au xxie siècle.* Volume IV. Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Direction générale de l'Énergie et du Climat, 2014.

[22] Marquet, V., *Les voies émergentes de l'adaptation au changement climatique dans la gestion de l'eau en France et au Québec*, Thèse de doctorat, Sociologie, Université de Bordeaux Segalen, 2014, 474 p.

[23] Jouzel, J., Peings, Y., Jamous, M., Planton, S., Le Treut, H., *Scénarios climatiques : indices sur la France métropolitaine pour les modèles français ARPEGE-Climat et LMDz et quelques projections pour les DOM-COM*. Météo France et l'Institut Pierre Simon Laplace, 2011.

[24] Mermet, L., Salles, D., *Environnement : la concertation apprivoisée, contestée, dépassée ?* Ed De Boeck, 2015, 424 p.

[25] Fernandez, S., *Si la Garonne avait voulu..., étude de l'étiologie déployée dans la gestion de l'eau de la Garonne, en explorant l'herméneutique sociale qui a déterminé sa construction.* Thèse de doctorat : Science politique. AgroParisTech, 2009, 653 p.

[26] Mermet, L. (dir), *Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. P.I.E.- Peter Lang, EcoPolis. Vol. 5, 2005, 411 p.

[27] Fernandez, S., Bouleau, G., Treyer, S., Reconsidérer la prospective de l'eau en Europe dans ses dimensions politiques. *Développement Durable et Territoires*, 2011, 2, 3, 19 p.

[28] Salles, D., Labbouz, B., *Scénarios interdisciplinaires et options d'adaptation aux variations des régimes hydrologiques : Quelle Garonne-Gironde en 2050 ?* Congrès SHF : Water Tensions in Europe and in the Mediterranean: water crisis by 2050? 08/10/2015-09/10/2015, Paris-Marne la Vallée, France, 2015, 8 p.

[29] Barbier, R., Roussary, A., *Les territoires de l'eau potable. Chronique d'une transformation silencieuse (1970-2015)*, 2016, QUAE, 144 p.

[30] Debril, T., Therond, O., Les difficultés associées à la gestion quantitative de l'eau et à la mise en œuvre de la réforme des volumes prélevables : le cas du bassin Adour-Garonne. Agronomie, *Environnement et Sociétés*, 2012, 2, 10.

[31] Laurent, E., *À l'horizon d'ici. Les territoires au cœur de la transition social-écologique*. Le Bord de l'eau, 2017, 58 p.

[32] Rocle, N., Salles, D., Pioneers but not guinea pigs: Experimenting with climate change adaptation in French coastal areas. *Policy Sciences*, 2017, pp. 1-17.

[33] Driessen, P., Leroy, P., Van Vierssen, W., *From climate change to social change: Perspectives on Science-Policy Interactions.* International Books. Ultrecht, Pays Bas. 2010

[34] Rocle, N., Bouet, B., Chasseriaud, S., Lyser, S., Tant qu'il y aura des « profanes »… dans la gestion des risques littoraux. Le cas de l'érosion marine à Lacanau. *VertigO*, 2016, vo l. 16, n° 2.

[35] Bucchi, M., Neresini, F., Science and public participation. In: *The handbook of science and technology studies.* Hackett, E. J., Amsterdamska O., Lynch M., Wajcman, J. eds., The MIT Press. 2008, 445 p.

[36] Simonet, G., Salles, D., Eau et changement climatique sur la Garonne moyenne : l'adaptation en négociation. *Sud-Ouest Européen*, 2014, n° 37, pp. 53-62

[37] Bassett, T. J., Fogelman, C., Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum*, 2013, 48, pp. 42-53.

[38] Salles, D., Notte, O., La prise à témoin du public dans la politique de l'eau. La consultation Directive Cadre Européenne sur l'Eau en Adour-Garonne. *Politique Européenne,* 2011, n° 33, pp. 37-62.

CHAPITRE N° 7
L'ÉNERGIE RÉGIONALE ET LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

[1] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[2] Cointe, B., Le tarif d'achat photovoltaïque comme outil d'innovation territoriale : l'exemple des Fermes de Figeac. *VertigO*, 2016, 16/1.

[3] Wokuri, P., *Comment expliquer la mise en place de projets citoyens d'énergie renouvelable? Une comparaison Danemark, France et Royaume-Uni.* Congrès de l'AFSP, Montpellier, 2017.

[4] Zélem, M.-C., Beslay, C., *Sociologie de l'énergie - Gouvernance et pratiques sociales.* Éditions CNRS, 2015, 476 p.

[5] Cacciari, J., L'impératif de « transition énergétique » comme double peine pour un territoire de la production énergétique soumis à reconversion. *VertigO*, 14 (3), 2014.

[6] Gunzbuger, Y., *Le gaz de charbon en Lorraine*. Éditions du CNRS, 2017, 212 p.

[7] Zélem, M.-C., Les énergies renouvelables en transition : de leur acceptabilité sociale à leur faisabilité sociotechnique. *Revue de l'énergie*, 2012.

[8] Labussière, O., Nadaï, A., L'énergie des sciences sociales, Athena, 2015, 166 p.

[9] AREC, Profil énergie et gaz à effet de serre de la région Nouvelle-Aquitaine. Les chiffres pour comprendre, année 2015, édition 2017, 44 p.

[10] RTE. Bilan électrique 2016 et perspectives – Nouvelle Aquitaine, 2016, 44 p.

[11] Labussière, O., La performance énergétique des bâtiments à l'ère des politiques européennes de démonstration. Le cas du programme CONCERTO et du projet de la ZAC De Bonne (Grenoble, France). *VertigO*, 2014, 14/3

[12] La Branche, S., Innovations dans les écoquartiers : quelques leçons pour la gouvernance de la transition énergétique. *VertigO*, 2014, 14/3.

[13] Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. Ressources en hydrocarbures de France, 2018.

[14] Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, (2016) Panorama énergies-climat, édition 2016.

[15] Chailleux, S., Incertitude et action publique. Définition des risques, production des savoirs et cadrage des controverses. *Revue internationale de politique comparée.* 2016, vol. 23/4, pp. 519-548.

[16] Agence Internationale de l'Énergie. French indicators. 2015.

[17] DATALAB. Chiffres clés des énergies renouvelables. Édition 2016. Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer en charge des relations internationales sur le climat. Service de l'observation et des statistiques. 2017, 76 p.

[18] Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). SAGE Dordogne Amont, 2015.

[19] Van Vliet, M. T. H., Yearsley, J. R., Fulco, L., Vögele, S., Lettenmaier, D. P., Kabat, P., Vulnerability of US and European electricity supply to climate change. *Nature climate change letters*, 2012, pp. 676-681.

[20] McDermott, G. R., Nilsen, Ø. A., Electricity prices, river temperatures and cooling water scarcity. *Land Economics*, 2014, vol. 90/1, pp. 131-148.

[21] Electricité de France. Ouvrage collectif d'une douzaine d'auteurs : Bart, J.-B., Benefice, E., Brincourt, T., Brisse, A., Cagnac, A., Delille, G., Hinchiffe, T., Jeandel, E., Lancel, G., Lefebvre, T., Loevenbruck, P., Nekrasov, A., Pastor, E., Penneau, J.-F., Radvanyi, E., Soler, R., Stevens, P., Torcheux, L., *Le stockage de l'électricité, Un défi pour la transition énergétique*. Lavoisier. 2017.

[22] SMIDDEST, Rapport d'activité, 2013.

[23] Ademe. Forêt et atténuation du changement climatique, Les avis de l'Ademe, 2015.

[24] Conseil général des Landes. Le bois énergie – usages individuels et collectifs, 2008.

[25] Ademe. Les émissions atmosphériques de la combustion de biomasse, 2007.

[26] Nieddu, M., Vivien, F.-D., La chimie verte, une fausse rupture ? Les trajectoires de la transition écologique. *Revue Française de Socio-Économie*, 2 (Hors-série), 2015, pp. 139-153.

[27] Delhoume, C., Caroux, D., Quel rôle des agriculteurs dans la transition énergétique? Acceptation sociale et controverses émergentes à partir de l'exemple d'une chaufferie collective de biomasse en Picardie. *VertigO*, 2014, 14/3.

[28] Ademe. L'énergie éolienne. Les avis de l'ADEME, 2016.

[29] Conseil Régional de Poitou-Charentes. Schéma Régional Éolien Poitou Charentes. Annexe au SRCAE (Schéma Régional Climat Air Énergie), 2012.

[30] ABIES. Schéma Régional Éolien Limousin. Annexe au SRCAE (Schéma Régional Climat Air Énergie), 2013.

[31] Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. Profil environnemental du Limousin. Développement durable en Limousin. Les études. 2012, N° 3.

[32] Tribunal administratif de Bordeaux, 2015, Notification de jugement, Dossier n° 1204157-2. 12 février 2015.

[33] Nadaï, A., Labussière, O., Wind power planning in France (Aveyron): from State regulation to local experimentation. *Land Use Policy*, 2009, vol. 26/3, pp. 744-754.

[34] Fournis, Y., Fortin, M.-J., (2014), « La politique éolienne au Québec, un méga projet ? », Organisation et Territoires, 23 (3) : 37-42.

[35] Crausse, P. L'eau des Pyrénées : un siècle d'énergie hydroélectrique. Cépaduès Éditions, 2008, 184 p.

[36] Ngo, C., Natowitz, J. *Our energy future: resources, alternatives and the environment.* John Wiley & Sons, 2012, 462 p.

[37] Lund, J. W., Boyd, T. L., Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 2016, 60, pp. 66-93.

[38] Chamorro, C. R., Mondejar, M. E., Ramos, R., Segovia, J. J., Martin, M. C., Villamanan, M. A., World geothermal power production status: Energy, environmental and economic study of high enthalpy technologies. *Energy*, 2012, 42, pp. 10-18.

[39] Association française des professionnels de la géothermie. *La géothermie en France.* Étude de marché en 2015.

[40] Durst, P., Ayache, B., Saltel, M., Abou Akar, A., avec la collaboration de Platel, J.P., Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine - Atlas du potentiel géothermique des aquifères - *Rapport final. BRGM/RP-59761-FR*, 2011.

[41] GIP. Énergies marines renouvelables. Potentiels en énergies marines de la façade Aquitaine. Synthèse de l'étude. Groupe d'intérêt public littoral Aquitain, 2012.

[42] GIP. Énergies marines renouvelables. Potentiels en énergies marines de la façade Aquitaine. Rapport de cartographies. Groupe d'intérêt public littoral Aquitain, 2013.

[43] Ha-Duong, M., Chaabane, N., *Le captage et le stockage du CO_2*. Quae, 2010, 164 p.

[44] Deldrève, V., *Pour une sociologie des inégalités environnementales*. Bruxelles : Peter Lang, 2015, 243 p.

[45] Chavot, P., Masseran, A., Serrano, Y., *Penser l'énergie localement ? Le cas de la géothermie profonde dans l'Eurométropole de Strasbourg*. Congrès de l'AFSP, Montpellier, 2017.

[46] Fortin, M. J., Fournis, Y., Vers une définition ascendante de l'acceptabilité sociale : les dynamiques territoriales face aux projets énergétiques au Québec. *Natures Sciences Sociétés*, 2014, vol. 22/3, pp. 231-239.

[47] Hopkins, R., *The transition handbook: from oil dependency to local resilience*. Totnes: Green books, 2008, 240 p.

[48] Hopkins, R., *Ils Changent Le Monde ! 1 001 Initiatives de Transition Écologique*. Le Seuil. 2014, 198 p.

[49] Lovins, A. B., Soft energy technologies. *Annual Review of Energy*, 1978, 3 (1), pp. 477-517.

[50] Raineau, L., Vers une transition énergétique ? *Natures Sciences Sociétés*, 2011, vol. 19, (2), pp. 133-143.

[51] Laigle, L., Pour une transition écologique à visée sociétale. *Mouvements*, 2013, 75, 3, 135-142.

[52] Zaccai, E., *25 ans de développement durable, et après ?* Presses universitaires de France, 2011, 240 p.

[53] McDonough, W., Braungart, M., *Cradle to Cradle. Créer et recycler à l'infini*. Éditions Alternatives, 2011.

[54] Abraham, Y.-M., Murray, D., *Creuser jusqu'où ? Extractivisme et limites à la croissance*. Ecosociété, Montréal, 2015, 382 p.

CHAPITRE N° 8
RESSOURCES EXPLOITÉES PAR LA PÊCHE ET LA CONCHYLICULTURE

[1] DIRM Sud-Atlantique. Façade Sud-Atlantique. Monographie de l'économie maritime - Édition 2016, 60 p.

[2] Lobry, J., Castelnaud, G., Pierre, M., Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde - Suivi des captures 2015 - Étude de la faune circulante 2015. Irstea, Centre de Bordeaux, Cestas, 2016.

[3] Cuende, F.-X., *Les pêches commerciales dans l'estuaire de l'Adour : hier, aujourd'hui, demain*. Actes du LIIIe Congrés d'études régionales de la Fédération historique du Sud-Ouest « L'Adour maritime de Dax à Bayonne », Dax-Bayonne, 27 au 28 mai 2000, Maison des sciences de l'homme d'Aquitaine, 2001, pp. 305-325.

[4] Daniel, G., NATURA 2000 « L'ADOUR ». Document d'objectifs du site FR7200724 - document final, 2011, 346 p.

[5] Beck, M. W., Heck Jr, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F., Weinstein, M. P., The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: a better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 2001, vol. 51 (8), pp. 633-641.

[6] Gaillard, J.-M., Hebblewhite, M., Loison, A., Fuller, M., Powell, R., Basille, M., Van Moorter, B., Habitat – performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, vol. 365 (1 550), pp. 2 255 – 2 265.

[7] Lévêque, C., Synthèse du projet BEEST. Rapport GIP Seine-Aval/Cemagref/Ifremer/Université Bordeaux 1/Université de Rouen/Université de Nantes/Université Sciences et Techniques de Lille, 100 p.

[8] Rieser, A., Essential fish habitat as a basis for marine protected areas in the U.S. Exclusive Economic Zone. *Bulletin of Marine Science*, 2000, vol. 66, n° 3, pp. 889-899.

[9] Quéro, J.-C., Vayne, J.-J., Le maigre *Argyrosomus regius* (Asso, 1 801) (Pisces, Perciformes, Sciaenidae) du golfe de Gascogne et des eaux plus septentrionales. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 1987, vol. 49, n° 1-2, pp. 35-66.

[10] Le Pape, O., *Les habitats halieutiques essentiels en milieu côtier : Les identifier, comprendre leur fonctionnement et suivre leur qualité pour mieux gérer et pérenniser les ressources marines exploitées*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Bretagne : Université de Bretagne Occidentale, 2005, 80 p.

[11] Dabrin, A., Schäfer, J., Bertrand, O., Masson, M., Blanc, G., Origin of suspended matter and sediment inferred from the residual metal fraction: Application to the Marennes Oleron Bay, France. *Continental Shelf Research*, 2014, vol. 72, pp. 119-130.

[12] Gilliers, C., *Recherche d'indicateurs de la qualité des écosystèmes côtiers : application aux nourriceries côtières et estuariennes des poissons plats*. Thèse de doctorat : Sciences de la vie. Calais : Université du Littoral-Côte d'Opale, 2004, 194 p.

[13] PLAGEPOMI. Plan de gestion des poissons migrateurs Adour cours d'eau côtiers 2015-2019, 2014, 94 p.

[14] Decastro, M., Gómez-Gesteira, M., Alvarez, I., Gómez-Gesteira, J. L. Present warming within the context of cooling – warming cycles observed since 1854 in the Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 2009, vol. 29, n° 8, pp. 1 053 – 1 059.

[15] Koustikopoulos, C., Beillois, P., Leroy, C., Taillefer, F., Temporal trends and spatial structures of the sea surface temperature in the Bay of Biscay. *Oceanologica Acta*, 1998, vol. 21, n° 2, p. 335-344.

[16] Planque, B., Beillois, P., Jégou, A.-M., Lazure, P., Petitgas, P., Puillat, I., Large-scale hydroclimatic variability in the Bay of Biscay: the 1990s in the context of interdecadal changes. *ICES Marine Science Symposium*, 2003, vol. 219, pp. 61-70.

[17] Philippart, C. J. M., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J. W., Drinkwater, K. F., Hawkins, S. J., O'Sullivan, G., Oguz, T., Reid, P. C., Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, vol. 400, pp. 52-69.

[18] Chust, G., Allen, J. I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., Zavatarelli, M., Chifflet, M., Cannaby, H., Dadou, I., Daewel, U., Wakelin, S. L., Machu, E., Pushpadas, D., Butenschon, M., Artioli, Y., Petihakis, G., Smith, C., Garçon, V., Goubanova, K., Le Vu, B., Fach, B. A., Salihoglu, B., Clementi, E., Irigoien, X., Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, pp. 2124-2139.

[19] Mackenzie, B. R., Schiedek, D., Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas. International Council for the Exploration of the Sea, 1996, Theme Session on Integrating Observations and Models to Improve Predictions of Ecosystem Response to Physical Variability, pp. 1-32.

[20] Castaing, P., Froidefond, J.-M., Lazure, P., Weber, O., Prud'homme, R., Jouanneau, J. M., Relationship between hydrology and seasonal distribution of suspended sediments on the continental shelf of the Bay of Biscay. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1999, vol. 46, n° 10, pp. 1979-2001.

[21] Rahmstorf, S., Thermohaline Ocean Circulation. In: S. A. Elias. Elsevier. Encyclopedia of Quaternary Sciences, Amsterdam, 2006, pp. 1-10.

[22] Genner, M. J., Sims, D. W., Wearmouth, V. J., Southall, E. J., Southward, A. J., Henderson, P. A., Hawkins, S. J., Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. *Proceeding of the Royal Society B.*, 2004, vol. 271, pp. 655 – 661.

[23] Genner, M. J., Halliday, N. C., Simpson, S. D., Southward, A. J., Hawkins, S. J., Sims, D. W., Temperature-driven phenological changes within a marine larval fish assemblage. *Journal of Plankton Research*, 2010, vol. 32, n° 5, pp. 699-708.

[24] Steinacher, M., Joos, F., Frölicher, T. L., Bopp, L., Cadule, P., Doney, S. C., Gehlen, M., Schneider, B., Segschneider, J., Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis. *Biogeosciences*, 2010, vol. 7, pp. 979-1 005.

[25] Schuster, U., Watson, A. J., Bates, N. R., Corbiere, A., Gonzalez-Davila, M., Metzl, N., Pierrot, D., Santana-Casiano, M., Trends in North Atlantic sea-surface fCO_2 from 1990 to 2006. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2009, vol. 56, pp. 620 – 629.

[26] ICES. Final Report to OSPAR of the Joint OSPAR/ICES Ocean Acidification Study Group (SGOA), 2014, ICES CM 2014/ACOM:67, 141 p.

[27] Lauvset, S. K., Gruber, N., Landschützer, P., Olsen, A., Tjiputra, J., Trends and drivers in global surface ocean pH over the past three decades. *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, pp. 1285-1298.

[28] Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, J.-P., Bard, A., Low Flows in France and their relationship to large scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 2013, vol. 482, pp. 105-118.

[29] Borja, Á., Fontán, A., Muxika, I., Interactions between climatic variables and human pressures upon a macroalgae population: Implications for management. *Ocean & Coastal Management*, 2013, vol. 76, pp. 85-95.

[30] Quintano, E., Ganzedo, U., Díez, I., Figueroa, F. L., Gorostiaga, J. M., Solar radiation (PAR and UVA) and water temperature in relation to biochemical performance of *Gelidium corneum* (Gelidiales, Rhodophyta) in subtidal bottoms off the Basque coast. *Journal of Sea Research*, 2013, vol. 83, pp. 47-55.

[31] Díez, I., Muguerza, N., Santolaria, A., Ganzedo, U., Gorostiaga, J. M., Seaweed assemblage changes in the eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, vol. 99, pp. 108-120.

[32] Bellier, E., Planque, B., Petitgas, P., Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967-73 and 2000-2004. *Fisheries Oceanography*, 2007, vol. 16, pp. 1-15.

[33] Lenoir, S., Beaugrand, G., Lecuyer, E., Modelled spatial distribution of marine fish and projected modifications in the North Atlantic Ocean. *Global Change Biology*, 2011, vol. 17, pp. 115-129.

[34] Petitgas, P., Alheit, J., Peck, M. A., Raab, K., Irigoien, X., Huret, M., Van Der Kooij, J., Pohlmann, T., Wagner, C., Zarraonaindia, I., Dickey-Collas, M., Anchovy population expansion in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, vol. 444, pp. 1-13.

[35] Raab, K., Llope, M., Nagelkerke, L. A. J., Rijnsdorp, A. D., Teal, L. R., Licandro, P., Ruardij, P., Dickey-Collas, M., Influence of temperature and food availability on juvenile European anchovy *Engraulis encrasicolus* at its northern boundary. *Marine Ecology Progress Series*, 2013, vol. 488, pp. 233-245.

[36] Daverat, F., Beaulaton, L., Poole, R., Lambert, P., Wickström, H., Andersson, J., Aprahamian, M., Hizem, B., Elie, P., Yalçin-Özdilek, S., Gumus, A., One century of eel growth: changes and implications. *Ecology of Freshwater Fish*, 2012, vol. 31, n° 3, pp. 325-336.

[37] Díaz, E., Korta, M., Chust, G., Ribalaygua, J., Pórtoles, J., Monjo, R., European eel (*Anguilla anguilla*) under climatic change. *VI Iberian Congress of Ichthyology*, 21-24 June 2016, Murcia, Spain.

[38] ICES. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL), 24 November-2 December 2015, Antalya, Turkey, 2015, ICES CM 2015/ACOM:18, 130 p.

[39] Kettle, A. J., Vøllestad, L. A., Wibig, J., Where once the eel and the elephant were together: Decline of the European eel because of changing hydrology in southwest Europe and northwest Africa? *Fish and Fisheries*, 2011, vol. 12, pp. 380-411.

[40] Bagdonas, K., Nika, N., Bristow, G., Jankauskienė, R., Salytė, A., Kontautas, A., First record of *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) from the southeastern Baltic Sea (Lithuania). *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, vol. 27, n° 6, pp. 1390-1391.

[41] Ilestad, A. M., Haugen, T. O., Colman, J. E., Differential Habitat Use between Adult European Sea Bass and North Atlantic Cod in the Inner Oslo Fjord: Influence of Abiotic Environmental Variables. In McKenzie J., Parsons B., Seitz A., Keller Kopf R., Mesa M., Phelps Q., (Eds.). Advances in Fish Tagging and Marking Technology, 2012, pp. 265-288.

[42] Solmudssen, J., Jonsson, E., Bjorsson, H. *Recent change in the distribution and abundance of monkfish (Lophius piscatorius) in Islandic waters*. Conference paper, 2007, ICES CM 2007/K: 02, 16 p.

[43] Madeira, D., Costa, P. M., Vinagre, C., Diniz, M. S., When warming hits harder: survival, cellular stress and thermal limits of *Sparus aurata* larvae under global change. *Marine Biology*, 2016, vol. 163, n° 4, pp. 1-14.

[44] Vinagre, C., Leal, I., Mendonça, V., Madeira, D., Narciso, L., Diniz, M. S., Flores, A. A. V., Vulnerability to climate warming and acclimation capacity of tropical and temperate coastal organisms. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 62, pp. 317-327.

[45] Ibarz, A., Fernández-Borràs, J., Blasco, J., Gallardo, M. A., Sánchez, J., Oxygen consumption and feeding rates of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) reveal lack of acclimation to cold. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2003, vol. 29, pp. 313-321.

[46] Saguet, C., Par le prisme des effets du changement climatique dans le golfe de de Gascogne, analyse de diverses métadonnées concernant la dorade royale (*Sparus aurata*). Mémoire de master 2, Dynamique des écosystèmes aquatiques. Anglet : Université de Pau et des Pays de l'adour, 2016, 60 p.

[47] Lassalle, G., Béguer, M., Beaulaton, L., Rochard, E., Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation* 141, 2008, pp. 1105-1118.

[48] Hundt, M., Schiffer, M., Weiss, M., Schreiber, B., Kreiss, C. M., Schulz, R., Gergs, R., Effect of temperature on growth, survival and respiratory rate of larval allis shad *Alosa alosa*. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2015, vol. 416, pp. 1-27.

[49] Jatteau, P., Drouineau, H., Charles, K., Carry, L., Lange, F., Lambert, P., Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications. Aquatic Living Resources, 2017, 30.

[50] Mylonas, C. C., Mitrizakis, N., Papadaki, M., Sigelaki, I., Reproduction of hatchery-produced meagre *Argyrosomus regius* in captivity I. Description of the annual reproductive cycle. *Aquaculture*, 2013, vol. 414-415, pp. 309-317.

[51] Pimentel, M. S., Faleiro, F., Marques, T., Bispo, R., Dionísio, G., Faria, A. M., Machado, J., Peck, M. A., Pörtner, H., Pousão-Ferreira, P., Gonçalves, E. J., Rosa, R., Foraging behaviour, swimming performance and malformations of early stages of commercially important fishes under ocean acidification and warming. *Climatic Change*, 2016, vol. 137, pp. 495-509.

[52] Pasquaud, S., Beguer, M., Larsen, M. H., Chaalali, A., Cabral, H., Lobry, J., Increase of marine juvenile fish abundances in the middle Gironde estuary related to warmer and more saline waters, due to global changes. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2012, vol. 104, pp. 46-53.

[53] Hughes, K., Dransfeld, L., Johnson, M. P., Changes in the spatial distribution of spawning activity by north-east Atlantic mackerel in warming seas: 1977–2010. *Marine Biology*, 2014, vol. 161, pp. 2563-2576.

[54] Bruge, A., Alvarez, P., Fontán, A., Cotano, U., Chust, G., Thermal Niche Tracking and Future Distribution of Atlantic Mackerel Spawning in response to Ocean Warming. *Frontiers in Marine Science,* 2016, vol. 3, pp. 1-13.

[55] Goikoetxea, N., Irigoien, X., Links between the recruitment success of northern European hake (*Merluccius merluccius* L.) and a regime shift on the NE Atlantic continental shelf. *Fisheries Oceanography*, 2013, vol. 22, pp. 459-476.

[56] Sánchez, F., Gil, J., Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, vol. 57, n° 1, pp. 152-170.

[57] Alvarez, P., Fives, J., Motos, L., Santos, M., Distribution and abundance of European hake *Merluccius merluccius* (L.), eggs and larvae in the North East Atlantic waters in 1995 and 1998 in relation to hydrographic conditions. *Journal of Plankton Research*, 2004, vol. 26, pp. 811-826.

[58] Rijnsdorp, A. D., Peck, M. A., Engelhard, G. H., Möllmann, C., Pinnegar, J. K., Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, vol.66, pp. 1570-1583.

[59] Druon, J.-N., Fiorentino, F., Murenu, M., Knittweis, L., Colloca, F., Osio, C., Mérigot, B., Garofalo, G., Mannini, A., Jadaud, A., Sbrana, M., Scarcella, G., Tserpes, G., Peristeraki, P., Carlucci, R., Heikkonen, J., Modelling of European hake nurseries in the Mediterranean Sea: an ecological niche approach. *Progress in Oceanography*, 2015, vol. 130, pp. 188 – 204.

[60] Benson, A. J., Mcfarlane, G. A., Allen, S. E., Dower, J. F., Changes in Pacific hake (*Merluccius productus*) migration patterns and juvenile growth related to the 1989 regime shift. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 2002, vol. 59, pp. 1969-1979.

[61] Beaugrand, G., Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Deep Sea Research. Part II Topical Studies in Oceanography*, 2009, vol. 56 (8-10), pp. 656-673.

[62] Punzón, A., Serrano, A., Sánchez, F., Velasco, F., Preciado, I., González-Irusta, J. M., Lopez-López, L., Response of a temperate demersal fish community to global warming. *Journal of Marine System*, 2016, vol. 161, pp. 1-10.

[63] Caill-Milly, N., Relations entre l'état d'une ressource et son exploitation via la compréhension et la formalisation des interactions de socio-écosystèmes. Application à la palourde japonaise (*Venerupis philippinarum*) du bassin d'Arcachon. Thèse de doctorat: Physiologie et biologie des organismes-populations-interactions. Anglet : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2012, 125 p.

[64] Mann, R., The effect of temperature on growth, physiology, and gametogenesis in the Manila clam *Tapes philippinarum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1979, vol 38, pp. 121 – 133.

[65] Maître-Allain, T., Influence du milieu sur la croissance de deux palourdes, *Ruditapes decussatus* et *Ruditapes philippinarum*, dans l'étang de Thau (Hérault). *Vie Marine*, 1982, vol. 4, pp. 11 – 20.

[66] Piou, C., Prévost, E., Contrasting effects of climate change in continental vs. oceanic environments on population persistence and microevolution of Atlantic salmon. *Global Change Biology*, 2013, vol. 19, pp. 711-723.

[67] Piou, C., Taylor, M. H., Papaïx, J., Prévost, E., Modelling the interactive effects of selective fishing and environmental change on Atlantic salmon demogenetics. *Journal of Applied Ecology*, 2015, vol. 52, n° 6, pp. 1629-1637.

[68] Hermant, M., Lobry, J., Bonhommeau, S., Poulard, J.-C., Le Pape, O., Impact of warming on abundance and occurrence of flatfish populations in the Bay of Biscay (France). *Journal of Sea Research*, 2010, vol. 64, n° 1 – 2, pp. 45 – 53.

[69] Le Pape, O., Chauvet, F., Désaunay, Y., Guérault, D., Relationship between interannual variations of the river plume and the extent of nursery grounds for the common sole (*Solea solea*, L.) in Vilaine Bay. Effects on recruitment variability. *Journal of Sea Research*, 2003, vol. 50, n° 2 – 3, pp. 177-185.

[70] Lenoir, S., Impact du réchauffement climatique sur la distribution spatiale des ressources halieutiques le long du littoral français : observations et scénarios. Thèse de doctorat : écologie marine. Lille : Université Sciences et technologies Lille 1, 2011, 227 p.

[71] Fahy, E., Green, P., Quigley, D. T. G., Juvenile *Sparus aurata* L. on the south coast of Ireland. *Journal of Fish Biology*, 2005, vol. 66, pp. 283 – 289.

[72] Tasker, M. L., The effect of climate change on the distribution and abundance of marine species in the OSPAR Maritime Area. ICES Cooperative Research Report, n° 293. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea, 2008, 49 p.

[73] Hislop, J. R. G., Gallego, A., Heath, M. R., Kennedy, F., Reeves, S. A., Wright, P. J. A., Synthesis of early life history of the anglerfish, *Lophius piscatorius* (L, 1 758) in northern British waters. *ICES Journal of Marine Science*, 2001, vol. 58, pp. 70-86.

[74] Beare, D., Burns, F., Jones, E., Peach, K., Portilla, E., Greig, T., Mckenzie, E., Reid, D., An increase in the abundance of anchovies and sardines in the north-western North Sea since 1995. *Global Change Biology*, 2004, vol. 10, pp. 1209-1213.

[75] Montero-Serra, I., Edwards, M., Genner., M. J., Warming shelf seas drive the subtropicalization of European pelagic fish communities. *Global Change Biology*, 2015, vol. 21, pp. 144-153.

[76] Cheung, W., Lam, W. L., Vicky, W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D., Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 2009, vol. 10, pp. 235 – 251.

[77] Teal, L. R., De Leeuw, J. J., Van Der Veer, H. W., Rijnsdorp, A. D., Effects of climate change on growth of 0-group sole and plaice. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, vol. 358, pp. 219-230.

[78] Fincham, J. I., Rijnsdorp, A., Engelhard, G. H., Shifts in the timing of spawning in sole linked to warming sea temperatures. *Journal of Sea Research*, 2013, vol. 75, pp. 69-76.

[79] Burrows, M. T., Schoeman, D. S., Buckley, L. B., Moore, P., Poloczanska, E. S., Brander, K. M., Brown, C., Bruno, J. F., Duarte, C. M., Halpern, B. S., Holding, J., Kappel, C. V., Kiessling, W., O'Connor, M. I., Pandolfi, J. M., Parmesan, C., Schwing, F. B., Sydeman, W. J., Richardson, A. J., The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems. *Science*, 2011, vol. 334, n° 6056, pp. 652-655.

[80] Polo, A., Yufera, M., Pascual, E., Effects of temperature on egg and larval development of *Sparus aurata* L. *Aquaculture*, 1991, vol. 92, pp. 367-375.

[81] Tixerant, G., Contribution à l'étude de la biologie du maigre ou courbine (*Argyrosomus regius* Asso-Sciaena aquila Lacep.) sur la côte Mauritanienne. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, 1974, 146 p.

[82] Abou Shabana, N. M., Abd El Rahman, S. H., Al Absawy, M. A., Assem, S. S., Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2012, vol. 38, pp. 147 – 156.

[83] Guevara-Fletcher, C., Alvarez, P., Sanchez, J., Iglesias, J., Effect of temperature on the development and mortality of European hake (*Merluccius merluccius* L.) eggs from southern stock under laboratory conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2016, vol. 476, pp. 50-57.

[84] ICES. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 30 March – 8 April 2016, Copenhagen, Denmark, 2016, ICES CM 2016/ACOM:10. 323 p.

[85] Jatteau, P., Fraty, R., *Étude de la tolérance à l'hypoxie des juvéniles de grande alose* (*Alosa alosa*). Rapport de recherche, Bordeaux : Irstea, 2012, Cestas. 18 p.

[86] Lanoux, A., Etcheber, H., Schmidt, S., Sottolichio, A., Chabaud, G., Richard, M., Abril, G., Factors contributing to hypoxia in a highly turbid, macrotidal estuary (the Gironde, France). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2013, vol. 15, pp. 585 – 595.

[87] Gros, P., Écosystèmes marins, chapitre 5. In: Massu, N., Landman, G. Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine, synthèse de la bibliographie. Paris : Ecofor, 2011, pp. 127-165.

[88] Range, P., Chícharo, M. A., Ben-Hamadou, R., Piló, D., Matias, D., Joaquim, S., Oliveira, A. P., Chícharo, L., Calcification, growth and mortality of juvenile clams *Ruditapes decussatus* under increased pCO 2 and reduced pH: variable responses to ocean acidification at local scales? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, vol. 396, n° 2, pp. 177-184.

[89] Rijnsdorp, A. D., Van Beek, F. A., Flatman, S., Millner, R. M., Riley, J. D., Giret, R., De Clerck, R., Recruitment of sole stocks, *Solea solea* (L.), in the Northeast Atlantic. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1992, vol. 29, pp. 173 – 192.

[90] Henderson, P. A., Seaby, Richard, M., The role of climate in determining the temporal variation in abundance, recruitment and growth of sole *Solea solea* in the Bristol Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2005, vol. 85, pp 297-204.

[91] Hiscock, K., Southward, A., Tittley, I., Hawkins, S., Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2004, vol. 14, pp. 333-362.

[92] Milon, É., Castège, I., Répartition des oiseaux marins et cétacés dans le sud du golfe de Gascogne. Centre de la Mer de Biarritz/Agence des Aires Marines Protégées, 2016. 155 p.

[93] Castège, I., Hémery, G., Oiseaux marins et cétacés du golfe de Gascogne. Répartition, évolution des populations et éléments pour la définition des aires marines protégées. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, Collection Parthénope, 2009, 176 p.

[94] d'Elbée, J., Castège, I., D'Amico, F., Hémery, G., Lalanne, Y., Mouchès, C., Pautrizel, F., Temporal pattern of surface ichthyoplankton in southern bay of Biscay (W. Atlantic)- XI International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (2-4 April, 2008. Donostia-San Sebastián). *Revista de Investigación Marina*, 2008, vol. 3, pp. 206-207.

[95] d'Elbée, J., Castège, I., Hémery, G., Lalanne, Y., Mouchès, C., Pautrizel, F., D'Amico, F., Variation and temporal patterns in the composition of the surface ichthyoplankton in the southern bay of Biscay (W. Atlantic). *Continental Shelf Research*, 2009, vol. 29, pp. 1136-1144.

[96] d'Elbée, J., 2016. *Mémento de Planctonologie marine*. Hors collection. Éditions QUAE. 528 p.

[97] Valencia, V., Motos, L., Urrutia, J., Estudio de la variacion temporal de la hidrografiay el plancton en la zona neritica frente a San Sebastian. Resultados abril 1986-diciembre 1987. Informes Tecnicos (Departamento Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco) 20, 1988, 80 p.

[98] Alvarez, P., Motos, L., Uriarte, A., Egaña, J., Spatial and temporal distribution of European hake, *Merluccius merluccius* (L.), eggs and larvae in relation to hydrographical conditions in the Bay of Biscay. *Fisheries Research*, 2001, vol. 50, n° 1-2, pp. 111-128.

[99] Woillez, M., Poulard, J.-C., Rivoirard, J., Petitgas, P., Bez, N., Indices for capturing spatial patterns and their evolution in time, with application to European hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, vol. 64, n° 3, pp. 537-550.

[100] Sánchez, F., Patrones de distribucion y abundancia de la merluza en aguas de la plataforma norte de la Penynsula Iberica. In: Gonzalez-Garces, A., et Pereiro, F. J., éditeurs : Jornadas Sobre el Estado Actual de los Conocimientos de las Poblaciones de Merluza que Habitan la Plataforma Continental Atlantica y Mediterranea de la Union Europea con Especial Atencion a la Penynsula Iberica, 1994, pp. 255 – 279. Publicacion Privada.

[101] Woillez, M., Contributions géostatistiques à la biologie halieutique. Thèse de doctorat : géostatistiques. Paris : École Nationale Supérieure des Mines, 2007, 184 p.

[102] Ferraton, F., Écologie trophique des juvéniles de merlu (*Merluccius merluccius*) dans le golfe du Lion: Implications biologiques de la variabilité spatio-temporelle des ressources alimentaires exploitées dans les zones de nourricerie [en ligne]. Thèse de doctorat en fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés, Université de Montpellier II, 2007, 212 p.

[103] Mahe, K., Amara, R., Bryckaert, T., Kacher, M., Brylinski, J., Ontogenetic and spatial variation in the diet of hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay and the Celtic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, vol. 64, pp. 1210-1219.

[104] Agostini, V. N., Hendrix, A., Hollowed, A. B., Wilson, C. D., Pierce, S. D., Francis, R. C., Climate – ocean variability and Pacific hake: a geostatistical modeling approach. *Journal of Marine System*, 2008, vol. 71, pp. 237-248.

[105] Cormon, X., Kempf, A., Vermard, Y., Vinther, M., Marchal, P., Emergence of a new predator in the North Sea: evaluation of potential trophic impacts focused on hake, saithe, and Norway pout. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, vol. 73, n° 5, pp. 1370-1381.

[106] ICES. Report of the Working Group for the Bay of Biscay and the Iberian waters Ecoregion (WGBIE). Copenhagen, 2016, ICES CM/ ACOM :12, 513 p.

[107] Taquet, M., Hoang, É., Guillotreau, P., Bilan et mise à jour des données françaises de germon (*Thunnus alalunga*) dans l'Atlantique Nord pour la période de 1999 à 2007. *Collective Volume of Scientific Papers*, ICCAT, 2009, vol. 64, n° 4, pp. 1317-1336.

[108] Rajudeen, R., Expansion of *Lophius piscatorius* distribution in Iceland: Exploring ecological and economic viability for establishing sustenaible monkfish fisheries in northwestern Iceland. University of Akureyri. Master's thesis, 2013, 105 p.

[109] Brander, K., Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 2010, vol. 79, p. 389-402.

[110] Pierce, G. J., Allcock, L., Bruno, I., Bustamante, P., González, Á., Guerra, Á., Jereb, P., Lefkaditou, E., Malham, S., Moreno, A., Pereira, J., Piatkowski, U., Rasero, M., Sánchez, P., Begoña Santos, M., Santurtún, M., Seixas, S., Sobrino, I., Villanueva, R., The future of cephalopod populations, fisheries, culture and research in Europe. *ICES cooperative research report*, 2010, n° 303, pp. 1-175.

[111] Iglésias, S., Lorance, P., First record of *Pagellus bellottii* (Teleostei: Sparidae) in the Bay of Biscay, France. *Marine Biodiversity Records* [en ligne]. 2016, 9:16, pp. 1-4.

[112] De Casamajor, M.-N., Morandeau, G., Espèces inhabituelles capturées dans le sud du golfe de Gascogne. Synthèse 1997-2012. Rapport technique RBE/HGS/LRHAQ 13-002 [en ligne]. Anglet : Ifremer, 2013, 55 p.

[113] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux - LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[114] De Casamajor, M.-N., First record of *Parapristipoma octolineatum* (Haemulidae) on the French Atlantic coast. *Cybium*, 2016, vol. 40, n° 3, pp. 263-264.

[115] Gormley, K. S. G., Hull, A. D., Porter, J. S., Bell, M. C., Sanderson, W. G., Adaptative management international co-operation and planning for marine conservation hotspots in a changing climate, *Marine Policy*, 2015, vol. 53, pp. 54-66.

[116] Heenan, A., Pomeroy, R., Bell, J., Munday, P. L., Cheung, W., Logan, C., Brainard, R., Alfredi, Y. A., Aliño, P., Amada, N., David, L., Rivera-Guieb, R., Green, S., Jompa, J., Leonardo, T., Mamauag, S., Parker, B., Shackeroff, J., Yasin, Z., A climate-informed ecosystem approach to fisheries management, *Marine Policy*, 2015, vol. 57, pp. 182-192.

[117] Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D., Luczak, C., *Écosystèmes, Structure, Fonctionnement, Évolution*. Paris : Dunod, 2004, 549 p.

[118] Badjeck, M.-C., Allison, E. H., Halls, A. S., Dulvy, N. K., Impacts of climate variability and change on fishery-based livehoods. *Marine Policy*, 2010, vol. 34, pp. 375-383.

[119] Agreste, 2015. Recensement de la conchyliculture 2012. Agreste Chiffres et Données Agriculture n° 226, 67 p.

[120] Grizel, H., Héral, M., Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal du Conseil International de l'Exploration de la Mer*, 1991, vol. 47, n° 3, p. 399-403.

[121] Bierne, N., Borsa, P., Daguin, C., Jollivet, D., Viard, F., Bonhomme, F., David, P., Introgression patterns in the mosaic hybrid zone between *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*. *Molecular Ecology*, 2003, vol. 12, pp. 447-461.

[122] Auby, I., Maurer, D., Étude de la reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon. Rapport Technique DEL/AR/04-05, Arcachon : Ifremer, 2004, 203 p.

[123] Bernard, I., *Écologie de la reproduction de l'huître creuse, Crassostrea gigas, sur les côtes atlantiques françaises : vers une explication de la variabilité du captage*. Thèse de doctorat : Océanologie biologique et environnement marin. La Rochelle : Université de La Rochelle, 2011, 198 p.

[124] Maurer, D., Auby, I., Hanrio, E., Terrones, H., Rigouin, L., Meteigner, C., Rumebe, M., D'Amico, F, Tournaire, M.-P., Ganthy, F., Trut, G., Navarro, R., Simonnet, B., Mayer, N., Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon Année 2015. *Rapport Technique RST/ODE/LITTORAL/LER/AR/16.004, Arcachon : Ifremer*, 2016, 52 p.

[125] Pouvreau, S., Petton, S., Huber, M., Le Roy, V., Queau, I., Le Souchu, P., Alunno-Bruscia, M., Boudry, P., Palvadeau, H., Auby, I., Maurer, D., D'Amico, F., Passoni, S., Barbier, C., Tournaire, M.-P., Rigouin, L., Rumebe, M., Fleury, E., Bellec, G., Bouget, J.-F., Pepin, J.-F., Roque D'Orbcastel, E., Quemener, L., Repecaud, M., Mille, D., Geay, A., Bouquet, A., Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. *Rapport annuel 2015. R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2016-1*. http://archimer.ifremer.fr/doc/00334/44533/, 2016, 57 p.

[126] Rohfritsch, A., Bierne, N., Boudry, P., Heurtebise, S., Cornette, F., Lapègue, S., Population genomics shed light on the demographic and adaptive histories of European invasion in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Evolutionary Applications*, 2013, vol. 6, n° 7, p. 1064-1 078.

[127] Dégremont, L., Garcia, C., Allen, Standish, K. Jr., Genetic improvement for disease resistance in oysters: a review. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2015, vol. 131, pp. 226-241.

CHAPITRE N° 9
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET FORÊTS EN NOUVELLE-AQUITAINE : NOUVELLES FORÊTS ET NOUVELLES ATTENTES ?

[1] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[2] Delzon, S., Urli, M., Samalens, J.-C., Lamy, J.-B., Lischke, H., Sin, F., Zimmermann, N. E., Porté, A. J., Field evidence of colonisation by Holm Oak, at the northern margin of its distribution range, during the Anthropocene period. (ed Chen HY). *Plos one,* 2013, vol., 8 (11), e80443.

[3] Benest, F., Le chêne pubescent en Poitou-Charentes. État des lieux et dynamique depuis les années 1990. Rapport d'étude 2015 - IGN DIRSO.

[4] Huisman, J., Olff, H., Fresco, L. M. F., A hierarchical set of models for species response analysis. *Journal of Vegetation Science*, 1993, 4, pp. 37 – 46.

[5] Boudou-Aguirre, G., *Testing community turnover in the Nouvelle-Aquitaine region under recent climate change*. Report M2. 2017. Université de Toulouse et Université de Bordeaux.

[6] Benito-Garzón, M., Ha-Duong, M., Frascaria-Lacoste, N., Fernández-Manjarrés, J., Habitat restoration and climate change: dealing with climate variability, incomplete data and management decisions with tree translocations. *Restoration Ecology,* 2013, 21, pp. 530 – 536.

[7] Benito-Garzón, M., Leadley, P. W., Fernández-Manjarrés, J. F., Assessing global biome exposure to climate change through the Holocene - Anthropocene transition. *Global Ecology and Biogeography*, 2014, 23, pp. 235 – 244.

[8] Benito-Garzón, M., Fernandez-Manjarrés, J. F., Testing scenarios for Assisted Migration of Forest Trees in Europe. *New Forests*, 2015, 46, pp. 979 – 994.

[9] Williams, J. W., Jackson, S. T., Novel climates, no-analog communities and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5, pp. 475-482.

[10] Finsinger, W., Giesecke, T., Brewer, S., Leydet, M. Emergence patterns of novelty in European vegetation assemblages over the past 15 000 years. *Ecology Letters*, 2017, 20, pp. 336-346.

[11] Radeloff, V. C., Williams, J. W., Bateman, B. L., Burke, K. D., Carter, S. K., Childress, E. S., Cromwell, K. J., Gratton, C., Hasley, A. O., Kraemer, B. M., Latzka, A. W., Marin-Spiotta, E., Meine, C. D., Munoz, S. E., Neeson, T. M., Pidgeon, A. M., Rissman, A. R., Rivera, R. J., Szymanski, L. M., Usinowicz, J., The rise of novelty in ecosystems. *Ecological Applications*, 2015, 25 : pp. 2051-2068.

[12] Schwartz, M. W., Hellmann, J. J., McLachlan, J. M., Sax, D. F., Borevitz, J. O., Brennan, J., Camacho, A. E., Ceballos, G., Clark, J. R., Doremus, H., Early, R., Etterson, J. R., Fielder, D., Gill, J. L., Gonzalez, P., Green, N., Hannah, L., Jamieson, D. W., Javeline, D., Minteer, B. A., Odenbaugh, J., Polasky, S., Richardson, D. M., Root, T. L., Safford, H. D., Sala, O., Schneider, S. H., Thompson, A. R., Williams, J. W., Vellend, M., Vitt, P., Zellmer, S., Managed relocation: integrating the scientific, regulatory and ethical challenges. *Bioscience*, 2012, 62, pp. 732-742.

[13] Levesque, M., Riglinga, A., Bugmannb, H., Webera, P., Brang, P., Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, 197, pp. 1-12.

[14] Neuner, S., Beinhofer, B., Knoke, T., The optimal tree species composition for a private forest enterprise-applying the theory of portfolio selection. *Scandinavian Journal of Forest Science,* 2013, 28: pp. 38-48.

[15] Benesperi, R., Giuliani, C., Zanetti, S., Gennai, M., Mariotti Lippi, M., Guidi, T., Nascimbene, J., Foggi, B., Forest plant diversity is threatened by Robinia pseudoacacia (blacl locust). *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21, pp. 3555-3568.

[16] Belrose, V., Pauly, H., Nageleisen, L.-M., Breda, N., Conséquences visibles de l'été 2003 sur les forêts : des réactions immédiates contrastées, des incertitudes sur les conséquences à long terme. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2006, 11, pp. 24-27.

[17] DSF 2004 : La Lettre du DSF n° 30 – décembre 2004

[18] Sergent, A. S., Rozenberg, P., Bréda, N., Douglas-fir is vulnerable to exceptional and recurrent drought episodes and recovers less well on less fertile sites. *Annals of Forest Science*, 2014, 71, pp. 697-708.

[19] DSF 2012 : La Lettre du DSF n° 44 – juin.

[20] DSF 2016 : La Lettre du DSF n° 51.

[21] Maurel, M., Robin, C., Capron, G., Desprez-Loustau, M. L., Effects of root damage associated with Phytophthora cinnamomi on water relations, biomass accumulation, mineral nutrition and vulnerability to water stress of three oak species. *Forest Pathology*, 2001, 33, pp. 353-369.

[22] Maurel, M., Robina, C., Capdeviellea, X., Loustaub, D., Desprez-Loustaua, M.-L., Effects of variable root damage caused by *Phytophthora cinnamomi* on water relations of chestnuts saplings. *Annals of Forest Science*, 2001, 58, pp. 639-651.

[23] Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., Schwartz, M. D., Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology & Évolution, 2007, 22, pp. 357 – 365.

[24] Caignard, C., Kremer, A., Firmat, C., Nicolas, M., Venner, S., Delzon, S., Increasing spring temperatures favor oak seed production in temperate areas. *Scientific Reports*, 2017, 17 ; 7 (1) : 8 555.

[25] Fernández-Martínez, M., Belmonte, J., Espelta, J. M., Masting in oaks: Disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica*, 2012, 43, pp. 51 – 59.

[26] Pérez-Ramos, I. M., Padilla-Díaz, C. M., Koenig, W. D., Marañón, T., Environmental drivers of mast-seeding in Mediterranean oak species: does leaf habit matter? *Journal of Ecology*, 2015, 103, pp. 691 – 700.

[27] IGN (Institut Géographique National) 2017. La forêt plantée en France : état des lieux. La Feuille de l'Inventaire Forestier, 40, pp. 1-16.

[28] Timbal, J., Kremer, A., Le Goff, N., Nepveu, G. *Le chêne rouge d'Amérique*. Éditions de l'INRA, 1994, 564 p.

[29] Demené, J. M., Merzeau, D., Le robinier faux acacia. Historique et caractéristiques biologiques. *Forêt Entreprise*, 2007, 177, pp. 10-12.

[30] Courbet, F., Lagacherie, M., Marty, P., Ladier, J., Ripert, C., Riou-Nivert, P., Huard, F., Amandier, L., Paillassa. Le cèdre en France face au changement climatique. Bilan et recommandations. Publication du réseau mixte technologique, Adaptation des forêst au changement climatique, 2012 (RMT AFORCE), 32 p.

[31] Orazio, C., Bastien, J. C., France. In: *Non-Native Tree Species for European Forest: Experiences, Risks and Opportunities. COST ACTION Fp1403 NEXT Country Reports*, edited by Hubert Hasenauer, Anna Gazda, Monika Konnert, Katharina Lapin, G.M.J. (Fritz) Mohren, Heinrich Spiecker, Marcela van Loo, and Elisabeth Pötzelsberger, University of Natural Resources and Life Sciences, 2016, pp. 130 – 139.

[32] Arbez, M., Carnus, J. M., Kremer, A., *Forêts d'hier et de demain. Cinquante ans de recherches forestières en Aquitaine*. Presses Universitaires de Bordeaux, 2018, 300 p.

[33] Hulme, P. E., Nentwig, W., Pysek, P., Vila, M., How to deal with invasive species? A proposal for Europe. In: Atlas of biodiversity risk. Pensoft, Sofia, 2010, pp. 165-166.

[34] Rebbeck, J., Short, D. P. G., O'Neal, E. S., Davis, D. D., First report of Verticillium wilt caused by *Verticillium nonalfalfae* on tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) in Ohio. *Plant Disease*, 2013, vol. 97, n° 7.

[35] Lamarque, L. J., Delzon, S., Sloan, M. H., Lortie, C. J., Biogeographical contrasts to assess local and regional patterns of invasion: a case study with two reciprocally introduced exotic maple trees. *Ecography*, 2012, 35, pp. 803-810.

[36] Lamarque, L. J., Lortie, C. J., Porté, A. J., Delzon, S., Genetic differentiation and phenotypic plasticity in life-history traits between native and introduced populations of invasive maple trees. *Biological Invasions*, 2015, vol. 17, n° 4, pp. 1109-1122.

[37] Lamarque, L. J., Porté, A. J., Eymeric, C, Lasnier, J.-B., Lortie, C. J., Delzon, S., A test for pre-adapted phenotypic plasticity in the invasive tree *Acer negundo* L. *PLoS one*, 2013, 8, e74239.

[38] Porté, A. J., Lamarque, L. J., Lortie, C. J., Michalet, R., Delzon, S., Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity. *BMC Ecology,* 2011, 11, 28.

[39] Merceron, N. R., Lamarque, L. J., Delzon, S., Porté, A. J., Killing it softly: girdling as an efficient eco-friendly method to locally remove invasive *Acer negundo*. *Ecological Restoration*, 2016, 34, pp. 297-305.

[40] Porté, A. J., Erable negundo. In: Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques. Connaissances pratiques et expériences de gestion. Vol 2. E. Sarat, E. Mazaubert, A. Dutartre, N. Poulet et Y. Soubeyran (eds). Onema, collection Comprendre pour agir. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 2015, pp 74-79.

[41] Urli, M., Lamy, J.-B., Sin, F., Burlett, R., Delzon, S., Porté, A. J., The high vulnerability of Quercus robur to drought at its southern margin paves the way for Quercus ilex. *Plant ecology*, 2015, 216, pp. 177-187.

[42] Camenen, E., Porté, A. J., Benito Garzón, M., American trees shift their niches when invading Western Europe: evaluating invasion risks in a changing climate. *Ecology and Évolution*, 2016, 6, pp. 7263-7275.

[43] Lawrence, A., Adapting through practice: Silviculture, innovation and forest governance for the age of extreme uncertainty. Forest Policy and Economics, 2017, 79, pp. 50-60.

[44] Baron, F., Bellassen, V., Deheza, M., Forêt et atténuation du changement climatique au sein de politiques européennes : priorité au bois énergie, CDC Étude Climat n° 40, 2013, 44 p.

[45] Warringa, G., Schep, E., Afman, M, de Bruyn, S., Cost-effective share bioenergy 2030. How do other options compare to bioenergy? Delft, CE Delft, Publication code 16.7i34.106, 2016, 43 p.

[46] Vass, M. M., Elofsson, K., Is forest carbon sequestration at the expense of bioenergy and forest products cost-efficient in EU climate policy to 2050? *Journal of Forest Economics*, 2016, 24, pp. 82-105.

[47] Zubizarreta-Gerendiain, A., Pukkala, T., Peltola, H., Effects of wood harvesting and utilisation policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study. *Forest Policy and Economics,* 2016, 62, pp. 168-176.

[48] Nabuurs, G. J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Lindner, M., Nesbit, M, Ollikainen, M., Savaresi, A., A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets. From Science to Policy 2. European Forest Institute, 2015, 32 p.

[49] Wagner, S., Nocentini, S., Huth, F., Hoogstra-Klein, M., Forest management approaches for coping with the uncertainty of climate change: trade-offs in service provisioning and adaptability. *Ecology and Society*, 2014, 19, pp. 1-16.

[50] Cnpf/Credoc 2011. Observatoire de la forêt privée : résultats de l'enquête RESOFOP 2011. CNPF, Paris.

[51] Cnpf 2014. Le risque en forêt. Quels risques et quels comportements ? CNPF, Paris, Limoges, 141 p.

[52] Deuffic, P., *Acting as a forest owner in a climate of uncertainty*. In : IUFRO World Congress, 5-11th October 2014, Salt Lake City, USA, p. 8.

[53] Deuffic, P., Le souffle du changement ou le retour aux habitudes ? Le cas de la tempête de 2009. *Forêt Entreprise*, 2015, vol. 226, n°, pp. 39-43.

[54] Didolot, F., Le risque en forêt. Quels risques et quels comportements ? *Rapport final du projet Interreg IVB « FORRISK »*, CNPF, 2014, Limoges, 142 p.

[55] Van Gameren, V., Zaccai, E., Private forest owners facing climate change in Wallonia: Adaptive capacity and practices. *Environmental Science and Policy*, 2015, 52, pp. 51-60.

[56] Deuffic, P., et al., 2015. Quelles évolutions du comportement des propriétaires forestiers après la tempête Klaus de 2009. In : La tempête Klaus, 6 ans après, PNR Landes de Gascogne, Sabres, 24 janvier 2015.

[57] Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Schelhaas, M. J., Lasch, P., Eggers, J., van der Maaten-Theunissen, M., Suckow, F., Psomas, A., Poulter, B., Hanewinkel, M., Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 2014, vol. 146, n° 0, pp. 69-83.

[58] Madignier, M. L., Benoit, G., Roy, C., Gault, J., Magrum, M., de Galbert, M., Teyssier d'Orfeuil, J., Marchal, Y., Riou, Y., Chomienne, J.-P., Seillan, J.-M., Bour, B., Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique. Rapport du CGAAERn N° 14056, 2015, 83 p.

[59] Roux, A., Dhôte, J.-F., Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, INRA et IGN, 2017, 96 p. + 226 p. (annexes).

CHAPITRE N° 10
QUELLE AGRICULTURE DEMAIN EN NOUVELLE-AQUITAINE ?

[1] Agreste Memento. Nouvelle-Aquitaine. 2016.

[2] Chery, P., Lee, A., Commagnac, L., Thomas-Chery, A-L., Jalabert, S., Slak, M-F., Impact de l'artificialisation sur les ressources en sol et les milieux en France métropolitaine. Cybergeo : *European Journal of Geography*. Aménagement, Urbanisme, document 668, mis en ligne le 28 février 2014.

[3] Guillerme, A., *Les temps de l'eau : la cité, l'eau et les techniques*. Eds Champ Vallon (collection « Milieux »), 2000, 264 p.

[4] Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J., L'érosion hydrique des sols en France. *Rapport I.N.R.A. - I.F.E.N.*, 2002.

[5] Service de la statistique et de la prospective (SSP) (1) du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Recensement agricole 2010.

[6] Brisson, N., Levrault, F., *Livre vert du projet CLIMATOR : 2007-2010 : changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces.* ADEME Éditions, 2010, 334 p.

[7] Soubeyroux, J.-M., Vidal, J-P., Najac, J., Kitova, N., Blanchard, M., Dandin, P., Martin, E., Page, C., Habets, F., Projet ClimSec -Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol - Rapport final du projet. Actes des Journées AFPF, 2013, pp. 1–72.

[8] Chauveau, M., Chazot, S., Perrin, C., Bourgin, P.-Y., Sauquet, E., Vidal, J.-P., Rouchy, N., Martin, E., David, J., Norotte, T., Maugis, P., De Lacaze, X., Quels impacts des changements climatiques sur les eaux de surface en France à l'horizon 2070 ? *La Houille Blanche*, 2013, 4, pp. 5 – 15.

[9] Debaeke, P., Mailhol, J-C., Bergez, J-E., Adaptation agronomique au risque de sécheresse. In: Amigues, J.-P., P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas (éditeurs). Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, *Rapport, INRA (France)*, 2006 ; 380 p. + annexes.

[10] Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., Lana, M. A., Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015.

[11] Barzman, M., Lamichhane, J. R., Booij, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S. R. H., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Messean, A., Research and development priorities in the face of climate change and rapidly evolving pests. In: E. Lichtfouse ed. Sustainable agriculture reviews: vol. 17. Cham: springer international publishing, 2015, pp. 1-27.

[12] Calonnec, A., Burie, J. B., Langlais, M., Guyader, S., Saint-Jean, S., Sache, I., Tivoli, B., Impacts of plant growth and architecture on pathogen processes and their consequences for epidemic behaviour. *European Journal of Plant Pathology,* 2013, 135 (3), pp. 479-497.

[13] Hovmøller, M. S., Yahyaoui, A. H., Milus, E. A., Justesen, A. F., Rapid global spread of two aggressive strains of a wheat rust fungus. *Molecular Ecology,* 2008, 17: pp. 3 818 – 3 826.

[14] Lamichhane, J. R., Barzman, M., Booij, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S. R. H., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Messéan, A., Robust cropping systems to tackle pests under climate change. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35, pp. 443-59.

[15] Liao, J., Huang, H., Meusnier, I., Adreit, H., Ducasse, A., Bonnot, F., Pan, L., He, X., Kroj, T., Fournier, E., Tharreau, D., Gladieux, P., Morel, J.-B., Pathogen effectors and plant immunity determine specialization of the blast fungus to rice subspecies. *eLife 5*, 2016, e19377.

[16] Maurel, J., Blaye, G., Valladares, L., Roinel, E., Cochard, P., *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), la punaise diabolique en France, à Toulouse (Heteroptera ; Pentatomidae). *Carnets natures*, 2016, 3, pp. 21-25.

[17] Reineke, A., Thiéry, D., Grapevine insect pests and their natural enemies in the age of global warming. *Journal of Pest Science*, 2016, 89, pp. 313-28.

[18] Debaeke, P., Pellerin, S., Le Gouis, J., Bispo, A., Eglin, T., Trevisiol, A., Les défis de l'agriculture. L'adaptation au changement climatique. *Pour la science*, 2015, pp. 10 – 13.

[19] Guehl, J. M., Soussana, J. F., L'adaptation au changement climatique. *Pour la science*, 2015, pp. 6 – 9.

[20] Kattge, J., Knorr, W., Temperature acclimation in a biochemical model of photosynthesis: a reanalysis of data from 36 species, *Plant Cell and Environment,* 2007, 30, pp. 1 176 – 1 190.

[21] Zaka, S., Frak, E., Julier, B., Gastal, F., Louarn, G. Intraspecific variation in thermal acclimation of photosynthesis across a range of temperatures in a perennial crop. *AoB Plants*, 2016, 8, plw035.

[22] Mcausland, L., Vialet-Chabrand, S., Davey, P., Baker, N. R., Brendel, O., Lawson, T., Effects of kinetics of light-induced stomatal responses on photosynthesis and water-use efficiency. *New Phytologist,* 2016, 211, pp. 1 209 – 1 220.

[23] Gaston, A., Perrotte, J., Lerceteau-Köhler, E., Rousseau-Gueutin, M., Petit, A., Hernould, M., Rothan, C., Denoyes, B., PFRU, a single dominant locus regulates the balance between sexual and asexual plant reproduction in cultivated strawberry. Journal of Experimental Botany, 2013, vol. 64, pp. 1837-1848.

[24] Perrotte, J., Guédon, Y., Gaston, A., Denoyes, B., Identification of successive flowering phases highlights a new genetic control of the flowering pattern in strawberry. *Journal of Experimental Botany,* 09/24 2016, vol. 67, pp. 5643-5655.

[25] Renaudeau, D., Mandonnet, N., Tixier-Boichard, M., Noblet, J., Bidanel, J.-P., Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique, *INRA Productions animales*, 2004, vol. 17, pp. 93-108.

[26] CEAB. Stress thermique chez les ruminants, Centre d'agriculture biologique du Canada, Canada, 2008.

[27] Geraert, P. A., Métabolisme énergétique du poulet de chair en climat chaud, *INRA Productions animales,* 1991, vol. 4, pp. 257-267.

[28] Groupe Techna. Atténuer l'impact des fortes chaleurs et éviter le stress thermique en élevage porc.

[29] Morand Fehr, P., Doreau, M., Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur, *INRA Productions Animales,* 2001, vol. 14, pp. 15-27.

[30] Guy, G., Pingel, H., Baéza, E.,. Production de Canards, Éditions Quæ, 2013, France.

[31] Banga-Mboko, H., Bordas, A., Minvielle, F., Leroy, P. L., Réponse à la chaleur et à l'alimentation calcique séparée de poules pondeuses sélectionnées sur la consommation alimentaire résiduelle, *Annales de Médecine Vétérinaire,* 2003, 147, pp. 51-58.

[32] Meyer, C., Les variations saisonnières de la reproduction des bovins domestiques en zone tropicale- synthèse, Cirad, 2009, France

[33] Piton, I., Canicule et reproduction chez la vache laitière - Résultats à partir d'une enquête dans des élevages du Rhône, Ecole vétérinaire nationale de Lyon, 2004, France.

[34] Si Mohammed, H., Étude sur la reproduction des caprins de race locale, Université d'Oran, Algérie, 2011.

[35] Thioufe Thioune, M. F., Lutte contre le stress thermique chez le poulet de chair élevé dans les conditions estivales de la région périurbaine de Dakar (Sénégal) par une régulation de l'apport énergétique alimentaire, Université de Dakar, 2012, Sénégal.

[36] Ollat, N., Brisson, N., Denoyes, B., Garcia De Cortazar-Atauri, I., Goutouly, J.-P., Kleinhentz, M., Launay, M., Michalet, R., Pieri, P., Van Leeuven, C., Activités agricoles. In: Le Treut, H., Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique. Pessac : *Presses Universitaires de Bordeaux* : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[37] Boitaud, L., Dumot, V., Ferrari, G., Lurton, L., Constat et incidence du changement climatique dans la région de Cognac. In: Proceedings of the 33e Congrès Mondial de la Vigne et du Vin, Tbilissi, Georgie 2010, OIV ed.

[38] Garcia De Cortazar Atauri, I., Duchêne, E., Destrac-Irvine, A., Barbeau, G., De Rességuier, L., Lacombe, T., Kaye Parker, A., Saurin, N., Van Leeuven, C., Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions on the context of climate change. *Oeno-One*, 2017, 51, 2.

[39] Torregrosa, L., Bigard, A., Doligez, A, Lecourieux, D., Rienth, M., Luchaire, N., Pieri, P., Chatbanyong, R., Shahood, R., Farnos, M., Roux, C., Adiveze, A., Pillet, J., Sire, Y., Zumstein, E., Veyret, M., Le Cunff, L., Lecourieux, F., Saurin, N., Muller, B., Ojeda, H., Houel, C., Péros, J.-P., This, P., Pellegrino, A., Romieu, C., Developmental, molecular and genetic studies on the grapevine response to temperature open breeding strategies for adaptation to warming. *Oeno-One*, 2017, 51, 2.

[40] Lecourieux, F., Kappel, C., Pieri, P., Charon, J., Pillet, J., Renaud, C., Gomès, E., Delrot, S., Lecourieux, D., Dissecting the Biochemical and Transcriptomic Effects of a Locally Applied Heat Treatment on Developing Cabernet Sauvignon Grape Berries. *Frontiers in Plant Science,* 2017-January-31 2017, vol. 8.

[41] Guilpart, N., Metay, A., Gary, C., Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy,* 2014 ; 54, pp. 9-20.

[42] Edwards, E., Unwin, D., Kilmister, R., Treeby, M. T., Multi-seasonal effects of warming and elevated CO_2 on physiology, growth and production of mature, field grown Shiraz grapevines. *Oeno-One,* 2017 ; 51, 2.

[43] Garcia De Cortazar Atauri, I., Adaptation du modèle STICS à la vigne (Vitis vinifera L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 2006.

[44] Garcia De Cortazar Atauri, I., Caubel, J., Quenol, H., Bois, B., Chuine, I., Duchene, E., Le Roux, R., Parker, A. K., Van Leeuwen, C., Ollat, N., Assessment of future climatic conditions in French vineyards. Consequences for defining adaptation strategies. ClimWine2016 conference, Bordeaux 10-13 april 2016. Oral presentation.

[45] Van Leeuwen, C., Seguin, G., The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research,* 2006, vol. 17, pp. 1-10.

[46] Van Leeuwen, C., Darriet, P., The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics,* 2016, vol. 11, pp. 150-167.

[47] Berdeja, M., Hilbert, G., Dai, Z. W., Lafontaine, M., Stoll, M., Schultz, H. R., Delrot, S., Effect of water stress and rootstock genotype on Pinot Noir berry composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research,* 2014, vol. 20, pp. 409-421.

[48] Sadras, V.O., Moran, A. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research,* 2012, 18, pp. 5-22.

[49] Martínez-Lüscher, J., Sánchez-Díaz, M, Delrot, S., Aguirreolea, J., Pascual, I., Gomès, E. Ultraviolet-B alleviates the uncoupling effect of elevated CO_2 and increased temperature on grape berry (Vitis vinifera cv. Tempranillo) anthocyanin and sugar accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research,* 2016, 22, pp. 87-95.

[50] Martínez-Lüscher, J., Morales, F., Sánchez-Díaz, M., Delrot, S., Aguirreolea, J, Gomès, E., Pascual, I. Climate change conditions (elevated CO_2 and temperature) and UV-B radiation affect grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf carbon assimilation, altering fruit ripening rates. *Plant Science,* 2015, 236, pp. 168-176.

[51] Pons, A., Allamy, L., Schüttler, A., Rauhut, D., Thibon, C., Darriet, P. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? *Oeno-One,* 2017, vol. 57, n° 2.

[52] Ollat, N., Touzard, J.-M., Van Leeuwen, C. Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. *Journal of Wine Economics,* 2016, 11, pp. 139-149.

[53] Charlier, L. Climate change: perception and issues for the Bordeaux Wine Industry. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin,* 2014, (Special Laccave), pp. 9-10.

[54] Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno-One,* 2017, vol 51, n° 2.

[55] Dequin, S., Escudier, J.-L., Bely, M., Noble, J., Albertin, W., Masneuf-Pomarède, I., Marullo, P., Salmon, J.-M., Sablayrolles, J. M., How to adapt winemaking practices to modified grape composition under climate change conditions? *Oeno-One,* 2017.

[56] Duchêne, E., Coupel-Ledru, A., Lebon, E., Marguerit, E., Ollat, N., Simonneau, T. Grapevine genetics and climate change. In: Ollat, N., Garcia De Cortazar Atauri, I., Touzard, J. M., Proceedings of ClimWine2016, 2017.

[57] Simonneau, T., Lebon, E., Coupel-Ledru, A., Marguerit, E., Rossdeutsch, L., Ollat, N. Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status? *Oeno-One,* 2017, vol 51, n° 2.

[58] Destrac, A., VITADAPT. In: N. Ollat, I. Garcia De Cortazar Atauri And J. M. Touzard. Proceedings of ClimWine2016, 2017.

[59] Ollat, N., Bordenave, L., Tandonnet, J. P., Boursiquot, J. M., Marguerit, E., Grapevine rootstocks: Origins and perspectives. *Acta Horticulturae,* 2016 ; 1136, pp. 11-22.

[60] Pieri, P., Lebon, E., Changement climatique et culture de la vigne : l'essentiel des impacts. In: ADEME ed. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. *Le Livre Vert du projet CLIMATOR* (2007-2010), 2010, pp. 213-223.

[61] De Resseguier, L., Le Roux, R., Quenol, H., Van Leeuwen, C., Étude de la variabilité de la température à l'échelle locale à l'aide d'un réseau innovant de capteurs automatiques. In: *C.R. de la 13e Journée technique du CIVB,* Bordeaux 2017, pp. 16-23.

[62] Boyer, J., Touzard, J. M., Adaptation strategies to climate change in the French wine industry: the role of networks connections wine producers and researchers. In: N. Ollat, I. Garcia De Cortazar Atauri And J.M. Touzard. Proceedings of ClimWine2016, 2017.

[63] Fuentes Espinoza, A., Pérès, S., Pons, A., Tempère, S., Darriet, P., Giraud-Héraud, É., Réchauffement climatique et acceptabilité des vins par les consommateurs, *Revue des Œnologues,* 2016, 161, pp. 56-58.

[64] Oracle Poitou-Charentes. État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Aquitaine. Edition 2014.

[65] Caubel, J., García De Cortázar-Atauri, I., Vivant, A. C., Launay, M., De Noblet-Ducoudré, N., Assessing future meteorological stresses for grain maize in France. *Agricultural Systems,* 2017, vol. 159, pp. 237-247.

[66] ORACLE Aquitaine. État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Aquitaine. 2015.

[67] Aquitaine - Agreste Memento 2015.

[68] Agreste Aquitaine. Analyses et résultats. N° 70 – mars 2013.

[69] Agreste Poitou-Charentes. Irrigation. N° 4 – mars 2013.

[70] Launay, M., Caubel, J., Bourgeois, G., Huard, F., García De Cortázar-Atauri, I., Bancal, M.-O., Brisson, N., Climatic indicators for crop infection risk: Application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 2014, 197, pp. 147 – 158.

[71] Durand, J.-L., Bernard, F., Lardy, R., Graux, I., Climate change and grassland: the main impacts. In: ADEME ed. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. *Le Livre Vert du projet CLIMATOR* (2007-2010), 2010, pp. 181-190.

[72] Poirier, M., Durand, J.-L, Volaire, F., Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Global Change Biology,* 2012, 18, pp. 3632-3646.

[73] Litrico, I., Barkaoui, K., Barradas, A., Barre, P., Beguier, V., Birouste, M., Bristiel, P., Crespo, D., Deléglise, C., Durand, J.-L., Fernandez, L., Gastal, F., Ghesquière, M., Godinho, B., Hernandez, P., Julier, B., Louarn, G., Meisser, M., Mosimann, E., Picon-Cochard, C., Roumet, C., Volaire, F., Utiliser les mélanges fourragers pour s'adapter au changement climatique : opportunités et défis. *Fourrages,* 2016, 225, pp. 11-20.

[74] Volaire, F., Ahmed, L. Q., Barre, P., Bourgoin, T., Durand, J.-L., Escobar Gutiérrerz, A., Fakiri, M., Ghesauière, M., Julier, B., Kallida, R., Louarn, G., Morvan-Bertrand, A., Picon-Cochard, C., Prud'homme, M. P., Shaimi, N., Zaka, S., Zhouri, S., Zwicke, M., Quelle est la variabilité intra-et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique ? *Fourrages,* 2016, 225, pp. 1-19.

[75] Zaka, S., Ahmed, L. Q., Gastal, F., Julier, B., Louarn, G., How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agricultural and Forest Meteorology,* 2017, 232, pp. 433-442.

[76] Ahmed, L. Q., Durand, J.-L., Escobar-Gutierrez, A. J., Températures extrêmes et variabilité de la germination. In: Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), INRA, 2015, 223 p.

[77] Deque, M., Le changement climatique en France et en Europe atlantique : les domaines méditerranéens et tempérés. In: Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), INRA, 2015, 223.

[78] CITEPA. Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto, 2015, 468 p.

[79] Pellerin, S., Bamiere, L., Angers, D., Beline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Henault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., Quels leviers techniques pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole ? *Innovations Agronomiques,* 2014, 37, pp. 1-10.

[80] Jeuffroy, M. H., Baranger, E., Carrouee, B., De Chezelles, E., Gosme, M., Hénault, C., Schneider, A., Cellier, P., Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas. *Biogeosciences,* 2013, 10, pp. 1787-1797.

[81] Voisin, A. S., Gueguen, J., Huyghe, C., Jeuffroy, M.-H., Magrini, M.-B., Meynard, J.-M., Mougel, C., Pellerin, S., Pelzer, E., Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development,* 2014, 34, pp. 361-380.

[82] Meersmans, J., Martin, M. P., Lacarce, E., De Baets, S., Jolivet, C., Boulonne, L., Lehmann, S., Philippe, N., Saby, A., Bispo, A., Arrouays, D., A high resolution map of French soil organic carbon. *Agronomy for Sustainable Development,* 2012, 32, pp. 841-851.

[83] Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J. C., Jayet, P. A., Soussana, J. F., Stengel, P., Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective, INRA. 2002.

[84] Autret, B., Mary, B, Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., Grandeau, G., Beaudoin, N., Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture Ecosystems & Environment,* 2016, 232, pp. 150-164.

[85] Justes, E., Beaudoin, N, Bertuzzi, P., Charles, R., Constantin, J., Dürr, C., Joannon, A., Le Bas, C., Mary, B., Mignolet, C., Montfort, F., Ruiz, L., Sarthou, J. P., Souchère, V., Tournebize, J., Savini, I., Réchauchère, O., Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 2012, 60 p.

[86] Jose, S., Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems,* 2009, 76, pp. 1-10.

[87] Follain, S., Walter, C., Legout, A., Lemercier, B., Dutin, G., Induced effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. *Geoderma,* 2007, 142, pp. 80-95.

[88] Walter, C., Merot, P., Layer, B., Dutin, G., The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hillslopes. *Soil Use and Management,* 2003, 19, pp. 201-207.

CHAPITRE N° 11
TERRITOIRES URBAINS ET ENJEUX CLIMATIQUES

[1] Theys, J., Vidalenc, E., *Repenser les villes dans la société post-carbone,* Paris, Rapport Ministère de l'Ecologie/Ademe, 2013, 305 p.

[2] Betsill, M., Mitigating climate change in US cities: opportunities and obstacles. *Local Environment*, 2001, 6 (4): pp. 393-406.

[3] Bulkeley, H., Schroeder, H., Janda, K., Zhao, J., Armstrong, A., Chu, S. Y., Ghosh, S., *Cities and Climate Change: The role of institutions, governance and urban planning*, Report prepared for the World Bank Urban Symposium on Climate Change, 2009, 92 p.

[4] ARUP, *Climate Action in Megacities : C40 Cities Baseline and Opportunities*, Report for C40 Climate Leadership Group, June 2011, 110 p.

[5] Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Hammer, S. A., Mehrotra, S., *Climate Change and Cities. First assessment report of the urban climate change research network* Cambridge (UK), Cambridge Univeristy Press, 2011, 286 p.

[6] De Parcevaux, S., *Dictionnaire encyclopedique d'agrometeorologie : francais-anglais-espagnol*. Paris, FRA : INRA, 1990, 324 p.

[7] INSEE. *5 844 177 habitants en Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes au 1er janvier 2013*. Insee Analyses Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes, N° 1, 2016, 4 p.

[8] DREAL Aquitaine, Service de Prévention des Risques. *Mise en œuvre de la directive inondation. Rapport d'accompagnement des cartographies du TRI de Bordeaux*. DREAL Aquitaine, décembre 2014.

[9] Dieng, H. B., Cazenave, A., Meyssignac, B., Ablain, M., New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach. *Geophysical Research Letters.*, 44, 2017.

[10] De Conto, R. M., Pollard, D., Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 31 mars 2016, Vo 531.

[11] Rérat, P., Choix résidentiel et gentrification dans une ville moyenne : profils, trajectoires et motivations des habitants des nouveaux logements à Neuchâtel (Suisse). *Cyvergeo : European Journal of Geography*, 2012, n° 579.

[12] A'Urba, *Rapport Grenelle des mobilités*, Agence d'Urbanisme de Bordeaux, 2012.

[13] Levy, J., *Réinventer la France. Trente cartes pour une nouvelle géographie*, Fayard, 2013, 245 p.

[14] DREAL Limousin, "Urbanisation : le paradoxe limousin", *Développement durable en Limousin, les synthèses*, n° 5 – juillet 2010, 4p.

[15] Dellier, J., Garnier, E., Richard, F., *Attractivité et nouvelles bases économiques des territoires ruraux Limousins*, 2013, 159 p.

[16] Vrain, P., Ville durable et transports : automobile, environnement et comportements individuels. *Innovations,* 2003/2, n° 18, pp. 91-112.

[17] Ministere du Logement et de L'habitat Durable, *Guide de la modernisation du contenu du PLU*, Paris, 2017.

[18] Newman, P. G., Kentworthy, J. R., *Cities and Automobile Dependence : An International Sourcebook,* Brookfield (VT), Gower Publishing, 1989, 388 p.

[19] Newman, P. G., Kentworthy, J. R., *Sustainability and Cities : Overcoming Automobile Dependence*, Island Press, Washington (DC), 1999, 464 p.

[20] Lefevre, B., Giraud, P.-N., La réduction des consommations énergétiques dans les transports urbains exige une politique foncière active. *Les Annales de la recherche urbaine,* n° 103, septembre 2007.

[21] Guerra, E., Cervero, R., Cost of a Ride: The Effects of Densities on Fixed-Guideway Transit Ridership and Costs. *Journal of the American Planning Association,* 2011, 77 (3), pp. 267-290.

[22] Camagni, R., Gibelli, M. C., Rigamonti, P., Urban mobility and urban form : the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 2002, N° 40, pp. 199-216.

[23] Barla, P., Miranda-Moreno, L. F., Savard-Duquet, N., Formes urbaines et mobilités, que dit la recherche. Research paper, 2010.

[24] Bertaud, A., The spatial organization of cities: Deliberate outcome or unforeseen consequence? Banque Mondiale, 2004, pp. 1-27.

[25] Laigle, L., Les villes durables en Europe : conceptions, enjeux et mise en œuvre. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 2008/4, n° 52, pp. 7-14.

[26] Cour des comptes, *Rapport public annuel 2015*, Tome I *Les transports publics urbains de voyageurs : un nouvel équilibre à rechercher*, La Documentation française, février 2015, 571 p.

[27] Cour des comptes, *Rapport public annuel 2017*, *Le stationnement urbain : un chaînon manquant dans les politiques de mobilité*, février 2017.

[28] Groupement des autorites responsables de transport, *La décentralisation du stationnement payant en voirie*, juin 2014.

[29] Pouyanne, G., Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. Méthodologie et premiers résultats. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, N° 45/2004, pp. 49 – 82.

[30] Mancebo, F., La ville durable est-elle soluble dans le changement climatique ? *Environnement urbain/ Urban environment*, V. 5, 2011, pp. a-1-9.

[31] A'Urba*, Charte des mobilités de l'agglomération bordelaise*, Agence d'urbanisme de Bordeaux Métropole, janvier 2015.

[32] Desjardins, X., Pour l'atténuation du changement climatique, quelle est la contribution possible de l'aménagement du territoire ? Cybergeo : *European Journal of Geography.* Aménagement, Urbanisme, 2011, document 523.

[33] Massot, M.-H., Orfeuil, J.-P., La contrainte énergétique doit-elle réguler la ville ou les véhicules ? Mobilités urbaines et réalisme écologique. *Les annales de la Recherche Urbaine.* 2007, vol.103, n° 1, pp. 18-29.

[34] Chamussy, H., Guerin, J.-P., Le Berre, M., Uvietta, P., La dynamique de systèmes : une méthode de modélisation des unités spatiales. *Espace géographique*, 1984, tome XIII, n° 2, pp. 81-93.

[35] Zerguini, S., Seppeliades, V., *Projet Strategie – MUST-B : Simulation et urbanisme pour l'élaboration des scénarios de planification et de développement d'un territoire urbain.* Rencontres du CVT ATHENA : La simulation informatique, outil d'aide à la décision, 6 octobre, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Paris, 2015, 8 p.

[36] Zerguini, S., Gaussier, N., *De nouveaux enjeux pour les modèles LUTI : L'exemple du modèle Must-B et son application sur l'agglomération bordelaise.* Colloque de l'ASDRLF, 7 au 9 juillet 2016, Université de Gatineau, Canada, 24 p.

[37] Haetjens, J., *La ville frugale, un modèle pour préparer l'après-pétrole,* Limoges, Flyp Éditions, 2011.

[38] Orfeuil, J.-P., Soleyret, D., Quelles intéractions entre les marchés de la mobilité à courte et longue distance ? *Recherche-Transports-Sécurité*, 2002, 76, pp. 208-221.

[39] Agence Régionale d'Évaluation Environnement et Climat (AREC). Profil énergie et gaz à effet de serre de la Région Nouvelle-Aquitaine. 2017, 43 p.

[40] Murard, F., Développer la marche en ville : pourquoi, comment ? dossier *Techni.cités*, 2012, n° 227.

[41] A'Urba, Multimodalité et marchabilité. Rapport de l'Agence d'Urbanisme de Bordeaux pour la Ville de Mérignac, 2010, 71p.

[42] Lavadinho, S., *Le renouveau de la marche urbaine : Terrains, acteurs et politiques*. Thèse de Géographie. Ecole normale supérieure de Lyon, 2011, 681 p.

[43] La Branche, S., La gouvernance climatique face à la mobilité quotidienne, le cas lyonnais. *Environnement urbain/Urban environment,* 2011, V. 5, pp. a10-23.

[44] Paterson, M., *Automobile politics: ecology and cultural political economy*, Cambridge UK, Cambridge University Press, 2007, 271 p.

[45] Charbonneau, B., *L'Hommauto*, Paris, Denoël, 2003 (1967), 141p.

[46] Pascal, M., De Crouy, C. P., Corso, M., Medina, S., Wagner, V., Goria, S., Beaudeau, P., Bentayeb, M., Le Tertre, A., Ung, A., Chatignoux, E., Blanchard, M., Cochet, A., Pascal, L., Tillier, C., Host, S., *Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique*. Saint-Maurice, rapport de Santé publique France, 2016. 158 p.

[47] Viviere, M., *Représentations sociales de la densité dans l'habitat : vers une faubourisation métropolitaine. Fabrication, appropriation, territorialisation*, thèse en sociologie, université de Bordeaux, 2015, 399 p.

[48] Ministère du Logement et de L'habitat Durable, *Label ÉcoQuartier : Une nouvelle étape pour l'avenir durable de nos territoires,* Paris, 2016, 48 p.

[49] Tozzi, P., Greffier, L., Quartiers durables, participation des habitants et action socioculturelle : l'implication participative de centres sociaux dans les opérations d'écoquartiers français. *Développement durable et territoires* 2015, Vol. 6, n° 2.

[50] Burton, E., The Compact City and Social Justice. Communication à la Housing Studies Association Spring Conference – Housing, Environment and Sustainability, University of York, 18/19 April 2001.

[51] Mancebo, F., Combining Sustainability and Social Justice in the Paris Metropolitan Region. In : Isenhour C., McDonough G., Checker M. eds. *Sustainability in the Global City: Myth and Practice*, Cambridge University Press, Series New Directions in Sustainability, 2015, pp. 263-283

[52] Olander, S., Johansson, R., Niklasson, B., Aspects of Stakeholder Engagement in the Property Development process. In: *Proceedings of 4th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation*, Atkin, B. et Borgbrant, J. ed., *Research Report*, 2007, n° 18, pp. 141-150, Lund University, Sweden.

[53] Smith, N., New Globalism, New Urbanism: Gentrification as Global Urban Strategy. *Antipode*, 2002, vol 34,3, pp. 427-450.

[54] Chaumel, M., La Branche, S., Inégalités écologiques : vers quelle définition ? *Espace populations sociétés*, 2008/1, pp. 101-110.

[55] Laurent, E., Mesurer et réduire les inégalités environnementales en France. In: Larrère, C. (dir.) *Les inégalités environnementales*, PUF, Paris, 2017, pp. 29-52.

[56] PAVE, *Perception et usages du confort, Enquête auprès des clients IGC*, rapport pour Saint-Gobain recherche, laboratoire Profession Architecture Ville et Environnement (PAVE), Centre Emile Durkheim – UMR 5116, 2017.

[57] ADEME Ile-de-France. *Étude des impacts socio-économiques de l'adaptation au changement climatique,* rapport d'étude, octobre 2012.

[58] Emelianoff, C., La fabrique territoriale des inégalités environnementales. In: Larrere, C. *Les inégalités environnementales*, PUF, Paris, 2017, pp. 73-97.

[59] Bourdeau-Lepage, L., Nature(s) en ville. *Métropolitiques,* 21 février 2013.

[60] Bourdeau-Lepage, L., Langlois, W., Sable, T., La Nature en ville. Espaces verts et bien-être. Centre de recherche en géographie et aménagement, Lyon : université Jean Moulin Lyon-3, 2012.

[61] André, C., Notre cerveau a besoin de nature. *Cerveau & Psycho*, n° 54, novembre-décembre 2012, pp. 12-13.

[62] Bevort, H., Rousseau, A., La Banlieue, entre rêve américain et mythe politique français. Dossier « Tous périurbains ! », *Esprit* n° 393, 2013, pp. 83-97.

[63] Baron-Yelles, N., *Paysages, ressources écologiques et urbanisation touristique sur le littoral de l'Algarve,* thèse d'habilitation à diriger des recherches en géographie, université de Nantes, 2005.

[64] Belmeziti, A., Cherqui, F., Tourne, A., Granger, D., Werey, C., Le Gauffre, P., Chocat, B., Transitioning to sustainable urban water management systems: how to define expected service functions? *Civil Engineering and Environmental Systems*, June 2015, pp. 1- 19.

[65] Theys, J., *Quand les inégalités sociales et inégalités écologiques se cumulent. L'exemple du « SELA »*, Note du CPVS n° 13, MELT-DRAST, Paris, 2000.

[66] IEA/UNDP, *Policy Pathways Modernising Building Energy Codes to Secure our Global Energy Future*. Joint publication of International Energy Agency (IEA) and United Nations Development Programme (UNDP), 2013, 70 p.

[67] European Commission, "Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union", Report EUR 27 665 EN, 2016.

[68] European Commission, "Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises", Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. COM (2012) 433.

[69] European Commission, "Energy Union Package, A Framework Strategy for Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy, European Energy Security Strategy", Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, 2015.

[70] Copenhagen Economics. *Multiple benefits of investing in energy efficient renovation of buildings: Impact on Public Finances*, Report commissioned by Renovate Europe, 2012.

[71] Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer en charge des relations internationales sur le climat, *Chiffres clés de l'énergie*, 2016, Paris, février 2017, 70 p.

[72] Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer en charge des relations internationales sur le climat, *Chiffres clés de l'environnement*, 2016, Paris, février 2017, 71 p.

[73] Commissariat Général au Développement Durable. *L'empreinte carbone.* Document de travail n° 27, Service de l'observation et des statistiques, novembre 2016.

[74] Richard, E., *L'action publique territoriale à l'épreuve de l'adaptation aux changements climatiques. Un nouveau référentiel pour penser l'aménagement du territoire ?* Thèse de Doctorat en Aménagement de l'espace. Université de Tours François-Rabelais, 2013, 520 p.

[75] Richet, P., *Qualité de l'air et changement climatique : un même défi, une même urgence,* Rapport au premier ministre. La documentation française, Collection des rapports officiels. Paris, 2006, 143 p.

[76] CGET - Commissariat General à l'Égalité des Territoires. *L'adaptation des territoires au changement climatique,* 2015*,* 212 p.

[77] Richard, É., *Quels modèles urbains pour demain ? Les villes moyennes à l'épreuve des changements climatiques*. Thèse de Doctorat en Géographie. Université de Poitiers, 2016, 356 p.

[78] Salvestroni, P., *La place de l'adaptation dans les politiques environnementales des collectivités locales. Quelles réactions face à l'urgence du changement climatique ?* Mémoire de Master 2 en Géographie, Pau, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2012, 65 p.

[79] Rebotier, J., Enjeux et défis des politiques locales d'adaptation au changement climatique en Aquitaine. *Geographicalia*, 2013 ; vol. 63-64, pp. 157-176.

[80] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique.* Pessac. Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[81] Bassett, T., Fogelman, C., Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum*, 2013 ; n° 48, pp. 42-53.

[82] Magnan, A., L'adaptation, toile de fond du développement durable, *IDDRI* Synthèse n° 8, 2008.

[83] O'brien, K., Global environmental change II: From adaptation to deliberate transformation. *Progress in Human Geography*, 2012 ; vol. 36**,** n° 5, pp. 667-676.

[84] Patt, A., Should adaptation be a distinctive field of science ? *Climate and development*, 2013 ; vol. 5, n° 3, pp. 187-188.

[85] Allemand, R., Le schéma régional air climat énergie : nouvel instrument de planification. *Droit et gestion des collectivités territoriales*, (Annuaire du Grale), éditions du Moniteur, Paris, 2013, pp. 169-182.

[86] Poupeau, F.-M., Quand l'État territorialise la politique énergétique. L'expérience des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie. *Politiques et management public*. 2013, Vol 30/4.

[87] Poupeau, F.-M., Piloter la transition énergétique par les démarches stratégiques : usine à gaz ou atout pour l'action publique ? Séminaire : Gouvernance locale de la transition énergétique. Paris, septembre 2015.

[88] Godinot, S., Les plans climat énergie territoriaux : voies d'appropriation du facteur 4 par les collectivités et les acteurs locaux ? *Développement durable et territoires*. 2011, Vol. 2, n° 1, p. 1-19.

CHAPITRE N° 12
MODIFICATIONS PHYSIQUES DU LITTORAL

[1] Breilh, J.-F., Chaumillon, E., Bertin, X., Gravelle, M., Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France). *Natural Hazards and Earth System Sciences Journal,* 2013, 13, pp. 1 595 – 1 612.

[2] Allen, G. P., Posamentier, H. W., Sequence stratigraphy and facies model of an incised-valley fill: the Gironde Estuary, France: *Journal of Sedimentary Petrology*, 1993 63, pp. 378 – 391.

[3] Weber, N., Chaumillon, E., Tesson, M., Garland, T., Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: The paleo-Charente River, France. *Marine Geology*, 2004, 207, pp. 17-38.

[4] Chaumillon, E., Weber, N., Spatial variability of modern incised valleys on the French Atlantic coast: Comparison between the Charente (Pertuis d'Antioche) and the Lay-Sèvre (Pertuis Breton) incised-valleys. In: SEPM Special publication, 85, Incised Valleys in Time and Space, edited by: Robert W. Dalrymple, Dale A. Leckie, and Roderick W. Tillman. 2006, pp. 57-85.

[5] Jammes, S., Lavier, L., Manatschal, G., Extreme crustal thinning in the Bay of Biscay and the Western Pyrenees: From observations to modeling, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2010, 11, Q10016.

[6] Niquil, N., Chaumillon, E., Johnson, G. A., Bertin, X., Grami, B., David, V., Bacher, C., Asmus, H., Baird, D., Asmas, R., The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: comparison across estuarine ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, 108, pp. 132-143.

[7] Aubié, S., Mallet, C., Favennec, J., Caractérisation de l'aléa érosion (2020-2040) de la Côte Aquitaine dans le cadre de l'étude stratégique de gestion du trait de côte. Observatoire de la Côte Aquitaine, *rapport BRGM/RP-59095-FR*, 2011, 97 p.

[8] Bonneton, P., Abadie, S., Castelle, B., Favennec, J., Mallet, C., Sottolichio, A., Modification du littoral. In: Le Treut, H., Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique. Pessac : *Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions*, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[9] Cazenave, A., Dieng, H. B., Meyssignac, B., Von Schuckmann, K., Decharme, B., Berthier, E., The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 2014, 4 (5), pp. 358-361

[10] GIEC - IPCC, 2013 : Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., Unnikrishnan, A. S., Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., USA, 2013.

[11] Bamber, J. L., Aspinall, W. P., An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets. *Nature Climate Change*, 2013, 3 (4), pp. 424-427.

[12] Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., Tebaldi, C., Probabilistic 21st and 22nd century sea level projections at a global network of tide gauge sites. *Earth's Future*, 2014, 2 (8), pp. 383-406.

[13] Castelle, B., Dodet, G., Masselink, G., Scott, T., A new climate index controlling winter wave activity along the Atlantic coast of Europe: The West Europe Pressure Anomaly, *Geophysical Research Letters*, 2017, 44, pp. 1 – 9.

[14] Bacon, S., Carter, D. J. T., A connection between mean wave height and atmospheric pressure gradient in the north Atlantic. *International Journal of Climatology,* 1993, 13 (4), pp. 423-436.

[15] Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R., Wave climate variability in the north-east atlantic ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 2010, 31 (3-4), pp. 120-131.

[16] Bertin, X., Prouteau, E., Letetrel, C., A significant increase in wave height in the North Atlantic Ocean over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 2013, 106, 337, pp. 77 – 83.

[17] Le Cozannet, G., Lecacheux, S., Delvallee, E., Desramaut, N., Oliveros, C., Pedreros, R., Teleconnection pattern influence on sea-wave climate in the Bay of Biscay. *Journal of Climate*, 2011, 24 (3), pp. 641-652.

[18] Shimura, T., Mori, N., Mase, H., Ocean Waves and Teleconnection Patterns in the Northern Hemisphere. *Journal of Climate*, 2013, 26 (21), pp. 8654-8670.

[19] Castelle, B., Bujan, S., Ferreira, S., Dodet, G., Foredune morphological changes and beach recovery from the extreme 2013/2014 winter at a high-energy sandy coast. *Marine Geology*, 2017, 385, pp. 41-55.

[20] Hemer, M. A., Fan, Y., Mori, N., Semedo, A., Wang, X. L., Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble. *Nature Climate Change*, 20, 3, pp. 471-476.

[21] Charles, E., Idier, D., Delecluse, P., Deque, M., Le Cozannet, G., Claimte change impact on waves in the Bay of Biscay, France. *Ocean Dynamics*, 2012, 62, pp. 831-848.

[22] Young, I. R., Zieger, S., Babanin, A. V., Global trends in wind speed and wave height. *Science*. 201, 332, pp. 451-455.

[23] Paris, F., Lecacheux, S., Idier, D., Charles, E., Assessing wave climate trends in the Bay of Biscay through an intercomparison of wave hindcasts and reanlayses. *Ocean Dynamics*, 2014, 64 (9): pp. 1247-1267.

[24] Marcos, M., Chust, G., Jordà, G., Caballero, A., Effect of sea level extremes on the western Basque coast during the 21st century. *Climate Research*, 2012, 51 (3), 237.

[25] Zappa, G., Shaffrey, L. C., Hodges, K. I., Sansom, P. G., Stephenson, D. B., A multimodel assessment of future projections of North Atlantic and European extratropical cyclones in the CMIP5 climate models. *Journal of Climate*, 2013, 26, pp. 5846-5862.

[26] Le Cann, B., Barotropic tidal dynamics of the Bay of Biscay shelf: observations, numerical modelling and physical interpretation. *Continental Shelf Research*, 1990, 10 (8), pp. 723–758.

[27] Toublanc, F., Brenon, I., Coulombier, T., Le Moine, O., Fortnightly tidal asymmetry inversions and perspectives on sediment dynamics in a macrotidal estuary (Charente, France). *Continental Shelf Research*, 2015, 94, pp. 42-54.

[28] Bonneton, P., Bonneton, N., Parisot, J.-P., Castelle, B., Tidal bore dynamics in funnel-shaped estuaries. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 2015, 120, pp. 923-941.

[29] Salles, P., Sottolichio, A., Bretel, P., Bujan, S., Pedreros, R., Tidal distortion in the Arcachon Basin, *14th International Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS)*, Liverpool, U. K. 2008.

[30] Ross, L., Sottolichio, A., Subtidal variability of sea level in a macrotidal and convergent estuary. *Continental Shelf Research*, 2016, 131, pp. 28-41.

[31] Le Hir, P., Roberts, W., Cazaillet, O., Christie, M., Bassoullet, P., Bacher, C., Characterization of intertidal flat hydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 2000, 20, pp. 1433-1459.

[32] Bertin, X., Chaumillon, E., Sottolichio, A., Pedreros, R., Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: The Marennes-Oléron Bay and Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research*, 2005, 25, pp. 1115-1131.

[33] Mallet, C., Howa, H., Garlan, T., Sottolichio, A., Le Hir, P., Residual transport model in correlation with sedimentary dynamics over an elongate tidal sandbar in the Gironde estuary. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70 (5), pp. 1005-1016.

[34] Idier, D., Paris, F., Le Cozannet, G., Boulahya, F., Dumas, F. Sea-level rise impacts on the tides of the European Shelf. *Continental Shelf Research*, 2017, 137, pp. 156-171.

[35] Bertin, X., Bruneau, N., Breilh, J.-F., Fortunato, A. B., Karpytchev, M., Importance of wave age and resonance in storm surges: the case Xynthia, Bay of Biscay. *Ocean Modelling*, 2012, 42, pp. 16 – 30.

[36] Bertin, X., Li, K, Roland, A., Bidlot, J.-R., The contribution of short waves on storm surges: two recent examples in the central part of the bay of Biscay. *Continental Shelf Research,* 2015, 96, pp. 1-15.

[37] Arnaud, G., Bertin, X., Contribution du setup induite par les vagues dans la surcote associée à la tempête Klauss. *XIIIe Journées Nationales de Génie Côtier Génie Civil*. 2014, Dunkerque, Juillet.

[38] Aelbrecht, D., Benoit, M., Allilaire, J., Renforcement de la protection de la centrale du Blayais contre l'inondation : apports conjoints des modélisations numérique et physique. Colloques *SHF « Qeuls modèles physiques pour le xxie sicèle »*. 2003, Lyon, Octobre.

[39] Etcheber, H., Coupry, B., Coynel, A., Sauquet, E., Baron, J., Bernard, C., Cuende, F. X., Leurent, T., 2013. Disponibilité des eaux continentales de surface, In: Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique*. Pessac : *Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions*, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[40] Kirwan, M. L., Guntenspergen, G. R., D'alpaos, A., Morris, J. T., Mudd, S. M., Temmermann, S., Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. *Georphysical Reseach Letters*, 2010, vol. 37, L23401.

[41] Moderan, J., David, V., Bouvais, P., Richard, P., Fichet, D., Organic matter exploitation in a highly turbid environment: planktonic food web in the Charente estuary, France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* 2012, 98, pp. 126-137.

[42] Poirier, C., Poitevin, C., Chaumillon, E., Comparison of estuarine sediment record with modelled rates of sediment supply from a western European catchment since 1500. *Comptes rendus géosciences*, 2016, 348 (7), pp. 479-488.

[43] Schäfer, J., Blanc, G., Lapaquellerie, Y., Maillet, N., Maneux, E., Etcheber, H., Ten-year observation of the Gironde tributary fluvial system: fluxes of suspended matter, particulate organic carbon and cadmium. *Marine Chemistry*, 2002, 79, pp. 229–242.

[44] Jouanneau, J. M., Weber, O., Cremer, M., Castaing, P., Fine-grained sediment budget on the continental margin of the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research II*, 1999, 46, pp. 2205-2220.

[45] Dayon, G., *Évolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies*. Thèse de Doct. de l'Univ. de Toulouse 3 Paul Sabatier, 2015, 209 p.

[46] van Rijn, L. C., Coastal erosion and control. *Ocean and Coastal management*, 2011, 54, pp. 867-887.

[47] Castelle, B., Bonneton, P., Senechal, N., Dupuis, H., Butel, R., Michel, D., Dynamics of wave-induced currents over a multi-barred beach on the Aquitanian Coast. *Continental Shelf Research*, 2006, 26, pp. 113-131.

[48] Bruneau, N., Castelle, B., Bonneton, P., Pedreros, R., Almar, R., Bonneton, N., Bretel, P., Parisot, J-P. And Senechal, N., Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Continental Shelf Research*, 2009, 29, pp. 1650-1662.

[49] Cayocca, F., Long-term morphological modeling of a tidal inlet: the Arcachon Basin, France. *Coastal Engineering*, 2011, 42, pp. 115-142.

[50] Bertin, X, Chaumillon, E., Weber, N., Tesson, M., Morphological evolution and coupling with bedrock within a mixed energy tidal inlet: the Maumusson Inlet, Bay of Biscay, France. *Marine Geology*, 2004, 204, pp. 187-202.

[51] Chaumillon, E., Ozenne, F., Bertin, X., Long, N., Ganthy, F., Control of wave climate and meander dynamics on spit breaching and inlet migration. *Journal of Coastal Research* Special Issue, 2014, n° 70, 2014, pp. 109-114.

[52] Castelle, B., Bonneton, P., Dupuis, H., Senechal, N., Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian coast: a review. *Marine Geology*, 2007, 245, pp. 141-159.

[53] Castelle, B., Turner, I. L., Ruessink, B. G., Tomlinson, R., Impact of storms on beach erosion: Broadbeach (Gold Coast, Australia). *Journal of Coastal Research*, 2007, SI 50, pp. 534-539.

[54] Dubarbier, B., Castelle, B., Marieu, V., Ruessink, G., Process-based modelling of cross-shore sandbar behaviour. *Coastal Engineering.*, 2015, 95, pp. 35 – 50.

[55] Castelle, B., Marieu, V., Bujan, S., Ferreira, S., Parisot, J. P., Capo, S., Senechal, N., Chouzenoux, T., Equilibrium shoreline modelling of a high-energy meso-macrotidal multiple-barred beach. *Marine Geology*, 2014, 347, pp. 85 –94.

[56] Splinter, K. D., Turner, I. L., Davidson, M. A., Barnard, P., Castelle, B., Oltman-Shay, J., A generalized equilibrium model for predicting daily to interannual shoreline response. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface,* 2014, 119, pp. 1936 – 1958.

[57] Robinet, A., Castelle, B., Idier, D., Le Cozannet, G., Deque, M., Charles, E., Statistical modeling of interannual shoreline change driven by North Atlantic climate variability spanning 2000-2014 in the Bay of Biscay. *Geo-Marine Letters*, 2016, pp. 1-12.

[58] Jalon-Rojas, I., Schmidt, S., Sottolichio, A., Turbidity in the fluvial Gironde Estuary (S.-W. France) based on 10-year continuous monitoring: sensitivity to hydrological conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2015, 19, pp. 2805-2819.

[59] Allard, J., Chaumillon, E., Bertin, X., Poirier, C., Ganthy, F., Secular morphological evolution and Holocene stratigraphy of a macro tidal bay: the Marennes-Oléron Bay (SW France). In: E. Chaumillon, B. Tessier, J.-Y. Reynaud, French Incised Valleys and estuaries. *Bulletin de la Société géologique de France*, numéro thématique, 2010, t. 181, n° 2, pp. 151-169.

[60] Allen, G. P., Salomon, J. C., Bassoullet, P., Du Penhoat, Y., De Grandpre, C., Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedimentary Geology*, 1980, 26, pp. 69-90.

[61] Allard, J., Chaumillon, E., Féniès, H., Morphological evolution and stratigraphical record of the progressive closure of a wave-dominated estuary: the Arcachon Lagoon, SW France. *Continental Shelf Research*, 2009, 29, pp. 957-969.

[62] Toublanc, F., Brenon, I., Coulombier, T., Formation and structure of the turbidity maximum in the macrotidal Charente estuary (France). Influence of fluvial and tidal forcing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2016, 169, pp. 1-14.

[63] Chaumillon, E., Bigot, A., Étude des évolutions morphologiques interannuelles et séculaires de 37 plages de Charente-Maritime. *Rapport pour le Conseil Général de Charente-Maritime,* 2016.

[64] Castelle, B., Guillot, B., Marieu, V., Chaumillon, E., Hanquiez, V., Poppeschi, C., Spatial and temporal patterns of shoreline change of a 280-km long high-energy disrupted sandy coast from 1950 to 2014: SW France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2017.

[65] Enjalbert, C., Castelle, B., Rihouey, D., Dailloux, D., High-frequency video observation of a geologically-constrained barred-beach: La Grande Plage de Biarritz (France). *Journal of Coastal Research*, 2011, SI 64, pp. 70-74.

[66] Huguet, J.-R., Castelle, B., Marieu, V., Morichon, D., De Santiago, I., Shoreline-sandbar dynamics at a high-energy embayed and structurally-engineered sandy beach: Anglet, SW France. *Journal of Coastal Research*, 2016, SI 75, pp. 393-397.

[67] Genna, A., Capdeville, J. P., Dubreuilh, J., Mallet, C., Évolution récente et actuelle de la côte basque française (analyse et perspectives). *Comptes Rendus Geoscience*, 2005, 337 (16), pp. 1474-1483.

[68] Hamada, S., *Quantification du recul d'une côte à falaise calcaire soumise à l'érosion naturelle. Cas de la Pointe du Chay (Angoulins-sur-Mer, France)*. Mémoire de stage de Master 1, dirigé par E. Chaumillon et C. Rataud, 2011, 10 p.

[69] Landouer, P. Y., Défense du littoral d'Anglet, Golfe de Gascogne : un exemple dans une zone à forte houle. *P.I.A.N.C. Bulletin*, 1990, 71, pp. 40 – 49.

[70] De Vriend, H. J., Ribberink, J. S., Mathematical modeling of meso-tidal barrier island coasts part II: process-based simulation models. *Advances in coastal and ocean engineering*, 1996, pp. 151-197.

[71] Abadie, S., Briere, C., Dubranna, J., Maron, P, Rihouey, D., Erosion generated by wave induced currents in the vicinity of a jetty: the study case of the relation between the Adour river mouth and Anglet's beach - France. *Journal of Coastal Research*, 2008, 24, pp. 59-69.

[72] Sottolichio, A., Hanquiez, V., Perinotto, H., Sabouraud, L., Weber, O., Evaluation of the recent morphological evolution of the Gironde estuary through the use of some preliminary synthetic indicators, *Journal of Coastal Research*, 2013, SI 65, pp. 1224-1229.

[73] Poirier, C., Chaumillon, E., Arnaud, F., Siltation of river-influenced coastal environments: respective impact of late Holocene land use and high-frequency climate changes. *Marine Geology*, 2011, 290, pp. 51-62.

[74] Bertin, X., Chaumillon, E., Evidences for oyster farming implications in increasing sedimentation rates in a macrotidal bay: the Marennes-Oléron Bay, France. *Cahiers de Biologie Marine*, 2006, 47, pp. 19-22.

[75] CEREMA. Développer la connaissance et l'observation du trait de côte – contribution nationale pour une gestion intégrée, MEDDE, 2016, 24 p.

[76] Bulteau, T., Mugica, J., Mallet, C., Garnier, C., Roseberry, D., Maugard, F., Nicolae Lerma, A., Nahaon, A., Évaluation de l'impact des tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur la morphologie de la côte aquitaine. *Rapport final. BRGM/RP-63797-FR*, 2014, 68 p.

[77] Castelle, B., Marieu, V., Bujan, S., Splinter, K. D., Robinet, A., Senechal, N., Ferreira, S., Impact of the winter 2013-2014 series of severe Western Europe storms on a double-barred sandy coast: Beach and dune erosion and megacusp embayments. *Geomorphology,* 2015, 238, pp. 135-148.

[78] Bernon, N., Mallet, C., Belon, R., Caractérisation de l'aléa recul du trait de côte sur le littoral de la côte aquitaine aux horizons 2025 et 2050. Rapport final. *BRGM/RP-66277-FR*, 2016, 94 p.

[79] Masselink, G., Castelle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., Floc'h, F., Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43 (5), pp. 2135-2143.

[80] Bruun, P., Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, 1962, 88, pp. 117 – 130.

[81] Tastet, J.-P., Pontee, N. I., Morpho-chronology of coastal dunes in Medoc. A new interpretation of Holocene dunes in southwestern France. *Geomorphology*, 1998, 25, pp. 93-109.

[82] Mazieres, A., Gillet, H., Idier, D., Mulder, T., Garlan, T., Mallet, C., Marieu, V., Hanquiez, V., Dynamics of inner-shelf, multi-scale bedforms off the south Aquitaine coast over trhee decades (Southeast Bay of Biscay, France). *Continental Shelf Research*, 2015, 92, pp. 23-36.

[83] Idier, D., Castelle, B., Charles, E., Mallet, C., Longshore sediment flux hindcast: spatio-temporal variability along the SW Atlantic coast of France. *Journal of Coastal Research*. Special Issue, 2013, No. 65, pp. 1785 – 1790.

[84] Castelle, B., Bourget, J., Molnar, N., Deschamps, S., Tomlinson, R., Dynamics of a wave-dominated tidal inlet and influence on adjacent beaches, Currumbin Creek, Gold Coast, Australia. *Coastal Engineering*, 2007, 54, pp. 77-90.

[28] Ozenne, F., *Étude comparée des évolutions géomorphologiques décennales de quatre flèches sableuses dans les pertuis Charentais et l'embouchure Gironde*. Mémoire de Master 1, dirigé par E. Chaumillon, 2012, 12 p.

[86] Coicaud-Thomas, A., *Suivi photogrammétrique du platier et de la falaise de Chef de Baie (La Rochelle)*. Mémoire de Master 2, 2016, 46 p.

[87] Ranasinghe, R., Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review. *Earth-Science Reviews*, 2016, 160, pp. 320-332.

[88] Breilh, J. F., Bertin, X., Chaumillon, E., Giloy, N., Sauzeau, T., How frequent is storm-induced flooding in the central part of the Bay of Biscay? *Global and Planetary Change*, 2014, 122, pp. 161-175.

[89] Le Cozannet, G., Oliveros, C., Castelle, B., Garcin, M., Idier, D., Pedreros, R., Rohmer, J., Uncertainties in Sandy Shorelines Évolution under the Bruun Rule Assumption. *Frontiers in Marine Science*, 2016, 3:49.

[90] Chaumillon, E., Bertin, X., Fortunato, A., Bajo, M., Schneider, J.-L., Dezileau, L., Michelot, A., Chauveau, E., Creach, A., Henaff, A., Walsh, J.-P., Sauzeau, T., Waeles, B., Gervais, B., Jan, G., Baumann, J., Breilh, J.-F., Pedreros, R., Storm-induced marine flooding: lessons from a multidisciplinary approach. *Earth Science Reviews*, 2017, 165, pp. 151-184.

[91] Bertin, X., Li, K., Roland, A., Breilh, J. F., Zhang, Y. L., Chaumillon, E., A modeling-based analysis of the flooding associated with Xynthia, central Bay of Biscay. *Coastal Engineering*, 2014, 94, pp. 80 – 89.

[92] André, C., Monfort, D., Bouzit, M., Vinchon, C., Contribution of insurance data to cost assessment of coastal flood damage to residential buildings: insights gained from Johanna (2008) and Xynthia (2010) storm events. *Natural Hazards Earth System Science*, 2013, 13, pp. 2003 – 2012.

[93] Marcos, M., Tsimplis, M. N., Shaw, A. G., Sea level extremes in southern Europe. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2009, 114 (C1).

[94] Menéndez, M., Woodworth, P. L., Changes in extreme high water levels based on a quasi global tide gauge data set. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2010, 115 (C10).

[95] Woodworth, P. L., Menéndez, M., Gehrels, W. R., Evidence for century-timescale acceleration in mean sea levels and for recent changes in extreme sea levels. *Surveys in Geophysics*, 2011, 32 (4-5), pp. 603-618.

[96] Bulteau, T., Idier, D., Lambert, J., Garcin, M., How historical information can improve estimation and prediction of extreme coastal water levels: application to the Xynthia event at La Rochelle (France). *Natural Hazards and Earth System Science,* 2015, 15, pp. 1135 – 1147.

[97] Paris, F., Lecacheux, S., Idier, D., Charles, E., Assessing wave climate trends in the Bay of Biscay through an intercomparison of wave hindcasts and reanlayses. *Ocean Dynamics*, 2014, 64 (9): pp. 1247-1267.

[98] Nichols, M. M., Sediment accumulation and relative sea- level rise in lagoons. *Marine Geology*, 1989, 88: pp. 201-219.

[99] Jalon-Rojas, I., *Évaluation des changements hydro-sédimentaires de l'estuaire de la Gironde en lien avec les pressions sur le milieu*. Thèse de l'Université de Bordeaux, 2016, 238 p.

[100] André, C., Sauboua, P., Rey-Valette, H., Schauner, G., Acceptabilité et mise en oeuvre des politiques de relocalisation face aux risques littoraux : perspectives issues d'une recherche en partenariat, *VertigO*, 2015, Vol 15, numéro 1.

[101] Rocle, N., Bouet, B., Chasseriaud, S., Lyser, S., Tant qu'il y aura des « profanes »… dans la gestion des risques littoraux. Le cas de l'érosion marine à Lacanau, *VertigO*, 2016.

[102] Guéguen, A., Renard, M., La faisabilité d'une relocalisation des biens et activités face aux risques littoraux à Lacanau, Sciences, Eaux, Territoires, N° 23 Gestion du risque inondation : connaissances et outils au service de l'aménagement des territoires, 2017, pp. 26-31.

[103] Rocle, N., Gouverner l'adaptation au changement climatique sur (et par) les territoires. L'exemple des littoraux aquitain et martiniquais. *Natures Sciences Sociétés*, 2015, 23-3, pp. 244-255.

CHAPITRE N° 13
ZONES HUMIDES

[1] Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., 2000. The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting, *Ecological Economics,* 35: pp. 25-33.

[2] Barbier, E. B., Acreman, M. C., Knowler, D., 1997. Évaluation économique des zones humides : Guide à l'usage des décideurs et planificateurs. Bureau de la Convention de Ramsar.

[3] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Suttonkk, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp. 253 – 260.

[4] Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis, World Resource Institute, Washington DC.

[5] Commissariat Général du Développement Durable, 2011. Evaluation économique des services rendus par les zones humides – Enseignements méthodologiques et monétarisation, Etudes et Documents, n° 49, 220 p.

[6] Salles, D., Les défis de l'environnement, démocratie et efficacité, Ed. Syllepses, Coll. Écologie et Politique, 2006, 250 p.

[7] De Groot, R. S, Wilson, M. A., Boumans, R. M. J., A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41, p. 393-408.

[8] Tabacchi, E., Correll, D. L., Hauer, R., Pinay, G., Planty-Tabacchi, A. M., Wissmar, R. C., Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. Freshwater Biology, 1998, 40 pp. 497-516.

[9] Gaillard, S., Bravard, J.-P., Fustec, E., Brunstein, D., Pasquier, D., Typologie hydrogéomorphologique des zones humides riveraines dans le bassin de la Seine. PNRZH, projet 07, rapport final, novembre 2000, 12 p.

[10] Peterjohn, W. T., Correll, D. L., Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, 65, pp. 1466-1475.

[11] Whittaker, R.H. Communities and Ecosystems, 2nd ed., New York : Macmillan 1975.

[12] Barnaud, G., Fustec, E. *Conserver les zones humides : pourquoi ? Comment ?* Ed. Quae Educagri, 2007, 295 p.

[13] AELB (Agence de l'eau Loire-Bretagne), 2011. État des masses d'eaux.

[14] *Synthèse "évaluation économique des zones humides", Agence Adour-Garonne, ACTeon,* 2009, 10 p.

[15] Poitou-Charente-Nature, 2003. Les mares du Poitou-Charente, 40 p.

[16] Brinson, M. M., Malvárez, A. I., Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation*, 2002, 29, pp. 115-133.

[17] Guinaud, B., Rolland, J. L., Bonhomme, F., Genetaic structure of the common sole (Solea solea) in the bay of Biscay: nurseries as units of selection? *Estuarine Coasdtal and Shelf Science*, 2008, 78 (2), pp. 316-326.

[18] Carrier, G., *Typologie des zones humides rivulaires de la Gironde et évaluation du potentiel halieutique de restauration de leur fonction de nourricerie à l'échelle de l'estuaire*. Rapport de stage AgroParisTech 2e année, 2010, Cemagref Bordeaux, 52 p.

[19] Pasquaud, S., Béguer, M., Larsen, M. H., Chaalali, A., Cabral, H., Lobry, J., Increase of marine juvenile fish abundances in the middle Gironde estuary related to warmer and more saline waters, due to global change. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2012, 104-105, pp. 46-53.

[20] Goeldner-Giannella, L., Déplodériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie*, 2007, 655 (3), pp. 339-360.

[21] Vaca-Dulcich, M., *Dépoldérisation : quels enjeux sociaux et environnementaux ?* Les cas de l'estuaire de la Gironde. Mémoire de Master 2, Université Victor Segalen Bordeaux2, 2008, 140 p.

[22] Goeldner-Giannella, L., Verger, F., Du 'polder' à la 'dépoldérisation' ? *L'Espace Géographique*, 2009, 38 (4), pp. 376-377.

[23] Rimond, F., Lechêne, A., Intérêt des zones intertidales et rivulaires de la Gironde comme habitat des poissons et macrocrustacés ; importance pour l'accueil des juvéniles et potentiel de restauration par dépoldérisation. Rapport ONEMA, programmation 2013 : Thème Préservation, restauration et réhabilitation des milieux aquatiques, action 17, 2014.

[24] Gassiat, A., Deldreve, V., Salles, D., Dugast, M., Larsen, M., Marechal, A., Analyse d'une politique de gestion des espaces naturels : la renaturation de l'île Nouvelle. Rapport Irstea (UR ETBX Bordeaux), Département de la Gironde, 2015, 48 p.

[25] Lechêne, A., Effets et intérêts de la dépoldérisation de l'île Nouvelle pour les poissons et macrocrustacés. Rapport Irstea (UR EABX Bordeaux), Département de la Gironde, Région Aquitaine, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Conservatoire du Littoral, 2015, 83 p.

[26] Ferrari, S., Point, P., Gouvernance des zones humides estuariennes, fonctionnalités environnementales, flux financiers et économiques. L'exemple de l'estuaire de la Gironde, Rapport final Projet Margo, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2012, 18 p.

[27] Le Treut, H., *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique*. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 2013, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013).

[28] Brand, F., Critical natural capital revisited: ecological resilience and sustainable development. *Ecological Economics*, 2009, 68, pp. 605-612.

[29] Folke, C., Resilience: The emergence of a perspective for socio-ecological systems analyses, *Global Environmental Change,* 2006, 16, pp. 253-267.

[30] Turner, R. K., Van den Bergh, J. C. J. M., Söderqvist, T., Barendregt, A., Van der Straaten, J., Maltby, E., Van Ierland, E. C., Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 2000, 35, pp.7-23.

[31] Ferrari, S., Lavaud, S., Pereau, J.-C., A functional approach of ecosystems for a sustainable management of coastal wetlands in the Gironde Estuary region (France). In: Diemer, A. et al., European Union and Sustainable Development, Challenges and Prospects, Éditions Oeconomia, 2017, pp. 95 – 119.

[32] Barcasub, 2013. Rapport de synthèse. La SUBmersion marine et ses impacts environnementaux et sociaux dans le Bassin d'ARCAchon (France) : est-il possible, acceptable et avantageux de gérer ce risque par la dépoldérisation ?, 17 p.

[33] Goeldner-Gianella, L., Bertrand, F., Pratlong, F. Submersion marine et dépoldérisation : le poids des représentations sociales et des pratiques locales dans la gestion du risque littoral. *Espace populations sociétés*, 2013/1-2.

[34] Gaultier-Gaillard, S., Pratlong, F., Gestion intégrée du littoral du bassin d'Arcachon : une évaluation des préférences des populations, Gestion et management public 2013/4, volume II/n° 2, pp. 33-51.

[35] Lheritier, N., *Les têtes de bassin : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins*. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2012, 450 p.

[36] Strahler, A. N., Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 1957, 38, pp. 913–920.

[37] Hack, J. T., Goodlett, J. C., Geomorphology and Forest Ecology of a Mountain Region in the Central Appalachians. Washington (DC): US Geological Survey. 1960, Professional paper n° 347.

[38] Poiraud, A., Laveuf, C., Dulong, J., Estuaire de la Gironde. In: Inventaire et au point d'une méthodologie et test sur le BV d' le groupement Inselberg/Solenvie/GereaRealisation phases 1 et 2 Collaboration technique et expertise Mandataire versant, phases 1 et 2 Identification et cartographie des têtes de bassin versant sur le SAGE caractérisation des zones humides situées en tête de bassin d'Artigue-Maqueline. Rapport intermédiaire (phases 1 et 2) pour le SMIDDEST, mai 2016, 68 p.

[39] Gomi, T., Slide, R. C., Richardson, J. S., Understanding Processes and Downstream Linkages of Headwater Systems. *BioScience*, 2002, vol. 52, n° 10, pp. 906-916.

[40] Sidle, R. C., Tsuboyama, Y., Noguchi, S., Hosoda, I., Fujieda, M., Shimizu, T., Streamflow generation in steep headwaters: A linked hydro-geomorphic paradigm. *Hydrological Processes*, 2000, 14, pp. 369 – 385.

[41] Duranel, A., Étude bibliographique relative à l'évaluation des services écosystémiques rendus par les têtes de bassin et proposition d'une approche expérimentale. Rapport final, Etablissement Public Territorial du Bassin de la Vienne, 2016, 157 p.

[42] Spiral, L. M., Hennequin, E., Lagarde, F., Gestion des prairies humides et développement du Jonc diffus, Juncuseffusus - Enquête auprès d'adhérents du Réseau Zones Humides Limousin, Nouvelle- Aquitaine. Conservatoire d'Espaces Naturels du Limousin, 2017, 22p.

[43] Fédération nationale des Conservatoires d'Espaces Naturels - Pôle relais tourbières, 2013. Fiches descriptives de massifs à tourbières de France métropolitaine. Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques. Document de travail n° 11, 736 p.

[44] Hennequin, E., Lombardi, A., Conservatoire d'espaces naturels du Limousin : Les Tourbières du Limousin, Conservatoire d'espaces naturels du Limousin, Saint-Gence (France), 2012, 60 p.

[45] Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Locarnini, R. A., Garcia, H. E., Mishonov, A. V., Global ocean heat content 1955 – 2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36, L07608.

[46] Fauvet, N., *Approche bioéconomique et gestion intégrée des zones humides*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2015, 207 p.

[47] Pereau, J-C., Milliet, A., Lavaud, S., Fauvet, N., Ferrari, S., Point, P., Gains d'efficience dans la gestion de zones humides estuariennes par des associations syndicales de propriétaires. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2015, n° 4, pp. 719-740.

[48] Beaugrand, G. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62, pp. 333 – 338.

[49] Masclaux, H., Tortajada, S., Philippine, O., Robin, F. X., Dupuy, C., Planktonic food web structure and dynamic in freshwater marshes after a lock closing in early spring. *Aquatic Sciences*, 2015, 77, pp. 115-128.

[50] Rasconi, S., Gall, A., Winter, K., Kainz, M. J., Increasing Water Temperature Triggers Dominance of Small Freshwater Plankton. *PLoS ONE,* 10, 10, e0140449.

[51] Garzke, J., Ismar, S. M. H., Sommer, U., Climate change affects low trophic level marine consumers: warming decreases copepod size and abundance. *Oecologia*, 2015, 177, pp. 849 – 860.

[52] Shurin, J. B., Clasen, J. L., Greig, H. S., Kratina, P., Thompson, P. L., Warming shifts top-down and bottom-up control of pond food web structure and function. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 2012, 367, pp. 3008 – 3017.

[53] Norgaard, R. B., Coevolutionary Development Potential. *Land Economics*, 1984, vol. 60, n° 2, pp. 160-17.

[54] Conservatoire du Littoral, 2011. Changement climatique et stratégie à long terme du Conservatoire du Littoral, Rapport Prospective, Décembre, 108 p.

CHAPITRE N° 14
MASSIFS MONTAGNEUX

LES PYRÉNÉES

[1] Le Treut, H., 2013. *Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique*. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 365 p. (Dynamiques environnementales, HS 2013)

[2] Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Benito Alonso, J. L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández Calzado, M. R., Kazakis, G., Krajči, J., Larsson, P., Mallaun, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutsrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Tomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I., Grabherr, G., Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change,* 2 (2), pp. 111-15.

[3] De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Anthony Coomes, D., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C. D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G. M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F. S., Hédl, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M. A., Kelly, D. L., Kirby, K. J., Mitchell, F. J., Naaf, T., Newman, M., Peterken, G., Petrík, P., Schultz, J., Sonnier, G., Van Calster, H., Waller, D. M., Walther, G. R., White, P. S., Woods, K. D., Wulf, M., Graae, B. J., Verheyen, K., Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, pp. 18561-18565.

[4] Duque, A., Stevenson, P. R., Feeley, K. J., Thermophilization of adult and juvenile tree communities in the northern tropical Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2015, 112, pp. 10744-10749.

[5] Mountain Research Initiative EDW Working Group, 2015. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Clim. Change*. 5, pp. 424-430.

[6] Lenoir, J., Svenning, J.-C., Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography, 2015,* 38 (1), pp. 15-28.

[7] Marris, E., The escalator effect. Nature Reports Climate Change, 2007, 0712, pp. 94-96.

[8] Elsen, P. R., Tingley, M. W., Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. *Nature Climate Change*, 2015, 5 (8), pp. 772-76.

[9] Musselman, K. N., Clark, M. P., Liu, C., Ikeda, K., Rasmussen, R., Slower snowmelt in a warmer world. *Nature Climate Change,* 2017, 7 (3), pp. 214-19.

[10] Beniston, M., Stoffel, M., Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 493, pp.1129-1137.

[11] Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Moran-Tejéda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., Vincent, C., The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues, *The Cryosphere Discuss*.

[12] González-Sampériz, P., Aranbarri, J., Pérez-Sanz, A., Gil-Romera, G., Moreno, A., Leunda, M., Sevilla-Callejo, M., Corella, J. P., Morellón, M., Oliva, B., Valero-Garcés, B., 2017. Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: a view from the lake records. *Catena*, 149, pp. 668-688.

[13] Rius, D., Galop, D., Doyen, E., Millet, L., Vannière, B., Biomass burning response to high-amplitude climate and vegetation changes in Southwestern France from the Last glacial to the early Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2014, 23, pp. 729-742.

[14] Plà, S., Catalán, J., Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics,* 2005, 24, pp. 263 – 278.

[15] Millet, L., Rius, D., Galop, D., Heiri, O., Brooks, S. J., Chironomid-based reconstruction of Lateglacial summer temperatures from the Ech paleolake record (French western Pyrenees). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 315-316, pp. 86-89.

[16] Berger, A., Loutre, M. F., Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Sciences Review*, 1991, 10 : 297-317.

[17] Garciá-Ruiz, J. M., Palacios, D., González-Sampériz, P., de Andrés, N., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gómez-Villar, A., Mountain glacier evolution in the Iberian Peninsula during the Younger Dryas. *Quaternary Science Review*, 2016, 138, pp. 16-30.

[18] Bourquin-Mignot, C., Girarclos, O., Construction d'une longue chronologie de hêtres au Pays basque. La Forêt d'Iraty et le Petit Âge Glaciaire. *Sud-Ouest Européen*, 2001, 11, pp. 59-71.

[19] Mestre, O., Domonkos, P., Picard, F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, É., Boehm, R., Aguilar, E., Guijarro, J., Vertachnik, G., Klancar, M., Dubuisson, B., Stepanek, P., HOMER: a homogenization software – methods and applications. Idojaras, *Quarterly journal of the Hungarian Meteorological Service*, 2013, 117 (1), pp. 47 – 67.

[20] Gibelin, A. L., Dubuisson, B., Corre, L., Deaux, N., Jourdain, S., Laval, L., Piquemal, J.-M., Mestre, O., Dennetière, D., Desmidt, S., Tamburini, A., Évolution de la température en France depuis les années 1950 : constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. *La Météorologie*, 2014, 87.

[21] Morán-Tejeda, E., Herrera, S., López-Moreno, I. J., Revuelto, J., Lehmann, A., Beniston, M., Evolution and frequency (1970 – 2007) of combined temperature – precipitation modes in the Spanish mountains and sensitivity of snow cover. *Regional Environmental Change,* 2013, 13 (4): 873-85.

[22] Verfaillie, D., Déqué, M., Morin, S., Lafaysse, M., The method ADAMONT v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geoscientific Model Development*, 2017, 10, pp. 4257-4283.

[23] Charbonnel, A., Buisson, L., Biffi, M., D'Amico, F., Besnard, A., Aulagnier, S., Blanc, F., Gillet, F., Lacaze, V., Michaux, J. R., Némoz, M., Pagé, C., Sanchez-Perez, J. M., Sauvage, S., Laffaille, P., Integrating hydrological features and genetically validated occurrence data in occupancy modeling of an endemic and endangered semi-aquatic mammal, *Galemys pyrenaicus*, in a Pyrenean catchment. *Biological Conservation*, 2015, 184, pp. 182-192.

[24] Charbonnel, A., Laffaille, P., Biffi, M., Blanc, F., Maire, A., Némoz, M., Sanchez-Perez, J. M., Sauvage, S., Buisson, L., Can Recent Global Changes Explain the Dramatic Range Contraction of an Endangered Semi-Aquatic Mammal Species in the French Pyrenees? *PLOS ONE,* 2016, 11 (7), e0159941.

[25] De Pous, P., Montori, A., Amat, F., Sanuy, D., Range contraction and loss of genetic variation of the Pyrenean endemic newt *Calotriton asper* due to climate change. *Regional Environmental Change*, 2016, 16 (4): 995-1009.

[26] Martínez-Freiría, F., Assessing climate change vulnerability for the Iberian viper *Vipera seoanei*. *Basic and Applied Herpetology*, 2015, 29.

[27] Pauchard, A., Milbau, A., Albihn, A., Alexander, J., Burgess, T., Daehler, C., Englund, G., Essl, F., Evengård, B., Greenwood, G. B., Haider, S., Lenoir, J., McDougall, K., Muths, E., Nuñez, M. A., Olofsson, J., Pellissier, L., Rabitsch, W., Rew, L.J., Robertson, M., Sanders, N., Kueffer, C., Non-native and native organisms moving into high elevation and high latitude ecosystems in an era of climate change: new challenges for ecology and conservation. *Biological Invasions,* 2016, 18 (2): 345-53.

[28] Alexander, J. M., Lembrechts, J. J., Cavieres, L. A., Daehler, C., Haider, S., Kueffer, C., Liu, G., McDougall, K., Milbau, A., Pauchard, A., Rew, L. J., Seipel, T., Plant invasions into mountains and alpine ecosystems: current status and future challenges. Alpine Botany 2016, 126 (2), pp. 89-103.

[29] Scott, D., Gössling, S., Hall, C. M., Climate Change and Tourism: Impacts, Adaptation and Mitigation London: Routledge, 2012 423 p.

[30] Pons, M., López-Moreno, J. I., Rosas-Casals, M., Jover, È., The vulnerability of Pyrenean ski resorts to climate-induced changes on the snowpack. *Climatic Change*, 2014, 131 (4), pp. 591-605.

[31] Pons, M., López-Moreno, J. I., Esteban, P., Macià, S., Gavaldà, J., García, C., Rosas-Casals, M., Jover, E., The influence of climate change on the snow winter tourism in the Pyrenees. *Pirineos*, 2014, 160:006.

[32] Rutty, M., Scott, D., Johnson, P., Jover, E., Steiger, R., Pons, M., 2015. Behavioural adaptation of skiers to climatic variability and change in Ontario, Canada. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism,* 11, pp. 13-21.

[33] Bazet, J., Labe, A., Tauzin, C., Vitse-Guichard, R., *Collectivités territoriales et changement climatique en montagne : l'exemple des vallées d'Ossau et d'Aspe*. Atelier M2 DAST, Risques conflits et gouvernance, 2017, UPPA, 23 p.

[34] Rebotier, J., Audouit, C., L'adaptation en tension, *Développement Durable et Territoires,* 2015, 6 (3).

[35] Arribet, C., *Enjeux liés à l'eau et adaptation au changement climatique de l'élevage de montagne en Pyrénées-Atlantiques*. Mémoire de Master DAST – 2013, UPPA, 77 p.

[36] Charbonneau, M., Deletraz, G., Rebotier, J., Par-delà le changement climatique, les représentations du changement environnemental : le poids de la tension entre filière et territoire dans les secteurs pastoral et viticole en Aquitaine. *VertigO*, 2016, 16: 3.

[37] Seres, C., L'agriculture face au changement climatique en zone de montagne : évolutions climatiques, perception des éleveurs et stratégies d'adaptation. *Fourrages*, 2010, 204, pp. 297-306.

[38] Arranz, J. M., Changements observés dans les prairies permanentes de l'extrême sud-ouest de la France et perspectives pour les systèmes d'élevages herbivores, Journées AFPF – Les atouts des prairies permanentes pour demain, 2012.

[39] Arranz, J. M., Témoignages d'adaptations aux évolutions climatiques. Changements observés dans les prairies permanentes de l'extrême sud-ouest de la France et perspectives pour les systèmes d'élevages herbivores. *Fourrages,* 2013, 214, pp. 139-144.

[40] Bonotaux, J., Garnier, C., Guicheney, H., Lafon, J. L., *La filière ovins lait en Pyrénées-Atlantiques,* Service Régional de l'Information Statistique, Economique et Territoriale (SRISET) de la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt d'Aquitaine (DRAAF) et de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Pyrénées-Atlantiques (DDTM) (coll.), 2014, synthèse, fiche n° 9, 17 p.

[41] Einhorn, B., Eckert, N., Chaix, C., Ravanel, L., Deline, P., Gardent, M., Boudières, V., Richard., Vengeon, J. M., Giraud, G., Schoeneich, P., Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine,* 2015, 103-2.

[42] Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique, 2014. *Evaluation de l'aléa glissement de terrain en contexte de changement climatique et mise en place d'un protocole de suivi*. Site-pilote de Gourette (64), 176 p.

[43] Sestiaa, P.*, Prise en compte du risque avalanche en Haute vallée d'Aspe : l'exemple de la commune d'Urdos*. Master 2 géographie - aménagement. Pau : UPPA, 2016, 114 p.

[44] Prudent-Richard, G., *Impacts du réchauffement climatique sur les risques naturels dans l'arc alpin français : crues et inondations torrentielles, avalanches, mouvement de terrain et risques glaciaires.* Mémoire de master professionnel 1e année : IUP Aménagement et développement territorial. Pau : UPPA, 2005, 186 p.

[45] Bouisset, C., Degrémont, I., L'adaptation, une nouvelle clef pour penser la gestion des risques naturels en montagne ? *Sud-Ouest Européen,* 2014, 37, pp. 91-103.

[46] Pigeon, P., Les Plans de Prévention des Risques (PPR) : essai d'interprétation géographique. *Geocarrefour*, 2007, 82 (1-2) : pp. 27-34.

[47] Dubois-Maury, J., Les risques naturels en France, entre réglementation spatiale et solidarité de l'indemnisation. *Annales de géographie*, 2002, 627-628, pp. 637-651.

[48] Arranz, J. M., Noblia, J-M., Sallato, O., Olha, E., Theau, J-P., *"Geroko", a simulator to measure changes in economic, environmental (ecosystemic services) and climatic performances of agropastoral farms in the Western Pyrenees* (sous projet Séminaire Vitoria 2017) CAP'2ER®, 2017.

[49] ADEME, 2013. *ClimAgri® Un diagnostic énergie/gaz à effet de serre au service d'une démarche de territoire*.

[50] ADEME, 2011. *Démarche d'analyse territoriale de l'énergie et des gaz à effet de serre pour l'agriculture et la forêt.*

[51] ADEME, 2015. *ClimAgri Pays Basque retour d'expérience*.

[52] Arranz, J. M., Bernos, N., Carrère, P., Charbonneau, M., Gascouat, P., Hulin, S., Inarra, P., Mareaux, M. C., Noblia, J. M., Olha, E., Prairies permanentes basco-béarnaises : une typologie pour évaluer les services écosystémiques rendus par les prairies et par les exploitations. *Fourrages*. 2016, 228, pp. 233-242.

[53] Deverre, C., de Sainte Marie, C., L'écologisation de la politique agricole européenne. Verdissement ou refondation des systèmes agro-alimentaires. *Revue D'études En Agriculture et Environnement*, 2008, 89, pp. 83-104.

[54] Busca, D., Agriculture et environnement. La mise en œuvre négociée des dispositifs agri-environnementaux. Effets d'organisation, enjeux de territoire et dynamique d'appropriation stratégique. *Ruralia,* 2003.

[55] Berdoulay, V., Soubeyran, O., *Adaptation au changement climatique et pratiques réflexives en aménagement. Espace géographique*, 2012, 41, pp. 169-180.

LE MASSIF CENTRAL

[1] Valadas, B., Zones humides et Têtes de Bassin-Versant des 10 et 11 juin 2009 séminaire technique, 2009, Nedde (Limousin).

[2] Guyot, S., The eco-frontier paradigm: rethinking the links between space, nature and politics. *Geopolitics*, Taylor & Francis (Routledge), 2011, 16 (3), pp. 675-706.

[3] Guyot, S., Richard, F., Les fronts écologiques - Une clef de lecture socio-territoriale des enjeux environnementaux ? *L'Espace Politique*, 9, 2009-3.

[4] Krecek, J., Haigh, M. J., *Headwater Wetlands*. In: Krecek, J., Haigh, M. (eds) Environmental Role of Wetlands in Headwaters. NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, 2006, vol 63. Springer, Dordrecht.

[5] Haigh, M. J., Jansky, L., Helling, J., Headwater deforestation: a challenge for environmental management. G*lobal Environmental Change.* 2004, 14, pp. 51 – 61.

[6] Labrue, C., La forêt comme clôture : l'enfermement de l'habitat par la forêt. *Projets de paysage,* 2010.

[7] Richard, F., Dellier, J., Tommasi, G., Migration, environnement et gentrification rurale en Montagne limousine. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*

[8] Miras, Y., Guenet, P., Richard, H., La genèse du paysage culturel du plateau de Millevaches (Limousin, Massif central, France) plus de 2000 ans d'histoire révélés par l'analyse pollinique. Université Blaise Pascal, GEOLAB. 2010, 26 p.

[9] Miras, Y., Guenet, P., Richard, H., Holocene vegetation, landscape and reconstruction of human activity from prehistory to the roman period based on new pollen data performed in "the plateau de Millevaches" (Limousin, Massif central, France). *Quaternaire*, 22, (2), 2011, pp. 147-164.

[10] Lheritier, N., *Les têtes de bassin : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins.* Thèse de doctorat, Limoges, 2012.

[11] Lheritier, N., Rôle des fonds tourbeux pour les rivières à truites de tête de bassin versant – exemple du bassin amont de la Vienne. Communication pour les rencontres du *« Pôle Relais Tourbière »* Limoges, septembre 2017.

[12] Lagarde, F., Lourdais, O., Conservation et gestion des tourbières et des landes limousines. L'apport des ectothermes. *Rencontre sur les espèces à enjeux des tourbières du Massif Central*, Fédération des conservatoires d'espaces naturels, 29 juin 2017, pp. 48-58.

[13] Touchart, L., Clave, Y., La répartition des populations piscicoles en Creuse (Limousin), l'apport géographique des pêches électriques en tête de bassin », *Norois,* 2009.

[14] Réseau Zones Humides en Limousin. Bulletin d'informations. Numéro Spécial 3es rencontres RZH, 4 février 2017. N° 25, avril 2017. Conservatoire d'espaces naturels Limousin.

[15] Rouaud, R., Beaurain, C., Chevallier, M., Dellier, J., De la diversité des formes de collaboration et intentionnalités productives dans la filière bois : une première approche par les proximités (Limousin, France). *Revue Forestière Française*, 2016/2, pp.197-204.

CHAPITRE N° 15
PARTICIPATION LOCALE ET APPROPRIATION CITOYENNE

[1] Kirchhoff, C. J., Lemos, M. C., Dessai, S., Actionable Knowledge for Environmental Decision Making: Broadening the Usability of Climate Science. *Annual Review of Environment and Resources*, 2013, vol. 38, pp. 393-414.

[2] Rebotier, J., Adaptations aux changements environnementaux et territoires. Questions de (science en) société. *Sud-Ouest Européen*, 2014, vol. 37, pp. 5-116.

[3] Rebotier, J., Fortin, M.-J., Salvestroni, P., Entre urgence d'adaptation et recherche d'acceptabilité : la nécessaire réflexion. In: Berdoulay, V., Soubeyran, O., *Aménager pour s'adapter au changement* climatique. *Un rapport à la nature à reconstruire ?* Pau : PUPPA, 2015, pp. 199-212.

[4] Janssen, M., Ostrom, E., Resilience, vulnerability and adaptation: A cross-cutting theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. *Global Environmental Change*, 2006, vol. 16, pp. 237-239.

[5] Lascoumes, P., *L'éco-pouvoir. Environnement et politique*, Paris, La Découverte, 1994, 324 p.

[6] Halpern, C., Le Galès, P., Pas d'action publique autonome sans instruments propres. Analyse comparée et longitudinale des politiques environnementales et urbaines de l'Union européenne. *Revue française de science politique*, 2011, vol. 61, 1, pp. 51-78.

[7] Bassett, T. J., Fogelman, C., Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum,* 2013, 48, pp. 42-53.

[8] Simonet, G., De l'ajustement à la transformation : vers un essor de l'adaptation ? *Développement durable et territoires.* 2016, Vol. 7, n° 2.

[9] Pelling, M., *Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation*, London (UK), Routledge, 2011.

[10] O'Brien, K., Global environmental change II. From adaptation to deliberate transformation. *Progress in Human Geography*, 2012, volume 36, pp. 667-676.

[11] Mermet, L., Salles, D., *Environnement : la concertation apprivoisée, contestée, dépassée ?* De Boeck, Louvain, BEL, Ouvertures sociologiques, 2015, 421 p.

[12] Gourgues, G., Rui, S., Topçu, S., Gouvernementalité et participation. Lectures critiques, *Participations*, 2013/2 N° 6, pp. 5-33.

[13] Theys, J., L'approche territoriale du « développement durable «, condition d'une prise en compte de sa dimension sociale. *Développement durable et territoires.*2002, Dossier 1, 15 p.

[14] Theys, J., Le climat une question de temps. In: Les enjeux de la conférence de Paris. Penser autrement la question climatique. *Natures, Sciences, Sociétés*, 2015, Vol. 23, supplément, pp. 3-5.

[15] Callon, M., Lascoumes, P., Barthe, Y., *Agir dans un monde incertain, essai sur la démocratie technique*, Le Seuil, 2001, 358 p.

[16] Salles, D., *Les défis de l'environnement Démocratie et efficacité*, Éditions Syllepses, 2006, 247 p.

[17] Mermet, L., Que peut-on encore attendre de la concertation pour l'action environnementale. In: Mermet, L., Salles, D., *Environnement : la concertation apprivoisée, contestée, dépassée ?* 2015, chapitre II.

[18] Revel, M., Blatrix, C., Blondiaux, L., Fourniau, J.-M., Heriard, B., Lefebvre, R. (dirs.), *Le débat public : une expérience française de démocratie participative*, Paris, La découverte, 2007.

[19] Billé, R., Mermet, L., Berlan-Darque, M., Berny, N., Emerit, A. (dir.), *Concertation, décision et environnement : Regards croisé*, Actes du séminaire trimestriel «Concertation, décision envrionnement», volume III, coll. «L'environnement en débat», Ministère de l'écologie et du Développement durable/La documentation française, 2005, 156 p.

[20] Blatrix, C., Devoir débattre. Les effets de l'institutionnalisation de la participation sur les formes de l'action collective. *Politix*, 2002, Vol 15, N° 57, pp. 79 – 102.

[21] Barbier, R., Larrue, C., Démocratie environnementale et territoires : un bilan d'étape. *Participations*, 2011, n° 1, pp. 67-104.

[22] Blatrix, C., Qui est vraiment prêt pour évaluer la concertation ? Synthèse de la littérature et des débats récents », Programme Concertation, Décision, Environnement. 2009.

[23] ADEME & Planète publique. Recensement et évaluation des pratiques de concertation dans les plans climat énergie territoriaux. Décembre 2012.

[24] Nantes Metropoles, Cahiers de connaissance. Agir avec les citoyens pour le climat. 2012, n° 2.

[25] Vergne, A., Jury citoyen. In: Casillo, I., avec Barbier, R., Blondiaux, L., Chateauraynaud, F., Fourniau, J-M., Lefebvre, R., Neveu, C., Salles, D. (dir.). Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation, Paris, GIS Démocratie et Participation, 2013, ISSN : 2268-5863.

[26] Talpin, J., Délibérer pour quoi faire ? De l'assemblée participative électronique des régions Poitou-Charentes, Toscane et Catalogne au Parlement Européen. In: Sintomer, Y., Talpin, J., *Démocratie participative au-delà de la proximité*, Rennes, PUR, 2011, pp. 91-109.

[27] Talpin, J., Monnoyer-Smith, L., Parler dans le vent ? Discussion autour de la qualité de la délibération dans le projet Ideal- EU. In: Kies, R., Nanz, P., *Les nouvelles voix de l'Europe. Analyse des consultations citoyennes*, Larcier, 2014, pp. 159-190.

[28] Sanz-Espagnon, F., *Apport de la psychologie sociale dans une démarche de sensibilisation au réchauffement climatique auprès d'une population lycéenne*. Mémoire de master. Bordeaux : Université de Bordeaux, 2016.

[29] Abric, J. C., L'étude expérimentale des représentations sociales. In: Jodelet, D. (Ed.). *Les représentations sociales*, Paris, Presses Universitaires de France, 2003, pp. 203-223.

[30] *Chasing Ice*. Jeff Orlowski. Film documentaire. Langue : anglais. Durée : 80 minutes. Pays d'origine : États-Unis. 2012.

[31] Marshall, G., *Don't even think about it*. Londres, Bloomsburry, 2014.

[32] Le Floch, S., Fortin, M.-J., Paysage, co-visibilité et esthétique autour de l'implantation d'éoliennes : vers une définition relationnelle de la qualité dans les projets de développement durable ? In: Da Lage, A., Amat, J.-P., Frerot, A.-M., Guichard-Anguis, S., Julien-Laferriere, B., Wicherek, S. P. (dir.), *L'après-développement durable : espaces, nature, culture et qualité*, Paris, Ellipses, 2008, pp. 223-231.

[33] Blondiaux, L., Prendre au sérieux l'idéal délibératif. *Revue Suisse de science politique* (Forum sur la délibération sous la direction de Yannis Papadopoulos avec J. Cohen et B. Manin). 2004, vol 10 (4), pp. 158-168.

[34] Le Floch, S., Fortin, M.-J., Les paysages d'Eole à l'épreuve du développement durable. Où accepter n'est pas toujours participer. In: Luginbühl, Y., Terrasson, D. (éds), *Paysage et développement durable*, QUAE, 2013, pp. 219-234.

[35] Le Floch, S., Le riverain, le citoyen et l'habitant : trois figures de la participation dans la turbulence éolienne. *Natures Sciences Sociétés*, 2011, 19, 4, pp. 344-354.

[36] Dechézelles, S., La peine d'en être ? Émotions ambivalentes et rétributions de l'engagement contre les siens. L'exemple des conflits autour de projets éoliens terrestres. Communication à paraître, colloque international. Le malheur militant., (Olivier Fillieule, Rémi Lefebvre, Catherine Leclercq), Université de Lille 2, 12 au 13 décembre 2016.

[37] Dechezelles, S., Des chiffres et du vent. Expertises institutionnelles, marchandes et citoyennes dans les politiques locales de l'éolien. In: Mespoulet, M. (dir.) *Quantifier les territoires. Les chiffres dans l'action publique territoriale*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, coll. Espace et Territoires. 2017, pp.167-180.

[38] Tapie-Grime, M., Le nimby, une ressource de démocratisation. *Ecologie et Politique*, 1997, n° 21, pp. 13-26.

[39] Jobert, A., L'aménagement en politique. Ou ce que le syndrome Nimby nous dit de l'intérêt général. *Politix*, 1998, 42, pp. 67-92.

[40] Neveu, C., Nimbys as citizens: (re)defining the 'general interest'. *Focaal - European Journal of Anthropology,* 2002, n°. 40, pp. 51-66.

[41] Tillon, L., Note technique pour la prise en compte de la biodiversité dans les projets de parcs éoliens en forêt. Office National des Forêts, Direction de l'Envrionnement et du développement Durable, Département biodiversité, 2008, 18 p.

[42] Bafoil, F., (dir.) *L'énergie éolienne en Europe. Conflits, démocratie, acceptabilité sociale*, Paris, Presses de Sciences Po, 2016.

[43] Raineau, L., Les énergies renouvelables : entre tradition et modernité. In: Moricot, C. (dir), *Multiples du social. Regards socio-anthropologiques*. Paris : L'Harmattan, 2010, p. 27-32.

[44] MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer). Juillet 2016. La loi de transition énergétique pour la croissance verte : un an après.

[45] Boutaud, B., Meraud, S., Les territoires à Energie Positive pour la Croissance verte: étude statistique des programmes d'actions des lauréats de l'appel à projets national. European Institute For Energy Research (EIFER), 2015.

[46] Jonchères, C., *L'engagement des acteurs dans la transition énergétique : l'innovation sociale pour organiser la rencontre entre le Territoire et les Réseaux d'acteurs*. Synthèse du mémoire de stage du master 2 Gestion Territoriale du développement durable, Université Bordeaux Montaigne, réalisé à l'ADEME, direction régionale Nouvelle-Aquitaine (site de Bordeaux), 2016, 30 p.

[47] Beslay, C., Zélem, M.-C., Introduction : Pour une sociologie de l'énergie. In: Zélem, M.-C., Beslay, C., (dir). *Sociologie de l'énergie : gouvernances et pratiques sociales*. Paris : CNRS Éditions, 2015, pp. 15-20.

[48] Knoepfel, P., Da Cunha, A., Leresche, J.-P., Nahrath, S., *Enjeux du développement urbain durable : Transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance*, Lausanne, PPUR, 2005, 471 p.

[49] Zetlaoui-Leger, J. (dir.), *La concertation citoyenne dans les projets d'écoquartiers en France : évaluation constructive et mise en perspective européenne*, T.1, Lab'Urba, Université Paris Est Créteil-Val de Marne, 2013, 356 p.

[50] Guerin, M., *Conflits d'usage à l'horizon 2020. Quels nouveaux rôles pour l'Etat dans les espaces ruraux et péri-urbains*, La documentation française, 2005, 204 p.

[51] Dussaux, M., Communes rurales, participation des habitants et développement durable. 2e journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD, Lille, 11 et 12 décembre 2008.

[52] Bertrand, F., Rocher, L., *Les territoires face aux changements climatiques*, Bern, Peter Lang, 2013, 269 p.

[53] Rebotier, J., Enjeux et défis des politiques locales d'adaptation au changement climatique en Aquitaine. *Geographicalia*, 2013, vol. 63-64, pp. 157-176.

[54] Simonet, G., Fatoric, S., Does 'adaptation to climate change' mean resignation or opportunity? *Regional Environmental Change*, 2016, vol. 16, 3, pp. 789-799.

[55] Charbonneau, M., Deletraz, G., Rebotier, J., Par-delà le changement climatique, les représentations du changement environnemental. Le poids de la tension entre filière et territoire dans les secteurs pastoral et viticole en Aquitaine. *VertigO*, 2016, V. 16 n° 3.

[56] Beal, V., Charvolin, F., Morel-Journel, C., La ville durable au risque des écoquartiers. Réflexions autour du projet New Islington à Manchester. *Espaces et sociétés*, 2011, vol. 147, n° 4, pp. 77-97.

MEMBRES D'ACCLIMATERRA

Hervé LE TREUT *, **, ***
Physicien, Professeur à Sorbonne Université et à l'École Polytechnique, membre de l'Académie des Sciences, Directeur de l'IPSL, Paris.

Ses travaux portent sur la modélisation numérique du système climatique et la compréhension des perturbations radiatives du climat, en particulier le rôle de l'effet de serre additionnel lié aux activités humaines. Il a participé aux 5 premiers rapports du GIEC et a fait partie du comité de suivi de la COP21.

Valérie BARBIER ***
Responsable des productions écrites de l'Agence Régionale de la Biodiversité Nouvelle-Aquitaine. Docteur en sciences économiques – Spécialités économie de l'environnement et développement durable.

Ses travaux couvrent le champ de la biodiversité terrestre, aquatique et marine et des services écosystémiques associés. Ils sont à caractère pédagogique, dans le but de sensibiliser le grand public, ou axés sur l'aide à la décision, en vue d'accompagner les politiques publiques.

Nathalie CAILL-MILLY *, **, ***
Cadre de recherche à l'Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet

Chercheuse en écologie des ressources halieutiques, elle travaille sur l'écologie de populations exploitées côtières (palourdes, rouget barbet) en lien avec l'étude des pêcheries du golfe de Gascogne.

Bruno CASTELLE **, ***
Chercheur au CNRS, EPOC, Université de Bordeaux.

Ses travaux portent sur les risques côtiers et l'évolution des littoraux sableux sur les échelles de temps allant de quelques secondes (mouvements des vagues) à plusieurs décennies, notamment dans le cadre du changement climatique et de l'augmentation des pressions anthropiques.

Sébastien CHAILLEUX ***
Chercheur Laboratoire PASSAGES, Université de Pau et des Pays de l'Adour et chercheur associé au Centre Émile Durkheim, Sciences Po Bordeaux. Docteur en science politique et en sociologie.

Ses domaines de recherche portent sur la sociologie de l'énergie et des ressources naturelles et l'analyse des politiques publiques.

Michel COMBARNOUS **, ***
Mécanicien, professeur émérite à l'université de Bordeaux.

Il est spécialiste des écoulements et transferts en milieux poreux. Il est correspondant de l'Académie des Sciences depuis 1978.

Daniel COMPAGNON **, ***
Professeur de science politique à Sciences Po Bordeaux et chercheur au Centre Émile Durkheim.

Ses travaux portent sur la gouvernance de l'environnement à l'échelle globale (notamment climat, biodiversité et nouvelles technologies), la place qu'y tiennent les pays du Sud et les acteurs économiques privés, mais aussi le rôle des interfaces science/politique. Il a notamment coécrit *Transnational Climate Governance* (Cambridge University Press, 2014).

Frank D'AMICO **, ***
Maître de Conférences des Universités à l'Université de Pau et Pays de l'Adour, Anglet, France et Erskine Fellow de l'University of Canterbury, Christchurch, Nouvelle-Zélande.

Ses recherches actuelles portent sur les nouvelles méthodologies expertes de conception de protocoles de suivis et de programmes de surveillance environnementale à long terme, dans le contexte du changement climatique et de son impact sur la biodiversité des socioécosystèmes, notamment montagnards.

Julien DELLIER **, ***
Maître de conférences à Université Limoges dans l'équipe Capital environnemental, GEOLAB.

Ses thématiques de recherche portent sur la ville comestible, circuits de proximité et gentrification rurale notamment sur l'étude des dynamiques territoriales sous l'angle des relations société/environnement.

Alain DUPUY *, **, ***
Professeur d'hydrogéologie à l'INP Bordeaux, directeur de l'ENSEGID.

Hydrogéologue spécialiste en hydrodynamique souterraine et en transferts de pression, masse et énergie dans les systèmes aquifères. Ses travaux de recherche associent les investigations de terrain, la modélisation numérique et les développements théoriques et vont de l'analyse de productivité des champs captant aux impacts du changement climatique sur les ressources en eaux continentales.

Christine DUPUY ***
Enseignant-chercheur au laboratoire LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle.

Ses travaux de recherche ont pour fil conducteur l'écologie microbienne, et plus particulièrement l'étude des protistes hétérotrophes, leur importance et leur rôle dans les écosystèmes côtiers anthropisés. Les zones humides sont des écosystèmes au cœur de ses recherches.

Henri ETCHEBER **, ***
Chercheur honoraire à l'Université de Bordeaux.

Ses travaux portent sur les cycles du carbone et de l'azote en milieux estuariens et fluviatiles avec une attention toute particulière prêtée à l'oxygénation de leurs eaux présente et future en réponse aux changements environnementaux attendus dans le futur.

Sylvie FERRARI ***
Maître de Conférences HDR en sciences économiques à l'Université de Bordeaux et chercheur au GREThA – CNRS.

Ses travaux de recherche portent sur la bioéconomie, la gestion durable des ressources en eau et des espaces littoraux, l'éthique environnementale et le développement durable.

Emmanuel GARNIER **, ***
Directeur de recherche CNRS au laboratoire Chrono-Environnement, Université de Besançon. Spécialiste en histoire du climat et des risques.

Il s'intéresse à la reconstruction des fluctuations et des extrêmes des 500 dernières années ainsi qu'aux vulnérabilités et stratégies d'adaptation développées par les sociétés anciennes (Europe, Afrique, Asie).

François GASTAL **, ***
Directeur de recherche, Directeur de l'Unité Expérimentale FERLUS, INRA, Lusignan.

Son domaine de recherche est la dynamique et la valeur agronomique des végétations prairiales, les flux et le stockage de carbone et d'azote en prairie, leurs relations avec les facteurs de l'environnement (dont le changement climatique) et le mode de gestion agricole (exploitation mécanique ou par pâturage, fertilisation) de ces agroécosystèmes prairiaux.

** Membre du Bureau d'AcclimaTerra*

*** Membre d'AcclimaTerra*

**** Coordinateur de chapitre*

Antoine KREMER **, ***
Directeur de recherche à l'unité mixte de recherche BIOGECO à l'INRA de Bordeaux, Codirecteur du Labex Cote.

Ses travaux portent sur la biologie évolutive des arbres en réponse aux changements environnementaux, en prenant pour exemple les chênes tempérés européens. Ils associent des approches complémentaires comme la génétique, l'écologie, l'évolution pour comprendre les mécanismes qui ont permis aux arbres de répondre aux crises environnementales passées et qui sont susceptibles de jouer un rôle dans l'avenir.

Bernard LEGUBE **, ***
Professeur émérite de l'Université de Poitiers. Spécialiste en physico-chimie des eaux et traitement des eaux.

Il a participé à plus de 300 publications et ses deux ouvrages récents concernent l'analyse de l'eau et la production d'eau potable. Il s'intéresse actuellement à l'impact du changement climatique sur la qualité des eaux naturelles, notamment dans sa mission de président du conseil scientifique de l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

Agnès MICHELOT **, ***
Chercheuse en droit de l'environnement au CEJEP, Université de La Rochelle.

Ses travaux de recherche portent sur le droit de l'environnement, la justice environnementale, l'adaptation au changement climatique particulièrement sous l'angle de la justice climatique, ainsi que les risques naturels en zones côtières.

Virginie MIGEOT **, ***
Médecin, Professeur de Santé Publique à la Faculté de Médecine et Pharmacie, Chef du Service Santé Publique du CHU, et responsable de l'axe HEDEX (Health Endocrine Disruptors EXposome) à l'INSERM-CIC1402, Université de Poitiers.

Spécialiste en santé environnementale, elle s'intéresse à l'épidémiologie environnementale et la promotion de la santé, selon un concept salutogénique. Ses travaux portent sur l'exposition aux perturbateurs endocriniens.

Nathalie OLLAT **, ***
Ingénieur de Recherche à l'INRA, EGFV/ ISVV, Bordeaux.

Écophysiologiste, en charge de recherches sur le rôle du porte-greffe sur l'adaptation de la vigne à la sécheresse. Responsable du programme national d'amélioration des porte-greffe de vigne. Responsable du projet Laccave qui étudie les conditions d'adaptation de la filière viti-vinicole au changement climatique.

Sylvain PELLERIN **, ***
Directeur de Recherche à l'INRA de Bordeaux, UMR Interaction Sol Plante Atmosphère.

Ses travaux portent sur les liens entre l'activité agricole et les cycles bio géochimiques du carbone, de l'azote et du phosphore à des échelles spatiales larges. Il conduit notamment des recherches sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre en agriculture. Actuellement il coordonne une expertise au niveau national sur le stockage de carbone dans les sols agricoles et forestiers.

Jean-Christophe PEREAU **, ***
Professeur, GREThA, Université de Bordeaux et CNRS.

Économiste, ses recherches s'inscrivent dans les domaines de l'économie de l'environnement, de la modélisation bio-économique et hydro-économique, de la théorie des jeux et de la négociation. Les applications concernent la gestion des ressources renouvelables exploitées et de la biodiversité ainsi que les négociations internationales sur le changement climatique.

Sylvie RABOUAN **, ***
Pharmacien, Professeur de Chimie Analytique à la Faculté de Médecine et Pharmacie, et Chercheur dans l'axe HEDEX (Health Endocrine Disruptors EXposome) à l'INSERM-CIC1402, Université de Poitiers.

Spécialiste en santé environnementale, elle s'intéresse à la promotion de la santé, selon un concept salutogénique. Elle s'applique à développer la formation des professionnels de santé en santé environnementale.

Denis SALLES *, **, ***
Directeur de recherche à l'IRSTEA au centre de Bordeaux.

Il dirige des recherches de sociologie de l'environnement et de l'action publique portant sur l'adaptation des sociétés aux impacts des changements globaux (***www.adapteau.fr***), sur les modes de gouvernance de l'eau, sur la concertation, sur les dispositifs de responsabilisation des usagers, sur les dispositifs de sciences participatives.

Benoit SAUTOUR *, **
Professeur à l'Université de Bordeaux.

Spécialiste en océanographie des zones littorales, il travaille sur le plancton et son rôle dans les écosystèmes littoraux comme producteur de nourriture pour des organismes ainsi que son rôle dans le transfert des contaminants. Plus récemment ses recherches portent sur l'évolution de ces communautés en relation avec le climat.

Éric VILLENAVE **
Professeur des universités, OASU, EPOC CNRS, Université de Bordeaux.

Chimiste de l'atmosphère, ses travaux portent sur la compréhension des processus de formation et de dégradation des polluants atmosphériques, dans le but d'une meilleure appréhension des problèmes de qualité de l'air et du climat.

Yohana CABARET *
Chargée de mission d'AcclimaTerra

Géologue de formation, elle est titulaire d'un doctorat de l'Université de Bordeaux obtenu pour ses travaux sur la géochimie d'un lac climatiquement sensible en Argentine. Au sein d'AcclimaTerra, elle a été chargée de l'animation et de la coordination du travail des experts pour l'achèvement de ce deuxième rapport.

Camille JONCHÈRES *
Médiatrice scientifique pour AcclimaTerra.

Sociologue de formation, un second Master à l'Université Bordeaux Montaigne lui a permis d'explorer les manières d'intégrer l'innovation sociale aux projets d'adaptation et de transition écologique et énergétique. Dans ce rapport, elle a aidé et coordonné la création des infographies. Plus largement, au sein d'AcclimaTerra elle accompagne et organise les interventions multi-acteurs.

** Membre du Bureau d'AcclimaTerra*

*** Membre d'AcclimaTerra*

**** Coordinateur de chapitre*

CONTRIBUTEURS ET RELECTEURS

Les membres d'AcclimaTerra tiennent à citer et remercier le grand nombre de personnes qui forment la communauté de contributeurs de cet ouvrage mais aussi du précèdent ainsi que les institutions auxquelles elles appartiennent. Leur apport aux différents ouvrages est marqué par «I» et/ou «II». Leur contribution est mentionnée également au niveau de chaque chapitre. Si vous souhaitez citer certains éléments de ce livre, nous vous demandons de faire référence au chapitre en question en citant l'ensemble de ses auteurs.

Abadie Stéphane *(SIAME, UPPA) - I et II*

Abril Gwenaël *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Acolas Marie-Laure *(Irstea, EABX) - II*

Albouy-Llaty Marion *(INSERM CIC, Université de Poitiers, Service de Santé Publique) - II*

Allard Francis *(LaSIE, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Alves Carlos-Manuel *(CRDEI Université de Bordeaux) - II*

Amouroux David *(IPREM, CNRS, UPPA) - I et II*

André Camille *(GIP Littoral Aquitain) - II*

Anras Loïc *(Forum des Marais Atlantiques) - II*

Arauzo Idoia *(OPCC-CTP) - II*

Arranz Jean-Marc *(GIS-id64, Chambre Départementale d'Agriculture des Pyrénées Atlantiques) - II*

Atteia Olivier *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP) - II*

Auby Isabelle *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - I et II*

Augusto Laurent *(INRA, Bordeaux Sciences Agro, ISPA) - I*

Bachelet Guy *(EPOC, CNRS) - I*

Bailly Alain *(FCBA) - II*

Baldi Isabelle *(Université de Bordeaux) - I*

Banos Vincent *(Irstea, ETBX) - I et II*

Barbarin Anaïs *(Ecogardes) - II*

Barbier Valérie *(ARB NA) - II*

Bardonnet Agnès *(ECOBIOP, INRA, UPPA) - I*

Bareille Gilles *(IPREM, CNRS, UPPA) - II*

Bargerie Nathalie *(Météo-France) - II*

Barillot Romain *(UR P3F, INRA) - II*

Baron Jérôme *(SMIDDEST) - I*

Baudrimont Magalie *(Université de Bordeaux, EPOC, CNRS) - I et II*

Bégout Marie-Laure *(Ifremer) - I*

Belarbi Rafik *(LASIE, Université de La Rochelle) - II*

Benest Fabienne *(IGN) - II*

Benito Garzón Marta *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - II*

Bérard Yann *(CRPLC, CNRS) - I*

Bernard Vincent *(INSEE) - I*

Bernard Clément *(SMIDDEST) - I*

Bernier Frédéric *(INRA, UEFP) - II*

Berroneau Matthieu *(Cistude Nature) - I et II*

Bertan Pascal *(Inrap, PACEA) - I*

Berthoumieu Jean-François *(ACMG, Agralis, Cluster Eau & Climat) - II*

Bertin Xavier *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Besnard Aurélien *(CEFE, EPHE, PSL University) - II*

Biais Gérard *(Ifremer, Unité Halieutique Gascogne Sud, Station de La Rochelle) - I et II*

Blanc Gérard *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Bodiguel Luc *(DCS, CNRS, Université de Nantes) - II*

Boët Philippe *(Irstea, EABX) - I*

Bonheme Ingrid *(IGN) - II*

Bonneton Philippe *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Borja Angel *(AZTI) - I et II*

Bosc Alexandre *(INRA ISPA) - II*

Boschet Christophe *(Irstea, ETBX) - I*

Bouchon Didier *(EBI, CNRS, Université de Poitiers) - II*

Boudou-Aguirre Gotzon *(INRA) - II*

Bouisset Christine *(UPPA, PASSAGES, CNRS) - I et II*

Bouteiller Xavier *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - II*

Brahic Élodie *(Irstea ETBX) - II*

Breysse Denys *(I2M, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Briday Régis *(LATTS) - II*

Brunet Yves *(INRA, ISPA) - I*

Budzinski Hélène *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I et II*

Bulteau Thomas *(BRGM) - II*

Buoro Mathieu *(ECOBIOP, INRA, UPPA) - II*

Bustamante Paco *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Buyle Stéphane *(Réserve Naturelle des Marais) - II*

Cabaret Olivier *(BRGM) - II*

Cabaret Yohana *(AcclimaTerra) - II*

Cachot Jérôme *(Université de Bordeaux, EPOC, CNRS) - II*

Caignard Thomas *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - II*

Caill-Milly Nathalie *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - I et II*

Calonnec Agnès *(INRA, SAVE, Université de Bordeaux) - II*

Camproux Duffrene Marie-Pierre *(SAGE, CNRS, Université de Strasbourg) - II*

Carassou Laure *(Irstea, Labex COTE) - II*

Cassou Christophe *(CERFACS, CNRS) - I*

Castège Iker *(Centre de la Mer de Biarritz) - I et II*

Castelle Bruno *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I et II*

Cecchi Catherine *(SFSE) - II*

Chaaladi Aurélie *(EPOC, Université de Bordeaux) - I*

Chabbi Abad *(URP3F, INRA) - II*

Chailleux Sébastien *(PASSAGES, UPPA, Sciences-Po Bordeaux) - II*

Charbonneau Marion *(PASSAGES, CNRS, UPPA) - II*

Chaumillon Éric *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Chauvin Sébastien *(FORESPIR) - II*

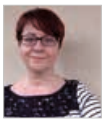
Chery Philippe *(Bordeaux Sciences Agro, Géoressources et Environnement, BSA) - II*

Chiffard Carricaburu Jules *(CEFE) - II*

Chust Guillem *(AZTI) - I et II*

Clarimont Sylvie *(PASSAGES, UPPA) - I*

Clavé-Papion Bérengère *(TerraGéolis) - I*



Colin Anne *(Ausonius, CNRS, Université Bordeaux Montagne) - I*

Combarnous Michel *(Professeur émérite à l'Université de Bordeaux) - II*

Compagnon Daniel *(Centre Émile Durkheim, CNRS, Sciences Po Bordeaux) - I et II*

Compère Fabrice *(BRGM) - II*

Corcket Emmanuel *(BIOGECO, INRA Université de Bordeaux) - I*

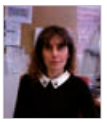
Cordero Rebeca *(EFI) - II*

Cornelis Laura *(DVDH) - II*

Coupry Bruno *(EAUCEA) - I et II*

Courderchet Laurent *(PASSAGES, CNRS, Université Bordeaux Montaigne) - II*

Coureau Gaëlle *(ISPED) - I*



Courtin-Nomade Alexandra *(GRESE, Université de Limoges) - II*

Coynel Alexandra *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Cuende François-Xavier *(Institution Adour) - I*

D'Amico Frank *(CNRS, UPPA) - I et II*

D'Elbée Jean *(LAPHY) - I et II*

Danger Michael *(LIEC, CNRS, Université de Lorraine-METZ) - II*

Dauvin Jean-Claude *(M2C, CNRS, Université de Caen Normandie) - I*

Daverat Françoise *(Irstea, EABX) - II*

David Valérie *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

De Casamajor Marie-Noëlle *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - I et II*

De Grissac Bruno *(SMEGREG, EPTB, AHSP) - I et II*

De Guillebon Benoît *(APESA) - II*

De Jéso Bernard *(Groupe Archéologique de Monpazier) - II*

De Lary Roland *(CRPF) - II*

De Marsily Ghislain *(Professeur émérite à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Académie des Sciences) - II*

De Montaudouin Xavier *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

De Pontual Hélène *(Ifremer) - II*

Dechézelles Stéphanie *(CHERPA, LAMES, Aix-Marseille Université) - II*

Defossez Gautier *(CHU de Poitiers, Université de Poitiers, CIC INSERM) - II*

Dégrave Laurent *(PNR Landes de Gascogne, BIOGECO INRA, Université de Bordeaux) - II*

Degrémont Isabelle *(UPPA, PASSAGES, CNRS) - II*

Dehez Jeoffrey *(Irstea, ETBX) - I*

Del Amo Yolanda *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Delestre Daniel *(SEPANSO) - II*

Delétraz Gaelle *(PASSAGES, UPPA) - II*

Dellier Julien *(Université de Limoges, GEOLAB, CNRS) - II*

Delmas Antoine *(Ruralités, Université de Poitiers) - II*

Delottier Hugo *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP) - II*

Delzangles Hubert *(EBI, CNRS, Université de Poitiers) - II*

Delzon Sylvain *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - I et II*

Denaix Laurence *(ISPA, INRA) - II*

Denoyes Béatrice *(OrFE, INRA) - I et II*

Desprez-Loustau Marie-Laure *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - I*

Deuffic Philippe *(Irstea, ADBX) - I et II*

Deutsch Éloïse *(Parc national des Pyrénées) - II*

Devier Marie-Hélène *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Didolot François *(CRPF) - II*

Douez Olivier *(BRGM) - II*

Doyen Luc *(GREThA, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Drouineau Hilaire *(Irstea, EABX) - II*

Duplessy Jean-Claude *(LSCE, CNRS, Université de Versailles) - I*

Dupuy Alain *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP) - I et II*

Dupuy Christine *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Durand Jean-Louis *(UR P3F, INRA) - II*

Duval Quentin - *II*

El Jihad Moulay-Driss *(Ruralités, Université de Poitiers)* - *II*

Elliès Marie-Pierre *(Bordeaux Sciences Agro, Herbivores, INRA)* - *II*

Esnault François *(Département des Pyrénées-Atlantiques)* - *II*

Etcheber Henri *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - *I et II*

Faure Christine *(ADEME)* - *II*

Favennec Jean *(EUCC France)* - *I*

Ferley JeanPierre *(ORS-NA)* - *II*

Fernández-Manjarrés Juan *(LESE, CNRS, Université Paris-Sud)* - *II*

Ferrari Sylvie *(GREThA, CNRS, Université de Bordeaux)* - *II*

Fines Francette *(CEJEP, Université de La Rochelle)* - *II*

François Alain *(Ruralités, Université de Poitiers)* - *II*

Fréjaville Thibaut *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - *II*

Gallet Sébastien *(G-TUBE, Université de Bretagne Occidentale)* - *II*

Galop Didier *(GEODE, CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès)* - *II*

Garcia De Cortazar-Atauri Inaki *(AgroClim, INRA)* - *I*

Garnier Emmanuel *(CNRS, Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté)* - *I et II*

Gastal François *(FERLUS, INRA)* - *II*

Gatet Antoine *(CRIDEAU, Université de Limoges)* - *II*

Gault Gaëlle *(ARS Cire Aquitaine)* - *I*

Gaussier Nathalie *(GREThA, CNRS, Université de Bordeaux)* - *II*

Gazeau Alain *(ATMO NA)* - *II*

Genty Dominique *(LSCE, CNRS, Université de Versailles)* - *I*

George Emmanuelle *(LESSEM, Irstea, Université de Grenoble Alpes)* - *I*

Gil Roger *(EREA, Université de Poitiers, CHU de Poitiers)* - *II*

Girardclos Olivier *(CNRS, Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté)* - *I*

Godier Patrice *(PAVE, Centre Émile Durkheim, Université de Bordeaux)* - *II*

Goñi Nicolás *(AZTI)* - *I*

Gonzalez Patrice *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - *I*

Goutouly Jean-Pascal *(ISVV, EGFV, INRA)* - *I et II*

Grimal Didier *(Météo-France, DIRSO)* - *II*

Grousset Francis *(Directeur de Recherche CNRS Honoraire, EPOC, Université de Bordeaux)* - *I*

Gueguen Arnaud *(GIP Littoral Aquitain, Institut National des Études Territoriales)* - *II*

Guerbette Jérémy *(Météo-France)* - *II*

Guernion Pierre-Yves *(RAMBOLL, ATMO-NA, APAVE)* - *I*

Guibaud Gilles *(GRESE, Université de Limoges)* - *II*

Gustave Huteau Charlotte *(CEJEP, Université de La Rochelle)* - *II*

Hanquiez Vincent *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - *I et II*

Héchard Yann *(EBI, Université de Poitiers)* - *II*

Hissel François *(Agence française pour la biodiversité)* - *I*

Hochedez Camille *(Ruralités, Université de Poitiers)* - *II*

Huneau Frédéric *(Université de Corse Pascal Paoli)* - *I*

Idier Déborah *(BRGM)* - *I*

Ingrand Pierre *(INSERM CIC, Université de Poitiers)* - *II*

Irichabeau Gabrielle *(GREThA, CNRS, Université de Bordeaux)* - *I*

Jacob Hervé *(Bordeaux Sciences Agro)* - *II*

Jactel Hervé *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - *I*

Jarry Marc *(ECOBIOP, INRA, UPPA)* - *I*

Jatteau Philippe *(Irstea, EABX)* - *II*

Jolivet Simon *(IDP, Université de Poitiers)* - *II*

Jonchères Camille *(AcclimaTerra)* - *II*

Joussein Emmanuel *(GRESE, Université de Limoges)* - *II*

Kantin Roger - *I*

Kleinhentz Marc *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - *I*

Kremer Antoine *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - *I et II*

Labanowski Jérôme *(IC2MP, UMR CNRS 7 285)* - *II*

Labbouz Benoît *(Irstea)* - *II*

Laborie Vanessya - *I*

Lacoue-Labarthe Thomas *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle)* - *II*

Laloge Guillaume *(EPIDOR)* - *II*

Lamarque Laurent *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - *II*

Lamaud Éric *(EPHYSE, INRA)* - *I*

Lambert Patrick *(Irstea, EPBX)* - *II*

Lapègue Sylvie *(Ifremer, SG2M, Unité Santé Génétique et Microbiologie des Mollusques)* - *II*

Largier Gérard *(Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées)* - *I*

Larroque François *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP)* - *II*

Lassalle Géraldine *(Irstea, EABX)* - *II*

Lasserre Magali *(CRPMEM)* - *II*

Launay Marie *(AgroClim, INRA)* - *I*

Lavaud Sandrine *(Ausonius, CNRS, Université Bordeaux Montagne)* - *I*

Lavorel Sandra *(LECA, CNRS, Université de Grenoble Alpes)* - *I*

Le Bagousse Pinguet Yoann - *I*

Le Cozannet Gonéri *(BRGM)* - *I et II*

Le Floch Sophie *(Irstea, ETBX)* - *II*

Le Lous Morgan *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP, Fonroche Géothermie)* - *II*

Le Pape Olivier *(ESE, INRA)* - *II*

Le Treut Hervé *(LMD-IPSL, Sorbonne Université, École polytechnique)* - *I et II*

Leandri Marc *(CEMOTEV, Université de Versailles Saint-Quintin-en-Yvelines) - I*

Lecanu Aurélie *(Comité Régional de la Conchyliculture Arcachon Aquitaine) - II*

Legay Myriam *(ONF) - II*

Legube Bernard *(ENSIP, CNRS, Université de Poitiers) - II*

Lenôtre Nicole *(BRGM) - I*

Lepage Mario *(Irstea, EABX) - I*

Leproux Simon *(ORS-NA) - II*

Lerique Florence *(IATU, PASSAGES, Université Bordeaux Montagne) - II*

Leroux Benoît *(GRESCO, Université de Poitiers, CLIMATEPP) - II*

Leurent Timothée - *I*

Levi Yves *(ESE, CNRS, AgroParisTech) - II*

Levrault Frédéric *(Chambre d'agriculture Poitou-Charentes) - I*

Lheritier Nicolas *(CEN Limousin, GEOLAB) - II*

Lhomet Étienne *(DVDH) - II*

Li Laurent *(LMD-IPSL, CNRS) - II*

Lissardy Muriel *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - I et II*

Lobry Jérémy *(Irstea, EABX, FREEMA) - II*

Londeix Laurent *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Long Nathalie *(LIENSs, CNRS, Université de La Rochelle) - II*

Loustau Denis *(ISPA, INRA) - I*

Lucas Cyril *(Lithéo) - I*

Maalouf Jean-Paul - *I*

Makowiak Jessica *(OMIJ, CRIDEAU, Université de Limoges) - II*

Malet-Vigneaux Julie *(Université de Poitiers, Équipe de recherche en Droit privé) - II*

Malfait Jean-Jacques *(GRETHA, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Mallard Fanny *(Cistude Nature) - II*

Mallet Cyril *(BRGM) - I et II*

Malvy Denis *(CHU de Bordeaux, INSERM) - I*

Mancebo François *(IHDP Earth System Governance, IATEUR, Université de Reims Champagne-Ardennes) - II*

Marchet Pierre *(Agence de l'Eau Adour Garonne) - I*

Marieu Vincent *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - II*

Maron Philippe *(SIAME, CNRS, UPPA) - I*

Marquet Vincent *(GRESE, Université de Limoges) - II*

Martin Jean-Christophe *(GRETHA, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Mathoulin-Pelissier Simone *(ISPED, Université de Bordeaux) - I*

Maugein Jacques *(CG33) - I*

Maurer Daniele - *I*

Mazeaud Alice *(CEJEP, Université de La Rochelle) - II*

Mazellier Patrick *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Mazille Clémentine *(CDRE, UPPA) - II*

Mazzella Nicolas *(Irstea, REBX) - I*

Merceron Nastasia *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - II*

Meredieu Céline *(BIOGECO, INRA) - I*

Michalet Richard *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Michelot Agnès *(CEJEP, Université de La Rochelle) - II*

Migeot Virginie *(INSERM CIC, Université de Poitiers) - II*

Mondament Leslie *(IC2MP, CNRS, Université de Poitiers) - II*

Montigny Frédéric *(ARB NA) - II*

Mora Olivier *(DEPE, INRA) - I*

Morand Serge *(CNRS, ISEM, Université de Montpellier) - II*

Morandeau Gilles *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - I et II*

Moreaux Virginie *(EPHYSE, INRA) - I*

Morin Samuel *(Météo-France, CNRM CNRS, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble) - II*

Morin Soizic *(Irstea, EABX) - I*

Moulard Sophie *(Theïa Lab, LAM, Sciences-Po Bordeaux) - II*

Mugica Julie *(BRGM) - II*

Nadaud Séverine *(CRIDEAU, Université de Limoges) - II*

Nicault Antoine *(GREC-PACA) - II*

Oblet Thierry *(Centre Émile Durkheim, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Oger-Jeanneret Hélène *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet) - II*

Ollat Nathalie *(EGFV, INRA, ISVV) - I et II*

Orazio Christophe *(European Forest Institute, EFIATLANTIC) - II*

Paillassa Éric *(CNPF) - II*

Paris François *(BRGM) - II*

Payne Davnah *(GMBA, Institute of Plant Sciences, University of Bern) - II*

Pédron Nicolas *(BRGM) - II*

Pellerin Sylvain *(ISPA, INRA) - II*

Pereau Jean-Christophe *(GRETHA, CNRS, Université de Bordeaux) - I et II*

Perraudin Émilie *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Peyrusaubes Daniel *(Ruralités, Université de Poitiers) - II*

Philippine Olivier *(UNIMA) - II*

Piazza-Morel Delphie *(Irstea, Université de Grenoble) - II*

Pieri Philippe *(ISVV, EGFV, INRA) - I*

Piou Dominique *(BIOGECO, INRA, DGAL/SDQSPV) - I*

Planton Serge *(CNRM, Météo-France, CNRS) - I et II*

Point Patrick *(GRETHA, CNRS, Université de Bordeaux) - I*

Pons Marc *(CENMA, Institut de Recherche de l'Andorre, Observatoire du développement Durable de l'Andorre) - II*

Porel Gilles *(Université de Poitiers, IC2MP - HydraASA) - II*

Porté Annabel *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux) - II*

Pouchard Michel - II

Pouvreau Stéphane *(Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin)* - II

Prévost Étienne *(ECOBIOP, INRA, UPPA)* - II

Prou Jean *(Ifremer, La Tremblade)* - II

Prouzet Patrick *(Ifremer Société Franco-Japonaise d'Océanographie)* - I

Pryet Alexandre *(Géoressources et Environnement, ENSEGID - Bordeaux INP)* - II

Puiggali Jean-Rodolphe *(Université de Bordeaux)* - II

Quéro Jean-Claude *(Ifremer)* - I

Rabouan Sylvie *(INSERM CIC, Université de Poitiers)* - II

Raherison-Semjen Chantal *(INSERM, Université de Bordeaux, CHU de Bordeaux)* - I

Rambonilaza Tina *(Irstea, ADBX)* - I

Razack Moumtaz *(HYDRASA, Université de Poitiers)* - II

Rebillard Jean-Pierre *(Agence de l'Eau Adour Garonne)* - I

Rebotier Julien *(SET)* - II

Régnacq Philippe *(Observatoire de l'eau du bassin de l'Adour, PASSAGES, UPPA)* - I

Régolini Margot *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - I

Renault Tristan *(Ifremer)* - I

Ribes Aurélien *(CNRM, Météo-France)* - I

Richard Émilie *(ENSIP, CNRS, Université de Poitiers)* - II

Rigaud Christian *(Irstea, EABX)* - II

Robin Cécile *(BIOGECO, INRA)* - II

Robin François-Xavier *(UNIMA)* - II

Rochard Éric *(Irstea, EABX)* - I

Rocle Nicolas *(Irstea, ETBX)* - I et II

Rolland Patrick *(ARS Cire Aquitaine)* - I

Rossignol Jean-Yves - II

Roudie Josette *(Syndicat de Gestion de la Save et de ses affluents)* - II

Roux Didier - II

Rouyer Emmanuel *(CNPF)* - II

Rumpel Cornelia *(CNRS, IEES, UPMC-CNRS-INRA-UPEC-IRD)* - II

Ruys Thomas *(Cistude Nature)* - II

Salamon Roger *(ISPED)* - I

Salles Denis *(Irstea, ADBX)* - I et II

Saltel Marc *(BRGM)* - II

Sanchez Florence *(Ifremer - Laboratoire Environnement Ressources Arcachon/Anglet)* - I et II

Sanchez-Goni Maria-Fernanda *(PSL University, EPOC, Université de Bordeaux)* - I

Sans Espagnon Faustine *(TACA, Université de Bordeaux)* - II

Sauquet Éric *(Irstea, UR Riverly)* - I et II

Sautour Benoît *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - I et II

Schäfer Jörg *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - I

Seguin Bernard *(INRA)* - I

Ségura Raphaël *(BIOGECO, INRA)* - II

Sergent Arnaud *(Irstea, ETBX)* - II

Sifer-Rivière Linda *(INSERM CIC, Cermes3)* - II

Simonet Guillaume *(ABSTR'ACTION Services)* - I

Sota Anne - I

Sottolichio Aldo *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* - II

Soubeyroux Jean-Michel *(CLIMSEC, Météo-France)* - II

Sourp Éric *(Parc national des Pyrénées)* - II

Surville Frédéric *(Espace Climat Océan Littoral)* - II

Szuba Mathilde *(Ceraps, Université de Lille)* - II

Taabni Mohamed *(Ruralités, Université de Poitiers)* - II

Tapie Guy *(École Nationale supérieure d'architecture et paysage de Bordeaux)* - II

Tastet Jean-Pierre *(Cap Terre)* - II

Terrádez Mas Juan *(OPCC-CTP)* - II

Terreaux Jean-Philippe *(Irstea, ETBX)* -

Thibaud Laurent *(ADEME)* - II

Thomazo Benoît *(EDF)* - II

Touzard Blaise *(BIOGECO, INRA, Université de Bordeaux)* - I

Tozzi Pascal *(PASSAGES, CNRS, Université Bordeaux Montaigne)* - II

Trichet Pierre *(EPHYSE, INRA)* - I

Urcun Jean-Paul *(LPO - Aquitaine)* - I

Vachaud Georges *(Directeur de Recherches Émérite CNRS, IGE, Université de Grenoble Alpes)* - II

Valero-Garces Blas *(Instituto Pirineaico de Ecologia, CSIC)* - II

Van Leeuwen Cornelis *(ISVV, EGFV, INRA)* - II

Vaucelle Sandrine *(PASSAGES)* - I

Vautard Robert (LCSE-IPSL, CNRS) - II

Verdin Florence *(Ausonius, CNRS, Université Bordeaux Montagne)* -

Verfaillie Déborah *(CNRM, CEN, Météo-France)* - II

Villenave Éric *(EPOC, CNRS, OASU)* - I et II

Vivière Manon *(LyRE, SUEZ)* - II

Vles Vincent *(UMR CNRS 5044, CERTOP)* -

Wenden Bénédicte *(BFP, INRA)* - II

Willaume Magali *(AGIR, INP ENSAT, Université de Toulouse)* - II

Wuilleumier Arnaud *(BRGM)* - II

Zaragosi Sébastien *(EPOC, CNRS, Université de Bordeaux)* -

Zélem Marie-Christine *(CERTOP-CNRS, Université de Toulouse 2 Jean Jaurès)* - II

Zerguini Seghir *(GREThA, Université de Bordeaux)* - II

ANTICIPER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN NOUVELLE-AQUITAINE. POUR AGIR DANS LES TERRITOIRES

Comité Scientifique Régional AcclimaTerra
sous la direction de Hervé Le Treut

Éditions Région Nouvelle-Aquitaine, 2018

ISBN : 978-2-9564516-0-0
Format : 21 x 29,7 cm
Pages : 488
Illustrations : 577
Papier : Imprimé sur papier couché pour la couverture et papier offset pour les pages intérieures, issus de forêts gérées durablement.

Design et mise en page :
Iti Communication, agence certifiée ISO 14001
www.iti-communication.com / 05 55 04 20 19

Impression :
Groupe des imprimeries Morault
www.groupe-morault.com / 01 53 35 95 15

Légende de la couverture : Plage de Hendaye, Pays Basque, France © Cerovsek Barbara

Avec le soutien de

RÉGION Nouvelle-Aquitaine

***Agissons** aujourd'hui, **réinventons** demain*