

Changement climatique, biodiversité et transition écologique : Comprendre les enjeux pour agir en Bretagne



Rédaction : Benjamin Nguyen

Coordination : Jean-Luc Toullec, Thierry Amor, Paskall Le Doeuff, Guillaume Géлинаud

*« Il s'agit au fond de réconcilier l'homme avec la nature. De le persuader
de signer un nouveau pacte avec elle, car il en sera le premier
bénéficiaire. » Jean Dorst*

Avant que nature meure, pour que nature vive – 2012

Sommaire

Préface :	4
Introduction : Climat, changement climatique et biodiversité en Bretagne.....	6
I Changement climatique et biodiversité.....	6
II Le changement climatique en Bretagne.....	9
A) Le climat breton.....	9
B) Le changement climatique à l'échelle globale.....	11
C) Le changement climatique aux échelles nationale, régionale et locale.....	16
III La biodiversité en Bretagne.....	20
A) Une biodiversité localement et climatiquement différenciée.....	21
B) Une mosaïque paysagère anthropisée.....	23
Axe I : Diagnostic Écologique.....	26
I Les grands impacts du changement climatique sur la biologie des espèces et le fonctionnement des écosystèmes.....	26
A) Les modifications de la phénologie.....	27
B) Les modifications de la distribution.....	29
C) Le changement climatique, moteur de nouvelles compétitions inter-spécifiques ?.....	31
II Les milieux naturels et semi-naturels à l'épreuve du changement climatique.....	33
A) La forêt de plaine atlantique.....	35
B) Les milieux agricoles.....	43
1) La biodiversité domestique.....	45
2) La biodiversité sauvage.....	48
C) Les bassins versants.....	56
1) Les cours d'eau.....	57
2) Les zones humides.....	71
D) Le littoral et le milieu marin.....	82
1) Le réchauffement des océans.....	85
2) L'augmentation du niveau de la mer.....	104
3) L'acidification des océans.....	120
Axe 2 : Solutions publiques, professionnelles, associatives et citoyennes.....	130
I Approche par l'aménagement et la gestion des territoires.....	131
A) Un nouvel outil à la croisée des politiques d'aménagement et de conservation.....	132
1) La Trame verte et bleue et le Schéma régional de cohérence écologique.....	132
2) Les Atlas de la biodiversité communale.....	135
B) Un approfondissement de la stratégie conservationniste plutôt qu'un changement de direction.....	137
C) Une nouvelle façon de penser la relation homme-nature.....	139
II Approche par milieu.....	140
A) Forêt : vers une sylviculture durable face au changement climatique.....	141
B) Agriculture : s'adapter au changement climatique, une entreprise bien vaine en temps de crise agricole profonde.....	144
1) Adaptation des exploitations agricoles : d'une gestion tactique de la variabilité inter-annuelle à une gestion stratégique prenant en compte le changement climatique.....	144
2) Dépasser le cadre de la seule adaptation au changement climatique : vers une agriculture "écologiquement intensive".....	147
C) Bassins versants : la politique de l'eau et les initiatives locales au service de l'adaptation au changement climatique.....	163
1) La politique européenne de l'eau et ses applications régionales et locales : une base juridique aux actions visant l'adaptation de la biodiversité aquatique au changement climatique.....	163

2) La renaturation des cours d'eau et le rétablissement de leurs continuités écologiques..	166
3) La conservation et la restauration des zones humides.....	175
a) Valoriser pour protéger.....	177
b) Développer une ingénierie de la restauration.....	180
D) Littoral : le plus grand défi posé par le changement climatique en Bretagne.....	187
1) L'adaptation à l'élévation du niveau de la mer : de vagues orientations nationales, de fortes résistances locales.....	187
2) Des solutions douces contre l'érosion innovantes et particulièrement prometteuses.....	191
3) Accepter l'avancée de la mer : une fatalité ?.....	200
a) La dépoldérisation : s'inspirer de nos voisins pour rendre des terres à la mer dans un but environnemental et défensif.....	200
b) La relocalisation des activités et des biens : se préparer dès maintenant aux scénarii les plus extrêmes.....	205
Conclusion : Vers la définition d'un positionnement stratégique par rapport au changement climatique.....	212
Bibliographie :	218

Préface :

A première vue, cette superbe photo prise par Alexandra Rohr n'évoque en rien le changement climatique. Pourtant, cette sterne caugek bretonne qui rapporte au nid une espèce de poisson des mers chaudes illustre parfaitement les bouleversements des écosystèmes induits par le changement climatique. Des bouleversements que nous ne percevons généralement pas d'où une préférence certaine pour des illustrations plus explicites et spectaculaires. Car l'esprit humain a le goût du spectaculaire, ce qui lui fait bien souvent oublier le plus essentiel. Aussi, lorsqu'une canicule comme celle que nous avons connue à la fin du mois de juin 2015 s'abat sur la France, nous rappelons-nous subitement que le changement climatique est une réalité, alors qu'il n'était encore qu'une vague conjecture à l'époque où nous profitons d'un été indien au mois d'octobre précédent... S'il est vrai que les événements climatiques extrêmes tels que celui-ci sont amenés à devenir de plus en plus fréquents, la canicule de 2015, prise individuellement, ne relève pas du réchauffement climatique mais de la variabilité interannuelle. Et si de telles vagues de chaleur et de sécheresse sont de nature à engendrer une forte mortalité conjoncturelle chez diverses formes de vie, les conséquences pérennes et durables du changement climatique sont à rechercher du côté de l'évolution relativement lente et progressive (du moins à l'échelle d'une vie humaine) des températures et précipitations moyennes.

Lorsqu'il est question d'impacts sur la biodiversité, quel meilleur symbole que le sempiternel Ours polaire, condamné à la dérive sur un océan ayant repris ses droits. Nous n'avons pas d'Ours polaires en Bretagne, aussi avais-je proposé que la conférence biodiversité organisée dans le cadre de l'événement climat du Grand Ouest "La pluie et le beau temps" s'intéresse à la question des pucerons et de leurs ennemis naturels, les parasitoïdes. Les transformations récemment observées au sein de cette communauté d'insectes sont aussi spectaculaires que passionnantes et posent de surcroît la question de l'évolution de la menace nuisible pesant sur l'agriculture, ce qui n'est pas le cas de notre ami plantigrade du Grand Nord. Mais pucerons et parasitoïdes ne constituent pas ce qu'il y a de plus "sexy" en matière de faune armoricaine aussi leur a-t-on préféré cette valeur sûre que représentent les oiseaux. Pourtant, nous ne mourrons pas de faim si le Macareux moine quitte l'île Rouzic à cause de quelques degrés de plus. Ce sera potentiellement le cas si ces mêmes degrés supplémentaires profitent davantage aux pucerons qu'à leurs prédateurs naturels dans les champs céréaliers.

Conséquence de ce goût pour le spectaculaire et les symboles : notre réactivité est proportionnelle à l'ampleur du spectacle et à la valeur affective que nous lui attribuons. Ainsi, nous souffrons aujourd'hui de ce que Philippe J. Dubois appelle "le syndrome de la grenouille". On

raconte qu'une grenouille plongée soudainement dans l'eau bouillante essaiera vivement de s'en extirper, tandis que, placée dans l'eau froide, elle ne bougera pas si la température augmente graduellement, pour finir ébouillantée¹. Le changement climatique, par son caractère relativement lent et progressif, représente une menace autrement plus insidieuse que celles exercées par les activités humaines telles que l'agriculture ou l'urbanisation, dont les impacts sur la biodiversité sont immédiats et palpables. L'impact du changement climatique est quant à lui fait de multiples conséquences qui s'opèrent à l'échelle des espèces mais qui, mises bout à bout, conduisent à une véritable reconfiguration des écosystèmes. L'Ours polaire n'est en réalité que la partie émergée de l'iceberg, celle qui fondra en premier mais surtout celle que nous verrons fondre. Parce qu'elles sont subtiles et parfois même imperceptibles à moins d'engager des études scientifiques de long terme, la plupart des conséquences du changement climatique sont perçues comme lointaines et incertaines et c'est pourquoi les associations naturalistes n'en font bien souvent pas leur priorité. Et la vérité c'est qu'elles ont bien raison ! Le changement climatique ne représente pas le plus grand péril auquel les écosystèmes terrestres et aquatiques sont exposés. En revanche, contrairement aux menaces anthropiques qui l'ont précédé, le changement climatique représente une pression globale s'exerçant sur l'ensemble des écosystèmes et venant donc se surajouter à celles-ci. Aussi, le but de ce livre blanc n'est pas de replacer le changement climatique au centre des préoccupations de Bretagne Vivante et autres associations naturalistes mais de montrer que cette problématique est liée à toutes les autres. Ainsi, œuvrer pour l'atténuation du changement climatique c'est limiter l'effort d'adaptation que les espèces et les écosystèmes auront à fournir. Inversement, contribuer au bon état écologique des milieux naturels en agissant sur les pressions anthropiques qui précèdent le changement climatique, c'est favoriser l'adaptation de la biodiversité à ce dernier, un écosystème en bonne santé étant par définition plus résilient. Trop souvent négligé par les associations purement naturalistes, trop souvent abordé par les autres à travers le seul prisme de la transition énergétique, le changement climatique imposera à la biodiversité une transition écologique qu'il convient de préparer dès maintenant. Non pas en recentrant l'ensemble des actions conservationnistes autour du seul objectif d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Non pas en remplaçant l'éducation à la nature et à la protection de la nature par une formation aux économies d'énergie. Mais en intégrant davantage la problématique du changement climatique aux actions que nous menons déjà, afin que climat et biodiversité ne soient plus traités comme deux thématiques indépendantes voire déconnectées l'une de l'autre, et parfois même concurrentes.

Ce document poursuit deux missions. En premier lieu, il s'agira de dresser un panorama des impacts que nous pouvons d'ores et déjà observer à l'échelle de la Bretagne. Puis, l'objet d'une

1 DUBOIS Philippe J., 2008. *Le syndrome de la grenouille*. Septembre 2008. Delachaux et Niestlé Paris. 190p.

seconde partie sera d'apporter des solutions et surtout de stimuler la recherche de solutions par la présentation de retours d'expérience sur des politiques publiques ou initiatives associatives ayant contribué, à dessein ou non, à l'adaptation de la biodiversité au changement climatique. Jamais encore un enjeu environnemental n'avait été aussi global. Et pourtant, jamais encore nous n'avions autant perdu de vue la dimension territoriale. Ce livre blanc entend remettre les pendules à l'heure : si les grandes orientations sont prises mondialement à l'occasion de sommets tels que la COP21, les actions concrètes sont menées à l'échelle des territoires. Et en tant que représentantes de la société civile disposant d'une expertise naturaliste qui fait parfois défaut aux collectivités, les associations peuvent et doivent être les acteurs privilégiés de la transition écologique que nous impose aujourd'hui le changement climatique.

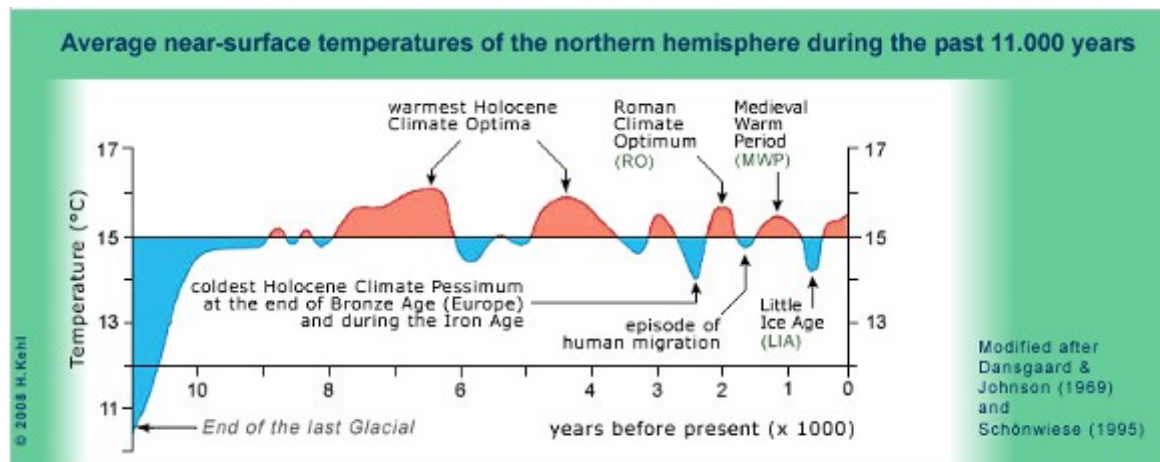
Introduction : Climat, changement climatique et biodiversité en Bretagne

I Changement climatique et biodiversité

Le climat peut se définir comme l'ensemble des conditions météorologiques moyennes (températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air, vitesse des vents...) qui règnent sur une région donnée durant une période donnée². Aussi, si nous avons tous en tête que le climat n'est pas identique partout, le fait qu'il ne varie pas uniquement en fonction de l'espace mais aussi du temps nous est souvent moins évident. Selon la théorie des cycles de Milankovitch, le changement climatique est un processus naturel lié aux inflexions de l'orbite terrestre qui surviennent tous les 100 000 ans en moyenne. Ces inflexions font alterner notre planète entre des périodes glaciaires et interglaciaires et donc entre des phases de refroidissement et de réchauffement atmosphérique. Ainsi, la Bretagne n'a pas toujours été soumise au climat océanique doux et humide qu'elle connaît aujourd'hui. Lors du dernier maximum glaciaire, vers -18 000 ans, la température à la surface de la Terre était de 3 à 5 °C inférieure à celle d'aujourd'hui. La Bretagne, située en marge des glaciers qui recouvraient une bonne partie du nord de l'Europe, subissait un climat froid et aride, avec une végétation rase de toundra, telle qu'on peut la rencontrer de nos jours en Alaska, dans le Grand Nord canadien ou en Sibérie. En raison des énormes quantités d'eau stockées par les glaciers, le niveau des mers était 120 mètres plus bas et la Manche était un fleuve qui se déversait dans l'Atlantique. Vers -10 000 ans, une phase de radoucissement s'est amorcée et a entraîné le retrait des

2 INRA-EFPA-Unité de recherche sur l'écosystème prairial, 2009. *Lexique thématique à l'usage des techniciens en écologie*.

glaciers et la remontée du niveau de la mer jusqu'à retrouver à peu près les contours actuels de la Bretagne. Outre les modifications du trait de côte, l'entrée dans cette nouvelle période interglaciaire a bouleversé la composition de la flore et de la faune. La Bretagne s'est couverte d'épaisses forêts de chênes et de noisetiers qui ont abrité une faune caractéristique des milieux tempérés (cerfs, sangliers, renards...) qui a remplacé la mégafaune glaciaire et ses géants emblématiques (mammouths, mégacéros, smilodons...)³.



Vue d'artiste de la mégafaune du Pléistocène :
La disparition de ces grands mammifères emblématiques est probablement due aux effets conjugués du réchauffement climatique et de la pression anthropique qui s'exerçait déjà sur la biodiversité par l'intermédiaire de la chasse. Selon Beth Shapiro, professeure agrégée de biologie à l'université d'Etat de Pennsylvanie aux Etats-Unis et co-auteur d'un article sur l'extinction de six grands herbivores du Pléistocène (le rhinocéros laineux, le mammouth laineux, le cheval sauvage, le renne, le bison et le boeuf musqué) paru dans la revue *Nature*, « lors du dernier réchauffement, lorsque la période glaciaire est passée à la période interglaciaire actuelle, un élément a empêché les animaux de faire ce qu'ils ont toujours fait, à savoir, trouver de nouveaux refuges, ou des territoires où maintenir leur population. Cet élément était probablement l'Homme ». Comme nous le verrons dans les pages de ce livre blanc, le scénario se répète aujourd'hui...

Notre planète a donc déjà connu des périodes de réchauffement climatique qui ont profondément et irréversiblement modifié la biodiversité. Biodiversité et climat sont en effet intrinsèquement liés puisque le climat est une composante à part entière de la niche écologique d'une espèce donnée. Celle-ci peut se définir comme l'ensemble des conditions nécessaires à une population viable de cette espèce⁴. Si on isole le paramètre climatique des autres conditions, il est même possible de

3 BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

4 INRA-EFPA-Unité de recherche sur l'écosystème prairial, 2009. *Lexique thématique à l'usage des techniciens en écologie*.

parler de niche climatique ou thermique. Géographiquement, l'aire de répartition d'une espèce est en partie délimitée par ses maximums et minimums thermiques bien qu'il existe de nombreuses autres raisons à ces limites, les conditions climatiques n'étant qu'une composante de la niche écologique parmi d'autres. Ainsi, une espèce présentant des maximums et minimums thermiques plus élevés qu'une autre, sera dite plus thermophile et aura tendance à vivre sous des latitudes plus méridionales. En soustrayant le minimum thermique d'une espèce à son maximum thermique, il est possible d'obtenir un indice caractérisant sa spécialisation thermique : plus l'indice est élevé, plus la gamme de températures sous laquelle l'espèce peut vivre est large. Cela permet de distinguer généralistes et spécialistes thermiques, les premiers étant théoriquement moins vulnérables aux épisodes de changement climatique que les seconds. Par définition, soumises à de moins grandes variations de température au cours de l'année, les espèces tropicales sont thermiquement plus spécialisées que les espèces vivant sous un climat tempéré.

Ainsi, la faune et la flore en un lieu donné sont le résultat d'un long processus d'évolution, en partie imposé par le climat. Au fil du temps, les organismes vivants d'une région donnée sont en effet façonnés par les fluctuations des températures, des précipitations mais aussi des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Le réchauffement du début de l'Holocène qui a conduit au climat que nous connaissons aujourd'hui a exercé une pression sur la biologie des espèces qui se sont adaptées par l'acclimatation, l'évolution, le déplacement de leurs aires de répartition et la colonisation de nouveaux habitats favorables, ou se sont au contraire éteintes. Les variations du climat ont donc toujours profondément modifié les zones de vie des espèces et la structure des communautés biologiques, des paysages et plus largement des écorégions. Ce qui est nouveau cela dit, c'est que le réchauffement que nous connaissons actuellement n'est pas du aux inflexions de l'orbite terrestre comme l'ont été tous les autres mais bien aux activités humaines par l'intermédiaire de l'accentuation du phénomène naturel de l'effet de serre.

Plus important encore, n'oublions pas que le dernier réchauffement naturel d'importance que la Terre ait connu avait été lent, s'étalant sur environ 2 000 ans, sans commune mesure avec celui qui s'amorce aujourd'hui et dont les effets sont attendus sur une période de l'ordre du siècle. Ainsi, la pression que le changement climatique actuel exerce sur les espèces met leur capacité d'adaptation à rude épreuve, l'évolution étant un processus lent, s'étalant sur plusieurs générations. Face à lui, les espèces ne sont pas égales, les êtres vivants à cycle de vie court comme les insectes, dont plusieurs générations peuvent se succéder au cours d'une même année, étant particulièrement avantagés par rapport aux arbres dont la longévité peut atteindre plusieurs siècles voire millénaires⁵. Enfin, si le réchauffement qui se profile à l'horizon diffère de celui du début de l'Holocène par ses

5 Communication personnelle Philippe Vernon.

origines anthropiques et sa rapidité, il y a un aspect vis-à-vis duquel les deux phénomènes sont en tous points similaires : leur ampleur. Les climato-sceptiques ayant survécu aux cinq rapports du GIEC auront tôt fait de noter les vagues de refroidissement et de réchauffement qui se sont succédées tout au long de l'Histoire de l'homme moderne. Oui, il faisait anormalement chaud entre 250 avant Jésus Christ et 400 après Jésus Christ et oui, le début du XIV^e siècle fut marqué par une période de refroidissement exagérément qualifiée de “petit âge glaciaire”. Toutefois, force est de constater que ces variations des températures moyennes n'étaient même pas de l'ordre du degré. Au contraire, selon les experts du GIEC, la hausse de la température moyenne d'ici 2100 pourrait être comprise entre 1,1 et 6,4 °C (augmentation de température potentielle maximale selon le scénario A1FI, le plus pessimiste de tous, considéré comme relativement peu probable)⁶. Ainsi, selon les scénarii les plus pessimistes, l'ampleur du réchauffement actuel pourrait être comparable voire même supérieure à celle qui a mis fin à la dernière glaciation ! La biodiversité a toujours été façonnée par les variations du climat mais parviendra-t-elle à s'adapter à un changement si brutal ? La réponse à cette question dépendra des espèces considérées, la biodiversité ne formant pas un bloc homogène en matière de capacités adaptatives. Elle dépendra également des milieux naturels concernés, certains étant naturellement plus vulnérables que d'autres ou davantage fragilisés par les activités humaines. Enfin, elle dépendra du territoire, le changement climatique ne se traduisant pas identiquement selon les régions, que ce soit à l'échelle du monde ou d'un pays. Aussi, afin de mieux anticiper les impacts du changement climatique global sur la biodiversité bretonne, il convient dès à présent de s'intéresser plus en détails à sa manifestation dans notre région.

II Le changement climatique en Bretagne

A) Le climat breton

Le climat breton a toujours participé à la légende de la région aussi cela n'étonnera-t-il personne d'apprendre que la Bretagne est soumise à l'influence d'un régime océanique tempéré, caractérisé par des températures douces, une certaine humidité, des pluies généreuses et des vents souvent soutenus⁷. Cette influence océanique est accentuée par l'effet péninsule, la Bretagne étant bordée par la Manche au nord et l'océan Atlantique à l'ouest et au sud, ses 2 730 kilomètres de côtes représentent un tiers du linéaire côtier de la France métropolitaine, plus encore si on considère

6 BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

7 Ibid.

la Bretagne historique incluant la Loire-Atlantique⁸. Pour autant, le climat breton n'est pas complètement homogène. Les températures, l'ensoleillement et les précipitations varient localement comme le montrent ces différentes cartes⁹:

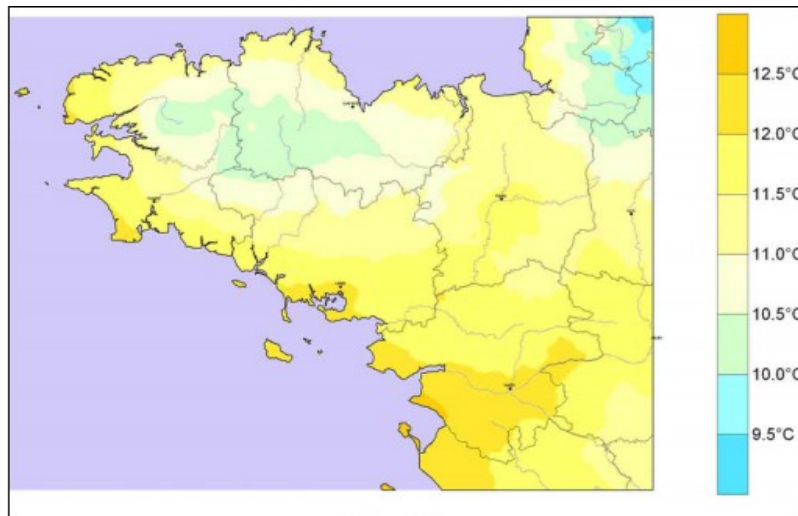


Figure 1.8.a :
températures moyennes annuelles (1971 – 2000)

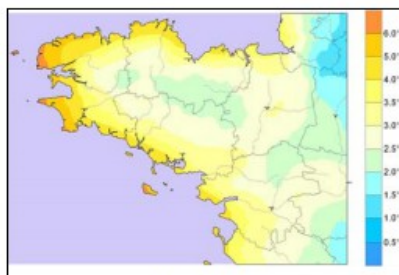


Figure 1.8.b :
moyenne des températures minimales
quotidiennes d'hiver
(1971-2000)

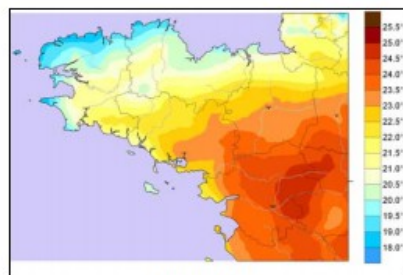


Figure 1.8.c :
moyenne des températures maximales quotidiennes
d'été
(1971-2000)

Températures :

Elles dépendent principalement de trois paramètres :

- La distance au littoral, l'effet côtier se traduisant par des températures plus douces en hiver et plus fraîches l'été
- Le relief, les Monts d'Arrée, les Montagnes Noires et les Monts du Méné étant soumis à des températures plus basses, surtout en hiver.
- La latitude, surtout significative en été, les températures maximales augmentant à mesure qu'on se déplace vers le sud.

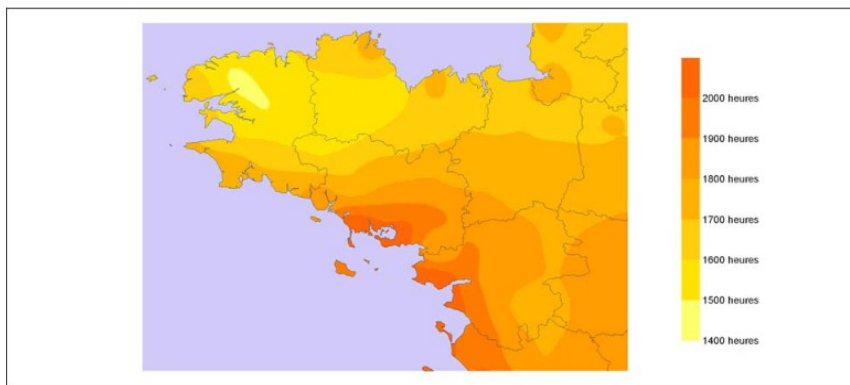


Figure 1.19 :
insolation moyenne annuelle spatialisée
(mesures au sol et données des satellites METEOSAT sur la période 1997-2006)

Ensoleillement :

Sans grande surprise, la durée d'insolation moyenne annuelle croît à mesure qu'on se déplace vers le sud et qu'on se rapproche des côtes. La zone la moins ensoleillée est la zone "montagneuse" où les nuages s'amoncellent davantage qu'ailleurs.

8 GIP Bretagne environnement, 2010. *La nature des côtes bretonnes*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Chiffres-cles/La-nature-des-cotes>

9 BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

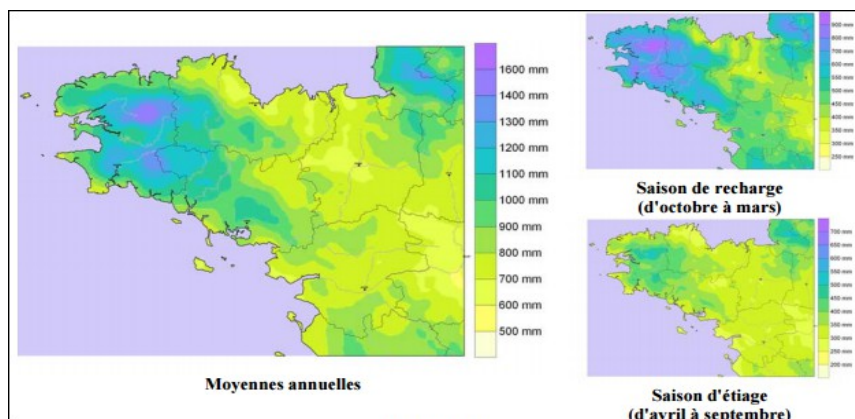


Figure 1.3 :
précipitations moyennes - Normales 1971-2000

Précipitations :

Elles ont fait la célébrité de notre région, comme si la Bretagne toute entière était perpétuellement soumise à son célèbre crachin. Pourtant, les précipitations varient grandement à l'échelle locale. Elles diminuent considérablement à mesure que l'on progresse vers l'est et dans une moindre mesure lorsqu'on se rapproche du littoral. Une fois encore, la zone "montagneuse" se distingue par des pluies plus abondantes tandis que le bassin rennais est l'une des régions les moins humides avec un cumul annuel de 600 mm soit 1000 mm de moins que dans les Monts d'Arrée et moins que la moyenne nationale.

De manière plus générale, on peut dire que l'influence océanique décroît d'est en ouest et à mesure que l'on pénètre à l'intérieur des terres. Ces disparités climatiques sont importantes à considérer car elles permettent d'expliquer pourquoi le changement climatique ne se manifesterait pas de la même façon sur l'ensemble du territoire breton. Enfin, un dernier paramètre climatique est ici volontairement ignoré : le vent. En effet, la corrélation entre changement climatique et augmentation de la fréquence des tempêtes n'est pour l'instant pas scientifiquement prouvée, c'est plutôt l'augmentation du niveau de la mer qui importera en matière de dégâts causés¹⁰. Nous n'aborderons donc pas cette question dans ce livre blanc.

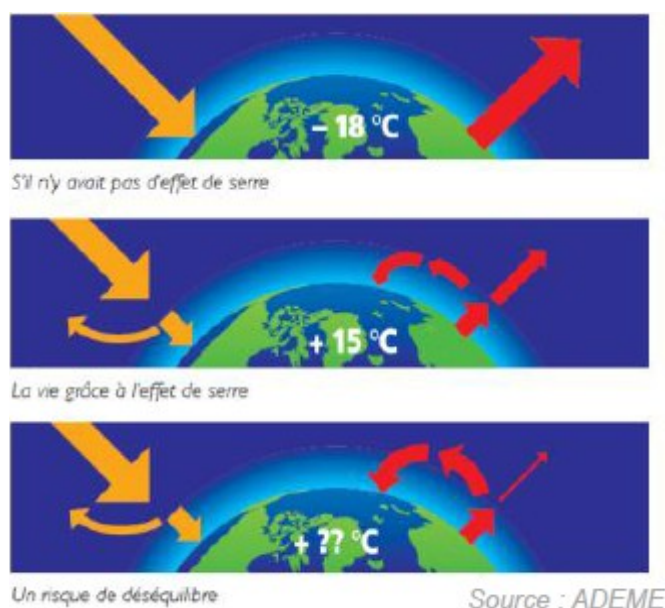
B) Le changement climatique à l'échelle globale

Le changement climatique que nous connaissons actuellement trouve son origine dans "l'effet de serre" ou plutôt dans son accentuation. Il s'agit d'un phénomène thermique naturel à l'origine de températures permettant la vie sur Terre. L'atmosphère de notre planète laisse passer une partie du rayonnement solaire qui vient frapper le sol. Réchauffé, celui-ci émet un rayonnement infrarouge en partie ou totalement piégé par l'atmosphère rendue "impermeable" par la présence de gaz, dont principalement la vapeur d'eau sur Terre. On observe alors une isolation accrue de la planète et un réchauffement global de celle-ci. Grâce à l'effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre est de 15°C. Sans lui, elle serait de -18°C¹¹. Ce qui conduit à l'augmentation des températures et pose problème aujourd'hui n'est donc pas l'effet de serre à proprement parler mais

¹⁰ Ibid.

¹¹ Futura Environnement par Futura-Sciences. Définition de l'effet de serre. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/climatologie-effet-serre-966/>

l'effet de serre additionnel qui trouve sa source dans les activités humaines. Par la production d'énergie principalement (à hauteur de 70,8 % en France en 2010¹²) mais aussi l'agriculture, l'industrie ou encore la gestion des déchets, l'Homme rejette dans l'atmosphère divers gaz qui contribuent à accroître l'efficacité de l'effet de serre et donc à réchauffer l'atmosphère. Celui que nous rejetons en plus grande quantité et qui a la plus longue durée de vie dans l'atmosphère est bien évidemment le dioxyde de carbone (CO₂) mais c'est aussi celui qui a le plus faible potentiel de réchauffement, le méthane ayant par exemple un pouvoir 25 fois supérieur tandis que certains gaz employés dans les processus réfrigérant sont jusqu'à 22 000 fois plus impactant¹³ ! Pourtant, en raison de sa plus forte contribution au réchauffement climatique, le dioxyde de carbone est le GES (gaz à effet de serre) de référence et on parle "d'équivalence CO₂" pour désigner la contribution des autres GES à l'accentuation de l'effet de serre. Aujourd'hui, les scientifiques réunis au sein du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sont parvenus à la conclusion que la croissance rapide et importante des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique est la cause principale du changement climatique actuel. Rien à voir donc avec le réchauffement qui a suivi la dernière période glaciaire que l'on attribue, comme tous les précédents, à une inflexion naturelle de l'orbite terrestre.



Depuis que leur responsabilité dans le changement climatique actuel a été mise en évidence, l'impact des émissions d'origine anthropique sur l'effet de serre est au centre des préoccupations environnementales de la communauté internationale. Mis en place en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et à la demande du G7, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur

12 Formation ADEME "Associations, comment mieux appréhender les enjeux et le contenu des politiques locales climat, air, énergie ?"

13 Ibid.

L'Évolution du Climat a pour mission d'anticiper l'ampleur du changement climatique d'ici 2100. Pour se faire, le GIEC a élaboré plusieurs scénarii socio-économiques dans lesquels les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique diffèrent. Ces différents scénarii, dits SRES (du nom du rapport spécial publié en 2000 pour les présenter, *Special Report on Emissions Scenarios*), sont définis par une lettre, A ou B et un chiffre, 1 ou 2. Tous les scénarii correspondent à une croissance démographique et économique rapide avec une population mondiale maximum atteinte au milieu du siècle, suivie d'un déclin. Toutefois, cette croissance est plus soutenue dans les scénarii de type A. De plus, les scénarii de type B impliquent la recherche de solutions orientées vers la soutenabilité économique et environnementale, ce qui n'est pas le cas dans les scénarii de type A. Les types 1 et 2 renvoient à la notion de convergence entre les sociétés humaines et notamment au transfert de technologie. Ainsi, les scénarii de type 1 impliquent une convergence démographique, économique et technologique importante et rapide tandis que les scénarii de type 2 se caractérisent par un repli des populations vers les échelles régionales et locales avec, de ce fait, un transfert des technologies orientées vers la production d'énergies non fossiles limité¹⁴. A partir de ces types, plusieurs scénarii peuvent être élaborés. Parmi toutes les combinaisons possibles, les scénarii A2, B1 et A1B sont les plus couramment utilisés dans les études d'impacts du changement climatique, y compris dans le modèle ARPEGE-Climat de Météo France qui fournit les projections climatiques régionalisées utilisées dans ce livre blanc.

Encadré : Les scénarii du GIEC¹⁵

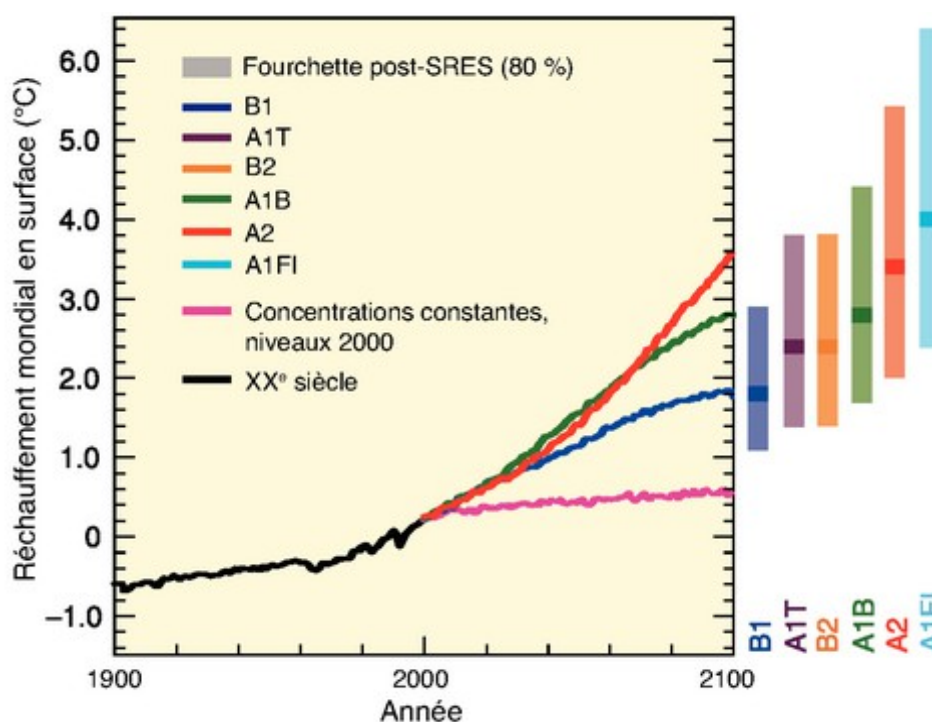
- A1B : Le canevas et la famille de scénarii A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra son maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Le scénario A1B se caractérise par un équilibre entre les sources d'énergies et suppose que toutes les nouvelles technologies connaîtront des taux d'amélioration similaires.
- A2 : Le canevas et la famille de scénarii A2 décrivent un monde très hétérogène. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique prendra quant à lui une orientation principalement régionale.
- B1 : Le canevas et la famille de scénarii B1 décrivent un monde convergent avec une

¹⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2000. *Rapport spécial du GIEC, Scénarios d'émission – Résumé à l'intention des décideurs*.

¹⁵ Ibid.

population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant par la suite, des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information et l'introduction de technologies propres utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est mis sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, ainsi qu'une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

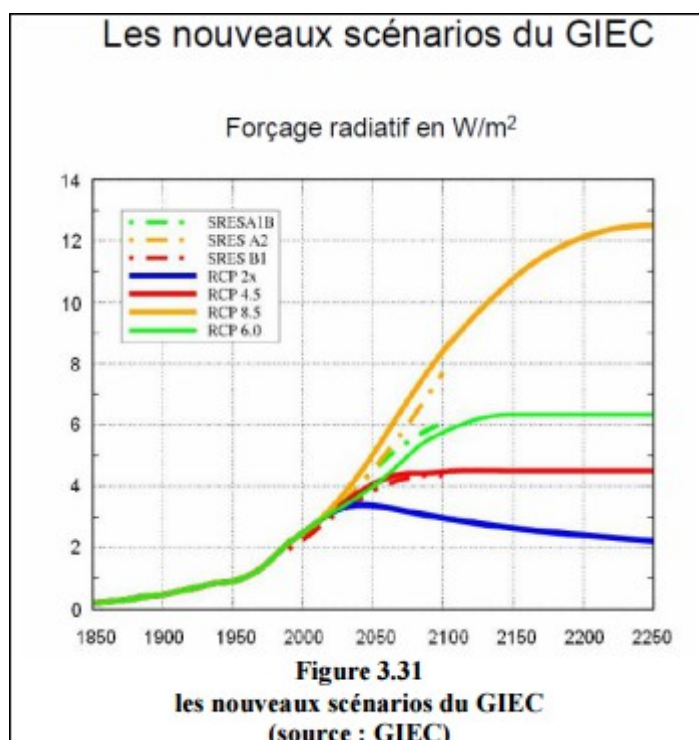
Pour faire simple, B1 est le scénario le plus optimiste en matière d'émissions de GES d'origine anthropique, A2 le plus pessimiste et A1B, une sorte de scénario intermédiaire. Ainsi, le scénario B1 prédit en 2100, une concentration en CO₂ de 550 parties par million tandis qu'elle serait de 840 ppm selon A2 et 770 ppm selon A1B, sachant qu'elle est actuellement de 400 ppm. Ces différentes concentrations se traduisent par des augmentations de température variables, calculées à partir du forçage radiatif, c'est-à-dire l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère, et représentées sur le graphique ci-dessous¹⁶ :



Légende : Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes mondiales du réchauffement en surface pour les scénarii A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au XX^e siècle. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable correspondant aux six scénarii de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999.

¹⁶ Ibid.

A noter qu'aux scénarii SRES ont succédé les scénarii RCP (Representative Concentration Pathways) et SSP (Shared Socio-Economic Pathways) introduits dans le cinquième rapport du GIEC paru en 2013. Ces derniers prennent en compte les évolutions du contexte socio-économique mondial et notamment l'adoption de politiques climatiques et l'évolution de la technologie. Cependant, la plupart des études d'impact régionalisé qui existent actuellement utilisent encore les scénarii SRES c'est pourquoi nous continuerons à les prendre en compte, notamment à l'échelle de la Bretagne. D'autant plus qu'à l'exception d'une stabilisation après 2100 (les nouveaux scénarii prolongent les prévisions à l'horizon 2250) et de l'ajout d'un scénario inédit très optimiste intégrant les effets des politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C, les nouvelles prévisions sont relativement similaires aux anciennes¹⁷.

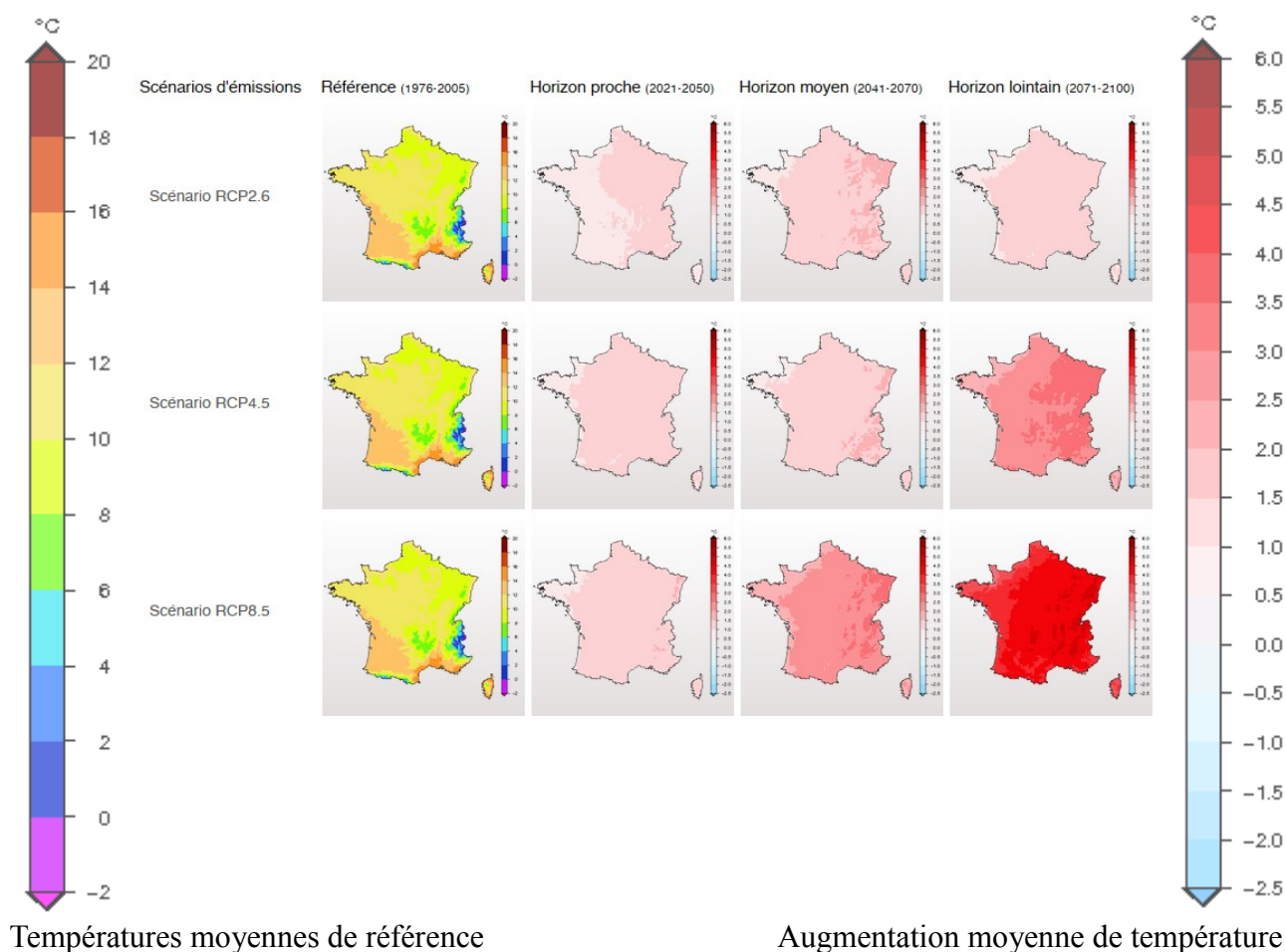


Quel que soit le scénario, les augmentations de température évoquées jusqu'à présent sont des moyennes globales. Le réchauffement ne se traduira pas de la même façon partout sur Terre et ce qui nous intéresse, ce sont ses manifestations à l'échelle de la France métropolitaine et de la Bretagne.

¹⁷ Direction générale de l'énergie et du climat, Service climat et efficacité, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2013. *Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

C) Le changement climatique aux échelles nationale, régionale et locale

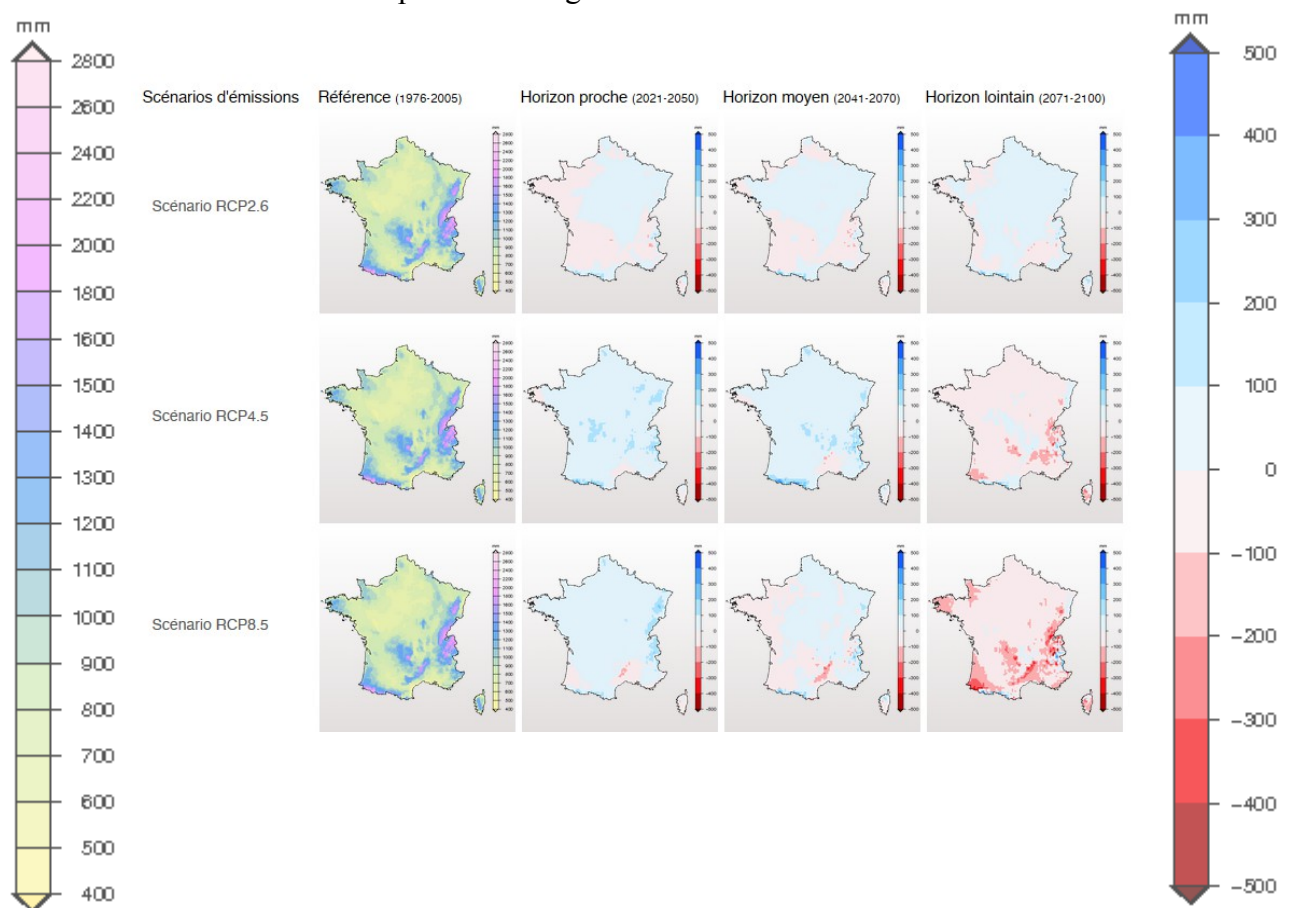
A l'échelle nationale, le réchauffement climatique devrait se traduire par une augmentation des températures de 1 à 3°C à l'horizon 2050 et de 3 à 5°C à l'horizon 2100, selon les nouveaux scénarii RCP. Toutefois, évoquer de telles fourchettes n'a pas grand intérêt, le réchauffement n'ayant pas la même ampleur sur l'ensemble du territoire métropolitain. En fait, les différences de climats préexistantes au changement climatique sont importantes car elles contribueront à atténuer ou au contraire accentuer l'augmentation des températures moyennes, comme on peut le voir sur ces cartes récapitulatives :



Ce qui frappe tout de suite c'est que, quel que soit le degré de pessimisme du scénario considéré, la Bretagne ainsi que la pointe de la Basse Normandie apparaissent davantage épargnées par le réchauffement que la plupart des autres régions de France. Selon le scénario RCP 4.5 par exemple, l'équivalent RCP du scénario SRES B1, l'augmentation des températures moyennes reste comprise entre 0,5 et 1°C à l'horizon 2050, de même que sur le littoral breton à l'horizon 2070 avec une accentuation de la hausse désormais comprise entre 1 et 1,5°C à l'intérieur de la partie orientale de

la Bretagne. A l'horizon 2100, la hausse des températures moyennes est comprise entre 1,5 et 2°C. Pour ces mêmes horizons, les projections prédisent une augmentation des températures moyennes relativement homogène sur l'ensemble du territoire métropolitain comprise entre 1,5 et 2°C puis 2 et 2,5°C soit 0,5°C de plus qu'en Bretagne, avec une accentuation nette du réchauffement dans l'est du pays. Si on choisit le scénario le plus pessimiste, la Bretagne semble de nouveau être plus épargnée que le reste de la France sauf peut-être à l'horizon 2100 où le réchauffement est très important sur l'ensemble de la métropole¹⁸. L'ampleur du réchauffement sera donc moins importante en Bretagne que dans le reste de la France, l'influence océanique jouant pour beaucoup. A l'inverse, l'est du pays, très continental, subira des hausses de températures supérieures à la majeure partie du territoire national. Ainsi, les caractéristiques d'origine des climats régionaux, elles-mêmes déterminées par les conditions géographiques et géomorphologiques, influent grandement sur la manifestation régionale du réchauffement climatique.

En matière d'évolution des précipitations moyennes cela dit, il est presque impossible de tirer des conclusions tranchées pour la Bretagne :



Pluviométrie moyenne de référence

Évolution moyenne de la pluviométrie

¹⁸ Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. *Drias, les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés. Simulations climatiques pour plusieurs scénarios pour la métropole.* [en ligne]. <http://www.drias-climat.fr/decouverte/parcours/neo/vignettes/temperature>.

De manière très générale, l'évolution de la pluviométrie sur l'ensemble du territoire métropolitain semble marquée par une augmentation des précipitations moyennes annuelles à l'horizon proche suivi d'une inversion de la tendance à l'horizon moyen qui se traduirait *in fine* par une diminution de la pluviométrie moyenne annuelle à l'horizon 2100. En ce qui concerne la Bretagne, la différence la plus marquée par rapport au reste du Grand Ouest se retrouve à l'horizon 2100 du scénario RCP 8.5 qui prédit une diminution particulièrement importante comprise entre -100 et -200mm pour la Bretagne occidentale. Une baisse similaire est observée sur la pointe normande qui, à l'instar du Finistère, est connue pour sa pluviométrie de référence très importante. Pour les autres scénarii en revanche, l'évolution des précipitations reste dans une gamme de variation de -100 à +100mm, ce qui n'est pas significatif pour parler de véritable changement¹⁹. Par ailleurs, selon Franck Baraer de Météo France, les études récentes laissent planer le doute sur l'évolution du volume global des précipitations²⁰. Ces valeurs moyennes annuelles cachent cependant une possible modification de la répartition saisonnière des précipitations. Plusieurs modèles prédisent en effet des hivers plus humides compensés par des étés beaucoup plus secs. Toutefois, les projections relatives à la pluviométrie restent beaucoup plus incertaines que celles qui concernent l'évolution des températures.

A la vue de ces seules projections à l'échelle nationale, on pourrait croire que le changement climatique se manifesterait de façon identique sur toute la péninsule bretonne. En réalité, la résolution utilisée pour les projections aux échelles globales ou nationales est insuffisante pour décrire le climat d'une région de la taille de la Bretagne. Il est donc nécessaire de réaliser une descente d'échelle spatiale pour mieux prendre en compte les particularités locales telles que les effets de relief ou de côte. Nous avons pu voir que les caractéristiques des climats régionaux impliquent une manifestation différenciée du changement climatique. Il en va de même pour les micro-climats locaux. Dans le cadre de l'élaboration du Schéma régional climat, air, énergie, la Région Bretagne a commandé une étude scientifique à Météo France pour favoriser la connaissance du changement climatique en Bretagne. Réalisée à partir du modèle ARPEGE-Climat, cette étude se base sur les scénarii SRES et non les nouveaux scénarii RCP/SSP. Les cartes synthétiques qui en sont issues permettent d'avoir une vue d'ensemble de la différenciation locale des effets du changement climatique²¹. Elles sont fournies en annexe. Ces différentes cartes font écho à celles relatives au climat breton qui ont été précédemment présentées. Aussi, il apparaît que le changement

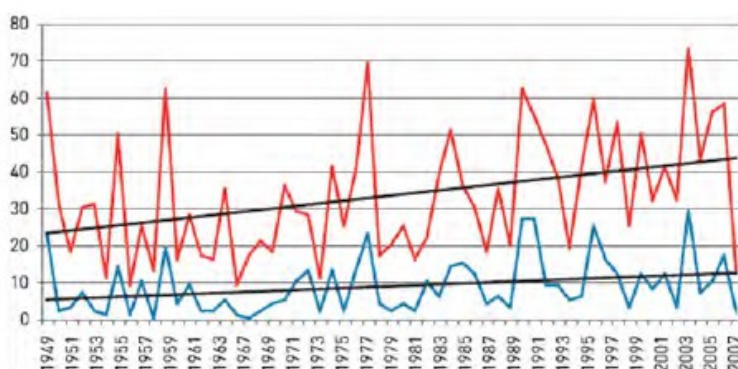
19 Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. *Drias, les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés*. [en ligne]. <http://www.drias-climat.fr/decouverte/parcours/neo/vignettes/pluviometrie>.

20 Communication personnelle Franck Baraer.

21 BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

climatique ne créera pas de modification majeure dans les écarts de températures entre microrégions ni dans la répartition spatiale des précipitations.

Enfin, le changement climatique ne se traduit pas uniquement par les évolutions progressives des moyennes de températures et de précipitations. Les extrêmes climatiques, pris séparément, relèvent davantage de la variabilité interannuelle que du changement climatique et ont tendance à fausser la perception que nous avons de ce dernier. Pourtant, dans une optique de tendance générale sur le long terme, les extrêmes climatiques sont eux aussi concernés par le changement climatique. En matière de températures, il est prévu une augmentation de la fréquence et de la durée des vagues de forte chaleur et une diminution de la fréquence et de la durée des périodes de gel. Selon le scénario A2, à l'échelle du Grand Ouest, le nombre annuel de jours de vague de chaleur devrait augmenter de 2 jours à l'horizon 2030 à 8 jours à l'horizon 2050 et enfin 45 jours à l'horizon 2090. Au contraire, le nombre annuel de jours de gel devrait diminuer de 14 jours à l'horizon 2030 puis de 16 jours à l'horizon 2050 et enfin 27 jours à l'horizon 2090²². Il est à noter qu'une fois encore, les influences climatiques locales tempèrent ou accentuent les effets du réchauffement climatique. Ainsi, l'évolution du nombre annuel de jours de forte chaleur déjà observée depuis 1949 montre une hausse plus rapide à Rennes, connue pour son climat relativement chaud à l'échelle de la Bretagne, qu'à Brest dont la fraîcheur estivale est légendaire²³.



Evolution du nombre annuel de jours chauds (> 25 °C) à Rennes (en rouge) et Brest (en bleu) de 1949 à 2007 ; courbe de tendance en noir (données Météo France, dans Dubreuil et Planchon, 2008).

En matière de pluviométrie à présent, le lien entre précipitations extrêmes et changement climatique n'est pas formellement établi. Si le risque de sécheresse est souvent mis en avant dès lors qu'il est question de changement climatique, il convient d'en distinguer différents types. La sécheresse météorologique tout d'abord, se caractérise le plus simplement du monde par l'absence

22 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

23 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

de précipitations. La sécheresse hydrologique concerne quant à elle les niveaux d'eau et les débits. Enfin la sécheresse édaphique correspond à l'assèchement des sols. Une fois ces définitions énoncées, il apparaît que les sécheresses hydrologiques et édaphiques ne sont pas nécessairement dues à la seule sécheresse climatique. En effet, l'apport en eau n'est pas le seul paramètre à prendre en compte : la perte d'eau est tout aussi importante. Celle-ci intervient par le mécanisme d'évaporation de l'eau des pièces d'eau et du sol mais aussi par la transpiration des végétaux qui puisent directement leurs ressources en eau dans le sol. Autant de phénomènes naturels conditionnés par... la température. Ainsi, compte tenu de l'incertitude quant à l'évolution de la pluviométrie, le risque de sécheresse accru dans le futur est davantage à mettre sur le compte de l'augmentation moyenne des températures, notamment estivales, et surtout de la fréquence accrue des épisodes caniculaires en été. Le risque de sécheresse sera alors plus important dans les zones qui présentent déjà les volumes les plus faibles de précipitations en Bretagne, à l'instar du bassin rennais.

A l'issue de cette descente d'échelle progressive, il apparaît que le changement climatique pourrait être moins marqué en Bretagne que dans la majeure partie du territoire français. Aussi, serions-nous tentés de dire que les impacts du changement climatique sur la biodiversité seront plus modérés en Bretagne que dans d'autres régions de France. Cela reviendrait à ignorer la position géographico-climatique de la Bretagne comme zone de transition entre espèces d'affinités septentrionales d'une part et méridionales d'autre part, et limite d'aire de répartition pour les unes comme pour les autres.

III La biodiversité en Bretagne

Dans la baie de La Baule, principale station balnéaire de Loire-Atlantique, les boutiques de souvenirs vendent cartes postales, sets de tables et autres produits touristiques aux effigies du macareux moine, du fou de Bassan, du “pétrel” fulmar, autant de volatiles qui donnent aussi leur nom à des immeubles pour vacanciers. Il est alors surprenant de constater que le bâtiment au nom le plus pertinent est l’Hôtel Ibis du coin ! Cet usage commercial d'espèces emblématiques du littoral nord de la Bretagne en Loire-Atlantique, revendiquée comme “Bretagne Sud” par les acteurs du tourisme, est symptomatique de la vision restrictive et biaisée que le grand public a de la biodiversité bretonne. Pour beaucoup, la nature en Bretagne se résume à ses grands espaces littoraux sauvages, ses estrans rocheux et leur cortège d'oiseaux et de mammifères marins, ses habitats à végétation spécifique du bord de mer ou encore ses vastes baies propices au regroupement d'oiseaux migrateurs. Il ne s'agit en réalité que d'une vitrine patrimoniale qui exclut

toute possibilité de nuance. Car la biodiversité bretonne est belle et bien nuancée et la question climatique qui nous intéresse a sa part de responsabilité. En effet, la Bretagne est une zone de transition où de nombreuses espèces septentrionales trouvent leur limite sud de répartition tandis que d'autres, à affinités plus méridionales, y trouvent leur limite nord. De plus, la Bretagne sauvage que nous évoquent les côtes granitiques est marginale à l'échelle d'une région qui se caractérise bien davantage par une mosaïque de milieux imbriqués les uns avec les autres et façonnés par une occupation humaine des sols très ancienne.

A) Une biodiversité localement et climatiquement différenciée

La position géographique de la Bretagne comme zone de transition climatique pour la biodiversité est plus marquée en milieu marin qu'en milieu terrestre. Au niveau de l'Atlantique nord-est, la Bretagne se situe à un carrefour biogéographique entre provinces. En séparant la façade atlantique de la Manche-Mer du Nord, le massif armoricain se situe à la frontière entre les provinces boréale au nord et lusitanienne au sud. Elles hébergent à ce titre une diversité remarquable dont la distribution est fortement influencée par les gradients thermiques. La Manche Ouest ainsi que la Mer d'Iroise en particulier, représentent une zone où se concentrent de nombreuses limites d'aires de répartition. Des espèces boréales y trouvent leur limite sud à l'instar des forêts de certaines grandes algues brunes tandis que d'autres espèces des eaux tempérées-chaudes telles que les sardines y trouvent leur limite nord²⁴. Cette position laisse entrevoir d'importants changements induits par le changement climatique, qui se répercuteront sur les activités d'exploitation de la biodiversité marine (pêche commerciale, pisciculture, conchyliculture...).

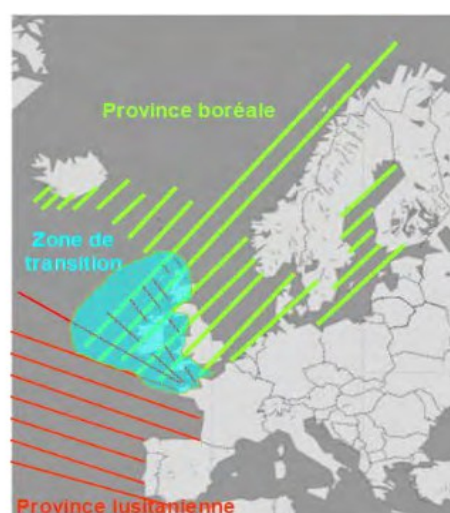


Figure 91 : Représentation dans l'Atlantique Nord Est actuel de la province boréale, de la province lusitanienne et de leur zone de transition autour de la Bretagne (Briggs, 1974).

²⁴ MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

D'un point de vue terrestre, la Bretagne n'est pas scientifiquement reconnue comme zone de transition biogéographique. Elle se trouve au cœur de l'éco-région du paléarctique que l'on peut au mieux réduire au paléarctique occidental dans une optique ornithologique. A l'échelle plus réduite, la Bretagne se trouve au cœur du domaine biogéographique atlantique. Pourtant, la biodiversité de la Bretagne nord contraste avec celle de la Bretagne sud et notamment de la Loire-Atlantique. Des limites d'aires de répartition, nord ou sud, se retrouvent pour plusieurs espèces de divers taxons. Les organismes exothermes tels que les serpents illustrent particulièrement bien cet état de fait. Ainsi, la couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) rencontre-t-elle sa limite nord en Loire-Atlantique et dans l'est de l'Ille-et-Vilaine tandis que la couleuvre vipérine (*Natrix maura*) n'est plus présente au nord de Paimpont et que la couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*), à l'exception d'une population marginale et d'origine incertaine dans le Morbihan, ne se rencontre guère au nord de la Loire. Le cas des vipères est encore plus intéressant puisque les aires de répartition des deux espèces semblent se compléter. Alors que la vipère aspic (*Vipera aspis*) reste confinée en Loire-Atlantique, la Loire constitue la limite sud de la distribution de la vipère péliade (*Vipera berus*), espèce spécialiste des climats froids²⁵.

Connus pour être particulièrement sensibles au climat, de nombreuses espèces d'orthoptères pourraient voir leur limite d'aire de répartition remonter avec le réchauffement atmosphérique. Au moins neuf espèces trouvent leur limite de distribution en Bretagne, à savoir le criquet glauque, l'oedipode soufrée, le criquet verdelet, le criquet de Barbarie, le criquet italien, le grillon des torrents, le grillon bordelais, la decticelle côtière et le conocéphale gracieux²⁶.

Enfin, prenons un exemple qui parlera à tout le monde, à savoir celui des avifaunes patrimoniales les plus emblématiques des Côtes-d'Armor d'une part, et de Loire-Atlantique d'autre part : les oiseaux marins pélagiques et les grands échassiers dont la nidification est respectivement concentrée au niveau du cap Fréhel et de l'archipel des Sept-Îles pour les premiers et au lac de Grand-Lieu pour les seconds. Parmi les oiseaux marins qui ne viennent à terre que pour nicher, quatre espèces, les plus célèbres d'entre toutes, trouvent en Bretagne septentrionale, la limite sud de leur aire de nidification. Il s'agit des trois alcidés (pingouin torda, guillemot de Troïl, macareux moine) et du fou de Bassan. Le fulmar boréal et le puffin des anglais ne descendent quant à eux pas en-dessous des îles morbihannaises de Belle-île-en-mer et Houat. Quant aux hérons, de nombreuses espèces ne se retrouvent plus, en France, au nord du département de la Loire-Atlantique²⁷. Toutefois, l'écueil à éviter lorsque l'on étudie le changement climatique est de céder à la corrélation

25 LE GARFF Bernard, 2014. Les facteurs climatiques. *Penn ar Bed n°216/217/218 : Atlas des Amphibiens et des Reptiles de Bretagne et de Loire-Atlantique*. pages 113-116.

26 CHEVRIER M. et Al., 2004. *Les invertébrés continentaux de Bretagne*. Collection Les Cahiers Naturalistes de Bretagne. GRECIA. Éditions Biotope, 144p.

27 Groupe Ornithologique Breton (coord.), 2012. *Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne*. Delachaux et Niestlé, 512p.

facile qui consiste à justifier tout aspect de la biologie des espèces par le seul facteur climatique. En ce qui concerne les oiseaux pélagiques, la répartition des sites potentiels de nidification joue sans doute un rôle plus important que le climat. En effet on ne compte que très peu d'îles et falaises sans prédateurs au sud de Belle-Ile. Quant aux grands échassiers, certaines espèces en limite nord de leur aire de répartition sur la façade atlantique, tels que le bihoreau gris et le héron pourpré, se retrouvent pourtant jusqu'aux Pays-Bas. Là aussi, la répartition des marais et zones humides joue sans doute davantage que le climat²⁸.

Tout comme il est difficile de séparer la niche climatique d'une espèce de sa niche écologique, il est difficile de déterminer la part d'influence des facteurs climatiques sur la répartition des espèces. Toutefois, les différences de climats à une échelle aussi réduite que celle de la région peuvent, conjointement à d'autres facteurs, conduire à l'implantation d'une biodiversité géographiquement différenciée, phénomène accentué par la position particulière de la Bretagne qui affiche un gradient de températures plus ample que beaucoup d'autres régions françaises. Alors que nous avançons l'idée que le changement climatique se manifesterait de façon moins radicale en Bretagne que dans la majeure partie du territoire français, cette particularité en matière de biodiversité laisse malgré tout présager d'importantes conséquences sur la composition de la faune et de la flore bretonne.

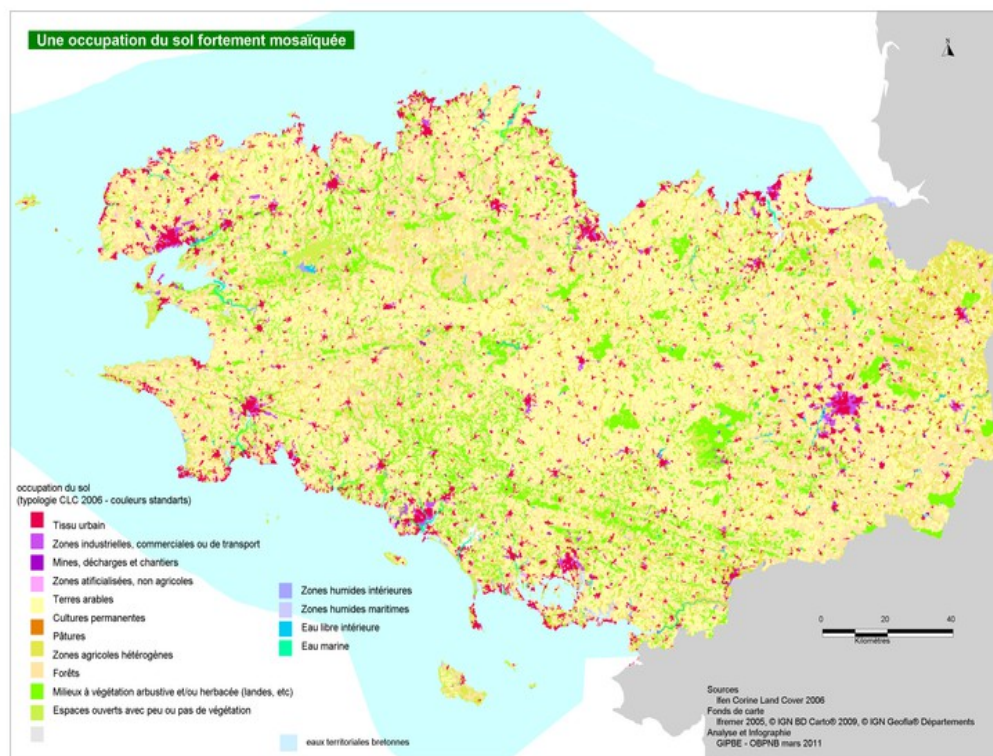
B) Une mosaïque paysagère anthropisée

La Bretagne présente une autre particularité : celle de ne présenter aucune grande entité naturelle dominante à l'échelle de la région (la plus grande entité d'un seul tenant très faiblement artificialisée est faite de landes et de broussailles et ne mesure que 4 100 ha) mais d'être au contraire découpée en une multitude d'habitats très différents imbriqués en une mosaïque paysagère extrêmement diversifiée. Selon la base de données européenne d'occupation biophysique des sols Corine Land Cover, l'occupation du sol en Bretagne s'organise principalement autour de petites parcelles de moins de 100 ha, confirmant l'absence de grands ensembles paysagers discontinus. Selon la typologie établie, la composition du territoire breton en termes de paysages est la suivante²⁹ :

28 Communication personnelle Guillaume Gélinaud.

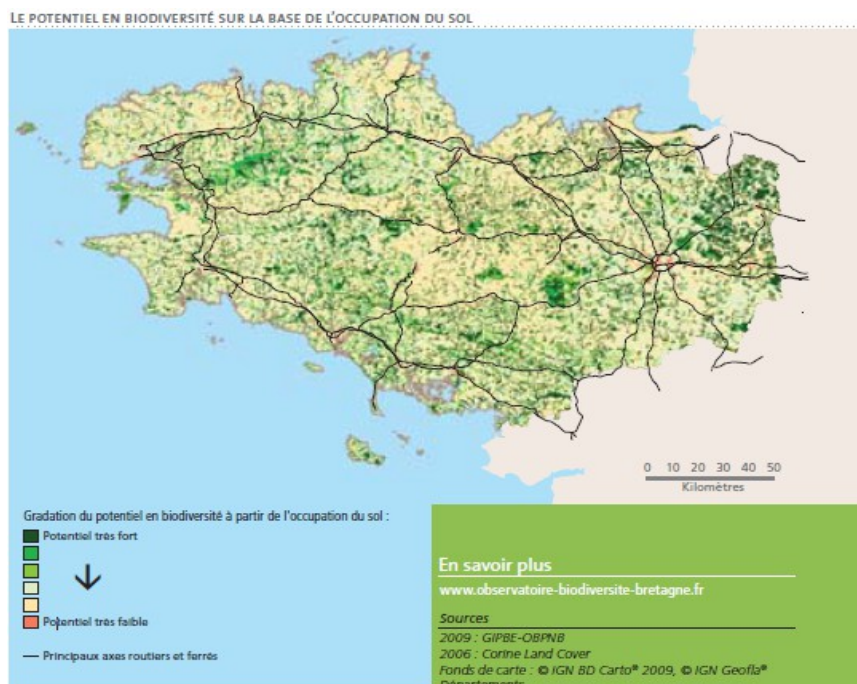
29 GIP Bretagne Environnement, 2011. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2011*.

- 10 % de forêts
- 2,6 % de zones semi-naturelles
- 66,5 % de terres arables ou de systèmes cultureux et parcellaires complexes
- 14 % de prairies et surfaces agricoles entrecoupées d'espaces naturels importants
- 0,6 % de zones humides et eaux libres intérieures
- 6,2 % de surfaces artificialisées par l'urbanisation (hors agricole)



A l'intérieur des terres comme sur la côte, l'occupation humaine des sols très ancienne a par ailleurs façonné la biodiversité qui s'observe aujourd'hui. Parmi ces activités humaines, l'agriculture tient une place prépondérante puisqu'elle occupe les deux tiers du territoire breton. L'urbanisation est également une importante cause d'artificialisation du paysage, d'autant plus flagrante lorsqu'elle s'exerce sur le littoral, sujet qui concerne particulièrement la Bretagne. Or, la richesse en matière de biodiversité dépend du degré d'artificialisation. Un territoire aura un potentiel en biodiversité d'autant plus important qu'il sera peu artificialisé. En Bretagne, 19 % du territoire est très faiblement artificialisé et possède de ce fait un très fort potentiel de biodiversité. Il s'agit principalement des milieux littoraux et du bocage dense. Par contre, 38 % du territoire est fortement artificialisé et a ainsi un très faible potentiel de biodiversité. D'une manière générale, la majeure partie du territoire breton possède un potentiel de biodiversité plutôt faible en raison de l'artificialisation de ses sols³⁰.

³⁰ Ibid.



Ainsi, la Bretagne, et plus largement le Grand Ouest, présentent une biodiversité riche mais fortement érodée. Dans le cadre du réseau Natura 2000, les États Membres de l'Union Européenne sont tenus de réaliser des bilans nationaux tous les six ans. En 2007, année de l'ajout d'un volet "évaluation de l'état de conservation des espèces et des habitats naturels et semi-naturels" à ces bilans, les études menées sous la coordination scientifique du Muséum national d'histoire naturelle ont révélé que des quatre domaines biogéographiques présents en France métropolitaine (atlantique, continental, alpin et méditerranéen), le domaine atlantique est de loin celui qui présente le moins bon état de conservation des habitats naturels et semi-naturels avec seulement 3 % d'habitats dont l'état de conservation est jugé favorable contre 51 % de milieux en très mauvais état écologique³¹. En quoi cela importe-t-il dans la problématique qui nous intéresse ? Tout d'abord, un principe de base en écologie veut qu'un habitat en bon état écologique soit plus résilient. Cela a notamment été démontré par Mac Arthur (1955) et Elton (1958). La "résilience" désigne l'aptitude d'une population ou d'une communauté à retourner à l'état d'équilibre antérieur après une perturbation. Le nombre et la "solidité" des liens existant entre les diverses espèces qui composent un écosystème constituent le facteur essentiel de cette aptitude à la stabilité du système considéré. On concevra donc qu'il existe une corrélation entre résilience et connectance. L'hétérogénéité du milieu, en augmentant le nombre de niches écologiques disponibles permet l'augmentation de la diversité et donc accroît les chances de rencontrer des espèces qui vont potentiellement s'adapter aux changements ou résister aux perturbations. Au-delà d'un certain niveau d'altération, la résilience de l'écosystème est saturée par

31 Direction de la nature et des paysages, 2007. *État de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire – Sortie de la première évaluation en France*. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables.

son pouvoir homéostasique et ne lui permet plus de compenser les altérations structurales et fonctionnelles qu'il subit. La diversité écologique se met alors à décroître au fur et à mesure que la santé de l'écosystème décline et finit par s'effondrer avec la disparition complète des populations constituant le peuplement. Or, la forte artificialisation des sols risque de rendre l'adaptation de la biodiversité bretonne au changement climatique plus difficile. En effet, la fragmentation écopaysagère associée à l'absence de grandes entités naturelles continues et à l'effet "mosaïque paysagère" dont nous avons parlé pose très sérieusement la question des continuités écologiques au sein du territoire breton. Le changement climatique modifiera très probablement certains milieux naturels, les rendant impropres à certaines espèces qui y vivaient ou au contraire plus adaptés à d'autres qui ne les affectionnaient pas initialement. Ainsi, sur un territoire présentant les caractéristiques de celui de la Bretagne, les flux de biodiversité que le changement climatique engendrera risquent fort de se trouver entravés par diverses barrières d'origine anthropique. A cet effet, la question de la préservation ou du rétablissement des continuités écologiques sera l'un des axes privilégiés par Bretagne Vivante pour apporter des solutions à l'adaptation de la biodiversité au changement climatique.

Axe I : Diagnostic Écologique

Les conséquences du changement climatique sur le vivant seront aussi nombreuses et diversifiées que ne le sont les paysages, les écosystèmes et les espèces, voire même les individus. Pourtant, avant de rendre compte de cette diversité par un panorama milieu par milieu aussi exhaustif que possible, il convient de mettre en avant les principales réactions que l'on pourra retrouver chez une large gamme d'espèces et qui relèvent de grandes stratégies d'adaptation pour répondre aux modifications environnementales telles que celles induites par le changement climatique.

I Les grands impacts du changement climatique sur la biologie des espèces et le fonctionnement des écosystèmes

De manière très générale, deux stratégies s'offrent aux espèces pour répondre à une modification de leur environnement naturel. L'une consiste à s'adapter à partir de modifications physiologiques, l'autre à se déplacer afin de retrouver des conditions qui leur sont favorables.

A) Les modifications de la phénologie

Les modifications écologiques représentent une pression qui s'exerce sur les espèces ayant évolué afin de s'adapter aux conditions environnementales des milieux dans lesquels elles vivent. Il faut bien comprendre que la nature n'est pas figée, que les écosystèmes évoluent sur le long terme et que la biodiversité ne subit pas passivement cette évolution car si tel était le cas, les espèces déclindraient vers l'extinction dès lors que le moindre paramètre écologique serait modifié. Dans cette optique, deux niveaux d'adaptation peuvent être distingués :

- L'acclimatation ou accommodation est une adaptation physiologique qui constitue la première expression de ce que l'on appelle la plasticité phénotypique des espèces. Elle résulte de l'existence de mécanismes de régulation, provoquant des modifications métaboliques de nature homéostasique qui permettent aux êtres vivants de maintenir constante et à une valeur optimale leurs conditions internes face à des fluctuations de l'environnement.
- L'évolution ou adaptation génotypique est la forme d'adaptation par la sélection naturelle. Elle se caractérise par la sélection de génomes préexistants dans la population, mieux adaptés aux nouvelles conditions écologiques. C'est aussi la plus lente puisqu'il faut souvent plusieurs générations et une longue sélection par la reproduction pour que les caractères héréditaires s'imposent à l'ensemble de la population.

Ainsi, les êtres vivants ne sont pas inertes face à la modification des facteurs écologiques et peuvent même développer des réactions assez immédiates comme c'est le cas avec l'ajustement physiologique. Le changement climatique que nous connaissons actuellement est rapide et il est peu probable que les organismes à cycle de vie relativement lent tels que les arbres et dans une moindre mesure les animaux vertébrés puissent y répondre par une modification du génotype à l'échelle de la population ou de l'espèce. Pourtant, l'acclimatation est une réponse qui se met en place à l'échelle de la vie de l'individu et peut éventuellement lui permettre de s'adapter à des changements aussi brutaux que ceux imposés par le changement climatique. Toutefois, il ne faut pas commettre l'erreur de corrélér de façon directe les changements observés au niveau de la faune et de la flore à la seule évolution des variables climatiques telles que la température. Ces modifications sont à replacer dans un contexte écosystémique où chaque espèce s'inscrit dans une chaîne trophique et dépend donc directement d'autres espèces.

Le changement climatique prend une signification particulière sous nos latitudes tempérées en modifiant la longueur relative des saisons. C'est pourquoi l'adaptation de la biodiversité au changement climatique se traduit principalement par des modifications de la phénologie c'est-à-dire

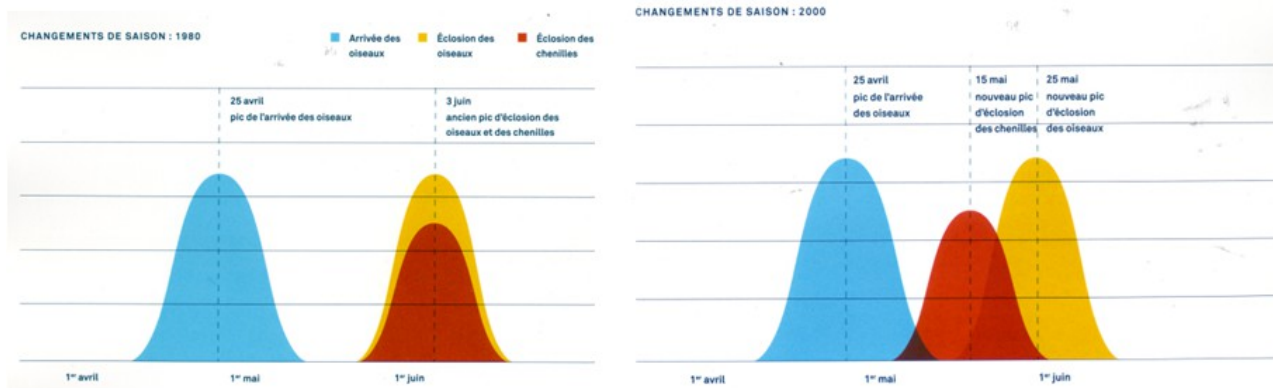
de la temporalité des phénomènes périodiques dépendant des variations saisonnières (germination pour les plantes, nidification pour les oiseaux...). Or les phénologies de nombreuses espèces sont inter-connectées en raison de leur appartenance à une même chaîne trophique (ou alimentaire). Ainsi, l'arrivée du printemps rythme le cycle annuel de toute la biodiversité. La remontée des températures s'accompagne d'une reprise explosive de la végétation. Les jeunes feuilles fournissent une nourriture de qualité pour une multitude d'invertébrés herbivores, aux premiers rangs desquels figurent les chenilles. Eux-mêmes sont alors consommés par des espèces insectivores, elles-mêmes proies de carnivores chassés à leur tour par d'autres prédateurs... Ce phénomène est cependant éphémère : les jeunes pousses tendres deviennent rapidement indigestes et c'est toute la chaîne alimentaire qui s'en retrouve contrariée. Il existe donc un pic d'abondance de nourriture sur lequel chaque espèce de la chaîne trophique tente de se synchroniser afin d'y faire coïncider sa reproduction. Des travaux menés à l'échelle européenne ont mis en évidence l'allongement de la durée de végétation de 2,9 jours par décennie depuis 1950³². Le gain sera plus important en début qu'en fin de période c'est-à-dire qu'il sera plus significatif au printemps qu'en automne. En modifiant les dates de du pic d'abondance alimentaire, le changement climatique impose aux espèces d'ajuster leur phénologie afin de maintenir des conditions de reproduction optimales.

Seulement voilà, cette réactivité phénologique est très inégale en fonction des espèces, des populations et même des individus. Afin d'illustrer ce propos, prenons l'exemple de deux espèces de passereaux qui ont réagi différemment au décalage du pic d'abondance alimentaire. D'un côté, la mésange charbonnière, hôte bien connu de nos jardins et de l'autre, le gobe-mouche noir, migrateur au long cours hivernant en Afrique et dont la présence en Bretagne est limitée aux passages migratoires. Disposant de données qui remontent jusqu'en 1947, l'équipe de Ben Sheldon à l'Université d'Oxford est parvenue à mettre en évidence l'avancée de 14 jours de la ponte des mésanges charbonnières de la forêt de Wytham sur la période 1961-2007. Les données sur l'abondance de nourriture dans la forêt ont permis par ailleurs de montrer que ces 14 jours correspondaient à l'avancement du pic d'abondance des chenilles³³. Au contraire, dans un article paru en 2001 dans la revue *Nature*, les chercheurs néerlandais Christiaan Both et Marcel Visser ont montré que le gobe-mouche noir n'avait pas avancé sa date de retour en Europe alors que le pic d'émergence des chenilles était plus précocé. Malgré une légère avancée de la date de ponte, et donc une réduction du délai entre l'arrivée et la ponte, la désynchronisation entre l'oiseau et sa proie conduit aujourd'hui à un déclin de sa population³⁴.

32 Natacha Massu, Guy Landmann, coord., 2011. *Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine, synthèse de la bibliographie*. Mars 2011. ECOFOR. 180p.

33 CHARMENTIER Anne, 2010. *Changement climatique : les mésanges s'adaptent*. Futura Nature par Futura Sciences.

34 DUBOIS Philippe J., 2003. *Impacts des changements climatiques sur les oiseaux*. Futura Environnement par Futura



Le mismatch trophique gobemouche noir/chenilles

Ainsi, il semble à première vue que la réactivité des espèces face au changement climatique soit inégale. Toutefois, il s'avère que l'étude menée aux Pays-Bas sur le gobe-mouche noir n'a pas de portée universelle, pas plus que n'en a celle réalisée à Oxford sur les mésanges charbonnières. En effet, une étude préalable dans une population néerlandaise de mésanges charbonnières a montré un alignement phénologique très variable selon les femelles, ne permettant pas un ajustement global des pontes. Le résultat est le déclin des effectifs à l'échelle de la population³⁵. Les inégalités d'adaptation au changement climatique ne se mesurent donc pas uniquement à l'échelle de l'espèce ou de la population mais aussi à celle de l'individu. De plus, ce constat révèle que la réponse des organismes vivants au changement climatique ne relèvera pas, du moins pas immédiatement, d'une évolution génétique mais bien d'ajustements physiologiques capables de se manifester individuellement sur un temps très court. Cela permet de relativiser l'idée selon laquelle la biodiversité se retrouverait impuissante devant l'ampleur et la rapidité du changement climatique. Toujours est-il que ce dernier introduit un nouveau risque qui peut potentiellement peser sur toutes les espèces et qu'il convenait donc de présenter dans cette première partie très générale : la désynchronisation des chaînes trophiques ou "mismatch" trophique. Il s'agit de la conséquence écosystémique des modifications de phénologie des espèces et des individus induites par le changement climatique.

B) Les modifications de la distribution

Les conséquences du changement climatique sur la biodiversité ne se manifestent pas uniquement dans le temps via des changements de phénologie mais aussi dans l'espace par le biais d'une modification de la distribution des espèces. Dans l'hémisphère nord, cela prend

Sciences.

35 CHARMENTIER Anne, 2010. *Changement climatique : les mésanges s'adaptent*. Futura Nature par Futura Sciences.

principalement la forme d'un décalage des aires de répartition vers le nord se traduisant souvent par une progression des espèces méridionales et une régression des espèces à affinités septentrionales. Le déplacement, qu'il convient de distinguer de la "migration" qui est un phénomène périodique d'aller et retour et non une modification définitive de la distribution, est une stratégie complémentaire à l'adaptation aux nouvelles conditions climatiques. Les espèces qui y recourent cherchent en fait à retrouver plus au nord les conditions climatiques qui leur sont optimales. Il n'y a donc aucune modification de l'enveloppe climatique de l'espèce, la remontée vers le nord étant plutôt une fuite en avant à la poursuite de cette niche climatique perdue. Toutefois, les conséquences du changement climatique ne sont pas entièrement négatives, certaines espèces parvenant à coloniser de nouvelles régions comme compensation à leur recul en limite sud de leur répartition. En effet, le réchauffement peut contribuer à rendre des environnements moins hostiles à certaines espèces méridionales et permettre leur installation qui était auparavant impossible. La diminution de la fréquence des périodes de gel en hiver a par exemple permis l'implantation solide, bien au-delà de leur aire de répartition d'origine, des deux hérons blancs sensibles au froid intense que sont l'aigrette garzette et le héron garde-boeufs³⁶. Néanmoins, il convient là aussi d'éviter la corrélation systématique avec la seule variable des températures. Bien souvent, ce n'est pas uniquement leur niche climatique mais leur milieu naturel que les espèces suivent. Ceux-ci, modifiés par le changement climatique, tendent à se décaler vers le nord tout comme les moyennes des températures. L'exemple le plus flagrant est sans doute l'expansion de la forêt boréale ou taïga aux dépens de la toundra, milieu plus ouvert, constitué de marais, de tourbières et de grands espaces à végétation rase. Si cette dernière régressera de 10 à 57 % au profit de la taïga, elle s'étendra de 20 à 35 % sur les pôles. La conséquence d'un tel décalage des milieux naturels sera une modification profonde de la répartition des espèces végétales et animales qui leur sont associées³⁷. Si, en matière de changement climatique, les impacts observés sont toujours plus importants et spectaculaires à mesure que l'on se rapproche des pôles, nous verrons que des modifications non négligeables de la végétation bretonne laissent présager un scénario similaire bien que moins radical. Enfin, la dimension écosystémique ne doit pas être négligée ici non plus. Tranchant avec les études pour la plupart mono-spécifiques disponibles sur le sujet, les travaux des chercheurs de l'Université de York au Royaume-Uni sont probablement les plus ambitieux qui existent actuellement dans ce domaine. Désireux d'avoir une vue d'ensemble sur le déplacement de la biodiversité en réaction au changement climatique, ces scientifiques ont compilé l'ensemble des atlas successifs au cours des 25 dernières années pour toutes sortes de groupes d'espèces. Pour chaque groupe, ils ont comparé le

36 Communication personnelle Loïc Marion.

37 DUBOIS Philippe J., 2008. *Le syndrome de la grenouille*. Septembre 2008. Delachaux et Niestlé Paris. 190p.

décalage moyen de la limite nord de l'aire de distribution à 25 ans d'écart. Et la conclusion est sans appel : l'immense majorité des taxons présentent un déplacement similaire. On pourrait alors penser que les écosystèmes migrent pour se reconstituer quelques kilomètres plus au nord. Dix-sept kilomètres par décennie pour être précis car c'est le déplacement moyen constaté par les chercheurs britanniques pour l'ensemble des groupes considérés. Toutefois, une telle moyenne n'a pas grande pertinence étant donné les disparités observées entre chaque groupe. Les plus rapides seraient les libellules et les araignées qui seraient remontées de 75 km en 25 ans. Les oiseaux et les mammifères ne se seraient quant à eux déplacés que de 25 km. Quant aux amphibiens, ils n'auraient pour ainsi dire presque pas bougé³⁸. Les biocénoses ne migrent donc pas pour se recréer à l'identique plus au nord puisque les espèces qui en font partie ne se déplacent pas à la même vitesse. Elles se distendent, se morcellent, se chevauchent les unes les autres et se recomposent comme elles le peuvent. Dès lors, comment prédire la composition de la biodiversité de demain en un point donné ? Quelles conjectures faire sur la fonctionnalité future des nouveaux écosystèmes nés d'assemblages d'espèces inédits ? L'incertitude est totale ou presque mais toujours est-il que le changement climatique introduit un nouveau risque à l'échelle des écosystèmes : des écarts de distribution entre espèces interconnectées voire interdépendantes qui pourraient avoir des conséquences importantes sur les fonctionnalités écologiques. Il s'agit là de la conséquence écosystémique des déplacements d'espèces induits par le changement climatique.

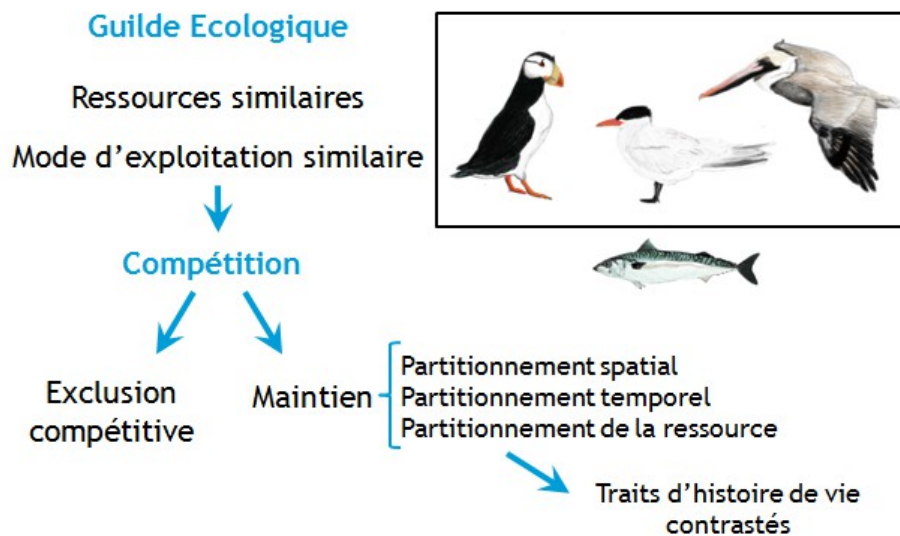
C) Le changement climatique, moteur de nouvelles compétitions inter-spécifiques ?

Jusqu'à présent, nous avons principalement envisagé les conséquences écosystémiques du changement climatique à l'échelle de la chaîne trophique c'est-à-dire à l'aune de la relation prédateur-proie. L'analyse des grands impacts du changement climatique sur la biologie des espèces serait cependant incomplète sans une prise en compte de la modification des interactions au sein des guildes. Une guilda peut se définir comme un ensemble d'espèces appartenant à un même groupe taxonomique ou fonctionnel qui exploitent une ressource commune de la même manière en même temps³⁹. Une guilda est donc un ensemble d'espèces partageant la même niche écologique. Par définition, deux espèces ne peuvent occuper la même niche écologique durablement, il s'agit du principe de Gause. Ainsi, une telle situation conduit nécessairement à une compétition interspécifique dont l'issue serait l'exclusion du compétiteur le moins bien adapté à la niche, par

38 JULLIARD R. et JIGUET F., 2011. *Les oiseaux et la biodiversité face au changement climatique*. Société française d'écologie.

39 INRA-EFPA-Unité de recherche sur l'écosystème prairial, 2009. *Lexique thématique à l'usage des techniciens en écologie*.

sélection naturelle. Pour qu'une guildes existe, il est donc nécessaire que les niches écologiques des compétiteurs naturels ne se superposent pas de façon parfaite. Un partitionnement naturel doit se mettre en place. Ce dernier peut être spatial, temporel ou lié à la ressource exploitée.



Dès lors, on voit se profiler trois voies d'entrée possibles pour le changement climatique :

- La niche climatique est une composante à part entière de la niche écologique d'une espèce. L'importance de cette composante est variable en fonction des espèces mais elle est particulièrement déterminante pour celles dont la biologie dépend directement des variations de température. Il s'agit notamment des organismes ectothermes dont la température interne et tout le métabolisme dépendent de la température ambiante. Le changement climatique, en modifiant les températures, peut contribuer à rendre un milieu plus conforme à la niche climatique du compétiteur qui était préalablement le moins bien adapté et, au contraire, désavantager le compétiteur pour lequel les températures étaient auparavant les plus optimales. Cela se traduit par une modification des abondances relatives voire, dans les cas les plus extrêmes, une extinction locale du compétiteur autrefois majoritaire au sein de la guildes. Dans la partie consacrée aux espaces agricoles, nous verrons que quelques dixièmes de degrés supplémentaires peuvent, en agissant sur la diapause des insectes, contribuer à une recomposition drastique des guildes et des communautés.
- En modifiant la phénologie des espèces, le changement climatique peut altérer le partitionnement temporel au sein de la guildes. Des espèces qui auront modifié leur phénologie pourront ainsi se retrouver en compétition avec d'autres espèces avec lesquelles elles ne l'étaient pas avant.
- Enfin, la modification des aires de répartition peut quant à elle altérer le partitionnement

spatial et créer des zones de sympatrie entre deux espèces d'une même guildes qui étaient autrefois géographiquement séparées. La compétition qui en résulterait potentiellement pourrait conduire au déclin de l'espèce déjà installée ou à la prise en étau de la nouvelle arrivante qui se retrouverait alors incapable de décaler son aire de répartition vers le nord.

En matière de biodiversité, les conséquences du changement climatique seront de l'ordre du bouleversement. Bouleversement au sein des chaînes trophiques mais aussi des guildes écologiques. Aussi pourrait-on s'attendre à un dérèglement généralisé des écosystèmes. Pourtant, les exemples qui seront mis en avant dans ce document permettront de nuancer une vision si catastrophiste. Ainsi, malgré une modification des abondances relatives des différentes espèces, nous verrons que les écosystèmes peuvent finir par trouver un nouvel équilibre assurant de ce fait la continuité du service écosystémique.

Le principal frein à l'adaptation de la biodiversité au changement climatique ne viendra donc probablement pas des espèces elles-mêmes mais bien des milieux naturels dont la résilience au changement climatique aura été fragilisée par les activités humaines. La Bretagne est particulièrement concernée par le problème, en raison de l'empreinte que l'Homme a laissé et continue de laisser sur ses paysages. Ceux-ci sont extrêmement diversifiés et présentent des fonctionnements écologiques très différents les uns des autres. Des pressions anthropiques pèsent sur chacun d'entre eux mais sont différentes d'un milieu à l'autre. Pour cette raison, les impacts du changement climatique seront différenciés en fonction du milieu concerné. Afin de rendre compte de cette diversité, la seconde partie de ce premier axe s'attache à dresser un panorama des impacts observés sur les principaux paysages de la Bretagne.

II Les milieux naturels et semi-naturels à l'épreuve du changement climatique

Il aurait été impossible de décrire les impacts potentiels du changement climatique sur chacun des écosystèmes représentés en Bretagne, c'est pourquoi ces derniers ont été regroupés en grands ensembles paysagers caractéristiques de la Bretagne : la forêt de plaine atlantique, les paysages agricoles, les bassins versants et les milieux marins et côtiers. En Bretagne, les paysages sont pour la quasi-totalité d'entre eux sièges d'activités humaines et sources de revenus. Ainsi, les milieux présentés ne seront pas uniquement envisagés comme des habitats pour la biodiversité mais aussi comme des ressources économiques qu'une biodiversité en bonne santé rend d'autant plus rentables. Les impacts du changement climatique seront par ailleurs toujours mis en perspective avec les impacts des activités humaines pratiquées sur le milieu concerné.

L'étude des impacts du changement climatique sur les milieux, qu'ils soient naturels, semi-naturels ou largement anthropisés ne peut se réduire à une description des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes. En effet, faire prendre conscience de la nécessité de favoriser l'adaptation de la biodiversité au changement climatique implique de mettre en évidence l'intérêt que la nature représente pour l'Homme et ses activités. Plus que dans n'importe quelle autre partie de ce document, il apparaît pertinent d'introduire ici la notion de "service écosystémique". Cette dernière a été popularisée en 2005 par le Millenium Ecosystem Assessment, programme de travail international conçu pour fournir une information scientifique relative aux conséquences pour le bien-être humain des changements que subissent les écosystèmes ainsi qu'aux possibilités de réagir à ces changements⁴⁰. Il définit les services écosystémiques comme étant les bénéfices que les humains retirent des écosystèmes sans avoir à agir pour les obtenir. Les services écosystémiques doivent être distingués des fonctions écologiques qui les produisent. Contrairement aux fonctions, les services sont définis par la demande de la société et sont souvent basés sur un ensemble de fonctions écologiques plutôt qu'une seule. Quatre catégories de services sont définis par le MEA : les services d'approvisionnement c'est-à-dire les ressources naturelles que nous fournissent les écosystèmes, les services de support, qui correspondent aux fonctions écologiques de base (photosynthèse, formation des sols...) les services de régulation, souvent difficilement distinguables des services de support, qui concernent les mécanismes par lesquels les écosystèmes assurent naturellement la régulation du climat, du cycle de l'eau, de la qualité de l'eau et de l'air ou encore des populations animales et végétales et enfin les services culturels, certains espaces naturels assurant des fonctions sociétales et notamment récréatives ou disposant d'une valeur patrimoniale importante⁴¹. L'approche par les services écosystémiques est essentielle dans la mesure où elle touche aux fondations philosophiques et culturelles de notre lien à la nature, puissant moteur de représentation et d'action. Elle permet d'éviter les écueils des approches biocentrée et anthropocentrée, chacune d'entre elles étant basée sur une représentation du monde où l'humanité est déconnectée de la biodiversité, et va dans le sens d'un modèle de société écocentré, où la biodiversité intègre l'Humanité. Toutefois, si la reconnaissance et la prise en compte des services écologiques est désormais essentielle pour aborder les questions de biodiversité et surtout les promouvoir, il convient d'éviter de tomber dans une vision uniquement utilitariste et financière qui viserait avant tout à « compenser » les effets de nos modes de vie sur la nature, et à justifier l'injustifiable.

40 <http://millenniumassessment.org/fr/index.html>

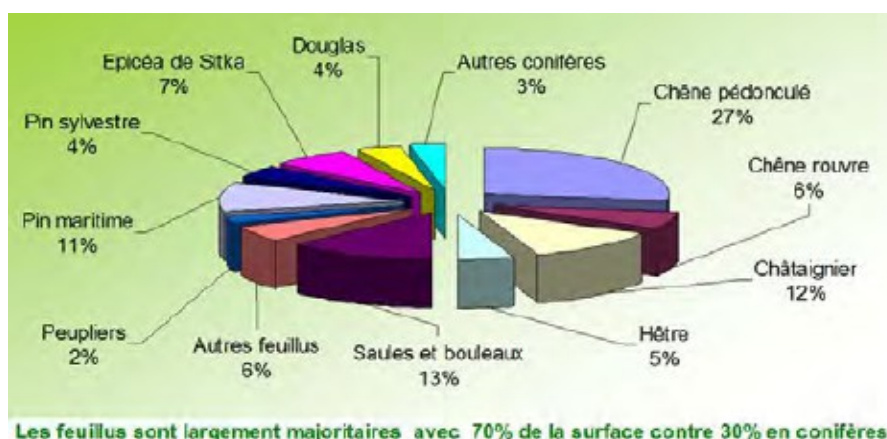
41 MARIS Virginie, 2014. *Nature à vendre, les limites des services écosystémiques*. Collection Sciences en questions. QUAE. 96 p.

A) La forêt de plaine atlantique

Quelle place la forêt occupe-t-elle en Bretagne ?

La Bretagne est la région la moins boisée de France ! Elle n'y occupe que 14 % des sols (contre 60 % pour l'agriculture)⁴². La Bretagne est aussi proportionnellement la région dans laquelle la forêt a le plus progressé. Les 13 % du territoire qu'elle occupe aujourd'hui sont le résultat d'un long processus de reconquête depuis qu'elle avait atteint son niveau le plus bas au milieu du XIXe siècle. Il faut dire que la plantation forestière est aujourd'hui la première source de valorisation des terres touchées par la déprise agricole⁴³. Toutefois, selon Gilles Pichard du Centre régional de la propriété forestière (CRPF) de Bretagne, la forêt bretonne ne peut espérer passer la barre des 15 % d'occupation du territoire. Sa progression sera tôt ou tard entravée par l'agriculture et l'urbanisation⁴⁴.

Bien que petite, la forêt bretonne n'en est pas moins diversifiée. Le mélange d'essences au sein d'un peuplement est plus important que la moyenne nationale. Il est évident que la forêt bretonne n'est pas une forêt primaire mais le résultat des pratiques sylvicoles passées. Jusqu'au milieu du XXe siècle, ce sont les essences indigènes feuillues qui furent privilégiées. Elles furent par la suite rejointes par les conifères dans la deuxième moitié du XXe siècle, à la faveur d'une importante vague de plantations stimulée par le fonds forestier national, avant qu'un rééquilibrage en faveur des feuillus ne soit entrepris. Aujourd'hui, la forêt bretonne est composée à 70 % de feuillus contre 30 % de conifères répartis en une soixantaine d'essences différentes⁴⁵. Cela lui permet d'être l'habitat de 300 espèces de végétaux et 140 espèces d'animaux vertébrés⁴⁶.



Surface couverte par les essences de la forêt privée bretonne (CRPF Bretagne)

42 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014.*

43 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014.*

44 Communication personnelle Gilles Pichard.

45 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014.*

46 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014.*

Alors que la part des conifères est minoritaire au sein de la forêt bretonne, leur place est prépondérante en matière d'exploitation sylvicole. 80 % du bois d'œuvre provient de conifères tandis que les feuillus sont plutôt utilisés comme source de bois de chauffage (lorsqu'ils sont utilisés)⁴⁷. En effet, l'exploitation du bois est une utilisation relativement secondaire de la forêt bretonne. Sa fonction économique passe après ses fonctions paysagère, sociétale et environnementale. Aussi, le service rendu par la forêt est principalement d'ordre culturel.

Quels seront les principaux impacts du changement climatique sur la forêt ?

Le changement climatique modifiera la phénologie des végétaux, allongeant la période de végétation. En raison de la place minoritaire qu'elle occupe au sein du territoire breton, il existe peu d'études sur les impacts du changement climatique sur la forêt bretonne. Les travaux menés à l'échelle européenne ont toutefois mis en évidence l'allongement de la durée de végétation de 2,9 jours par décennie depuis 1950⁴⁸. Le gain sera plus important en début qu'en fin de période c'est-à-dire qu'il sera plus significatif au printemps qu'en automne. En France métropolitaine, un gain général de précocité du débourrement de 6 à 10 jours pour les feuillus et de 10 à 30 jours pour le pin maritime a d'ailleurs été observé à l'échelle d'un siècle⁴⁹. Le principal risque d'un débourrement plus précoce ou d'une mise en dormance plus tardive est l'exposition aux gelées précoces ou tardives. Un gel de printemps important le 14 mai 2010 a par exemple causé des dégâts conséquents au niveau régional sur les peuplements et les jeunes plantations, surtout dans le Morbihan et les Côtes-d'Armor. Ce phénomène a occasionné des destructions de jeunes pousses terminales et de rameaux sur les jeunes plantations et des destructions de feuillage sur arbres adultes⁵⁰.

En matière de répartition, la Bretagne ne devrait pas connaître le “grand remplacement” que d'autres régions de France subiront. Les forêts feuillues atlantiques ne seront pas totalement remplacées par des forêts de type méditerranéen. Selon les résultats du projet CARBOFOR basé sur le scénario SRES B2 du GIEC, la forêt dite “Atlantique nord” à base de chênes pédonculés, de hêtres et de châtaigniers (groupe 6) cédera progressivement du terrain à la végétation caractéristique du Sud-Ouest dite “Atlantique sud” au sein de laquelle domine le pin maritime (groupe 7) déjà bien représenté en Loire-Atlantique et dans le Morbihan. La forêt de type Atlantique nord devrait

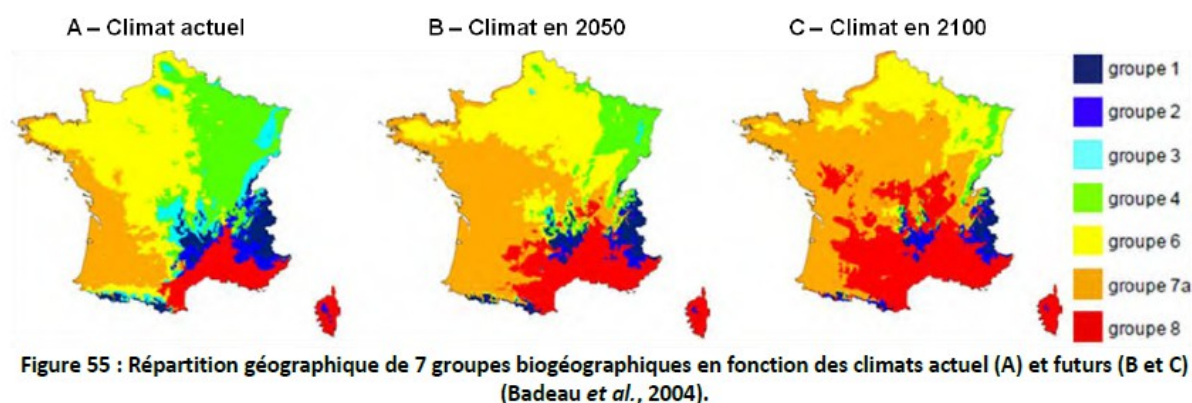
47 Communication personnelle Gilles Pichard.

48 Natacha Massu, Guy Landmann, coord., 2011. *Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine, synthèse de la bibliographie*. Mars 2011. ECOFOR. 180 p.

49 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

50 Pôle interrégional Nord-Ouest de la santé des forêts, 2010. *Santé de la forêt en Bretagne en 2010 : quel diagnostic?* Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire.

pouvoir se maintenir jusqu'en 2100 dans la région des Monts d'Arrée⁵¹.



De par leur incapacité à se mouvoir, leur cycle de vie long et la capacité de dispersion des graines limitée, les arbres sont incapables de se déplacer à la vitesse du changement climatique, une augmentation de températures de 0,6°C représentant un déplacement de 100 km vers le nord qu'ils ne peuvent bien évidemment pas couvrir sur un temps si court. Hervé Le Bouler directeur de la pépinière forestière de Guéméné-Penfao, estime que le changement climatique actuel pourrait être absorbable par une forêt sur 5 000 ou 6 000 ans, mais pas en 90 ans⁵². Il semblerait donc que nous soyons dans le cas de figure où des modifications de températures contribuent à rendre le milieu plus conforme à la niche climatique d'une essence plutôt que d'une autre, le résultat étant une modification des abondances relatives au sein des peuplements et donc une régression voire une extinction locale d'essences autrefois majoritaires.

Mais est-ce véritablement une question de niche climatique ? Quel est le véritable paramètre en jeu ?

Les impacts du changement climatique sur les arbres, la forêt, et plus généralement la végétation sont principalement liés au stress hydrique que ce dernier risque d'engendrer de plus en plus fréquemment dans le futur. Pourtant, nous avons insisté sur le fait que les prédictions en matière d'évolution de la pluviométrie étaient pour le moins incertaines. Aussi, l'origine de ce stress hydrique est-il davantage à rechercher du côté de l'augmentation des températures moyennes mais aussi de la fréquence des canicules estivales. En effet, la température influe sur l'évaporation de l'eau contenue dans le sol mais aussi sur la transpiration des végétaux. Celle-ci se définit par les pertes de vapeur d'eau au niveau des pores des feuilles appelés stomates. L'augmentation des

51 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

52 Bretagne Durable, 2011. *Interview d'Hervé Le Bouler (CNBF) au forum Climsea* [en ligne] http://www.dailymotion.com/video/xli5w_herve-le-bouler-cnbf-au-climsea_news

températures conduit donc à de plus importants transferts d'eau vers l'atmosphère non seulement au niveau des sols mais aussi des végétaux. On comprend alors aisément comment une situation de sécheresse météorologique (absence de précipitations) peut être aggravée par des températures plus élevées et conduire à des situations de sécheresse édaphique (assèchement des sols) plus fréquentes sans que la fréquence, l'ampleur ou la durée des sécheresses météorologiques ne soit modifiée. En cas de sécheresse édaphique, les plantes ont recours à la régulation stomatique c'est-à-dire à la fermeture des stomates. Cette stratégie vise à stopper la transpiration de la plante afin de conserver le peu d'eau qu'il lui reste. Une régulation stomatique prolongée peut alors conduire à un dépérissement de la plante. Parmi les végétaux, les arbres sont les plus grands consommateurs d'eau et sont donc les plus exposés au stress hydrique. Pourtant, selon leur essence, leur âge et l'endroit où ils se trouvent, tous ne seront pas aussi vulnérables aux impacts du changement climatique.

Quels secteurs seront les plus exposés au stress hydrique ?

Selon Hervé Le Bouler, invité au colloque ClimSea qui s'est tenu à Auray le 29 septembre 2011, la forêt bretonne devrait moins souffrir du stress hydrique estival que la majeure partie de la France. Une nette rupture devrait toutefois être observée entre la partie occidentale, caractérisée par un climat très humide et où l'augmentation des températures devrait être tempérée par l'influence océanique, et la partie orientale, déjà soumise à un climat relativement sec et où les températures devraient augmenter plus nettement. Ainsi, les essences les plus sensibles au stress hydrique pourront se maintenir en Basse-Bretagne tandis qu'elles seront menacées en Haute-Bretagne. A l'échelle du Grand Ouest, il décrit un "axe de la peur" qui joint Paris à Toulouse en passant par Angers et Poitiers. Depuis 40 ans, à chaque grande sécheresse, il s'agit déjà de la zone où le dépérissement est le plus important⁵³.

Quelles essences seront les plus menacées ?

Pour Gilles Pichard du CRPF, trois essences seraient menacées par le changement climatique en Bretagne : le hêtre, le chêne pédonculé et le sapin pectiné.

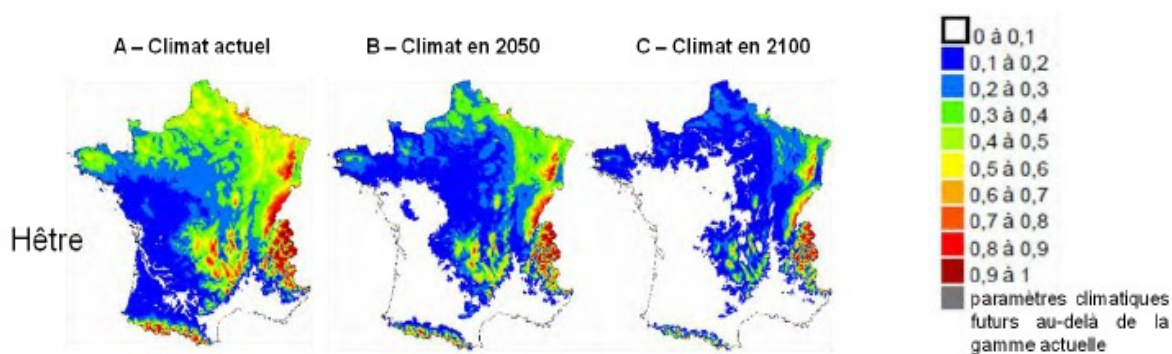
Le sapin pectiné est une essence introduite en Bretagne au XVIe-XVIIe siècles à partir des Alpes mancelles. Il s'agit donc d'une essence plutôt montagnarde nécessitant un climat frais et humide et pas moins de 1 000 mm d'eau par an⁵⁴. Selon Gilles Pichard, en raison de leurs besoins très importants en eau, les peuplements purs de sapins pectinés sont voués à disparaître et l'essence

⁵³ Ibid.

⁵⁴ PIEDALLU Christian, PEREZ Vincent, GEGOUT Jean-Claude, LEBOURGEOIS Francois, BERTRAND Romain, 2009. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Epicea, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, LXI (6), pages 567-593.

ne peut espérer subsister qu'en peuplements irréguliers, c'est-à-dire en compagnie d'autres essences moins hygrophiles.

Le hêtre est une autre essence particulièrement gourmande en eau. Ses besoins varient entre 700 et 1 500 mm d'eau par an. Réparti sur l'ensemble du territoire français, le hêtre est l'une des essences les plus menacées par le stress hydrique à l'échelle du territoire métropolitain. La surface forestière lui étant favorable devrait diminuer de 80 à 93 % pour la période 2070-2100, selon le scénario du GIEC considéré⁵⁵. Comme on peut le voir sur cette carte, la probabilité de présence du hêtre devrait diminuer dans la partie occidentale de la Bretagne tandis que l'essence pourrait bien complètement disparaître de sa partie orientale, confirmant une rupture nette entre Haute et Basse-Bretagne en matière d'exposition au stress hydrique.

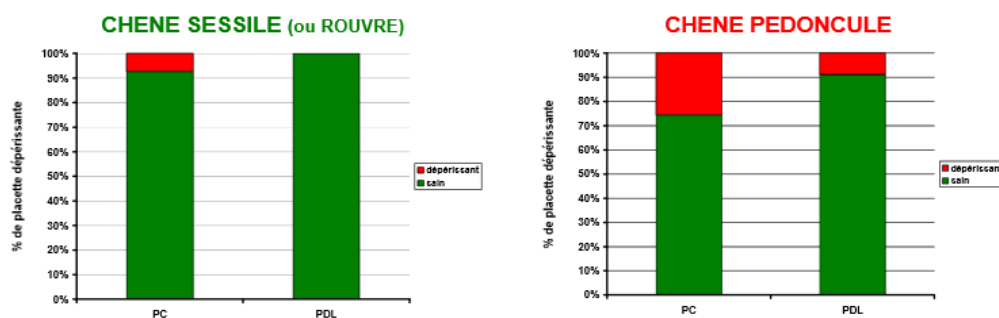


Analyse logistique de la présence de hêtre pour la période actuelle et le futur

Le chêne pédonculé, autre essence affectionnant les climats frais et humides, est dans un cas de figure similaire. A l'échelle du Grand Ouest, la vulnérabilité du chêne pédonculé a tout d'abord été mise en évidence dans la région Poitou-Charentes où un peuplement sur quatre a été jugé déperissant⁵⁶. En 2009, conscients que les changements climatiques risquent d'être un défi majeur pour la filière bois et les chênaies en particulier, les CRPF Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Ile de France – Centre, Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées se sont réunis, avec l'Institut pour le développement forestier (IDF) afin de bâtir un projet ambitieux. Le projet "Chênaies Atlantiques 2009-2014 face aux changements climatiques" vise ainsi à mieux connaître et détecter les facteurs de déperissement des chênes pédonculés et sessiles en zone atlantique et donc à être en mesure de prévenir les risques induits par le changement climatique. Durant l'année 2009, 184 peuplements de chênes (sessile, pédonculé ou en mélange avec du pubescent) ont été observés dans les forêts privées des régions Pays de la Loire et Poitou-Charentes. Cette première étape a permis de mettre en évidence la sensibilité accrue du chêne pédonculé au stress hydrique, en comparaison de ses proches cousins tels que le chêne sessile. En effet, 13 % des chênes pédonculés examinés sur les deux régions ont été classés comme déperissant contre seulement 4 % des chênes sessiles.

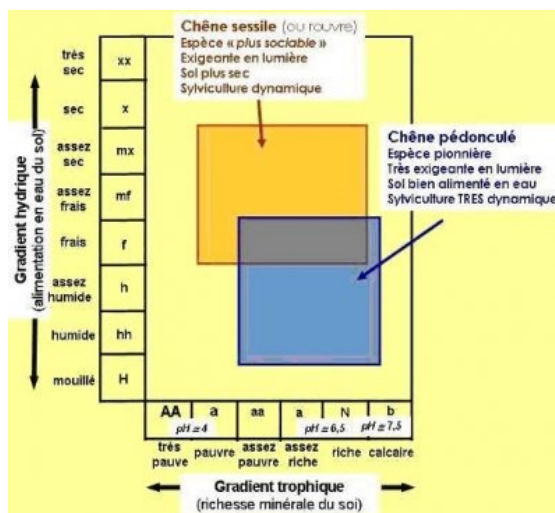
⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ CNPF et IDF. Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques globaux : comprendre et agir.

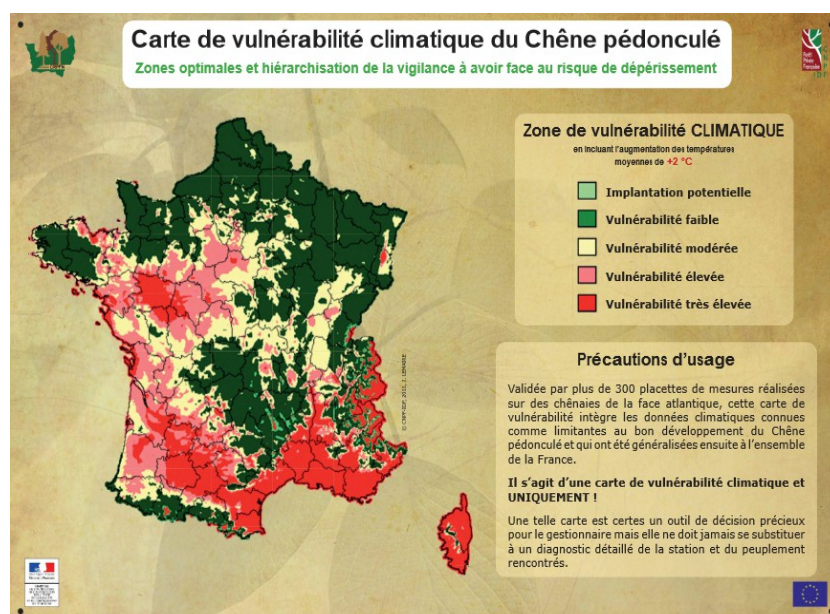


Figures 4 et 5 : Pourcentage de chênaies déperissantes en Poitou-Charentes (PC) et Pays de la Loire (PDL) selon l'espèce de chêne.

Il faut dire que les deux essences diffèrent par leur autoécologie (c'est-à-dire leurs exigences vis-à-vis du milieu). Alors qu'ils ont des besoins trophiques (c'est-à-dire en richesse minérale du sol) similaires, on peut voir que leurs besoins hydriques diffèrent largement, le chêne pédonculé nécessitant un apport en eau significativement plus important que le sessile.



A partir des données disponibles en matière de profondeur du sol, températures et précipitations, une carte des zones à risque pour le chêne pédonculé a pu être dressée. Elle confirme les prédictions relatives au hêtre, à savoir une exposition au stress hydrique accrue dans la partie orientale de la Bretagne mais aussi sur le littoral des Côtes-d'Armor, deux zones qui présentent déjà la pluviométrie la moins importante.



L'adaptation des chênaies au changement climatique est un enjeu crucial. En effet, le chêne pédonculé est la première essence nationale (12 % des arbres sur pied) mais aussi la première essence bretonne (27 % des arbres sur pied). La préservation de cette essence en Bretagne, tout comme celle du hêtre, est un enjeu patrimonial d'importance.

Quels impacts à l'échelle de l'écosystème ?

Peu d'études prennent en compte la dimension écosystémique des impacts du changement climatique sur la forêt. Les arbres représentent pourtant un habitat naturel et une source de nourriture pour de nombreuses espèces. On imagine donc que l'extinction locale d'essences telles que le hêtre et le sapin pourrait bouleverser l'écosystème forestier tout entier en conduisant à la disparition ou au départ de nombreuses autres espèces. Pourtant, Gilles Pichard garde confiance. Selon lui, peu d'espèces sont strictement dépendantes d'une essence plutôt que d'une autre. Si le pic noir affectionne particulièrement les vieux hêtres pour nicher, il lui arrive de creuser son nid dans les pins maritimes. Comme son nom l'indique, le bec-croisé des sapins est intimement lié au résineux du même nom. Son bec a d'ailleurs évolué pour prendre cette forme si caractéristique qui lui permet de percer les défenses des cônes de sapin renfermant les précieuses graines. Le passereau granivore est toutefois peu difficile et peut se nourrir sur les conifères introduits en Bretagne tels que l'épicéa de Sitka. Enfin, le grand capricorne du chêne pond ses larves dans une grande variété de chênes et parfois même dans les châtaigniers⁵⁷.

Une autre conséquence du changement climatique pourrait être la remontée d'insectes phytophages capables d'occasionner d'importants dégâts aux peuplements forestiers. Ces derniers bénéficient de tout ce que leurs hôtes n'ont pas : de fortes capacités d'adaptation, des potentiels de reproduction très importants et des capacités de dissémination très fortes. Malheureusement, nous ne disposons que de très peu d'études sur le sujet, la corrélation entre les observations réalisées et le changement climatique restant bien souvent au stade de conjecture. La seule étude de fond qui existe actuellement porte sur la chenille processionnaire du pin. Cette chenille dont les poils sont hautement urticants et posent d'importants problèmes sanitaires n'a cessé de remonter vers le nord depuis les années 1970 et a dépassé la Loire qui constituait une limite naturelle de son aire de répartition en 1990. La cause : une douceur hivernale favorable à son alimentation d'octobre à mars⁵⁸. En Bretagne, Gilles Pichard note également une présence accrue de zeuzères, un autre papillon dont la chenille se nourrit de bois. Cette espèce a dépassé la Loire qui représentait pour elle

⁵⁷ Communication personnelle Pichard

⁵⁸ ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

aussi une limite de répartition en 1976 mais aucune étude de fond n'a pour l'instant corrélié sa progression avec le changement climatique.

Le changement climatique, une fatalité pour la forêt bretonne ?

Pas nécessairement.

D'une part, les impacts du changement climatique et du stress hydrique qu'il occasionnera seront localement différenciés à l'échelle de la Bretagne. La Basse-Bretagne et en particulier le Finistère devrait conserver un bilan hydrique favorable aux essences les plus vulnérables. Dans les zones à risque, des solutions existent. C'est en agissant sur l'activité humaine qui exploite la forêt, à savoir la sylviculture, que l'on rendra la forêt bretonne plus résiliente aux conséquences du changement climatique afin qu'elle demeure une source de revenus. Car le principal facteur d'aggravation du risque de stress hydrique n'est autre que la sylviculture non-durable qui est actuellement pratiquée en Bretagne. Les trois essences les plus vulnérables que sont le hêtre, le chêne pédonculé et le sapin pectiné ne sont pas vouées à l'extinction, ni à l'ouest ni même à l'est du Massif Armoricaïn. Les remplacer par de nouvelles essences plus adaptées au climat futur est une solution envisageable mais paraît démesurée en Bretagne. Au contraire, une gestion plus durable des peuplements devrait permettre de conserver ces essences⁵⁹. Cet aspect sera développé dans le second axe de ce livre blanc consacré aux solutions et initiatives favorisant l'adaptation de la biodiversité au changement climatique.

D'autre part, le stress hydrique, tant qu'il reste modéré et ne conduit pas au dépérissement de l'arbre, pourrait contribuer à améliorer la qualité du bois des essences qui résistent bien à ce dernier. En sylviculture, la qualité du bois de chêne est déterminée par l'équilibre au niveau de sa "texture" c'est-à-dire l'équilibre du ratio bois de printemps/bois d'été au sein d'un même tronc. Or, s'il est bien arrosé en été, le tronc produira un bois d'été trop épais par rapport au bois de printemps ce qui conduira à un déséquilibre au niveau de sa texture. Ainsi, le changement climatique pourrait contribuer à améliorer la qualité du bois breton même s'il induit un risque de dépérissement plus important⁶⁰. En matière de climat, rien n'est jamais blanc ou noir !

59 Communication personnelle Gilles Pichard.

60 Ibid.

B) Les milieux agricoles

Quelle place l'agriculture occupe-t-elle en Bretagne ?

Avec 34 447 exploitations en 2010, la Bretagne est la première région agricole en termes de production⁶¹. L'agriculture contribue à hauteur de 3,3 % au PIB de la région, contre 2 % pour l'ensemble de la France et le secteur primaire breton emploie 4,5 % des actifs⁶². L'agroalimentaire est par ailleurs le premier secteur industriel breton puisqu'il regroupe 33,8 % des entreprises et un tiers des emplois industriels. Ainsi, l'agriculture représente une activité phare pour la Bretagne, une spécificité bretonne qui se traduit en matière d'occupation du sol. La surface agricole bretonne représente ainsi 7 % de la surface agricole totale de la France. Deux tiers des sols bretons sont occupés par l'agriculture ce qui fait des milieux agricoles le premier ensemble paysager de la région. Autant dire que l'agriculture est l'activité humaine qui a la plus grande influence sur la biodiversité en Bretagne. Pour autant, la surface agricole utilisée tend à se réduire en Bretagne, surtout au profit de l'urbanisation (-15 % de la surface agricole utile entre 1975 et 2012⁶³).

La Bretagne est spécialisée dans l'élevage qui représente l'activité prépondérante de 70 % des exploitations⁶⁴. Elle est la première région française en matière de productions animales et concentre 21 % des cheptels nationaux soit 56 % des élevages de porcs, un tiers des élevages de volailles et 10 % des élevages bovins⁶⁵. Par conséquent, la majeure partie de la surface agricole utilisée est consacrée à l'alimentation animale : on comptait ainsi en 2013, 333 738 hectares de fourrages annuels (surtout en Haute-Bretagne) ainsi que 481 160 hectares de prairies artificielles et temporaires (plutôt en Basse-Bretagne)⁶⁶.

Les impacts du changement climatique sur les espaces agricoles : une histoire de services écosystémiques.

Nous avons évoqué une première typologie des services écosystémiques, développée par le Millenium Ecosystem Assessment, en introduction à cette partie. L'expertise scientifique collective menée par l'INRA et nommée "agriculture et biodiversité, valoriser les synergies" a quant à elle créé une nomenclature plus opérationnelle et spécifiquement adaptée à l'agriculture, distinguant trois niveaux de services écologiques fournis par la biodiversité : les services intrants qui

61 Région Bretagne, 2014. *L'Économie bretonne*. [en ligne]

http://www.bretagne.bzh/jcms/TF071112_5068/fr/economie

62 Insee, date ? *Produit intérieur brut en Bretagne : une croissance soutenue entre 1990 et 2008*. [en ligne]

http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=15947®_id=2

63 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014*.

64 Ibid.

65 Ibid.

66 Ibid.

contribuent au bon fonctionnement des écosystèmes par des contrôles biologiques, les services de production qui contribuent directement au revenu agricole et enfin ceux qui procurent des bénéfices hors revenu agricole direct⁶⁷.

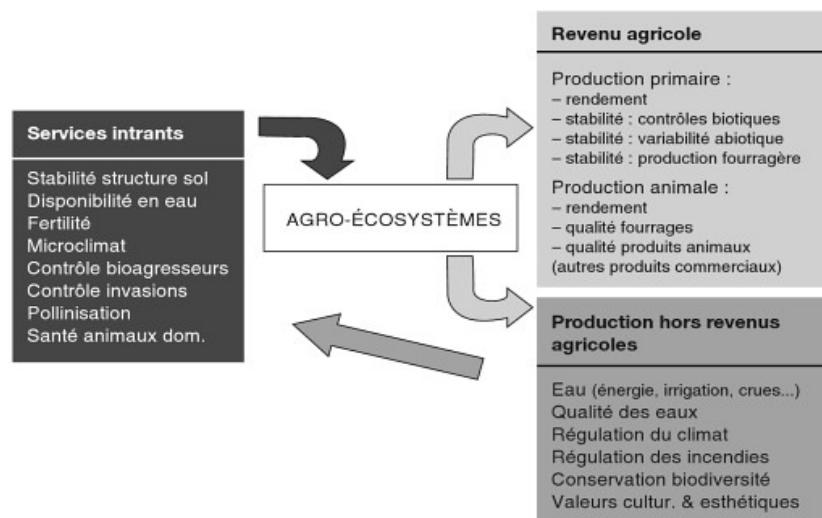


Figure 1. Schéma conceptuel de l'organisation des services des agro-écosystèmes adopté pour ce chapitre (modifié d'après Zhang *et al.*, 2007).

Comme on peut le voir sur ce schéma, les trois catégories de service ne sont pas indépendantes les unes des autres. Ainsi, un service dit “intrant” c'est-à-dire contribuant au bon fonctionnement des écosystèmes (comme la régulation des ravageurs par les auxiliaires) peut être par la même occasion un service contribuant au revenu agricole (de meilleurs rendements liés à des pertes moins importantes) tandis qu'un service apportant des bénéfices hors revenu agricole (telle qu'une structure paysagère permettant l'existence d'une biodiversité riche) peut devenir un service intrant (en favorisant la régulation des ravageurs de culture par les auxiliaires). Dans la réalité des faits, les différentes catégories de services écosystémiques sont fortement liées entre elles et parfois difficilement dissociables et c'est pourquoi le changement climatique, en impactant directement l'une des catégories, impactera souvent indirectement les deux autres. Dès lors, les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes agricoles et sur le fonctionnement de l'agriculture elle-même ne peuvent être dissociées. Aussi, nous verrons qu'aider la biodiversité des milieux agricoles à s'adapter au changement climatique est une nécessité afin de limiter la perturbation des services écosystémiques qu'elle rend à l'agriculture, mais que cette adaptation ne peut être favorisée que par des changements qui concernent l'agriculture elle-même.

⁶⁷ LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

1) La biodiversité domestique

Quels seront les principaux impacts du changement climatique sur la biodiversité domestique des espaces agricoles ?

Puisqu'ils couvrent les deux tiers du territoire breton, l'impact du changement climatique sur les milieux agricoles en tant qu'habitats pour la biodiversité est une question particulièrement importante. Mais qu'entend-t-on ici par “biodiversité” ? Lorsqu'il est question de milieux agricoles, il convient de distinguer biodiversité domestique et biodiversité sauvage, sans pour autant chercher à les séparer. En effet, les prairies et cultures céréalières ne sont certes pas naturelles mais constituent des habitats pour une biodiversité sauvage. Aussi, s'intéresser aux impacts directs du changement climatique sur les milieux agricoles revient en premier lieu à s'intéresser à ses impacts sur la biodiversité domestique.

Il est difficile d'évaluer les conséquences du changement climatique sur les cultures car ce dernier influera sur trois paramètres dont les effets seront potentiellement contradictoires : la température, la concentration en CO₂ dans l'atmosphère et le bilan hydrique. Ces trois éléments relèvent des services intrants mais assurent également des services contribuant au revenu agricole puisqu'ils déterminent en partie la phénologie et/ou le rendement des cultures. Aussi, leur perturbation par le changement climatique est susceptible de se répercuter sur la production agricole. Une fois n'est pas coutume, un vrai travail de recherche a été mené entre 2007 et 2010, à travers le projet CLIMATOR coordonné par N. Brisson de l'unité AGROCLIM de l'INRA (Avignon). Ce programme visait à fournir des résultats relatifs à l'impact du changement climatique sur des systèmes cultivés variés et dans des climats contrastés. Pour cela, 13 sites ont été suivis de près parmi lesquels figure Rennes. Les résultats que nous présenterons ici sont issus de cette étude.

Comme pour les arbres et la végétation de manière générale, c'est surtout la température qui influe sur la phénologie des cultures. Le “zéro de végétation”, c'est-à-dire la température minimale à laquelle le développement se manifeste, conditionne la vitesse de développement des plantes et donc leur anticipation phénologique. Ce dernier varie d'une culture à l'autre : 0°C pour le blé, 4.8°C pour le tournesol, 6°C pour le maïs et 10°C pour la vigne. L'augmentation des températures moyennes, surtout en hiver, ainsi que la diminution de la fréquence des épisodes de froid intense conduiront le zéro de végétation de toutes les cultures à être plus souvent atteint ce qui accélérera leur développement, conduisant ainsi à une récolte plus précoce. L'avancement des dates de récolte dans le bassin rennais sera non négligeable en futur proche et augmentera significativement en futur lointain⁶⁸.

68 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY

Tableau 2 : Evolution de la date de récolte de 5 cultures (à date de semis fixe) dans le cadre de leur conduite actuelle (variétés à cycle long à Toulouse, Bordeaux et Avignon et court ailleurs). La significativité de l'évolution par rapport à la variabilité interannuelle est notée de la façon suivante : Gras ($p < 0.01$), *Italique* ($p < 0.05$). Le blé est simulé avec le modèle CERES et les autres cultures avec le modèle STICS, la méthode de régionalisation est TT.

Rennes	Blé	Colza	Maïs	Tournesol	Sorgho
FP	-9.1	-8.5	-26.6	-13.4	-16.2
FL	-17.0	-15.1	-44.6	-27.5	-33.3

Les autres températures qui importeront seront les températures extrêmes. Ainsi, le risque de gel devrait significativement diminuer dans le futur tandis que celui de températures échaudantes (supérieures à 25°C) pourrait s'accroître très fortement, en particulier pour le blé et le tournesol⁶⁹.

Les impacts du changement climatique sur la productivité agricole sont beaucoup plus difficiles à évaluer compte tenu de la pluralité de facteurs, induits ou non par le changement climatique, qui entrent en compte dans cette question. En effet, le bilan hydrique des sols et la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone auront probablement des effets contradictoires sur la productivité des cultures, sans parler des dépôts azotés qui peuvent contribuer à fausser le jeu. L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂, principale cause du changement climatique, devrait avoir un effet bénéfique sur la productivité des cultures, et plus largement de toute la végétation, en stimulant l'activité photosynthétique de celle-ci. Par ailleurs, elle devrait également avoir un impact positif sur le bilan hydrique des plantes et donc des sols. En effet, une plus grande quantité de CO₂ disponible pour la photosynthèse augmente l'efficacité de l'eau, c'est-à-dire que la même biomasse est produite pour un volume d'eau consommé moindre. Ce phénomène est appelé "forçage physiologique" et sa principale conséquence observable est une baisse de l'évapotranspiration des plantes. Ainsi, Nadine Brisson de l'INRA a montré en 2010 que pour un taux de CO₂ de 370 ppm et une évapotranspiration potentielle (c'est-à-dire l'évapotranspiration que l'on observe lorsque le sol dispose des réserves en eau nécessaires pour satisfaire à la demande de la plante) de 500 mm, cette dernière passe à une valeur de 426 mm (soit une baisse de 15 %) pour un doublement de la concentration en dioxyde de carbone. Toutefois, le phénomène ne s'exprime pas tout le temps. En effet, lorsque le sol est sec et ne peut pas répondre à la demande évaporatoire, l'évapotranspiration réelle (inférieure à l'évapotranspiration potentielle) ne dépend pas de la concentration atmosphérique en CO₂ mais uniquement des réserves en eau du sol⁷⁰. Or, l'accroissement de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse estivale, par les effets conjugués de l'absence de précipitations et de l'augmentation de l'évaporation de l'eau des sols (en

Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

69 Ibid.

70 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

raison des températures plus élevées), est l'une des principales conséquences du changement climatique. Ainsi, difficile voire impossible de dresser un scénario pour le futur s'appliquant à tous les cas de figure. L'évolution de la productivité végétale, et plus spécifiquement celle des cultures dépendra de la vulnérabilité de la région au stress hydrique mais aussi du type de culture considéré. Si l'on se base sur les seuls résultats de la station de Rennes obtenus dans le cadre du projet CLIMATOR, il est possible d'apprécier les différences d'impacts en fonction des cultures⁷¹.

Tableau 3 : différence des rendements moyens entre les périodes futures (FP et FL) et le passé récent (PR) pour 12 sites et 8 cultures. Gras : $p < 0.01$; Italique : $p < 0.05$; Normal $p < 0.10$; Barré : non significatif.

Rennes	Blé	Maïs	Colza	Tournesol	Sorgho	Fétuque
Période FP / Période PR	-0,149	0,161	0,059	1,013	2,161	-0,68
Période FL / Période PR	-0,305	-0,224	0,562	1,576	4,001	-0,43

Les résultats ne montrent pas d'évolutions significatives sauf pour le tournesol et le sorgho et dans une moindre mesure la fétuque. Alors que les projections à l'échelle de la France montrent une tendance à la baisse des rendements pour le maïs et une stabilité pour le sorgho, les résultats de la station de Rennes laissent présager peu de variations pour le maïs et une augmentation pour le sorgho. Cette différence s'explique par les réserves d'eau importantes des sols bretons, y compris dans le bassin rennais où l'irrigation du maïs, culture particulièrement gourmande en eau, n'est pas encore une réalité⁷². Ainsi, les deux cultures devraient bénéficier des effets du forçage physiologique venant compenser dans un cas ou surpasser dans l'autre, une détérioration de leur confort hydrique. Même chose pour le blé qui devrait se maintenir grâce aux effets bénéfiques de l'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone. Le tournesol, culture réputée tolérante à la sécheresse, devrait quant à lui bénéficier des effets du changement climatique tandis que les prairies de fétuque subiront, en futur lointain, une baisse de leur production journalière en été mais une hausse de celle-ci au printemps et en hiver. Un enjeu important est l'augmentation du recours à l'irrigation pour les cultures consommatrices d'eau et en particulier le maïs. A Rennes, le projet CLIMATOR prévoit un raccourcissement du cycle phénologique du maïs qui éviterait ainsi de croître en période de déficit hydrique. Aussi, l'impact du changement climatique sur les besoins d'irrigation à Rennes et à plus forte raison en Bretagne devrait être limité voire inexistant⁷³.

71 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

72 Communication personnelle Philippe Mérot.

73 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux*

L'adaptation de la biodiversité domestique au changement climatique ne devrait donc pas être la plus problématique, tout du moins en Bretagne. En revanche, l'adaptation de la biodiversité sauvage se révélera plus délicate, certaines pratiques agricoles lui faisant obstacle.

2) La biodiversité sauvage

Quels seront les principaux impacts du changement climatique sur la biodiversité sauvage des espaces agricoles ?

S'il n'est plus à prouver que l'agriculture impacte la biodiversité, il s'avère que la biodiversité impacte réciproquement l'agriculture. Dans les deux sens, l'impact peut être positif ou négatif, mais il est en tous cas réel et complexe. De fait, bien que l'Homme tente parfois de l'en extraire par l'usage de pesticides, la biodiversité sauvage est partie intégrante des systèmes de production agricole. Si elle peut occasionner des dégâts aux cultures, elle assure aussi des fonctions de base nécessaires à la production et fournit des services écosystémiques bénéfiques. Là encore, le changement climatique est susceptible d'impacter indirectement les cultures en affectant le bon fonctionnement d'un service intrant de régulation qui contribue également au revenu agricole. Cette fois-ci cependant, il est surtout question de régulation biologique.

Alors qu'il est souvent argué que le changement climatique profitera aux ravageurs de cultures en conduisant à la pullulation des espèces déjà présentes par accélération de leur cycle de développement ou en permettant la remontée d'espèces nuisibles méridionales, les travaux menés par les chercheurs de l'Université de Rennes 1 tendent à nuancer cette certitude. Parmi les différents insectes phytophages des champs céréaliers, les pucerons sont considérés comme des ravageurs majeurs. Heureusement, ils ont des ennemis naturels tels que les parasitoïdes, des petites guêpes qui pondent dans leur abdomen, les pucerons servant par la suite de nourriture à leurs larves. Joan Van Baaren, chercheuse au sein de l'unité ECOBIO de l'Université de Rennes 1 étudie le réseau trophique pucerons-parasitoïdes dans les champs céréaliers du bassin rennais. De 1970 à 2010, les résultats ont été constants chaque année, confirmant les mêmes abondances relatives entre espèces chez les pucerons d'une part et chez les parasitoïdes d'autre part. Mais à partir de 2010, la composition de la communauté d'insectes a été totalement chamboulée. Jusqu'à cette date, deux espèces de parasitoïdes prédataient les pucerons dans les champs de céréales étudiés : *Aphidius rhopalosiphi* et *Aphidius avenae*. Alors qu'*Aphidius rhopalosiphi* résiste mieux aux températures froides qu'*Aphidius avenae*, elle est plus vulnérable aux températures élevées. Ainsi les deux espèces présentaient une différence de phénologie puisque la première était plus active en hiver

échelles régionales ? Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

tandis que la seconde l'était davantage en été. Toutefois, ce partitionnement temporel a été brisé en 2010, *Aphidius avenae* continuant d'être active en hiver, supplantant de ce fait *Aphidius rhopalosiphi* qui était initialement l'espèce majoritaire. Une nouvelle espèce autrefois absente des champs céréaliers est par ailleurs apparue tandis que les pucerons ont connu des bouleversements similaires en termes d'abondances relatives entre espèces. Enfin, un troisième niveau trophique situé au-dessus de celui des parasitoïdes a lui aussi fait son apparition : celui des hyper-parasitoïdes qui pondent leurs larves à l'intérieur des parasitoïdes ! Bien que la cause de ces bouleversements n'ait pas été clairement identifiée, il est probable que l'évolution progressive des températures moyennes liée au changement climatique y soit pour quelque chose. Dans ces conditions, comment expliquer un changement si brutal ? Les insectes étant des organismes ectothermes dont le métabolisme dépend directement des températures environnementales, quelques dixièmes de degrés de plus ou de moins peuvent contribuer à bouleverser leur biologie interne, de façon positive ou négative, et à les avantager ou les désavantager par rapport à leurs compétiteurs naturels, leurs proies ou leurs prédateurs. Aussi 2010 aurait été marqué par le passage d'un seuil thermique qui aurait brutalement modifié le rapport de force entre compétiteurs naturels. C'est en tous cas l'explication privilégiée par Joan Van Baaren. Quoi qu'il en soit, les conséquences sur le service écosystémique fourni par les parasitoïdes ne sont pas forcément celles auxquelles on aurait pu s'attendre. Alors que ces bouleversements en matière d'abondances relatives des espèces laissaient présager un impact important sur le service de régulation, aucun changement significatif n'a pour l'instant été observé et il semblerait même que les effectifs de pucerons soient en légère régression⁷⁴. Cette observation en apparence contradictoire ne l'est pas tant que ça si on s'intéresse à l'influence de la diversité spécifique sur le fonctionnement des services écosystémiques. En effet, les principales hypothèses concernant les relations entre biodiversité et intensité des services écologiques sont qu'une plus grande diversité peut permettre un niveau plus élevé de fonctionnement des écosystèmes et/ou une meilleure stabilité temporelle du niveau de ce fonctionnement. Ces hypothèses reposent sur la complémentarité fonctionnelle entre espèces, groupes d'organismes ou génotypes, dont les différences fonctionnelles permettraient une meilleure exploitation des ressources disponibles et/ou une adaptation aux fluctuations de l'environnement grâce à des réactions différentes aux perturbations⁷⁵. Cette relation entre diversité des prédateurs naturels et efficacité du service écosystémique a été mise en évidence par Martin H. Schmidt et al. en 2003, à l'issue d'une étude menée sur quatre champs de blés en Allemagne. Les résultats ont

74 Communication personnelle Joan Van Baaren.

75 LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

montré que la densité de population des pucerons augmentait à mesure que la diversité spécifique de leurs prédateurs naturels diminuait⁷⁶.

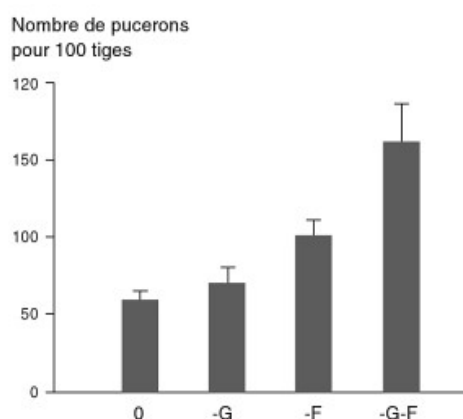


Figure 4. Effet d'une simplification de la diversité des ennemis naturels sur la densité de population des pucerons d'une culture de blé. Une plus forte diversité permet un meilleur contrôle biologique des ravageurs par complémentarité entre groupes. (D'après Schmidt *et al.*, 2003.)
 0 : tous les ennemis naturels présents ; -G : sans prédateurs généralistes rampants ; -F : sans prédateurs et parasitoïdes volants ; -G-F : sans prédateurs et parasitoïdes.

Sur sept études expérimentales similaires menées en zones tempérées, (quatre en Europe de l'Ouest, trois aux États-Unis) six ont mis en évidence le même type de relation. Aussi, c'est potentiellement ce qui a pu se passer dans les champs céréaliers du bassin rennais. La présence de plusieurs espèces de parasitoïdes présentant des préférences thermiques différentes et qui ont donc réagi différemment à l'augmentation moyenne des températures aurait permis de conserver un certain équilibre entre les différents niveaux trophiques et donc d'assurer la continuité du service de régulation. Ainsi, le maintien d'une diversité spécifique la plus importante possible dans les espaces agricoles pourrait contribuer à tempérer les impacts du changement climatique sur la biodiversité sauvage de ces milieux et par extension, sur la biodiversité domestique et le rendement agricole lui-même.

Certaines pratiques agricoles ne vont pourtant pas dans ce sens, à l'instar du recours aux produits phytosanitaires de synthèse, souvent présentés dans la littérature comme des responsables majeurs du déclin de la biodiversité dans les agro-systèmes des pays industrialisés. En effet, les pesticides peuvent affecter les espèces non visées en plus des espèces ciblées et les insecticides peu ou pas toxiques pour certains auxiliaires sont en fait très peu nombreux dans les faits⁷⁷. Comment ne pas évoquer “Le Printemps Silencieux”, de Rachel Carson dont l'effet retentissant sur l'opinion publique est souvent considéré comme ayant marqué la naissance de l'écologie politique. Dans cet ouvrage, la biologiste américaine démontrait en 1963 que les organochlorés, un large groupe d'insecticides, s'accumulent dans la chaîne alimentaire, affectant les niveaux trophiques supérieurs à

⁷⁶ SCHMIDT Martin H., LAUER Andreas, PURTAUF Tobias, THIES Carsten, SCHAEFER Matthias, TSCHARNTKE Teja, 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *The Royal Society Journal*, Juillet 2003, pages 1905-1909.

⁷⁷ Ibid.

celui ciblé, ceux-là même qui sont en mesure d'assurer la régulation naturelle des populations de phytophages visées par les insecticides⁷⁸. En effet, Flavia Geiger et al. confirmaient dans un article publié en 2010 dans la revue “Basic and Applied Ecology” que le recours aux pesticides et notamment aux insecticides et fongicides étaient la composante de l'intensification agricole qui avait les effets les plus négatifs sur la diversité spécifique, réduisant considérablement la possibilité de lutte biologique contre les organismes nuisibles⁷⁹. Ainsi, le recours à ces produits, s'il peut dans un premier temps conduire à des résultats bénéfiques sur la production agricole en éliminant les ravageurs potentiels, appauvrit néanmoins la biodiversité sur le long terme, accroissant le risque de dérèglement des services écosystémiques que le changement climatique fait peser sur les espaces agricoles.

Quelle influence la structure des milieux agricoles bretons a-t-elle sur l'adaptation de la biodiversité au changement climatique ?

Si le changement climatique impactera la biodiversité domestique et sauvage des espaces agricoles, il serait restrictif de se cantonner à ce seul aspect. En réalité, dans la problématique du changement climatique, les espaces agricoles doivent être plutôt considérés comme des facteurs d'aggravation de la menace que comme des milieux soumis à celle-ci.

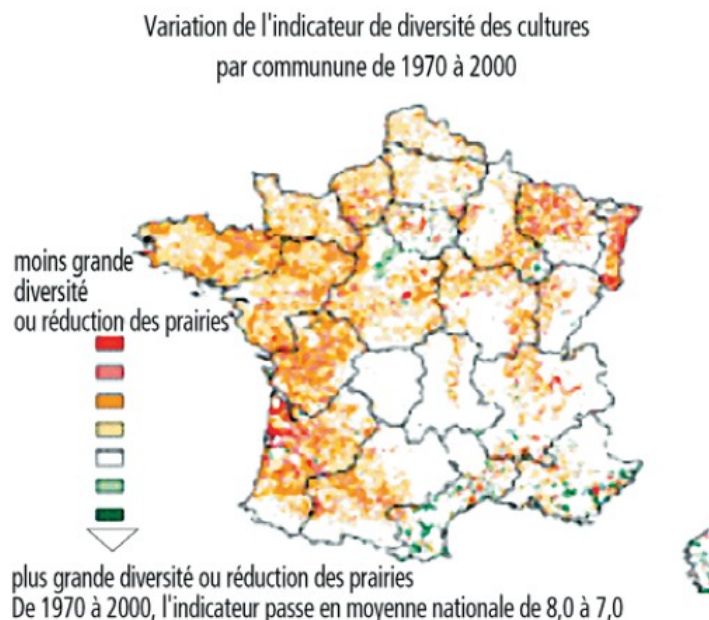
Le paysage agricole, s'il tient depuis longtemps une place prépondérante dans le Grand Ouest, a beaucoup évolué. Avant la fin de la Seconde Guerre Mondiale, il était profondément bocager. En effet, un grand nombre de petites fermes se partageaient l'espace cultivable et les haies servaient de barrières végétales entre les exploitations. Ce système conduisait à un fort morcellement qui rendait difficile l'exploitation des terres mais permettait l'existence d'un maillage bocager dense, essentiel à la circulation de la biodiversité auxiliaire comme nuisible. Puis intervint la “modernisation” dans les années cinquante, qui constitue un véritable changement de paradigme en matière de production agricole. Il faut dire que depuis la révolution industrielle, l'activité agricole était perçue comme un secteur retardataire resté en marge de l'économie marchande et dont la productivité restait insuffisante. De plus, cette mutation radicale correspondait à un choix politique de développer les capacités productives pour permettre à la France de sortir du contexte de pénurie et de dépendance alimentaires de l'après-guerre. Enfin, l'urbanisation galopante réduisant la surface agricole au profit des villes, il fallait accroître significativement le rendement à l'hectare afin que la production augmente malgré tout⁸⁰. Pour atteindre un tel résultat l'usage des engrais et des

78 ISENRING Richard, 2010. *Les pesticides et le perte de biodiversité, comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces*. Pesticide Action Network Europe.

79 GEIGER Flavia & al., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11, pages 97-105.

80 LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle,

pesticides a été généralisé tandis que les exploitations se sont réorganisées en filières spécialisées d'où une tendance à l'uniformisation des cultures à l'échelle de la région. La rotation des cultures s'est par ailleurs raccourcie tandis que le recours à la monoculture s'est accru. Cette tendance a été particulièrement marquée dans le Grand Ouest comme on peut le constater sur cette carte⁸¹.



L'hétérogénéité ou la complexité du paysage, déterminée par la quantité d'éléments semi-naturels (talus, haies, bandes enherbées...) et le niveau de connectivité ou de fragmentation entre habitats particuliers, s'est également considérablement réduite en raison de la concentration des exploitations. Entre 1970 et 2010, le nombre d'exploitations est passé de 150 921 à 34 447 alors que la surface agricole utile moyenne d'une exploitation a augmenté de 13 ha en 1970 à 48 ha en 2010⁸². Aussi, la multitude de fermes aux petites parcelles a cédé la place à de vastes champs qui ont isolé les habitats semi-naturels les uns des autres lorsqu'ils n'étaient pas tout simplement détruits pour faciliter l'exploitation mécanisée des cultures. En France, 600 000 km de haies ont ainsi été arrachés entre la fin des années soixante et les années quatre-vingt, soit la moitié du linéaire total, d'où une modification radicale du paysage agricole⁸³.

GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

81 Ibid.

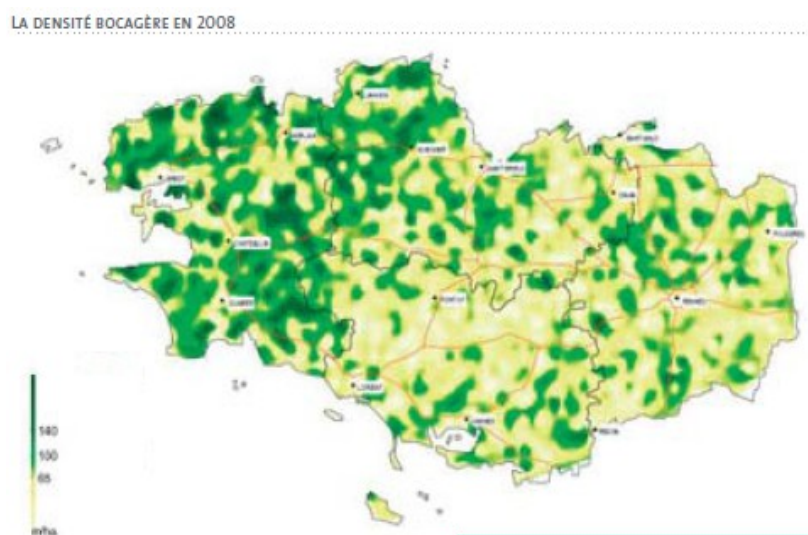
82 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014*.

83 BAUDRY Jacques, JOUIN Agnès, coord., 2003. *De la haie aux bocages : Organisation, dynamique et gestion*. INRA Paris. 435p.



Vue aérienne entre Quiauton et Saint-Mieux (Finistère) en 1951 et 2011

Aujourd'hui, le bocage breton se concentre essentiellement en Basse-Bretagne comme en témoigne cette carte⁸⁴:



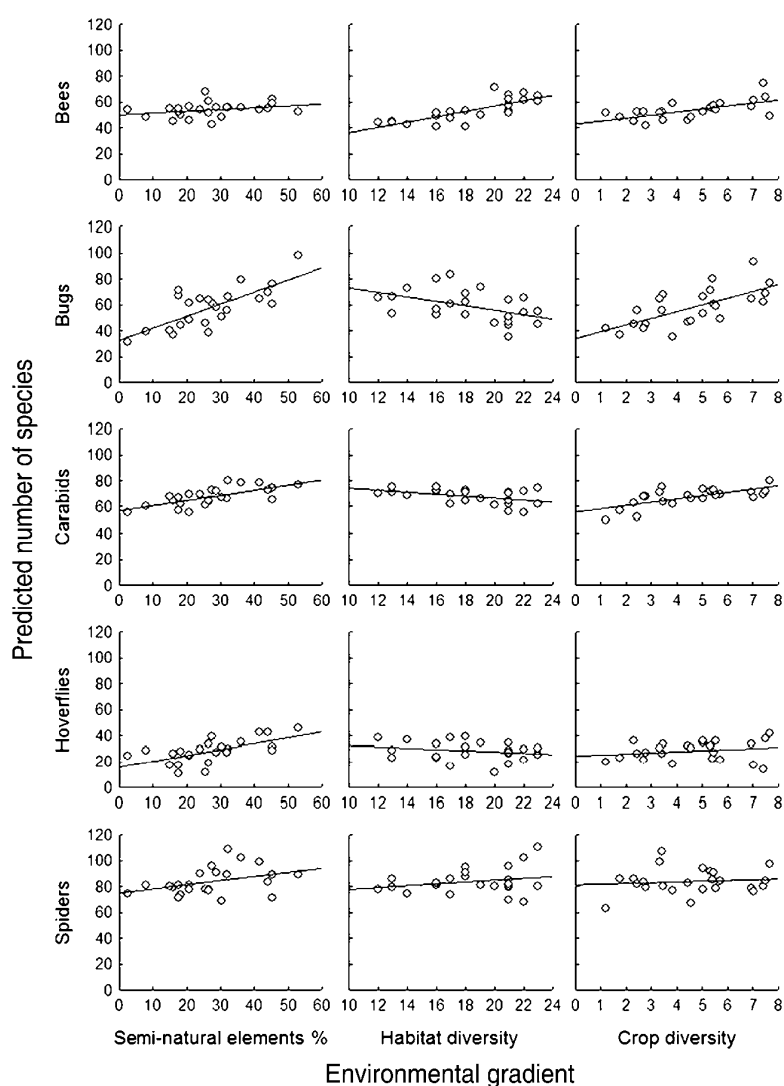
Cette nette rupture s'explique par les différences en matière d'alimentation animale. Alors que celle-ci est principalement assurée par pâturage dans la moitié ouest, la Haute-Bretagne, qui devrait être davantage affectée par le changement climatique, se distingue par sa production fourragère. Aujourd'hui, la destruction du bocage breton se poursuit mais de façon moins prononcée, à raison d'une réduction du linéaire d'1 % par an⁸⁵.

Le grand remembrement des espaces agricoles a eu et continue d'avoir de graves conséquences sur la biodiversité de ces milieux. En effet, une étude paneuropéenne menée en 2008 sur 25 paysages répartis dans sept pays (R. Billeter et al.) a mis en évidence l'effet bénéfique de la

84 GIP Bretagne Environnement, 2008. *Densité bocagère en Bretagne*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Atlas/Cartes/Densite-bocagere-en-Bretagne>

85 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés*, édition 2014.

diversité des cultures et du pourcentage d'éléments semi-naturels sur la diversité biologique des espaces agricoles⁸⁶.



Si la diversité des habitats semble avoir une influence tantôt positive, tantôt négative en fonction du groupe considéré, le pourcentage d'éléments semi-naturels et la diversité des cultures a globalement un effet positif sur la diversité spécifique de l'ensemble des groupes considérés, bien que de façon moins marquée pour les abeilles (peu sensibles au pourcentage d'éléments semi-naturels) et les araignées (dont la diversité spécifique ne semble pas déterminée par celle des cultures). Les transformations liées à la modernisation de l'agriculture ont donc considérablement appauvri la biodiversité sauvage des espaces agricoles, les transformant parfois en véritables déserts biologiques. Comme nous l'avons vu avec l'exemple des parasitoïdes, le maintien d'une biodiversité la plus riche possible est susceptible de limiter les impacts du changement climatique sur les

86 BILLETER Regula & al., 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes : a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* vol.45, n°1, February 2008, pages 141-150.

services écosystémiques. Aussi, le maintien d'un pourcentage d'éléments semi-naturels le plus élevé possible pourrait contribuer à compenser les conséquences négatives du changement climatique. Cela est d'autant plus vrai que les éléments semi-naturels servent de refuges à de nombreux prédateurs auxiliaires de cultures, à l'instar des carabes, et représentent donc des réservoirs d'individus pouvant coloniser les parcelles⁸⁷.

Alors que leur principale fonction était initialement d'assurer un rôle de barrières pour les animaux domestiques, il est amusant de constater que les éléments semi-naturels des espaces agricoles ont un effet inverse sur la biodiversité sauvage. S'ils servent d'habitats ou de refuges à de nombreuses espèces, ils concourent également à la continuité écologique des milieux agricoles et, compte tenu de la place prépondérante que ces derniers occupent en Bretagne, à la continuité écologique de tout le territoire régional. Les haies servent notamment de couloirs de dispersion à certaines espèces forestières, ce qui compense en partie la fragmentation importante des milieux boisés en Bretagne. L'Étude menée par Françoise Burel en 1989 sur un réseau de haies s'étendant à 1 500 mètres au nord de la forêt de Liffré a notamment permis de distinguer les différentes espèces de carabes en fonction de leur capacité à utiliser les haies bocagères comme corridors écologiques. Le groupe dit des "espèces corridor" s'est révélé capable de coloniser les haies denses, quelle que soit la distance à la forêt⁸⁸. D'autres travaux ont montré l'utilisation des haies comme corridors écologiques par les mollusques, les batraciens, les oiseaux, les micromammifères et même les plantes⁸⁹. Cet "effet corridor" assuré par le bocage est d'autant plus crucial dans un contexte de changement climatique. En effet, ce dernier modifiera certains milieux naturels, les rendant impropres à certaines espèces qui y vivaient ou au contraire plus adaptés à d'autres qui ne les affectionnaient pas initialement. Loin de constituer un espace de perméabilité pour la biodiversité, les milieux agricoles, en raison de leur manque d'éléments semi-naturels, représenteront alors des barrières anthropiques qui entraveront très probablement les flux de biodiversité induits par le changement climatique. Aussi, la structure des paysages agricoles, en contribuant à la fragmentation écopaysagère du territoire régional, accentuera des effets néfastes du changement climatique sur la biodiversité, qu'elle soit strictement inféodée aux milieux agricoles ou non. Les initiatives destinées à favoriser son adaptation devront donc s'attacher à conserver ou restaurer les éléments semi-naturels en milieu agricole, tant pour maintenir ou accroître la biodiversité de ces milieux et donc leur résilience, que pour faciliter les déplacements d'individus, de populations et d'espèces

87 BAUDRY Jacques, JOUIN Agnès, coord., 2003. *De la haie aux bocages : Organisation, dynamique et gestion*. INRA Paris. 435p.

88 BUREL Françoise, 1989. Landscape structure effects on Carabid beetle spatial patterns in western France. *Landscape Ecology* vol.2 n°4, May 1989, pages 215-226.

89 BAUDRY Jacques, JOUIN Agnès, coord., 2003. *De la haie aux bocages : Organisation, dynamique et gestion*. INRA Paris. 435p.

engendrés par le changement climatique.

Qu'il touche la biodiversité domestique ou sauvage des milieux agricoles, le changement climatique impactera l'agriculture elle-même. L'adaptation de la biodiversité n'est donc pas qu'une question de conservation. C'est aussi une question d'ordre économique : celle de la préservation d'une activité phare pour la région. Or, le modèle de production agricole intensif qui prédomine aujourd'hui est aussi la principale cause de fragilisation des écosystèmes face à la nouvelle menace que représente le changement climatique. Aussi, afin de limiter ses impacts sur l'activité agricole, il sera nécessaire de repenser celle-ci dans son ensemble en y réintégrant la biodiversité sauvage et les services qu'elle nous rend.

C) Les bassins versants

Quelles sont les grandes caractéristiques des bassins versants en Bretagne ?

Un bassin versant est un territoire qui draine l'ensemble de ses eaux vers un exutoire commun. Il est constitué d'une rivière principale qui prend sa source au niveau de ce que l'on appelle la "tête de bassin versant", et de sous-bassins versants correspondant à ses affluents. La spécificité de la Bretagne réside dans son réseau de cours d'eau particulièrement dense. En effet, la nature peu perméable du sous-sol favorise le ruissellement des eaux en surface, créant ainsi un chevelu dense de ruisseaux et rivières. En Bretagne, les cours d'eau sont peu étendus mais nombreux et omniprésents dans le paysage puisqu'ils s'étendent tout de même sur 30 000 km. La Vilaine, l'Aulne, le Blavet, le Couesnon, la Rance, le Trieux, le Léguer et l'Elorn sont les plus importants d'entre eux. Les bassins versants situés de part et d'autre d'une ligne de collines qui s'étend vers l'est depuis les Monts d'Arrée présentent des caractéristiques différentes : au sud de cette ligne, ils sont plutôt de grande taille et s'écoulent vers le sud pour se jeter dans l'Atlantique. Au nord, ils sont plus petits et se jettent dans la Manche. Enfin, une minorité de cours d'eau vont vers l'ouest pour se déverser dans la mer d'Iroise⁹⁰. La densité du réseau hydrographique breton permet la connexion entre les zones humides qui sont le siège d'une biodiversité remarquable. Ces dernières sont définies par la Loi sur l'eau de 1992 comme "des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre, de façon permanente ou temporaire et dont la végétation, quand elle existe, est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année⁹¹". Bien qu'il n'existe pas d'atlas exhaustif des zones humides en

90 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés*, édition 2014.

91 Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. *Explore 2070. Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Étude des zones humides*.

Bretagne, la région possède un fort potentiel de formation de ces milieux. En effet, il existe dans la région 2 208 bas fonds, c'est-à-dire des zones à faible pente qui sont susceptibles de retenir l'eau à un moment de l'année et donc de devenir des zones humides⁹². La région compte par ailleurs deux zones humides d'intérêt international : la baie du Mont-Saint-Michel et le golfe du Morbihan. La Loire-Atlantique en possède trois autres : la Grande Brière, le lac de Grand Lieu et les marais salants de Guérande et du Mès. Les zones humides occupent une faible superficie à l'échelle de la France, 3 % du territoire national, mais ce chiffre est compris entre 15 et 20 % en Bretagne⁹³. De plus, elles constituent des habitats cruciaux pour la biodiversité. En France métropolitaine, elles accueillent près d'un tiers des espèces végétales remarquables et/ou menacées, la moitié des espèces d'oiseaux et la totalité des espèces d'amphibiens. Elles sont à la fois zones d'alimentation, de halte migratoire, d'hivernage mais aussi et surtout de reproduction⁹⁴.

1) Les cours d'eau

La biodiversité des fleuves, rivières et autres cours d'eau est soumise à trois facteurs environnementaux qui régissent l'ensemble de la physiologie, des rythmes biologiques et de la répartition des espèces. Il s'agit de la température de l'eau, des conditions hydro-morphologiques et de la qualité de l'eau. Le changement climatique impactera potentiellement les trois et aura donc d'importantes conséquences sur les milieux aquatiques. Parce qu'ils occupent en général les derniers maillons de la chaîne trophique et sont donc de bons indicateurs de l'état du milieu, les poissons font l'objet d'une attention particulière. En termes d'études d'impact la famille des salmonidés fait office de référence. Elle concentre à elle seule 54 % des articles publiés sur les conséquences du changement climatique pour les poissons⁹⁵. Il faut dire que cette famille regroupe des espèces qui nécessitent des cours d'eau aux caractéristiques bien précises correspondant à la classification administrative de première catégorie. Il s'agit d'espèces vivant en amont, où les températures sont les plus fraîches et les courants les plus rapides. Les salmonidés sont des espèces cryophiles et rhéophiles et sont donc, comme nous allons le voir, particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique.

92 GIP Bretagne Environnement, 2011. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés*, édition 2011.

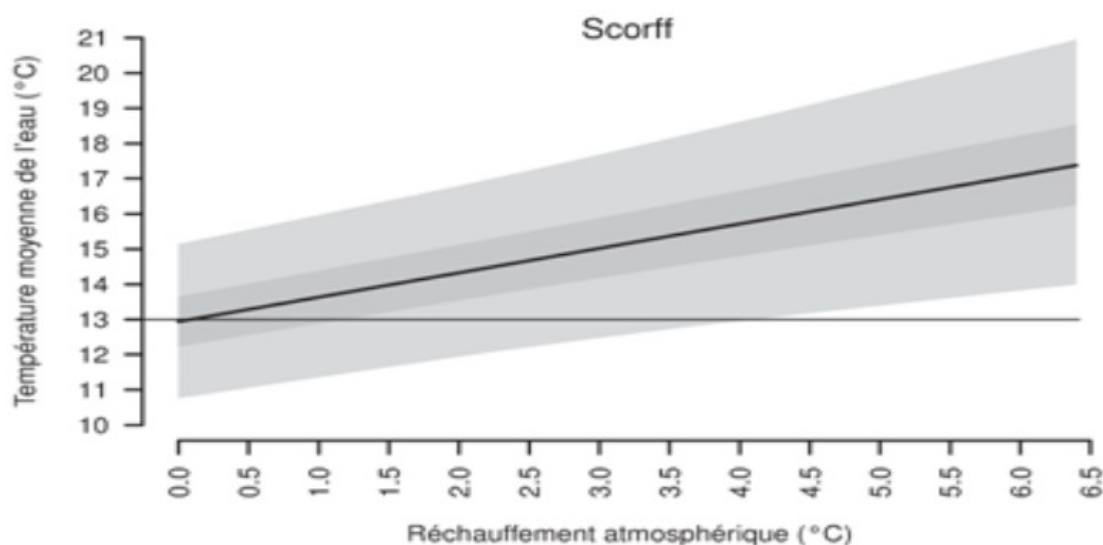
93 MARTIN Thomas, 2010. *Sensibilité des différentes zones humides en Bretagne au changement climatique*. Rapport de stage de master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 25p.

94 Futura Environnement par Futura Sciences, 2010. *Zoom sur les zones humides*. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/eau-zoom-zones-humides-1136/>

95 BAPTIST Florence, POULET Nicolas, SEON-MASSIN Nirmala, coord., 2014. *Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation*. ONEMA. 128p.

Quels seront les effets directs de l'augmentation des températures sur la biodiversité des cours d'eau ?

L'augmentation de la température de l'eau est la conséquence la plus évidente de la hausse des températures atmosphériques. En France métropolitaine, l'analyse de données rétrospectives a permis d'estimer à environ 1,6°C la température de l'eau au cours du XXe siècle⁹⁶. En Bretagne, une thèse portant sur l'impact du changement climatique sur la croissance des saumons atlantiques s'est attachée à développer un modèle de prédiction de l'évolution future des températures de l'eau en fonction des différents scénarii du réchauffement de l'air. Les projections ont été réalisées pour un réchauffement de la température atmosphérique compris entre 0°C et 6,4°C. Voici les résultats obtenus pour le Scorff, un petit fleuve côtier du Morbihan⁹⁷.



Ils montrent que l'augmentation des températures de l'eau devrait être moindre que celle de l'atmosphère. Pour un réchauffement atmosphérique maximal de 6,4°C par exemple, celui de l'eau du Scorff se limiterait à 4,4°C. Toutefois, même moins important que celui de l'air, le réchauffement de l'eau des fleuves, rivières et ruisseaux n'est pas sans conséquence pour la biodiversité aquatique. En effet, celle-ci se compose essentiellement d'insectes, de crustacés, de mollusques et bien sûr de poissons, c'est-à-dire des organismes ectothermes dont la biologie est régie par les variations de températures saisonnières. Chez les poissons par exemple, l'ensemble des fonctions vitales comme le métabolisme, le taux d'ingestion ou de digestion, la nage ou encore la reproduction et le développement dépendent des conditions environnementales et notamment de la température de l'eau⁹⁸. Aussi s'attend-t-on à d'importantes modifications de la physiologie des poissons en réaction

⁹⁶ Ibid.

⁹⁷ BAL Guillaume, 2011. *Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique*. Thèse de doctorat. Rennes : Université Rennes 1. 328p.

⁹⁸ BAPTIST Florence, POULET Nicolas, SEON-MASSIN Nirmala coord., 2014. *Les poissons d'eau douce à l'heure*

au changement climatique.

Les études menées spécifiquement en Bretagne sont peu nombreuses et concernent principalement le saumon atlantique. En raison des très nombreuses connaissances acquises à son sujet et de ses fortes exigences environnementales, ce poisson constitue une espèce modèle pour analyser les réponses des populations aux modifications environnementales et notamment à l'impact du réchauffement climatique. Le Saumon atlantique est un migrateur amphihalien c'est-à-dire qu'une partie de son cycle biologique s'effectue en mer et l'autre partie en rivière. Ainsi, après une à plusieurs années passées en mer, le saumon effectue une migration pour se reproduire dans le cours d'eau qui l'a vu naître. Poisson cryophile dont l'optimum thermique se situe aux alentours de 16°C, il est en France en limite sud de son aire de répartition et ses populations se concentrent principalement dans trois régions seulement : le Pays-Basque, la Basse-Normandie et la Bretagne. Comme chez beaucoup de poissons, la croissance des individus détermine les premiers choix d'histoire de vie et par extension, la dynamique des populations. Par exemple, la vitesse et la qualité du développement corporel de l'individu conditionnent la stratégie de sa première migration, le poisson pouvant choisir de gagner la mer au printemps plutôt que de grandir encore une année dans sa rivière natale, mais aussi potentiellement sa stratégie de reproduction, certains mâles pouvant connaître une maturation accélérée en vue d'une première reproduction avant même de passer par une phase de croissance marine⁹⁹. Or la croissance est directement influencée par la température de l'eau, aussi le changement climatique est susceptible d'avoir un effet significatif sur la dynamique des populations de saumons.

Comme chez beaucoup d'espèces terrestres, les modifications de la phénologie des poissons d'eau douce comptent parmi les premières conséquences du changement climatique. En Bretagne, le suivi sur une trentaine d'années (1972-2005) des populations de saumons de 23 rivières du Massif Armoricaire réparties en trois régions géographiques (Bretagne Nord, Bretagne Sud et Basse-Normandie) a révélé une avancée de l'âge de la "smoltification", qui désigne l'ensemble des changements physiologiques permettant aux poissons qui vivent en eau douce de s'adapter à l'eau de mer. Les jeunes saumons peuvent se smoltifier dès la première année ("smolts1") ou attendre dans leur rivière natale pour ne gagner la mer que l'année suivante ("smolts2"). Les résultats de cette étude de long terme ont montré une augmentation de la proportion de saumons se smoltifiant dès la première année. Par ailleurs, une forte corrélation positive a été constatée entre l'évolution de la proportion de "smolt1" et l'évolution des températures moyennes durant la période de croissance des saumons, entre janvier et juin.

du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation. ONEMA. 128p.

⁹⁹ BAL Guillaume, 2011. *Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique*. Thèse de doctorat. Rennes : Université Rennes 1. 328p.

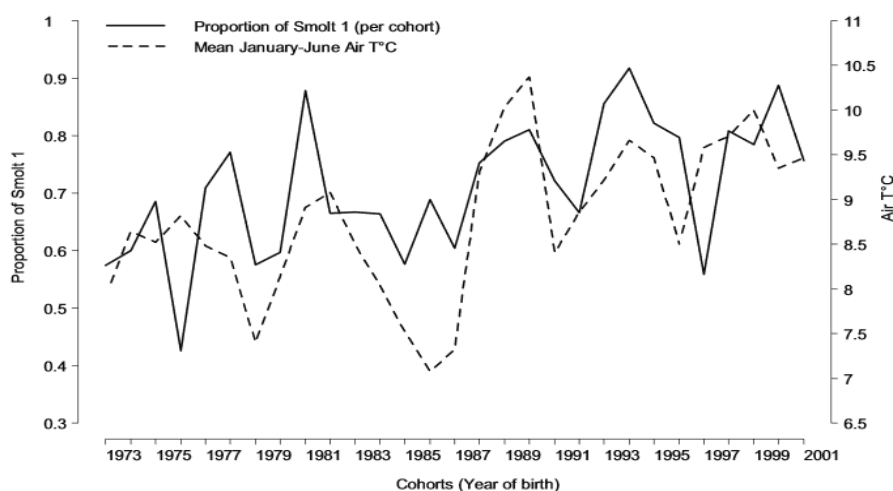


Figure 1.—Correlations between the proportions of age-1 smolt in Atlantic salmon populations in western France and mean air temperature during the spring growing period, from 1973 to 2001.

De plus, un allongement d'1,5 cm des jeunes saumons de premier hiver a été observé sur le Scorff entre 1972 et 2002. Toutefois, il a finalement été démontré que cette accélération de la croissance était plutôt liée à l'augmentation de la productivité primaire du Scorff due à l'enrichissement de ses eaux par l'apport de nitrates rejetés par l'agriculture¹⁰⁰. Ainsi, cet exemple nous montre une fois de plus que les impacts du changement climatique et des activités humaines sur la biodiversité peuvent être difficilement distinguables et que toute corrélation doit être établie avec prudence.

En 2011 la thèse d'un doctorant de l'agrocampus-ouest s'est de nouveau intéressée à l'impact du changement climatique sur la croissance des saumons atlantiques de trois petits fleuves côtiers : la Nivelle (Pays Basque), l'Oir (Basse-Normandie) et le Scorff (Bretagne). Le premier objectif de cette étude était de quantifier l'influence relative de la température de l'eau sur la croissance des saumons, en comparaison de la densité des compétiteurs intra-spécifiques (les jeunes saumons étant territoriaux et les habitats favorables rares, leur croissance est fortement dépendante de la densité de population). Les projections réalisées à partir d'observations de long terme sur le ruisseau de la Roche, un affluent de l'Oir, ont mis en évidence l'influence de la température de l'eau sur la croissance des jeunes saumons mais aussi son caractère marginal par rapport à la densité des compétiteurs¹⁰¹.

100 RIVOT Étienne & al., 2009. Climate change may have affected growth and life history in Atlantic Salmon juveniles over the past 30 years. *American Fisheries Society Symposium* 69, pages 855–857.

101 BAL Guillaume, 2011. *Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique*. Thèse de doctorat. Rennes : Université Rennes 1. 328p.

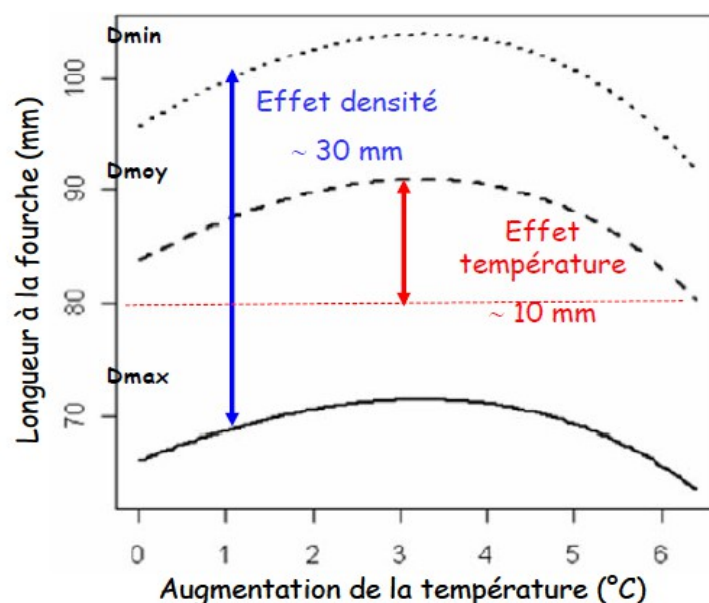
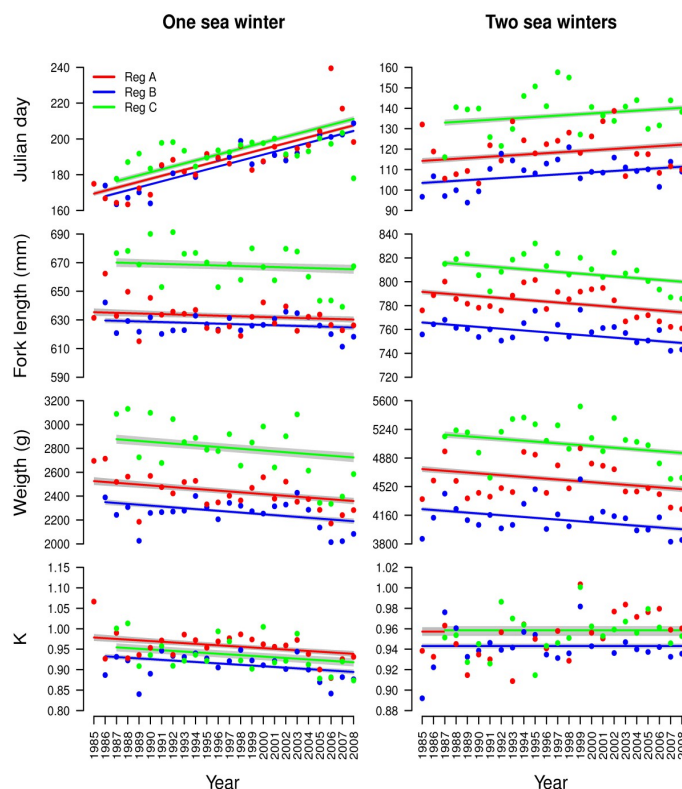


Figure 4. Effet de la densité et de la température de l'eau sur la taille du juvénile de saumon à la fin de sa première année de vie, en fonction du réchauffement du cours d'eau

Ainsi, la température de l'eau se révèle au final peu structurante pour la croissance des jeunes saumons et ce même si l'on considère une augmentation irréaliste de 6,4°C. Toutefois, si la densité des compétiteurs est la première variable influençant la croissance, cette dernière est en premier lieu déterminée par la biomasse féconde que le changement climatique pourrait impacter. Aussi la seconde partie de l'étude s'intéressait-elle aux impacts du changement climatique sur les géniteurs, c'est-à-dire les poissons adultes. En 2004, les travaux de Jean-Luc Baglinière, chercheur à l'INRA de Rennes, avaient déjà mis en évidence un changement drastique dans la structure démographique des populations du Massif Armoricaïn, sans que le lien avec le changement climatique n'ait toutefois été établi. Le suivi sur une trentaine d'années (1972-2002) des populations de 25 bassins versants de Bretagne et de Basse-Normandie avait montré un accroissement de la proportion des saumons n'ayant passé qu'un hiver en mer, une chute significative de la proportion d'individus ayant passé deux hivers en mer ainsi qu'une totale disparition des poissons ayant survécu à trois hivers en mer, le tout concourant à un rajeunissement et une accélération de la vitesse de renouvellement des géniteurs¹⁰². La thèse de Guillaume Bal a poursuivi dans cette voie en s'intéressant aux variations de la date d'entrée en rivière en fonction des années et aux variations de poids, de longueur et de coefficient de condition (c'est-à-dire le coefficient révélant l'état physiologique des poissons et notamment leur capacité de reproduction) des géniteurs. Cette fois-ci les données provenaient de piégeages réalisés sur le Scorff et la Nivelle entre 1985 et 2008. Elles ont montré un recul de la date

¹⁰² BAGLINIERE Jean-Luc & al., 2004. *Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002*. INRA Rennes.

d'entrée en rivière, de quatorze jours pour les saumons ayant déjà vécu deux années en mer et de sept jours pour ceux n'en ayant passé qu'un. Ce délai s'accompagne par ailleurs d'une diminution de la taille et du poids des poissons¹⁰³.



La forte concordance entre les résultats des trois cours d'eau et des deux classes d'âge, ainsi qu'avec ceux de la plupart des études du même type menées en Europe indique l'existence d'un facteur ou d'un ensemble de facteurs susceptibles d'impacter plusieurs stocks distincts sur une vaste zone géographique. Bien qu'elle n'ait pas été formellement identifiée, la dégradation des conditions de croissance en mer est la piste privilégiée par l'Unité mixte de recherche en écologie et santé des écosystèmes de l'INRA de Rennes. Ainsi, des conditions de croissance marine détériorées conduiraient les saumons à compenser leur retard en augmentant la durée de séjour en mer afin de maximiser leurs chances de reproduction à leur retour dans leur rivière natale, mais pas assez pour compenser effectivement ce retard de croissance, ce qui expliquerait la diminution de leur taille et de leur poids moyens. De nombreux travaux ayant mis en évidence une relation négative entre croissance du saumon et température de surface de l'Atlantique Nord, les chercheurs de l'UMR ESE estiment que le changement climatique pourrait être directement responsable de la mauvaise croissance des poissons¹⁰⁴. Toutefois, ce lien demeure pour l'instant à l'état de conjecture.

103 BAL Guillaume, 2011. *Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique*. Thèse de doctorat. Rennes : Université Rennes 1. 328p.

104 Communication personnelle Jean-Luc Baglinière.

Si l'influence de la température de l'eau sur le cycle biologique des poissons n'est plus à prouver, l'impact du changement climatique semble difficile à mettre en évidence lorsqu'il n'est pas négligeable. Les études bretonnes sur le saumon atlantique prouvent une fois de plus qu'il est nécessaire de poursuivre le travail de tâtonnement amorcé afin de déterminer de façon précise par quels mécanismes et avec quelle ampleur le changement climatique agit sur la biodiversité. Elles montrent également qu'au sein des écosystèmes aquatiques mais aussi terrestres, la biologie des espèces est soumise à une pluralité de facteurs naturels ou anthropiques dont il est bien difficile d'extraire la seule composante thermique. Dans le cas des cours d'eau, le changement climatique aura des conséquences plus insidieuses mais aussi plus incertaines que la simple augmentation des températures de l'eau. Il pourrait notamment modifier le faciès des cours d'eau et donc la disponibilité en habitats favorables pour la faune aquatique, par l'intermédiaire d'une modification des débits.

En quoi les modifications de débits liées au changement climatique peuvent-elles avoir une influence sur la biodiversité des cours d'eau ?

La dynamique fluviale et les conditions hydro-morphologiques qu'elle génère sont encore plus déterminantes pour la biodiversité des cours d'eau que la température. Il faut savoir qu'un cours d'eau n'est pas homogène sur toute sa longueur mais offre au contraire une succession de milieux et d'habitats différents de l'amont vers l'aval. En effet, tout cours d'eau peu altéré érode, transporte et dépose les matériaux solides provenant de l'amont du bassin et de ses berges vers l'aval. Aussi, les variations du débit solide, c'est-à-dire le volume d'éléments solides traversant une section transversale du cours d'eau par unité de temps en un point donné, sont particulièrement déterminantes pour la biodiversité aquatique puisqu'elles conditionnent en partie la composition du substrat. Le débit solide est lui-même en grande partie déterminé par le débit liquide (volume d'eau traversant une section transversale par unité de temps en un point donné) qui dépend directement des variations de précipitations et d'évaporation (donc du climat) et de la pente (donc du relief)¹⁰⁵. Dès lors, le lien entre climat et biodiversité est de nouveau établi. La relation forte qui existe entre le débit et la nature des habitats fluviaux permet de classer ces derniers selon cinq grands types de faciès d'écoulement¹⁰⁶ :

- le faciès rapide qui se caractérise par une profondeur moyenne, une vitesse de courant très élevée et une granulométrie très grossière.
- Le faciès radier qui s'identifie par une faible profondeur et une vitesse de courant élevée ainsi

105 ONEMA, 2012. *Pourquoi restaurer ?*

106 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

qu'un substrat grossier.

- Le faciès plat courant, caractérisé par une plus grande profondeur que celle des radiers, une vitesse de courant modérément élevée avec une surface lisse.
- Le faciès plat lent, identifié par une vitesse de courant faible et une profondeur supérieure à celle du plat courant.
- Le faciès profond, présentant une plus faible vitesse de courant et une plus grande profondeur que le plat lent.

Du type de faciès d'écoulement vont alors dépendre les cortèges d'espèces rencontrées. Et il est important d'insister sur le mot “cortège” car les espèces, prises individuellement, sont pour leur part rarement inféodées à un seul type de faciès. En effet, selon leurs activités journalières (nourrissage, repos, reproduction) ou leurs différents stades de développement (œuf, alevin, adulte), les poissons ont souvent besoin d'un ensemble d'habitats variés le long du cours d'eau. Certains réalisent des déplacements quotidiens de quelques dizaines à quelques centaines de mètres entre ces différents faciès. Pour la reproduction, les déplacements peuvent être nettement plus longs¹⁰⁷.

Seulement voilà, l'impact du changement climatique sur les débits des cours d'eau demeure à ce jour très difficile à prédire. Pour cause, la grande incertitude associée à l'évolution de la pluviométrie ainsi que la relative difficulté à isoler le facteur climatique des autres paramètres susceptibles d'influer sur le débit des cours d'eau. A l'échelle nationale, les projections du projet Explore 2070, basées sur le scénario SRES A1B prévoient une baisse probable du débit moyen annuel sur toute la métropole de l'ordre de 10 % à 60 % d'ici 2046-2065. Le débit d'étiage, c'est-à-dire le débit minimum d'un cours d'eau en période de basses-eaux, devrait lui aussi connaître une baisse sur l'ensemble du territoire, diminuant de 5 % à 65 % selon les régions¹⁰⁸. A l'échelle de la Bretagne, des projections basées sur le scénario A1B du GIEC ont été réalisées sur le bassin versant du Scorff, dans le Morbihan. Ce dernier a été virtuellement soumis à trois climats futurs correspondant à trois communes du Grand Ouest : Montreuil-Bellay (Maine-et-Loire) Naizin (Morbihan) et Ploudaniel (Finistère). Les précipitations journalières et l'évapotranspiration de référence ont été les deux variables prises en compte. Les résultats montrent qu'en hiver, les débits devraient connaître une diminution de l'ordre de 18 % dès le futur proche (2031-2060) qui résulterait davantage de l'augmentation de l'évapotranspiration que de la diminution des précipitations. En futur lointain, ils ne diminueraient toutefois que de 11 %. Cette baisse serait plus importante en été avec une diminution dès la période actuelle de 9 % suivie d'une baisse de 24 et 28 % pour le futur proche et le futur lointain, respectivement. Après une augmentation de 26 % pour la

107 ONEMA, 2012. *Pourquoi restaurer ?*

108 BAPTIST Florence, POULET Nicolas, SEON-MASSIN Nirmala, coord., 2014. *Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation*. ONEMA. 128p.

période actuelle, c'est en automne que les débits diminueraient le plus : -27 % en futur proche et -41 % en futur lointain. En effet, la période d'étiage s'allongerait en se renforçant, la reprise des écoulements n'ayant plus lieu en septembre mais en novembre. Toutefois, ces résultats ne prennent pas en compte l'impact du forçage physiologique lié à l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂. Ce dernier, en limitant la transpiration de la ripisylve, contribuerait à limiter la baisse des débits à 11 % en hiver, 18 % en été et 35 % en automne, en futur lointain. Par ailleurs, ces moyennes cachent des disparités entre les stations dont les climats futurs ont été virtuellement projetées sur le bassin du Scorff. Alors que la baisse relative des débits en été et en automne devrait être plus marquée en Bretagne que sur la commune du Maine-et-Loire, ce serait l'inverse en hiver et au printemps. Enfin, cette étude ne permet pas d'établir de conclusion définitive quant à l'évolution des débits des cours d'eau bretons en raison de l'incertitude des projections climatiques sur lesquelles elle se base mais aussi du modèle de projection lui-même¹⁰⁹. Sans compter qu'elle ne vise pas à prédire l'évolution réelle des débits du bassin du Scorff mais utilise ce dernier comme terrain d'expérimentation pour des communes situées sur d'autres bassins versants. De plus, la dynamique fluviale a été largement modifiée par l'Homme, bien avant que les effets du changement climatique n'interviennent. La création d'ouvrages hydrauliques a notamment perturbé le fonctionnement naturel des cours d'eau et modifié les habitats aquatiques, créant de nombreuses zones stagnantes propices à l'envasement comme sur certaines parties du Leff, un petit cours d'eau des Côtes-d'Armor¹¹⁰. Les pratiques agricoles sont également susceptibles de modifier les habitats naturels, indépendamment des variations du débit. Par exemple, un recul du substrat de granulométrie grossière au profit de substrats mixtes ou sableux a été observé dans le lit de l'Oir entre 1996 à 2009 et ce malgré une augmentation des débits durant cette période. Les surfaces cultivées en maïs qui laissent le sol à nu en automne-hiver, c'est-à-dire pendant la période de reprise des écoulements, ainsi que le piétinement des berges par le bétail en seraient les causes principales¹¹¹. Il apparaît donc une fois de plus bien difficile de déterminer la part de responsabilité du changement climatique dans la modification des habitats naturels. Pour cette raison, aucune étude sur les conséquences de l'évolution des débits pour la biodiversité des cours d'eau n'est pour l'instant disponible. Néanmoins, les salmonidés étant des poissons lithophiles, c'est-à-dire qui frayent sur un substrat grossier associé à un courant rapide, cette famille est de nouveau celle qui pourrait être la plus affectée par les modifications de débit induites par le changement climatique.

109 LE PAVEN Étienne, 2011. *Modélisation de l'impact du changement climatique sur le fonctionnement d'un bassin-versant : Extension des zones humides et Évolution des débits*. Rapport de stage de master 1. Rennes : Agrocampus Ouest. 23p.

110 Communication personnelle Hubert Catroux.

111 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

Quelles interactions entre changement climatique et qualité des eaux ?

Les interactions entre changement climatique et qualité des eaux superficielles sont peu étudiées et demeurent à l'état d'hypothèses. Plutôt que “d'impacts du changement climatique sur la qualité des eaux”, il convient ici de parler “d'interactions” entre les deux avec des effets combinés sur la biodiversité des milieux aquatiques. D'une part, la toxicité de l'eau est susceptible de diminuer la tolérance des organismes vivants aux modifications du régime thermique induites par le changement climatique. Ainsi, le potentiel d'acclimatation de l'omble de fontaine et du saumon atlantique serait par exemple altéré par des doses sous-létales de DDT¹¹². Réciproquement, l'augmentation des températures de l'eau pourrait accroître la toxicité de certains polluants envers certaines espèces. Une étude américaine a notamment montré que la barbotte de rivière devenait plus sensible à l'atrazine, un herbicide d'utilisation répandue mais interdit depuis dix ans, lorsque les températures de l'eau augmentaient et que la teneur en oxygène dissout diminuait¹¹³. Enfin, certaines cyanobactéries capables de produire des toxines ont vu leur aire de répartition progresser, en partie sous l'influence du changement climatique. Cela a notamment été montré sur la rivière la Loue, un affluent du Doubs (Gugger et al. 2005)¹¹⁴. Le changement climatique pourrait donc aggraver les effets liés à la pollution des eaux bien que l'on ne sache pas toujours précisément dans quelle mesure. Pour l'instant, les travaux européens restent rares et aucune étude sur le sujet n'a à ce jour été menée en Bretagne.

Quelles conséquences sur la richesse spécifique des peuplements le long du bassin versant ?

La température de l'eau, les conditions hydro-morphologiques et la qualité de l'eau déterminent *in fine* la nature et l'état des habitats aquatiques et donc la composition des peuplements de poissons. Ces paramètres évoluant de la source à l'estuaire, il est possible d'établir une zonation piscicole des espèces le long du gradient longitudinal. Trois grandes guildes qui se succèdent ou s'ajoutent d'amont en aval ont ainsi été définies par Marcel Huet en 1949¹¹⁵ :

- Les espèces rhéophiles (appréciant les milieux courants) et cryophiles (c'est-à-dire d'eau froide) qui se rencontrent en amont des cours d'eau, dans ce que l'on appelle la “zone à truites”.
- Les cyprinidés rhéophiles de la zone intermédiaire du cours d'eau (“zones à ombre et à barbeau”).

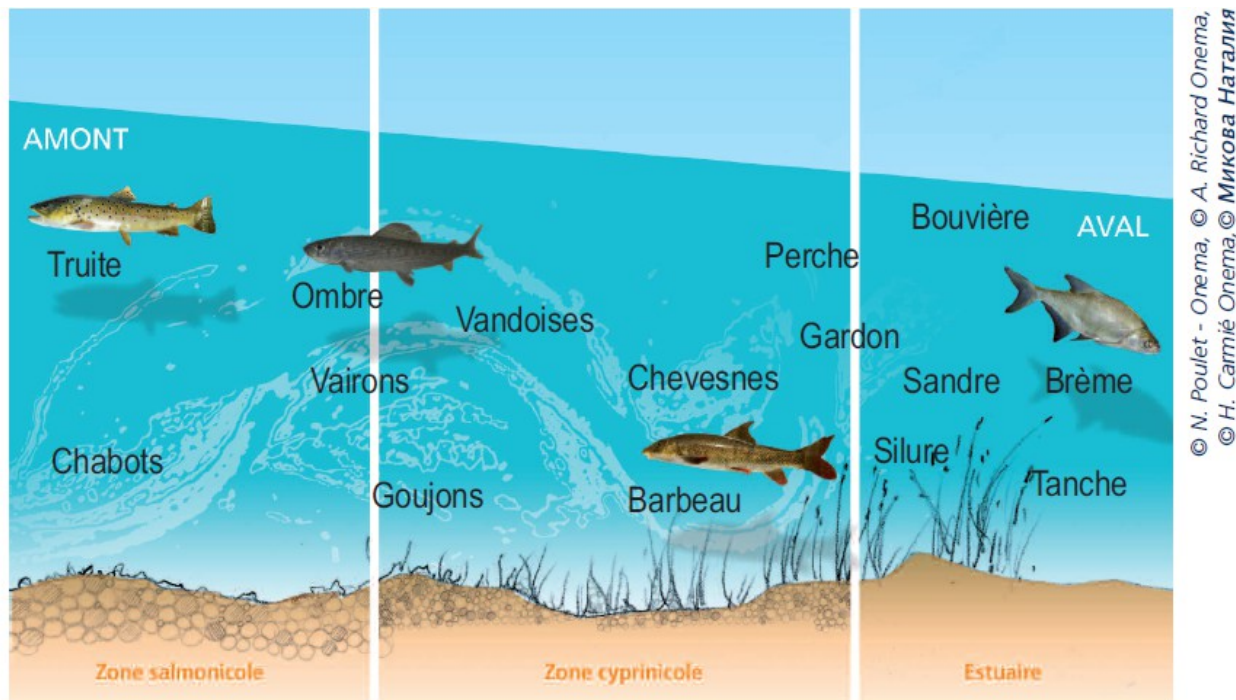
112 BAPTIST Florence, POULET Nicolas, SEON-MASSIN Nirmala, coord., 2014. *Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation*. ONEMA. 128p.

113 Ibid.

114 Ibid.

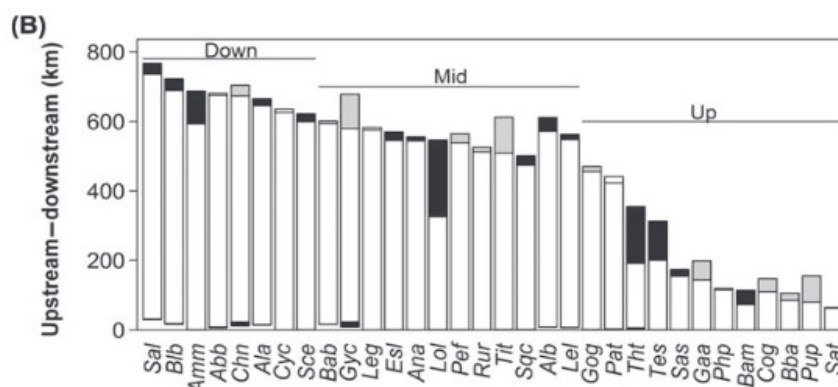
115 Ibid.

- Les espèces limnophiles (vivant en eau stagnante) et thermophiles (d'eau chaude) inféodées aux zones les plus en aval du cours d'eau appelées communément “zone à brème”.



Évolution schématique de la structure des communautés piscicoles le long du gradient amont-aval.

Le changement climatique est susceptible d'impacter la température et le régime hydrologique des cours d'eau, modifiant ainsi la répartition des habitats aquatiques. Afin de retrouver les conditions écologiques dont elles ont besoin, les différentes espèces de poissons devront donc se déplacer, ce qui conduira à une recomposition des peuplements le long des gradients longitudinal et altitudinal. A l'échelle du réseau hydrographique français, Lise Comte et Gael Grenouillet se sont intéressés à l'évolution de la distribution de diverses espèces de poissons entre une période “ancienne” (1980-1992) et une période “récente” (2003-2008). Leurs résultats montrent une remontée de la majorité des espèces en altitude (à raison de 13,7 mètres par décennie en moyenne) et/ou vers l'amont (0,6 km par décennie) cohérente avec le “déplacement” des températures. Les remontées vers l'amont se sont révélées sensiblement plus importantes en limite aval de la répartition des espèces (6,3 km par décennie) qu'en limite amont (0,5 km par décennie) avec pour résultat une contraction de l'aire de répartition de la plupart des espèces plutôt qu'une extension.



Évolution de la répartition des espèces de poissons d'eau douce le long du gradient longitudinal. Les expansions significatives sont représentées en gris et les contractions en noir.

Ces déplacements demeurent insuffisants pour s'adapter à l'évolution des températures. La plupart des espèces seraient ainsi “en retard” par rapport au changement climatique, de 15 km par décennie en moyenne le long du gradient longitudinal et de 48,8 m par décennie le long du gradient altitudinal¹¹⁶. Les projections pour le futur issues des modélisations d'aires de répartition favorables confirment ces premières observations. Dans le cadre du projet Explore 2070, l'impact potentiel du changement climatique sur la distribution de 38 espèces de poissons a été évalué. Basée sur le scénario A1B, les projections pour la période 2060-2089 montrent une nette différence d'impact selon la zone de vie sur le bassin versant. Les espèces d'amont, rhéophiles, cryophiles et caractérisées par de faibles tolérances thermiques telles que la truite commune seraient systématiquement celles qui connaîtraient la plus grande contraction de leur aire de répartition. Au contraire, les espèces des zones à brème et à barbeau telles que le chevesne étendraient leur aire de répartition à la faveur du changement climatique. Mais l'intérêt de cette étude nationale réside principalement dans sa tentative de prise en compte des capacités de dispersion des espèces et donc de leur vulnérabilité à la fragmentation écologique des cours d'eau. En effet, les projections ont été réalisées pour chaque espèce selon un scénario de dispersion nulle puis selon un scénario de dispersion illimitée. Les résultats révèlent la gravité des impacts du changement climatique pour certaines espèces d'amont telles que la Truite commune. Ce salmonidé présente des capacités de colonisation très importantes en raison de sa capacité à franchir les obstacles et pourtant, les résultats obtenus selon le scénario de dispersion illimitée sont peu différents de ceux obtenus selon le scénario de dispersion nulle, prouvant la réduction nette de l'aire d'habitat favorable à cette espèce¹¹⁷.

116 COMTE Lise & GRENOUILLET Gaël, 2013. Do stream fish track climate change ? Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography* 36, pages 1236–1246.

117 Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. Explore 2070. *Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Étude de la répartition des poissons d'eau douce*.

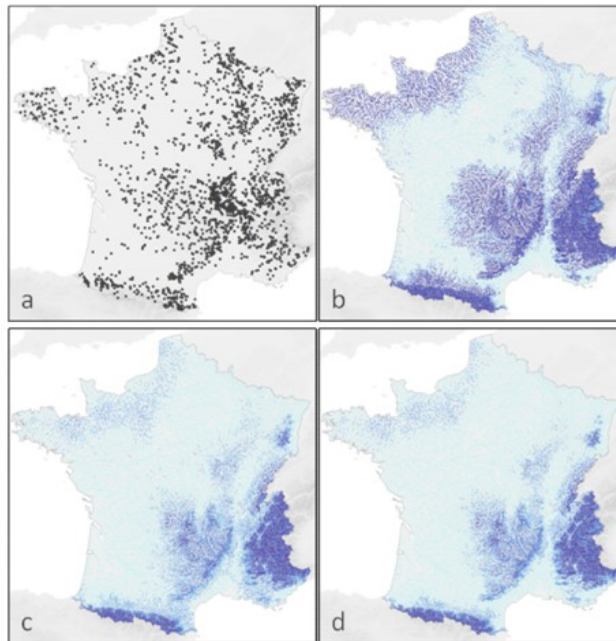


Fig. 2.3.6 Présence observée de la truite commune (a), habitats favorables projetés actuels (b), futurs selon le scénario de dispersion nulle (c) et futurs selon le scénario de dispersion illimitée (d)

Il est particulièrement inquiétant de constater que la Bretagne pourrait devenir presque totalement défavorable à l'espèce alors que cette région représente un refuge pour les salmonidés et devrait subir les impacts du changement climatique de façon moins violente que la majorité du territoire métropolitain.

Les projections d'aires de répartition futures existent pour de nombreuses espèces de poissons d'eau douce, ce qui permet d'établir des hypothèses quant à l'évolution de la composition des peuplements, par compilation des déplacements potentiels de chaque espèce. Les résultats d'Explore 2070 indiquent que la richesse spécifique varierait peu sur l'ensemble du territoire à l'exception des régions montagnardes où elle augmenterait sensiblement et des pays de la Loire qui pourraient perdre jusqu'à huit espèces par endroits¹¹⁸.

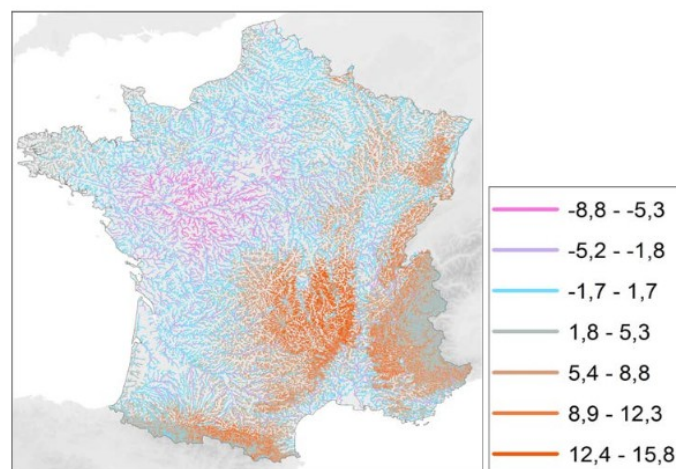


Fig. 2.3.11 Représentation cartographique de la différence moyenne de richesse spécifique entre futur et présent pour le scénario de dispersion illimitée

¹¹⁸ Ibid.

D'autres études ont obtenu des résultats différents, montrant que la richesse spécifique pourrait au contraire augmenter sur la majeure partie du territoire (Buisson et Grenouillet, 2009). Quoi qu'il en soit, l'évolution de la richesse spécifique devrait cacher une conséquence plus insidieuse du changement climatique : la baisse de l'équitabilité au sein des peuplements. L'équitabilité est un indicateur décrivant la répartition des individus parmi les espèces présentes au sein d'une communauté. Plus l'abondance est également répartie entre les espèces, plus l'équitabilité sera élevée. Au contraire, si la grande majorité des individus prélevés appartiennent à la même espèce, l'équitabilité sera faible. Aussi, même si le nombre d'espèces présentes au sein d'un peuplement piscicole augmente sous l'effet des déplacements induits par le changement climatique, seules quelques espèces profiteront véritablement des modifications environnementales et s'imposeront dans la plupart des communautés aux dépens de la majorité des autres espèces. Ainsi, les peuplements se ressembleront davantage et connaîtront ce que l'on appelle l'homogénéisation biotique, c'est-à-dire le remplacement progressif des espèces spécialistes par des espèces généralistes¹¹⁹.

Parce qu'ils se trouvent souvent au sommet des chaînes trophiques dans les cours d'eau, les poissons monopolisent la majorité des études sur la biodiversité de ces milieux et cela est d'autant plus vrai dans le domaine du changement climatique. Organismes ectothermes à l'instar de la plupart des habitants des milieux aquatiques, les poissons sont de bons indicateurs des modifications environnementales induites par le changement climatique. Ils comptent par ailleurs parmi les espèces les plus mobiles et ont la possibilité de se déplacer le long du cours d'eau afin de retrouver les conditions écologiques qui leurs sont optimales. Une possibilité que beaucoup d'autres taxons n'ont pas et pour lesquels les conséquences du changement climatique pourraient être plus dramatiques encore, bien que les études sur le sujet manquent pour l'instant en Bretagne.

Le changement climatique aura des conséquences importantes sur les peuplements piscicoles et par extension sur la pêche récréative. Par ailleurs, les espèces qui devraient être impactées le plus négativement ont pour la plupart une forte valeur patrimoniale, en particulier auprès des pêcheurs. Ainsi, si les impacts du changement climatique sur la biodiversité des cours d'eau n'auront probablement pas un poids économique aussi important que ceux qui toucheront l'agriculture, les conséquences d'ordre culturel n'en demeureront pas moindres. De par les particularités de son réseau hydrographique, la Bretagne constitue, à l'échelle nationale, l'un des derniers bastions pour certaines de ces espèces exigeantes. Aussi la région porte-t-elle une

119 BUISSON Laëtitia & GRENOUILLET Gaël, 2009. Contrasted impacts of climate change on stream fish assemblages along an environmental gradient. *Diversity and Distributions* 15, pages 613-626.

responsabilité vis-à-vis de ces espèces et devra tout mettre en œuvre pour les préserver du changement climatique. Pour se faire, il sera indispensable d'agir sur l'anthropisation des cours d'eau qui, non contente de rompre la continuité écologique, a fortement modifié les milieux naturels et donc fragilisé les peuplements.

2) Les zones humides

Plusieurs conséquences du changement climatique observées sur les cours d'eau s'appliquent également aux zones humides, notamment les modifications de la biologie des espèces liées à l'augmentation des températures de l'eau. Néanmoins, en raison de leurs particularités, les zones humides présentent une vulnérabilité au changement climatique qui leur est propre. Le quatrième rapport du GIEC établissait en 2007 que les zones humides comptaient parmi les milieux les plus vulnérables au changement climatique. Pas besoin d'aller chercher bien loin quels seront les impacts de ce dernier : de par leur nature même, les zones humides sont sensibles à toutes les variations du cycle de l'eau et notamment aux modifications de la pluviométrie et de l'évapotranspiration. La hausse des températures moyennes estivales, associée à des épisodes de sécheresse plus longs et plus fréquents, pourraient ainsi accroître sensiblement la vulnérabilité de ces milieux. Par ailleurs, certaines menaces pourraient venir du milieu marin. L'augmentation du niveau de la mer est en effet susceptible d'exposer certaines zones littorales d'eau douce ou saumâtre au risque de salinisation voire de submersion temporaire. Ainsi, la nature du risque lié au changement climatique dépendra de la position de la zone humide le long du bassin versant.

A l'échelle nationale, le projet Explore 2070 s'est attaché à produire une étude complète sur les impacts du changement climatique sur les zones humides. Suivant la typologie établie par l'Observatoire national des zones humides, elle vise à rendre compte de la diversité de ces milieux mais aussi de la diversité des menaces que le changement climatique fait peser sur eux. Onze exemples appartenant à trois grandes catégories (vallées alluviales, plaines intérieures et littoral méditerranéen) ont été retenus et passés au crible fin. L'intérêt supplémentaire de ces travaux réside dans leur prise en compte des services écosystémiques fournis par les zones humides et leur tentative d'évaluation du coût économique des impacts du changement climatique¹²⁰. Malheureusement, aucun des cas d'étude retenus par Explore 2070 ne se trouve en Bretagne ni même dans le Grand Ouest. Malgré leur importance en tant que réservoirs de biodiversité, leur rôle régulateur tant sur le plan hydrologique que de la qualité de l'eau, et leur vulnérabilité élevée au

¹²⁰ Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. Explore 2070. *Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Étude des zones humides*.

changement climatique, les zones humides demeurent un sujet relativement peu investi par la recherche bretonne.

Quelle sensibilité des zones humides bretonnes au changement climatique ?

La principale menace à laquelle les zones humides seront exposées dans le futur est le risque d'assèchement lié aux modifications de la pluviométrie et de l'évapotranspiration. Toutefois, un bassin versant est un système hydrologique complexe dont les sections fonctionnent différemment selon leur position le long du gradient amont-aval. Aussi, les zones humides peuvent-elles être soumises à deux grands modes d'alimentation selon leur position le long du bassin versant : une alimentation par les nappes phréatiques ou par débordement du cours d'eau auquel elles sont associées. Le premier mode d'alimentation correspond plutôt aux zones humides situées en amont du bassin versant tandis que le second correspond davantage aux zones situées en aval. On comprend facilement que ce dernier est beaucoup plus dépendant de la pluviométrie et que les zones humides qui y sont soumises seront potentiellement plus vulnérables au changement climatique. Les rares études bretonnes qui se sont intéressées à l'impact du changement climatique sur les zones humides se sont principalement attachées à vérifier cette hypothèse. La plupart de ces travaux ont été conduits sous la direction de Philippe Mérot de l'Unité mixte de recherche Sol agro et hydro systèmes de l'INRA de Rennes. On retiendra surtout deux études ayant fait l'objet de stages de master 2.

La première, réalisée par un étudiant du master Hydrogéologie-Hydrobiogéochimie-Hydropédologie de l'Université de Rennes 1, avait pour objectif d'évaluer la dépendance des zones humides aux précipitations, en fonction de leur position le long du bassin versant. Pour se faire, six sites répartis sur trois bassins versants ont été étudiés : trois sur le bassin versant de Naizin, deux sur celui du Scorff et un sur le bassin de la Vilaine. Toutefois, plus que le réseau hydrographique auquel ces zones humides appartiennent, c'est leur position le long de ce dernier qui importe. Ainsi, les différents sites considérés ont été hiérarchisés selon l'ordre de Strahler, à partir des cours d'eau auxquels ils sont associés. De façon schématique, l'ordre de Strahler est attribué à un cours d'eau en fonction du nombre d'innfluents dont il est issu. Aussi, plus un cours d'eau est situé en aval du bassin versant, plus l'ordre qui lui est attribué sera élevé. Les trois sites du bassin de Naizin étaient respectivement d'ordres 1,2 et 3, ceux du Scorff d'ordre 2 et 5 et celui de la Vilaine d'ordre 7. Des prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés sur chacun des sites environ une fois tous les quinze jours, sur une période de six mois de janvier à mai, afin de mesurer le taux de saturation du sol en humidité. La première variation observée a été d'ordre spatial : la saturation des sols diminue avec l'augmentation de l'ordre de Strahler. Elle évolue également en fonction du temps puisqu'elle

atteint son niveau maximal entre le 16 février et le 30 mars avant de connaître une chute significative après cette date qui se poursuit tout au long du printemps. Mais ce qui nous intéresse ici c'est la différence d'amplitude de cette baisse en fonction de l'ordre de Strahler. Ainsi, pour la zone humide d'ordre 7, le taux de saturation du sol est passé de 98 % à 52 % entre le 2 mars et le 12 mai tandis qu'il n'a baissé que de 89 % à 76 % pour la zone humide d'ordre 3 et de 100 % à 97 % pour l'une de celles d'ordre 2 (site de Naizin). Par ailleurs, le prélèvement du 2 mars, journée qui s'est révélée particulièrement pluvieuse l'année où l'étude a été conduite, a révélé que la zone humide d'ordre 7 du bassin de la Vilaine a réagi plus fortement que tous les autres sites. Ainsi, on observe que l'absence de précipitations entraîne une désaturation rapide des zones humides aval tandis que les zones humides amont parviennent à se maintenir dans un état proche de la saturation plus longtemps.

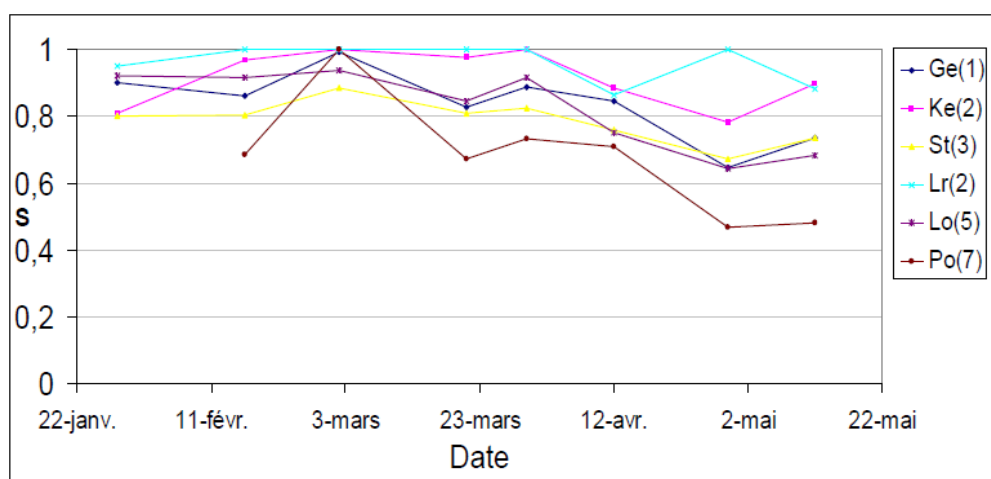


Figure 9, Evolution temporelle du taux de saturation (moyenne des 5 points du transect) sur 0-20

A partir de ces résultats il a donc été possible d'émettre l'hypothèse que les zones humides situées en aval des bassins versants étaient susceptibles d'être plus sensibles aux effets du changement climatique que celles situées en amont et seraient donc davantage vulnérables au risque d'assèchement¹²¹.

Pourtant, une seconde étude ayant le même objectif que la précédente n'a pas tardé à contredire cette hypothèse. Menée par un étudiant de l'Agrocampus Ouest, elle a repris le bassin versant du Scorff comme terrain d'expérimentation pour appliquer les projections climatiques de la station de Ploudaniel basées sur le scénario A1B du GIEC. Bien que la commune ne soit pas située sur le bassin du Scorff, l'étude n'en demeure pas moins pertinente compte tenu de la proximité géographique entre les deux sites et leur appartenance à la même zone climatique. Dans cette étude,

121 MARTIN Thomas, 2010. *Sensibilité des différentes zones humides en Bretagne au changement climatique*. Rapport de stage de master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 25p.

les zones humides considérées étaient toutes situées sur le bassin versant du Scorff et ont été hiérarchisées selon l'ordre de Strahler puisque l'objectif était une nouvelle fois d'évaluer les différences de réponse en fonction de la position le long du bassin versant. Toutefois, il ne s'agissait pas cette fois-ci de suivre l'évolution des zones humides sur une période d'étude donnée et ancrée dans le présent mais bien de les soumettre virtuellement à des conditions climatiques futures hypothétiques. Aussi, cette seconde étude avait véritablement pour but de prévoir la réponse des zones humides au changement climatique là où la première visait davantage à évaluer leur sensibilité au facteur climat. Par ailleurs, la variable prise en compte était cette fois-ci la pluie efficace c'est-à-dire la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. A partir des projections sur l'évolution de cette variable, il a été possible de prévoir l'évolution de la surface des zones humides d'ici 2040 et 2100. Les résultats ont permis de distinguer un fonctionnement différent selon les ordres. En effet, les zones humides associées à des cours d'eau de petit ordre de Strahler, c'est-à-dire les plus en amont, présenteraient une sensibilité plus grande au changement climatique. En effet une diminution de 10,25 % d'ici 2040, puis de 20,48 % en 2100 pour les zones humides associées à un ordre 0 a été noté contre une diminution de 1,27 % puis 3,30 % pour une zone humide associée à un ordre 5¹²².

ordre	diminution d'ici 2040	diminution d'ici 2100
ordre 0	10.25%	20.48%
ordre 1	3.23%	7.00%
ordre 2	2.43%	5.05%
ordre 3	1.98%	4.19%
ordre 4	1.69%	3.82%
ordre 5	1.27%	3.30%

Les résultats des deux études étant contradictoires, il demeure difficile de déterminer quelles zones humides seront les plus fortement impactées par le changement climatique. L'absence de réponse à cette question souligne l'insuffisance des travaux menés sur l'évolution de ces milieux dans un contexte de changement climatique. Toutefois, une tendance générale à la régression des zones humides semble se profiler à l'horizon. Cela pourrait se traduire par de profonds changements dans le fonctionnement de leurs écosystèmes et se répercuter sur les services écosystémiques qu'ils rendent. Si la conséquence finale du changement climatique pourrait être la diminution de la surface des zones humides, il ne faut pas oublier que ce recul sera progressif et masqué par les variations saisonnières des niveaux d'eau. Aussi la conséquence la plus immédiate du changement climatique

122 JOSSE Jim, 2010. *Influence du changement climatique sur les zones humides*. Rapport de recherche. Rennes : Agrocampus Ouest. 16p.

pourrait être une modification de la périodicité des variations de niveau d'eau qui ne concorderait plus avec la phénologie de la faune. Pour les Anoues dont les larves sont exclusivement aquatiques, le risque est de voir certaines mares s'assécher plus tôt en saison, avant la maturité des têtards. Concernant les oiseaux, de nombreuses familles sont directement dépendantes des zones humides. En effet, celles-ci sont utilisées tantôt comme zones de reproduction tantôt comme zones d'approvisionnement au cours de la migration ou de l'hivernage. Les périodes d'assec pourraient par exemple survenir plus tôt en été et se retrouver en décalage par rapport au passage postnuptial des Limicoles et de certains canards de surface qui recherchent leur nourriture en marchant ou barbotant sur les vasières des étangs en vidange. De même, ces changements pourraient se révéler néfastes pour la reproduction de certaines espèces qui nichent dans les prairies humides. Des niveaux d'eau trop bas au début de la période de nidification ou qui diminuent trop vite durant celle-ci peuvent notamment favoriser la prédation des nids par les carnivores terrestres. Dans l'Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne, Didier Monfort fait par exemple remarquer qu'en 2005, les conditions hydrauliques du bassin du Brivet dans le PNR de Brière ont été désastreuses en raison d'une pluviométrie exceptionnellement déficitaire, ce qui s'est traduit par des habitats de nidification nettement moins favorables pour les Guifettes noires, l'arrivée trop précoce des troupeaux et une prédation générale facilitée par les niveaux d'eau très bas¹²³. Des niveaux d'eau trop hauts peuvent également se révéler désavantageux pour les oiseaux et retarder la nidification créant ainsi un décalage avec le pic d'abondance des ressources trophiques. Sébastien Reeder note ainsi que de hauts niveaux printaniers sont défavorables à la nidification de la Guifette moustac au lac de Grand-Lieu car elles diminuent la croissance des nénuphars qui constituent les supports de nids. Lorsque les conditions favorables sont atteintes trop tard en saison, les Guifettes moustac quittent le site ou s'épuisent au fil de plusieurs pontes pour aboutir à un succès final faible¹²⁴. Or, certaines projections climatiques prévoient une redistribution temporelle des précipitations qui conduiraient les hivers à être davantage pluvieux (en contrepartie d'une sécheresse accrue en été) conduisant ainsi à de hauts niveaux d'eau au début du printemps. Bien sûr, les conditions hydrauliques relèvent de la variabilité interannuelle avant toute chose mais le changement climatique pourrait accentuer la fréquence des années défavorables à la reproduction de certaines espèces exigeantes et fragiles, conduisant à terme au déclin de leurs populations. Les incertitudes quant à l'évolution des précipitations, de l'évapotranspiration et donc de la pluviométrie efficace empêchent d'affirmer cette hypothèse ou d'y apporter davantage de précisions. Il n'empêche qu'en raison de leur dépendance vis-à-vis du climat, les zones humides seront nécessairement affectées par les changements globaux même si on ne sait

123 Groupe Ornithologique Breton (coord.), 2012. *Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne*. Delachaux et Niestlé, 512p.

124 Ibid.

pas toujours très bien dans quelle mesure.

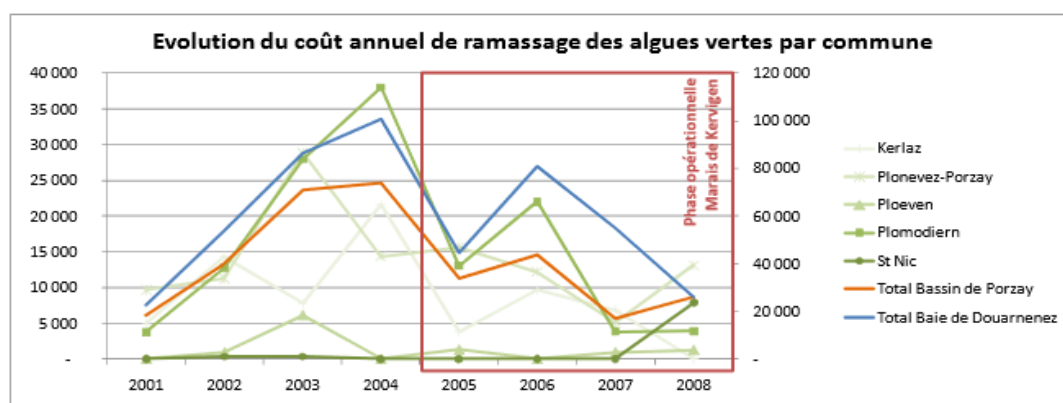
En quoi les zones humides sont-elles indispensables et pourquoi s'inquiéter de leur vulnérabilité face au changement climatique ?

Pour une association d'étude et de protection de la biodiversité telle que Bretagne Vivante, la nécessité de protéger les zones humides est évidente. Elles représentent des réservoirs de biodiversité assurant de nombreuses fonctions indispensables pour une grande variété de taxons. Par exemple, 66 % des poissons d'eau douce transitent par les zones humides au cours de leur existence tandis que 50 % des oiseaux en dépendent directement. Les zones humides sont par ailleurs traditionnellement associées aux espèces à forte valeur patrimoniale (30 % des espèces végétales remarquables ou menacées leur sont inféodées)¹²⁵. La richesse écologique et spécifique que représentent ces milieux contribue à leur valeur intrinsèque à laquelle il est difficile de fixer un coût économique. Toutefois, faire prendre conscience de l'importance des zones humides auprès du grand public et des décideurs politiques nécessite de mettre en avant les services écosystémiques qu'elles assurent pour l'Homme et ses activités et auxquels il est possible d'attribuer une valeur économique. A l'échelle nationale, plusieurs études se sont attachées à tenter d'évaluer la valeur marchande des zones humides en fonction des services écologiques qu'elles rendaient. Le projet Explore 2070 est même allé jusqu'à tenter d'évaluer le coût financier de l'impact du changement climatique sur ces services. Malheureusement, aucune des zones humides considérées ne se trouvait en Bretagne, ce qui est bien regrettable pour notre présente étude. Au sein du bassin hydrographique Loire-Bretagne qui s'étire de la pointe du Finistère au Massif Central, ce sont les étangs de la Grande Brenne qui ont monopolisé l'essentiel de l'attention. Bien que les études bretonnes fassent une fois de plus défaut, cela ne nous empêche pas de rappeler de façon générale les principaux services que les zones humides assurent et d'émettre des hypothèses sur la façon dont le changement climatique pourrait les affecter.

Tout d'abord, les zones humides assurent une épuration de l'eau des bassins versants par régulation de l'azote sous la forme de nitrates. En effet, la molécule de nitrate dont la formule est NO_3^- est composée d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène que les bactéries présentes dans les zones humides prélèvent pour leur respiration, libérant l'azote sous forme atmosphérique. En Bretagne, le marais de Kervigen dans la baie de Douarnenez a été spécialement équipé pour répondre à cette fonction. Il s'agit d'une zone humide littorale arrière dunaire de 22 hectares, établie au revers d'un cordon littoral de galets et dont la surface est principalement occupée par une

125 Futura Environnement par Futura Sciences, 2010. *Zoom sur les zones humides*. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/eau-zoom-zones-humides-1136/>

roselière. Ses capacités épuratoires mises en évidence par les expérimentations de l'IFREMER, la communauté de communes du pays de Châteaulin et du Porzay a été autorisée par le Conseil général à mener des aménagements destinés à dériver les eaux du Kerharo vers la roselière du marais. L'opération a été un succès puisque la roselière a permis l'abattement de 50 % des concentrations en nitrates des eaux dérivées du Kerharo, ce qui correspond à une élimination comprise entre deux et quatre kilogrammes par hectare et par jour. Des estimations du coût économique de ce service ont été réalisées. Le coût du traitement des eaux usées en station d'épuration pour éliminer la même quantité d'azote que les dix-huit hectares de roselière du marais de Kervigen (entre 2 et 4 kg par ha et par jour) serait ainsi compris entre 1 643 et 3 287 € par an. Toutefois, la part des rejets d'eaux usées dans la concentration en nitrates du Kerharo est négligeable en comparaison des émissions agricoles qui représentent à elles seules 95 % des rejets. Aussi, une réduction des émissions agricoles équivalente à la quantité d'azote éliminée par le marais de Kervigen chaque année coûterait entre 10 157 et 20 315 €. Le marais a permis une diminution du flux de nitrate de 16 % sur la période 2005/2008 pour la rivière Kerharo et donc une diminution de l'ordre de 10 % des apports en nitrate pour la baie de Porzay. Aussi, le coût annuel de ramassage des algues vertes dans la baie de Douarnenez a chuté sensiblement à partir de 2004, date de la fin des travaux de dérivation du Kerharo vers le marais de Kervigen¹²⁶.



Légende : les courbes orange et bleu (total bassin de Porzay et Baie de Douarnenez) sont à lire sur l'axe secondaire des ordonnées.

Source : <http://baiedouarnenezenvironnement.over-blog.com/article-cout-du-ramassage-59650769.html>

Dans une région aussi concernée par les émissions azotées d'origine agricole que la Bretagne, les zones humides assurent donc un rôle épurateur indispensable. Les rivières bretonnes présentent dans l'ensemble des résultats très médiocres, la présence de nitrates restant partout trop élevée, et seules deux stations sur 87 présentaient une bonne qualité vis-à-vis des nitrates en 2009¹²⁷.

126 BLANQUART Stéphanie, coord., 2011. *Zones humides : évaluation économique des services rendus. Analyse sur sept sites du bassin Loire-Bretagne*. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 75p.

127 GIP Bretagne Environnement, 2011. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés*, édition 2011.

Conséquence de ces concentrations anormales, 90 000 m³ d'algues vertes avaient été ramassés cette même année pour un coût total de 1 110 000 €¹²⁸. Les zones humides sont donc nécessaires mais pas suffisantes et ne nous y trompons pas, leur protection au titre de l'épuration des eaux ne doit pas éclipser les mesures visant à diminuer les rejets azotés. La conséquence du changement climatique sur ce service semble évidente : par leur réduction progressive, les zones humides pourraient présenter dans le futur des surfaces fonctionnelles moins importantes. Toutefois, aucune étude bretonne n'a encore exploré cet aspect.

Avant d'être des réservoirs de biodiversité, les zones humides sont des réservoirs d'eau qui contribuent à la régulation des régimes hydrologiques. Par leur capacité de rétention d'eau, les milieux humides peuvent en effet diminuer l'intensité des crues et, à l'inverse, soutenir les débits des cours d'eau en période d'étiage. Dans le cas de l'écêtement des crues, deux mécanismes sont à l'œuvre : l'effet d'étalement et l'effet éponge. L'effet d'étalement est le plus évident et consiste tout simplement en un abaissement du niveau de l'eau par étalement du cours d'eau sur ses annexes hydrauliques (marais, prairies humides) qui font ainsi office de zones tampon protégeant les habitations ou les cultures de l'inondation. Si zones humides sont capables de stocker un certain volume d'eau en surface, elles peuvent également en contenir dans les sols ou les sédiments sous-jacents : c'est l'effet éponge. Les capacités de rétention des zones humides finissent par être saturées et l'eau est par la suite progressivement restituée par mécanisme de ressuyage. Aussi l'eau stockée en hiver et au printemps peut-elle contribuer à équilibrer le bilan hydrologique lors des périodes les plus sèches où les débits sont les plus faibles¹²⁹. Dans ces conditions, on peut légitimement supposer que les modifications de la pluviométrie seront à même d'impacter l'un ou l'autre de ces deux services puisque le changement climatique pourrait se traduire par un accroissement du contraste saisonnier en matière de précipitations. Aussi les zones humides pourraient-elles devenir à la fois moins efficaces en tant que soutiens d'étiage en été et en automne qu'en matière d'écêtement des crues en hiver et au printemps, selon les années. Malheureusement, aucune évaluation économique de ces services n'est encore disponible en Bretagne ou en Loire-Atlantique sans parler de travaux s'intéressant au coût de l'impact du changement climatique sur ces derniers.

Enfin, certaines zones humides contribuent à la régulation du climat à l'échelle globale ainsi qu'à l'atténuation du changement climatique. C'est en particulier le cas des tourbières. Ces milieux humides atypiques se rencontrent principalement dans les régions où les bilans hydriques sont les plus favorables tout au long de l'année c'est-à-dire là où les précipitations sont les plus abondantes

128 BLANQUART Stéphanie, coord., 2011. *Zones humides : évaluation économique des services rendus. Analyse sur sept sites du bassin Loire-Bretagne*. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 75p.

129 BAUDOT Bernard, coord., 2002. *Les fonctions des zones humides. Études sur l'eau n°89 : Les zones humides et la ressource en eau, guide technique*. Agences de l'eau.

et/ou les températures les plus modestes, ce qui limite l'évapotranspiration. En France, la majorité des tourbières se trouvent dans les régions montagneuses (Massif-Central, Jura). Toutefois, certaines zones de Bretagne bénéficient des conditions climatiques pour les accueillir. C'est notamment le cas des Mont d'Arrée où les tourbières sont les plus grandes et les plus nombreuses, si l'on excepte la Grande Brière située en Loire-Atlantique. D'autres tourbières, plus petites et plus isolées, se sont également formées ailleurs en Bretagne, à la faveur de micro-climats favorables¹³⁰. Si des conditions climatiques bien particulières sont indispensables c'est parce qu'elles concourent à la formation de la tourbe. Cette dernière résulte d'une conjonction de facteurs limitant l'activité microbienne et donc la décomposition des matières organiques tombées au sol. Tout d'abord, les faibles températures qui empêchent en partie l'existence de micro-organismes. Ensuite, l'engorgement permanent qui leur limite l'accès à l'oxygène, dix mille fois moins abondant sous forme dissoute que dans l'air. Enfin, la colonisation par une végétation bien spécifique à base de mousses et notamment de sphaignes qui sont capables de contenir trente fois leur propre volume en eau et sécrètent des acides qui empêchent le développement des populations de champignons et de bactéries. Ainsi, en empêchant le phénomène de décomposition, ces différents paramètres environnementaux contribuent à stocker le carbone sous la forme d'une accumulation de matières organiques non dégradées, la tourbe¹³¹. On comprend donc quelle implication les tourbières peuvent avoir dans l'atténuation du changement climatique ou plutôt sa prévention. En effet, les tourbières n'emprisonnent pas le dioxyde de carbone atmosphérique mais empêchent les émissions de CO₂ par décomposition des plantes et des animaux morts. A l'échelle du globe, elles occupent la surface non négligeable de 400 millions d'hectares, soit 3 % des terres émergées, et stockent 1,4 giga-tonnes de carbone, soit l'équivalent des trois quarts du carbone atmosphérique¹³²! Or, le changement climatique pourrait favoriser la décomposition de cette matière organique accumulée sous forme de tourbe et donc relâcher une partie du carbone stocké. En effet, ce dernier agit sur les trois paramètres qui concourent à la formation de la tourbe. La modification des régimes pluviométriques conjuguée à l'augmentation des températures et donc de l'évapotranspiration sont susceptibles de modifier le bilan hydrique des tourbières et contribuer à leur assèchement progressif. L'augmentation des températures pourrait également accélérer le processus de fermeture auquel les tourbières sont naturellement soumises. En effet, en l'absence de fauche ou de pâturage par les bêtes, ces milieux ouverts évoluent naturellement vers des couverts de type forestier. Des conditions environnementales rendues plus clémentes par le changement climatique pourraient ainsi hâter le

130 Communication personnelle Bernard Iliou.

131 LAGGOUN-DEFARGE Fatima, MULLER Francis, 2008. Les tourbières et leur rôle de stockage de carbone face aux changements climatiques. *Zones humides info* 2008, pages 22-24.

132 Ibid.

remplacement des sphaignes si utiles à la formation de la tourbe par des plantes vasculaires telles que des buissons. Cela a notamment été prouvé par une étude menée sur quatre tourbières au nord de la Suisse et dont les résultats ont été publiés dans la revue *Nature Climate Change*¹³³. En Bretagne, aucune étude sur les conséquences du changement climatique pour les tourbières n'a pour l'instant été réalisée. Un comble lorsque la région possède l'une des plus vastes tourbières de France : la Grande Brière. Néanmoins, les conservateurs ont d'ores et déjà observé des changements potentiellement imputables aux modifications climatiques. Bernard Iliou, conservateur de la tourbière de Kerfontaine, une petite zone humide de 23 ha située sur la commune de Sérent dans le Morbihan, note par exemple que toutes les mares sont désormais à sec au début de l'été alors qu'elles restaient généralement en eau jusqu'en octobre il y a une dizaine d'années. Pourtant, aucune évolution significative de la pluviométrie n'a été observée sur cette période, ce qui laisse supposer que l'évapotranspiration, et donc les températures moyennes annuelles, auraient augmenté. L'introduction du pin maritime dans le sud Bretagne aurait par ailleurs un effet néfaste sur les tourbières en colonisant l'espace aux dépens de la sphaigne et en consommant l'eau avant que celle-ci n'atteigne la tourbière. Or, il est prévu que cette essence à affinité plutôt méridionale bénéficie des effets du changement climatique (voir II-A). A la colonisation naturelle s'ajoute l'enrésinement par la main de l'Homme, première menace pesant sur ces milieux souvent considérés comme inutiles d'un point de vue agricole¹³⁴. Bien qu'aucune étude bretonne ne soit disponible, il est possible de deviner les zones où les tourbières seront les plus vulnérables à ces menaces. En effet, les projections régionales de Météo France prédisent un relatif maintien des conditions hydriques actuelles dans la région des Monts d'Arrée permis par une élévation modérée des températures et l'absence d'évolution significative de la pluviométrie moyenne annuelle¹³⁵. Aussi peut-on supposer que cette zone qui accueille la majorité des tourbières bretonnes pourrait conserver un bilan hydrique favorable à ces dernières, à l'instar de ce qui a pu être observé pour les essences vulnérables au stress hydrique telles que le hêtre et le chêne pédonculé. Au contraire, les petites tourbières isolées telles que la tourbière de Kerfontaine seraient d'avantage exposées au risque d'assèchement et/ou de fermeture par la végétation, d'autant plus lorsqu'elles se situent dans les départements qui devraient connaître les modifications de leurs bilans thermique et hydrique les plus significatives comme le Morbihan ou la Loire-Atlantique¹³⁶. Il est alors légitime d'émettre de

133 CHOLET Jérémie, CUBIZOLLE Hervé, LAGGOUN-DEFARGE Fatima, 2010. Chapitre 2 : Tourbières et climat. *Tourbières des montagnes françaises – Nouveaux éléments de connaissance de réflexion et de gestion*. Pôle-relais Tourbières, Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels.

134 Communication personnelle Bernard Iliou.

135 BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

136 Communication personnelle Bernard Iliou.

sérieuses inquiétudes quant à la réaction de la Grande Brière aux modifications climatiques actuelles et futures. En raison de la source de dioxyde de carbone qu'elles pourraient devenir sous l'effet du changement climatique, il semble urgent de mener de sérieuses études sur le devenir des tourbières dans notre région afin d'évaluer clairement l'ampleur du risque et sa localisation.

Quelles menaces fragilisent la résilience des zones humides au changement climatique ?

Le changement climatique, s'il constitue le cœur de notre sujet n'est pas la principale menace qui pèse sur les zones humides. Ces milieux ont en effet déjà été fortement réduits à l'échelle de la région et continuent de l'être malgré une législation créée pour les protéger. Par le passé, la principale cause de leur destruction était l'agriculture. Jugées improductives voire malsaines, les zones humides étaient drainées puis mises en culture. Aujourd'hui, c'est l'urbanisation qui fait peser sur elles les plus grandes menaces. La forte demande foncière dans certaines zones de la Bretagne conduisent les villes à s'étendre de plus en plus, plaçant les zones humides en ligne de mire en raison de leur manque d'utilité économique. D'autant plus qu'elles représentent en moyenne entre 6 et 30 % du territoire des communes bretonnes. Le bassin rennais est la première zone d'urbanisation mais c'est le littoral sud de la Bretagne qui est le plus exposé au risque de destruction des zones humides, en raison de sa richesse vis-à-vis de ces milieux¹³⁷. Il faut dire que la législation encadrant leur destruction est plutôt ambiguë. D'un côté, les articles L211-1, L211-3II et L212-5-1 du code de l'environnement établissent leur protection mais de l'autre, les articles L214-3 et R214-1 autorisent leur destruction sous certaines conditions. Ainsi, l'assèchement, la mise en eau, l'imperméabilisation ou le remblais de zones humides est soumise à :

- autorisation pour une surface supérieure ou égale à un hectare
- déclaration pour une surface supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 1 ha

En dessous de 0,1 ha, toute zone humide peut-être détruite à loisir sans même qu'il y ait nécessité de déclaration¹³⁸.

Selon Henri Girard, spécialiste des zones humides à Eaux et Rivières de Bretagne, une zone humide disparaîtrait chaque semaine en Bretagne¹³⁹. Aussi le changement climatique représente-t-il une menace négligeable voire ridicule en comparaison. L'adaptation à ce dernier devra donc nécessairement passer par la réduction des pressions anthropiques qui s'exercent sur les zones humides et à côté desquelles le changement climatique fait figure de goutte d'eau.

137 Communication personnelle Henri Girard.

138 Code de l'environnement.

139 Communication personnelle Henri Girard.

D) Le littoral et le milieu marin

Il aurait été impossible de conclure cette partie consacrée aux conséquences du changement climatique sur les milieux naturels et semi-naturels de Bretagne sans aborder la question du littoral et de la mer. D'abord parce qu'il s'agit des milieux qui contribuent le plus fortement à l'identité de la région et qu'ils sont le siège de nombreuses activités économiques et récréatives. Ensuite, parce qu'ils abritent une biodiversité et des écosystèmes incroyablement riches et complexes, dont le fonctionnement diffère grandement de celui des environnements terrestres. Enfin, parce qu'ils seront probablement les milieux les plus affectés par le changement climatique dans notre région mais aussi ceux pour lesquels on dispose actuellement du plus grand volume de connaissances scientifiques.

Quelle place occupe le littoral en Bretagne ?

Avec 2 730 kilomètres de côtes, la Bretagne possède un tiers du linéaire côtier de la France métropolitaine, plus encore si on considère la région historique incluant la Loire-Atlantique¹⁴⁰. Sur près de 3 000 km donc, se succèdent une grande diversité d'habitats qui concentrent un patrimoine naturel remarquable et unique en France. De nombreux facteurs contribuent à cette diversité en permettant l'alternance de situations très variées et donc l'imbrication de milieux très différents les uns des autres. Il s'agit notamment de la géomorphologie (côtes basses/côtes élevées), de la nature des fonds marins (fonds meubles/fonds durs), des conditions d'agitation (zones abritées/contexte agité) et enfin de la dynamique sédimentaire qui dépend des trois paramètres précédents¹⁴¹. Parmi cette diversité de milieux, certains habitats se révèlent particulièrement indispensables pour la biodiversité bretonne :

- En arrière du trait de côté, les landes bretonnes accueillent une végétation unique en Europe telles que les landes à ajonc maritime d'Ouessant ou du Cap de la Chèvre. Parmi les 37 espèces végétales à forte valeur patrimoniale identifiées en Bretagne par le Conservatoire botanique de Brest, plus de la moitié est d'ailleurs liée au littoral¹⁴².
- L'estran, qu'il soit rocheux, sableux ou vaseux concentre lui aussi une incroyable diversité végétale mais aussi animale. Dans la baie de Morlaix, on trouve par exemple presque autant d'amphipodes (petits crustacés) que dans l'ensemble de la Manche¹⁴³. Le Parc naturel marin

140 GIP Bretagne environnement, 2010. *La nature des côtes bretonnes*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Chiffres-cles/La-nature-des-cotes>

141 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.

142 Ibid.

143 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

d'Iroise abrite quant à lui plus de 300 espèces d'algues tandis qu'on recense autant de crustacés et de coquillages sur l'archipel de Molène¹⁴⁴. Mais l'estran n'est pas uniquement fréquenté par les espèces côtières et constitue une nurserie pour de nombreux poissons du grand large. Cette abondance attire de nombreux oiseaux du nord de l'Europe qui exploitent les vasières bretonnes et leurs marais périphériques lors de leur migration vers l'Afrique. Certains restent hiverner sur place et au moins 270 000 Anatidés, Limicoles, Laridés et autres oiseaux d'eau sont comptés chaque année à la mi-janvier, à l'occasion du programme Wetlands international¹⁴⁵. Dans le golfe du Morbihan, les effectifs de 12 espèces en hivernage dépassent le niveau d'importance internationale soit 1 % des effectifs connus (bernache cravant, tadorne de Belon, harle huppé, canard siffleur, canard chipeau, canard souchet, canard pilet, avocette élégante, grand gravelot, pluvier argenté, bécasseau variable, grèbe à cou noir)¹⁴⁶. La Baie du Mont-Saint-Michel concentre quant à elle les plus importants stationnements hivernaux de Limicoles et atteint les seuils d'importance internationale pour six d'entre eux, que ce soit en passage migratoire ou en hivernage (grand gravelot, pluvier argenté, bécasseau maubèche, bécasseau sanderling, bécasseau variable, barge à queue noire)¹⁴⁷. Mais la Bretagne accueille également la majorité des effectifs de plusieurs hivernants rares tels que les chevaliers aboyeur et arlequin ou le bécasseau violet¹⁴⁸.

- Autre milieu riche en biodiversité, les falaises rocheuses inaccessibles, domaine de l'avifaune la plus patrimoniale de la région : les oiseaux marins. Sur les 21 espèces nicheuses d'oiseaux marins en France métropolitaine, 17 sont présentes en Bretagne. Pour ces 17 espèces, la région accueille pas moins de 40 % des effectifs nationaux¹⁴⁹. L'archipel de Molène concentre par exemple à lui seul plus de 90 % de la population française d'océanites tempête du littoral Manche-Atlantique¹⁵⁰. La région abrite également la totalité des effectifs nicheurs de puffins des anglais et de sternes de Dougall¹⁵¹. Pour beaucoup de ces espèces, les colonies françaises représentent les populations les plus méridionales.
- Enfin, la Bretagne est une région privilégiée pour l'observation des mammifères marins. Elle

144 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.

145 Ibid.

146 Préfecture maritime atlantique, Préfecture du Morbihan/DIREN Bretagne, date ? *Projet de réseau européen Natura 2000 en mer – Directive Oiseaux – Golfe du Morbihan*.

147 Inter-SAGE de la Baie du Mont-Saint-Michel. *Les oiseaux de la baie*. [en ligne] <http://www.intersage-baiedumont.fr/focus/animaux-de-la-baie/les-oiseaux-de-la-baie/>

148 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.

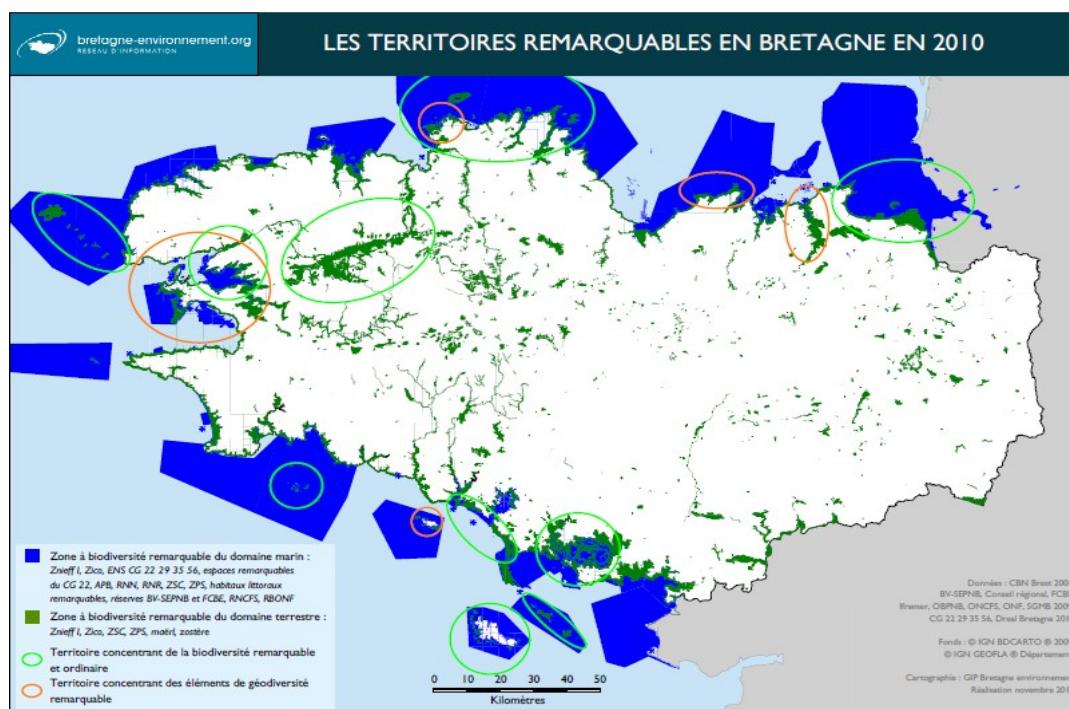
149 Ibid.

150 Agences des aires marines protégées, 2012. *Molène et ses habitats remarquables*. Parc naturel marin d'Iroise. [en ligne] <http://www.parc-marin-iroise.fr/Richesses-naturelles/Archipel-de-Molene/Molene-et-ses-habitats-remarquables>

151 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.

abrite le Parc naturel marin d'Iroise créé en 2007 dans lequel peut être observé le dernier noyau français de loutres d'Europe en contexte marin. Plus de 120 espèces de poissons y attirent une centaine de phoques gris et plusieurs groupes de grands dauphins qui occupent l'espace entre l'île d'Ouessant et l'île de Sein¹⁵².

Pour résumer, le littoral concentre sur une bande étroite l'immense majorité de la biodiversité remarquable de la région, quelle soit terrestre ou marine, comme en témoigne cette carte :



Cette biodiversité possède une valeur patrimoniale intrinsèque mais contribue également à la richesse économique de la région. Parmi les activités génératrices de revenus, la pêche est profondément ancrée dans l'identité et l'économie de la Bretagne. Avec 1 238 navires de pêche et 6 220 pêcheurs embarqués soit respectivement 20 % et 29,4 % du total à l'échelle de la France, la Bretagne est la première région de pêche du pays. En 2013, 110 257 tonnes ont été débarquées ce qui représente pas moins de 306 672 000 €¹⁵³. La conchyliculture est quant à elle moins intimement liée à la Bretagne puisque c'est le Poitou-Charentes qui détient le titre de première région conchylicole de France. En 2012, 29 196 tonnes de coquillages étaient produites en Bretagne-Nord et 11 110 en Bretagne-Sud. Si l'on additionne les chiffres de ces deux sous-régions traditionnellement séparées, la Bretagne arrive néanmoins deuxième, derrière le Poitou-Charentes et ses 50 272 tonnes. Et cela sans compter la production de la Loire-Atlantique. La Bretagne est par

¹⁵² Ibid.

¹⁵³ CCI Bretagne, 2014. *Chiffres clés Bretagne 2014. Repères économiques Bretagne*.

ailleurs première en matière de production de moules de la variété *edulis* avec 36 % d'entre elles récoltées en Bretagne-Nord¹⁵⁴. Activité plus insoupçonnée, l'exploitation des fonds marins est également importante en Bretagne. Sept millions de tonnes de granulats marins leur ont ainsi été dragués en 2006. Le maërl, cette algue rouge des fonds meubles dont les bancs représentent un habitat privilégié pour nombre d'espèces benthiques, est également récoltée (à hauteur de 300 000 tonnes en 2009). Comme nous le verrons, les études montrent que cette algue ainsi que l'habitat et la ressource économique qu'elle représente seront grandement affectés par les effets du changement climatique. Un enjeu “bréto-breton” puisque 90 % de la ressource française se trouve dans les eaux de la région¹⁵⁵.

Ainsi, la richesse spécifique et écologique des milieux littoraux et marins fournit un immense service d'approvisionnement à la Bretagne dont elle retire un revenu conséquent. Particularité propre à la ressource marine, ce service d'approvisionnement est presque exclusivement basé sur l'exploitation de la biodiversité. Or les données et études scientifiques dont nous disposons actuellement laissent présager que les conséquences du changement climatique sur la biodiversité marine devraient être sans commune mesure avec ses impacts sur la faune et la flore terrestre. Aussi, plus que dans n'importe quel autre milieu, l'impact du changement climatique sur la biodiversité est un sujet qui concerne l'Homme.

Quels seront les principaux impacts du changement climatique sur les milieux littoraux et marins ?

Trois évolutions environnementales induites par le changement climatique auront des conséquences importantes sur la biodiversité littorale et marine : l'augmentation de la température de l'océan, l'augmentation du niveau de la mer et l'acidification des océans.

1) Le réchauffement des océans

Quelle augmentation de température pour les océans ?

Conséquence évidente du changement climatique, l'augmentation des températures de l'océan sera le premier facteur impactant la biodiversité marine. Ce réchauffement s'opère par transfert thermique de l'atmosphère vers la surface de l'océan et est donc moins important et moins rapide que celui de l'air. Toutefois, les données obtenues grâce aux navires, satellites et flotteurs Argo ont montré que les eaux océaniques tendaient à se réchauffer jusqu'à 2 000 mètres de

154 Agreste, 2012. Recensement de la conchyliculture 2012. *Agreste Primeur* n°316, Juillet 2014.

155 GIP Bretagne Environnement, 2011. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés*, édition 2011.

profondeur¹⁵⁶. Ainsi, le réchauffement de l'océan ne devrait pas uniquement affecter les espèces pélagiques (de surface) mais aussi les espèces benthiques c'est-à-dire celles qui vivent dans les fonds marins.

Au cours des quarante dernières années, les eaux superficielles de l'océan mondial ont connu une augmentation moyenne de 0,17°C contre une augmentation de la température de l'atmosphère de 0,6°C ces trente dernières années. Mais cette moyenne cache des disparités en fonction des zones considérées. Dans la Manche, et le golfe de Gascogne, la température de surface a par exemple augmenté de façon similaire d'environ 1°C au cours de la période 1880-2000, ce réchauffement étant particulièrement marqué au cours de la décennie 1990. Toutefois, la Manche se réchaufferait plus vite en profondeur, ayant gagné 0,4°C dans ses 300 premiers mètres au cours de la dernière décennie¹⁵⁷. En mer d'Iroise, les données de température de surface du Service d'observation du milieu littoral au large de Roscoff révèlent surtout une forte variabilité annuelle depuis 1970, qui tend à masquer toute tendance générale. Néanmoins, l'étude des données de long terme permet d'observer une augmentation de la température moyenne de 0,7°C entre 1970 et 2005¹⁵⁸. Cet exemple montre l'importance de disposer de longues séries d'observation sur une même station pour rendre compte du changement climatique par delà la variabilité interannuelle.

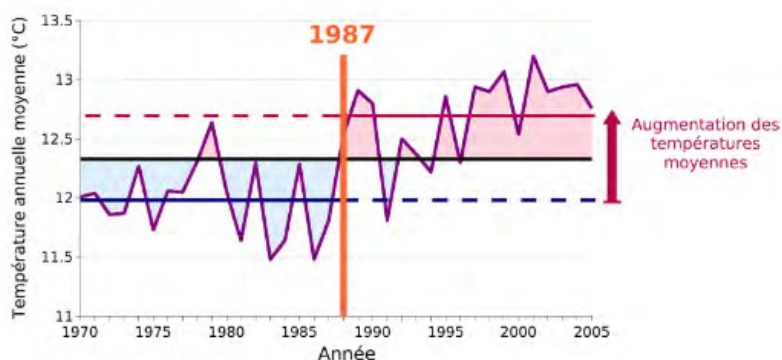


Figure 68 : Evolution des températures annuelles de surface au large de Roscoff de 1970 à 2005 (température moyenne de 12,3°C, ligne noire). La moyenne des températures annuelles atteint 12,0°C pendant la période 1970-1987 (ligne bleu), et 12,7°C pendant la période 1988-2005 (ligne rose). Les données de température proviennent du suivi mensuel d'un site au large de l'île de Batz, Manche occidentale (48°46'50"N-04°03'40"W) (données mises à disposition par P. Morin, Station Biologique de Roscoff, dans Ayata, 2010).

Dans le futur, l'augmentation des températures devrait se poursuivre mais de façon moins prononcée en mer que dans l'atmosphère. Les conclusions du projet européen RECLAIM (Resolving climate impacts on fish stocks) prévoient un réchauffement de la Manche et du golfe de Gascogne compris

156 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

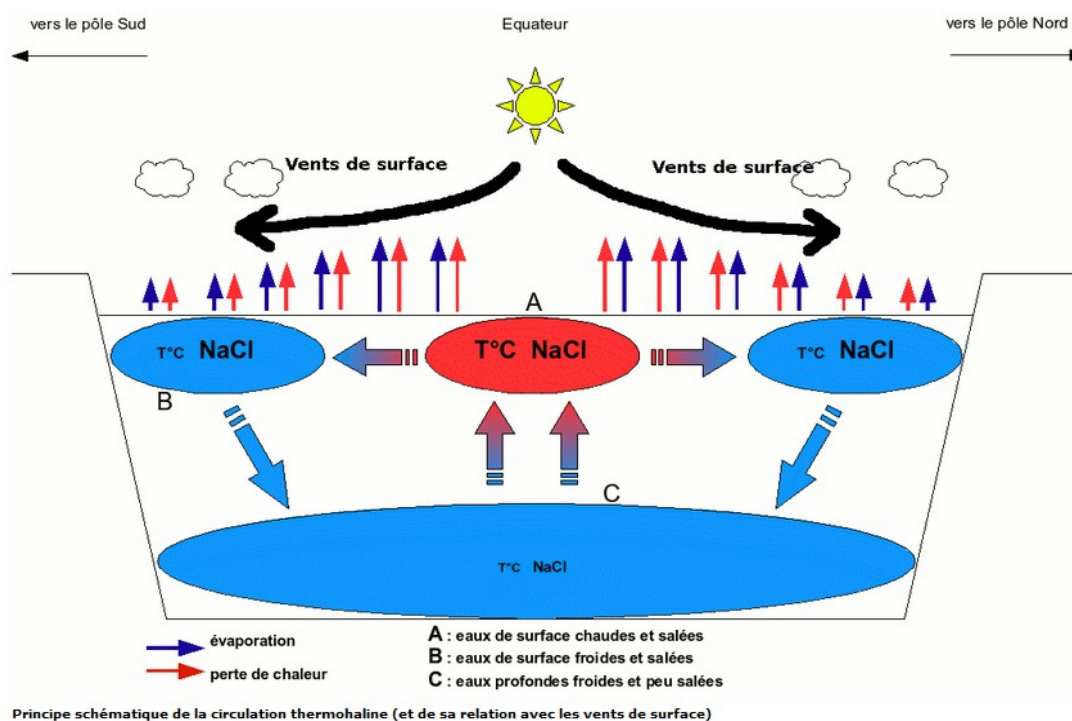
157 Ibid.

158 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

entre 1,5 et 5°C d'ici 2100¹⁵⁹.

Encadré : L'hypothèse du ralentissement voire de l'arrêt de la circulation thermohaline

La température des eaux océaniques dépend d'autres paramètres que la seule température atmosphérique. La circulation thermohaline est notamment un élément important à prendre en compte. Il s'agit de la circulation permanente de l'eau des océans, engendrée par des écarts de température et de salinité des masses d'eau. Au niveau des tropiques, les eaux de surface bénéficient d'un apport important de chaleur ce qui diminue leur densité. D'un autre côté, l'évaporation importante dans ces régions augmente leur salinité et donc leur densité. Entraînées par les vents de surface, elles sont emmenées vers le pôle nord et se refroidissent progressivement. Leur température n'est bientôt plus suffisante pour contrer les effets de la salinité et les eaux plongent vers le fond en raison de leur densité bien supérieure : c'est la plongée convective. Leur température diminue alors tout comme leur salinité et elles sont "aspirées" vers l'équateur en raison d'une remontée des eaux profondes sous cette latitude. Là, elles se réchauffent ce qui fait diminuer leur densité mais pas assez pour les faire remonter à la surface étant donné qu'elles demeurent plus denses que les eaux de surface. Néanmoins, les forts vents repoussant les eaux superficielles vers les pôles, cette remontée convective devient possible. La boucle est ainsi bouclée¹⁶⁰.



159 RECLAIM

160 ACCES, 2010. *Circulation thermohaline*. Institut Français de l'Éducation. [en ligne] http://accres.ens-lyon.fr/accres/terre/paleo/systemclim/gulfstream/pages_gulfstream/dosscientif/descriptgulfstream/circuthermohal/circuthermohalhtm/

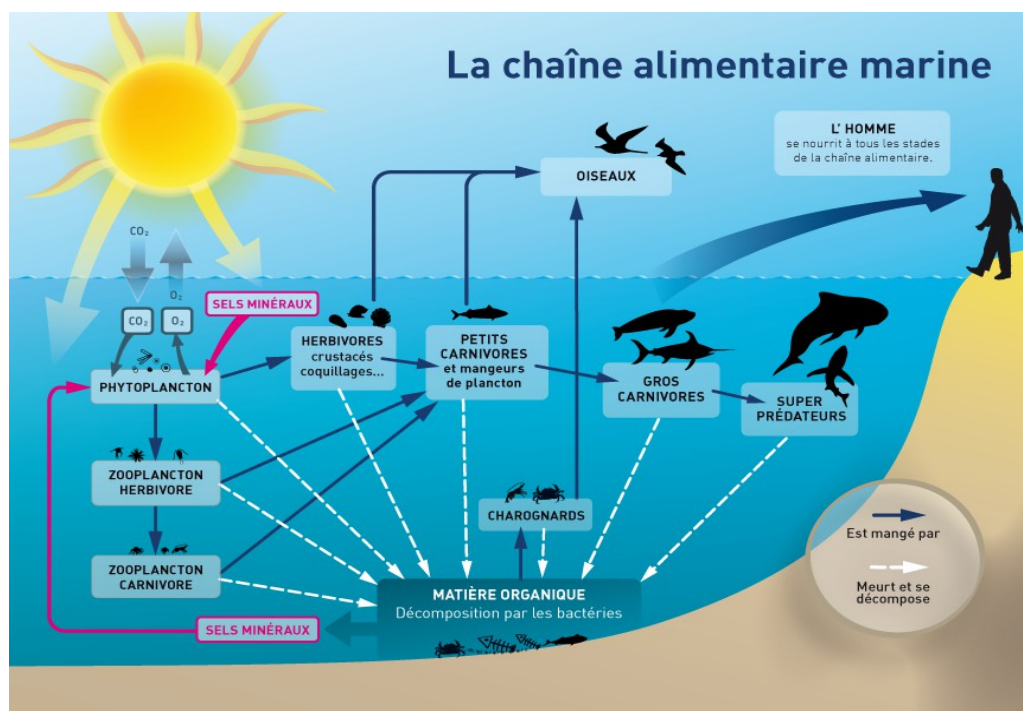
Dans l'Atlantique nord, la circulation thermohaline est principalement assurée par le Gulf Stream, prolongé par la dérive nord-atlantique. Le Gulf Stream est bien connu pour réguler le climat de l'Europe de l'Ouest en adoucissant ses températures hivernales par le biais de ce transport d'eaux de surface chaudes vers le pôle nord. En réalité, c'est la dérive nord-atlantique qui a l'effet le plus significatif sur les températures atmosphériques hivernales, le transfert de chaleur de l'océan à l'atmosphère s'opérant au moment où les eaux superficielles plongent dans les profondeurs. L'hypothèse selon laquelle l'actuel réchauffement du climat mondial pourrait, via l'arrêt ou le ralentissement de la circulation thermohaline et notamment du Gulf Stream, déclencher un refroidissement de l'Atlantique nord, ce qui provoquerait le refroidissement, ou un réchauffement moindre dans cette région a été proposée par divers chercheurs et fait l'objet de nombreux travaux de recherche et modélisations. Une accélération de la fonte de la calotte du Groenland pourrait notamment augmenter la quantité d'eau douce en surface, ce qui ralentirait la formation d'eau profonde, élément essentiel de la circulation océanique¹⁶¹. Toutefois il s'agit d'une hypothèse qui n'est jamais prise en compte par les études scientifiques portant sur l'impact du changement climatique sur la biodiversité, qu'elle soit terrestre ou marine. En effet, baser des travaux de recherche sur une telle hypothèse introduirait un degré d'incertitude supplémentaire. Or compte tenu des incertitudes qui planent déjà sur l'évolution des températures et des précipitations, mais aussi de leurs conséquences sur les espèces et les écosystèmes, il serait hasardeux d'y ajouter en plus l'incertitude des effets potentiels sur les courants marins. Aussi choisirons-nous de l'ignorer dans ce document.

Le réchauffement de l'océan, quels impacts sur la biodiversité marine à l'échelle des espèces, des chaînes trophiques et des écosystèmes ?

En matière d'impacts du changement climatique sur la biodiversité, les mers et les océans sont pour l'instant les milieux les mieux documentés mais aussi ceux pour lesquels les conséquences à l'échelle écosystémique ont été les mieux mises en évidence. Celles-ci seront nombreuses et complexes en raison de la forte interdépendance entre niveaux trophiques qui existe dans le milieu marin. Bien souvent, les espèces seront non seulement affectées directement par l'augmentation des températures mais aussi indirectement par les impacts de ce réchauffement sur d'autres espèces avec lesquelles elles sont en interaction. Dans les océans, l'impact du changement climatique sur la biodiversité sera aggravé par la dépendance de tous les organismes vivants à la même ressource primaire : le plancton. Loin de constituer un groupe taxonomique, le mot "plancton" est un terme

161 Commissariat général au développement durable – Délégation au développement durable, 2011. Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. *Études & documents* n°55, octobre 2011.

générique désignant l'ensemble des organismes qui vivent en suspension dans les eaux douces, saumâtres ou salées et sont incapables de lutter contre les courants. Souvent capables de nager à leur échelle, ils sont néanmoins trop petits ou trop faibles pour échapper aux mouvements des masses d'eau dans lesquelles ils vivent. Le plancton se divise en deux grands règnes : le plancton végétal ou “phytoplancton”, constitué d'algues pour la plupart unicellulaires et le plancton animal ou “zooplancton” lui-même divisé en deux groupes distincts : le zooplancton permanent qui regroupe les organismes qui naissent, se reproduisent et meurent à l'état de plancton et le zooplancton temporaire composé de larves, d'œufs voire de gamètes d'animaux variés¹⁶². Consommé par les premiers niveaux trophiques, le plancton, qu'il soit végétal ou animal, est à la base de toute chaîne alimentaire marine.



Aussi, des changements dans sa phénologie, sa répartition, sa productivité ou même encore l'abondance relative entre espèces peuvent expliquer en partie des échecs de reproduction de colonies d'oiseaux marins ou une baisse des revenus de la pêche commerciale en fin de chaîne. Afin de rendre compte de cette dimension écosystémique des impacts du changement climatique sur le milieu marin, il convient d'étudier méthodiquement ses conséquences sur chaque niveau trophique.

A la base de toute alimentation se trouve le phytoplancton que consomment le zooplancton et les macro-organismes herbivores. On l'appelle “producteur primaire” car il a la capacité de transformer la matière inorganique en matière organique utilisable par les autres organismes

¹⁶² Fondation Charles Léopold Mayer – Océanopolis, 2011. *Module de formation Plancton*. [en ligne] <http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/index.html>

vivants. Le plancton végétal a globalement besoin de trois ingrédients pour se multiplier : la lumière du soleil, le dioxyde de carbone et les sels minéraux¹⁶³. Aussi s'attend-t-on à ce que la production primaire soit surtout impactée positivement par l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂. Jusqu'à présent, les études menées sur le sujet s'intéressent pourtant davantage à l'augmentation de la température des eaux superficielles et prédisent des conséquences plutôt négatives pour la productivité primaire des océans. A l'échelle globale, Steinacher & al. (2009) ont notamment réalisé une étude multi-modèle afin de projeter l'évolution de la production primaire au XXI^e siècle, à partir de trois modèles climatiques basés sur le scénario A2 du GIEC. Ces modèles prédisent une diminution de la production primaire de 7 à 20 % d'ici 2100. La faute à l'augmentation de la température des eaux superficielles qui accroîtrait la stratification verticale entre eaux de surface et eaux profondes¹⁶⁴. En effet, à mesure que l'on s'enfonce dans les profondeurs de l'océan, la température de l'eau ne descend pas progressivement mais chute brutalement au niveau de la thermocline qui constitue une zone de transition thermique rapide entre ces deux "couches" à l'intérieur desquelles la température reste au contraire relativement homogène¹⁶⁵. Comme nous l'avons vu, le réchauffement des eaux superficielles sera plus important et plus rapide que celui des eaux profondes. La température de l'eau déterminant sa densité, les échanges entre les eaux superficielles et les eaux profondes sont très limités, sauf au niveau des zones de plongée ou de remontée convective. Aussi, le réchauffement climatique est susceptible de renforcer l'effet barrière de la thermocline, séparant plus nettement encore les strates inférieures et supérieures. Cela aurait pour conséquence d'accroître le piégeage des sels minéraux indispensables à la production primaire en profondeur, là où l'absence de lumière ne la permet pas. En somme, les éléments nécessaires à la production primaire se retrouveraient séparés de part et d'autre de la thermocline. Le phénomène serait surtout marqué au niveau des eaux tropicales mais aussi des latitudes moyennes où le ralentissement de la circulation thermohaline serait un facteur aggravant. Au niveau des pôles en revanche, la fonte des glaces augmenterait la disponibilité en lumière ce qui devrait se traduire par une augmentation locale de la production primaire. Dans ces régions polaires, l'augmentation de la température devrait par ailleurs avoir des conséquences positives tandis qu'elle aurait l'effet inverse dans les régions tropicales et tempérées¹⁶⁶. Toutefois, ces conclusions ne font pas l'unanimité. Sarmiento & al. (2004) prédisent au contraire une augmentation de la production

163 Ibid.

164 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

165 Futura Environnement par Futura-Sciences. Définition de la thermocline. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/climatologie-effet-serre-966/>

166 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

primaire moyenne globale de 0,7 à 8,1 % entre le début de la révolution industrielle et 2050, en insistant sur la stimulation de l'activité chlorophyllienne due à l'augmentation des températures. Schippers & al. (2004) arrivent à des conclusions similaires mais en s'appuyant davantage sur l'impact positif de l'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone. Alors qu'il est généralement admis que celle-ci n'aura pas d'impact significatif sur le phytoplancton, à l'inverse des végétaux terrestres, ces derniers prédisent une augmentation de la productivité pouvant aller jusqu'à 40 % pour certaines espèces d'algues ayant peu d'affinité pour le bicarbonate (l'un des ions créés par la dissolution du CO₂ dans l'eau). Enfin, Philippe Gros (2011) distingue les milieux côtiers où les apports de nutriments par les eaux douces ou l'érosion pourraient enrichir les eaux stratifiées qui deviendraient au final plus productives¹⁶⁷. Ainsi, les impacts du changement climatique sur la productivité primaire des océans demeurent incertains et ce malgré l'existence de très nombreuses études. Le changement climatique influera sur différents paramètres et aura des effets contradictoires qui empêchent d'émettre des conclusions définitives quant à l'évolution de la productivité du phytoplancton. Il est donc difficile de prédire les conséquences à l'échelle écosystémique, bien qu'elles devraient être particulièrement importantes en raison de la position du phytoplancton à la base de toute chaîne alimentaire marine.

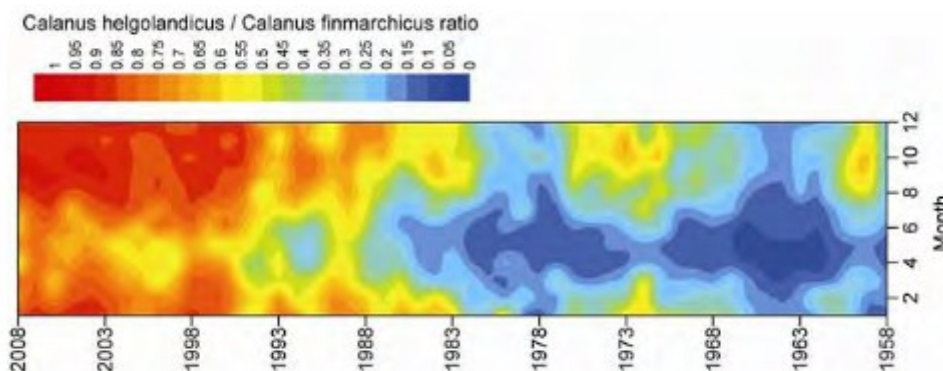
La communauté scientifique dispose également de nombreuses données concernant le zooplancton, qu'il soit permanent ou temporaire. Dès les années 1930, un échantillonneur de plancton en continu (CRP pour Continuous Plankton Recorder) a été développé par la Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science, à bord des navires traversant l'Atlantique nord. Grâce à lui, nous disposons de séries suffisantes pour caractériser l'évolution du zooplancton depuis plusieurs décennies et pour montrer les conséquences du réchauffement sur la distribution des espèces planctoniques¹⁶⁸. Le cas des copépodes (un groupe de petits crustacés) est à ce titre particulièrement bien documenté. L'espèce *Calanus finmarchicus* représente la majeure partie du zooplancton des écosystèmes pélagiques de l'Atlantique nord. Elle possède une forte valeur énergétique et est indispensable à l'alimentation des larves de nombreux poissons. Espèce tempérée d'eau froide, sa répartition est essentiellement déterminée par sa niche thermique. Or, les travaux d'Helaoüet & al. (2011) prédisent qu'à la fin du siècle, *Calanus finmarchicus* pourrait se retrouver en dehors de celle-ci pendant huit mois lors d'années chaudes et cinq lors d'années froides. Les stress physiologique lors de cette partie de l'année devrait affecter consécutivement toutes les étapes du cycle de vie de ces copépodes, de la croissance à la reproduction, allant jusqu'à menacer la survie des individus¹⁶⁹. Ces projections confirment les observations réalisées par Beaugrand & al. (2002) sur la période

167 Ibid.

168 Ibid.

169 Ibid.

1960-1999. Dans le nord-est de l'Atlantique et les mers européennes, des changements importants dans la composition des peuplements sont intervenus à partir des années 1980. Autrefois espèce dominante, *Calanus finmarchicus* a vu sa proportion au sein des peuplements diminuer au profit d'espèces tempérées d'eau chaude, en particulier *Calanus helgolandicus*¹⁷⁰.



Comme nous l'avons vu avec le cas des parasitoïdes dans les espaces agricoles, la présence d'une grande diversité spécifique peut permettre le remplacement d'espèces négativement affectées par le changement climatique par d'autres espèces qui bénéficient de ce dernier, avec pour conséquence un maintien de la fonction écologique ou du service écosystémique réalisé. Aussi, pourrait-on supposer que le remplacement des espèces d'eau froide comme *Calanus finmarchicus* par des espèces plus méridionales comme *Calanus helgolandicus* ne changerait pas grand chose pour l'alimentation des niveaux trophiques supérieurs. Or, *Calanus finmarchicus* possède une forte valeur énergétique, supérieure à la plupart des autres espèces de copépodes, y compris *Calanus helgolandicus*. Beaugrand et Kirby (2010) ont ainsi montré que l'un des facteurs déterminant une forte abondance en cabillaud était la présence d'au moins 50 % de *Calanus finmarchicus* dans la biomasse planctonique totale¹⁷¹. Or, ce pourcentage est amené à être de moins en moins souvent atteint en Bretagne et ne l'est pour ainsi dire plus jamais en mer du Nord où des conséquences négatives sur l'abondance du cabillaud ont été mises en avant par l'étude d'Helaouët¹⁷². Mais les impacts de ces modifications d'abondances relatives ne se limitent pas à une diminution de la valeur énergétique de la biomasse zooplanctonique. En effet, *Calanus helgolandicus* n'a pas la même phénologie que *Calanus finmarchicus*. Le remplacement d'une espèce par l'autre en tant que copépode largement majoritaire modifie donc la phénologie du stock dans son intégralité. Le pic d'abondance

170 BEAUGRAND Grégory & al., 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* vol.296, pages 1692-1994.

171 BEAUGRAND Grégory, KIRBY Richard R., 2010. Climate, plankton and cod. *Global Change Biology* vol.16 issue 4, pages 1268-1280.

172 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

alimentaire intervient désormais à la fin de l'été et en automne plutôt qu'au printemps/début de l'été. Or, la phénologie des larves de cabillaud est alignée sur celle de *Calanus finmarchicus* et non *Calanus helgolandicus*. Il en résulte un mismatch trophique entre le prédateur et sa proie. En automne, lors du nouveau pic alimentaire, les larves de poissons ne se nourrissent normalement plus de copépodes mais plutôt de krill ou encore de larves d'autres poissons¹⁷³.

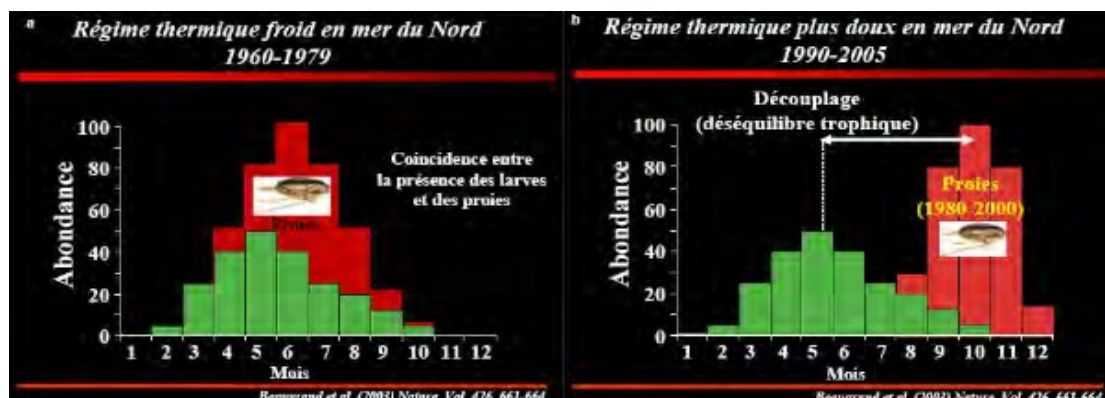


Figure 109 : Evolution mensuelle moyenne de l'abondance des copépodes et des larves de cabillaud en mer du Nord, entre un régime thermique froid en 1960-1979 (gauche) et un régime thermique plus doux en 1990-2005 (droite). Dans les conditions thermiques normales, l'évolution temporelle des larves de morue et des copépodes-proies coïncide (« match »). En régime thermique plus doux, l'aire de répartition habituelle des copépodes-proies habituelle est dérivée vers le nord ; sur les aires de reproduction des larves de morue, se développent d'autres copépodes mais avec un cycle temporel décalé (« mismatch ») et des qualités nutritives différentes (Beaugrand *et al.*, 2003).

A ces conséquences écosystémiques s'ajoutent les impacts directs du changement climatique sur les poissons eux-même puisque l'augmentation de la température de l'eau augmente le métabolisme de ces organismes ectothermes, leur perte d'énergie et donc leurs besoins alimentaires alors même que la nourriture vient à manquer¹⁷⁴. On comprend alors qu'impacts directs et indirects du changement climatique se combinent à chaque niveau trophique avec pour conséquence ultime une diminution de la ressource alimentaire en fin de chaîne où se trouvent les oiseaux, les mammifères mais aussi l'Homme.

Des conséquences similaires ont été observées sur le zooplancton temporaire au plus près de chez nous. Dans sa thèse de doctorat, Sakina-Dorothée Ayata (2010) montre que les larves d'échinodermes (étoiles de mer, oursins) en Manche occidentale et mer d'Iroise sont présentes environ deux mois plus tôt sur la période 1988-2005 que sur la période 1970-1987¹⁷⁵.

173 BEAUGRAND Grégory & al., 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* vol.426, pages 661-664.

174 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

175 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

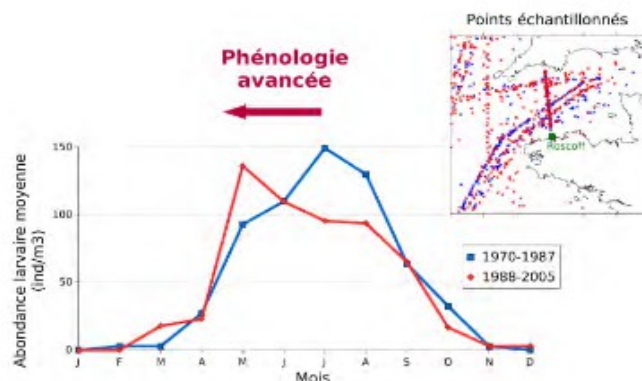


Figure 96 : Abondances moyennes mensuelles des larves d'échinodermes dans les échantillons récoltés par le CPR en Manche occidentale et en mer d'Iroise entre pour les périodes 1970-1987 et 1988-2005 (gauche ; Ayata, 2010)

Outre la possibilité de mismatch trophique, cette modification de phénologie est susceptible d'impacter la répartition des larves et donc leur disponibilité pour les prédateurs. En effet, plusieurs auteurs mettent en avant une accélération du développement larvaire et donc une diminution de la durée de cette phase de vie en réaction à l'augmentation des températures de l'océan. Or, les larves étant des organismes planctoniques tributaires des courants pour se déplacer, leur durée de vie est étroitement corrélée à leur dispersion. Selon Duarte (2007), une augmentation de température de 4°C se traduirait par une diminution des distances de dispersion de 45 % en moyenne¹⁷⁶. A l'échelle des populations mondiales, ces changements pourraient accroître la séparation entre provinces biogéographiques boréales et lusitaniennes. Les résultats de l'étude d'Ayata confirment en effet que la diminution de la durée de vie larvaire affecte la connectivité entre populations. Il faut dire que les échanges entre le golfe de Gascogne et la Manche sont naturellement rares, la mer d'Iroise jouant un rôle de véritable barrière physique à la dispersion larvaire. Celle-ci reste néanmoins possible à la faveur d'une conjonction de facteurs que les larves ont moins de chance de voir réunis à mesure que leur durée de vie diminue¹⁷⁷. Alors que de nombreuses espèces de poissons remontent vers le nord, brouillant ainsi la frontière entre provinces biogéographiques, le changement climatique renforce au contraire l'imperméabilité de cette barrière naturelle pour les organismes planctoniques qui ne sont pas libres de leurs déplacements. Aussi, alors que la connectivité écologique est généralement plutôt présentée comme un facteur renforçant la résilience des écosystèmes et favorisant leur adaptation, celle-ci pourrait être directement affectée par le changement climatique dans le cas du zooplancton temporaire en milieu marin.

¹⁷⁶ MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

¹⁷⁷ ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

Des impacts du changement climatique sur le plancton dépendra une grande partie de ceux qui toucheront les poissons. Mais l'augmentation de la température des océans devrait aussi les affecter de façon directe, ces derniers étant des organismes ectothermes. Les réactions des poissons marins au changement climatique seront relativement similaires à celles observées en milieu dulçaquicole. Elles prendront la forme de modifications physiologiques (impacts sur la croissance puis le recrutement) et de répartition (et donc des abondances relatives) qui se répercuteront *in fine* sur la composition des stocks.

Comme sur terre, des modifications d'aires de répartition devraient être observées dans le milieu marin. Au large des côtes françaises, de nombreux travaux ont été menés par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer qui possède un centre à Brest. Des études monospécifiques ont notamment permis de mettre en évidence la remontée d'espèces à affinités méridionales voire tropicales telles que *Zenopsis conchifer* et *Cyttosia roseus* qui ont étendu leur répartition depuis le golfe de Cadix jusqu'à l'Irlande entre les années 1960 et 1995. D'autres espèces déjà présentes sont devenues plus abondantes à l'instar du Saint-Pierre (*Zeus faber*) ou du sanglier (*Capros aper*), espèces lusitaniennes autrefois rares dans les mers proches de la péninsule bretonne devenues désormais dominantes¹⁷⁸. Mais l'étude la plus ambitieuse menée par l'IFREMER demeure le projet "Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne" dont l'objectif était d'évaluer l'évolution de la structure des peuplements entre 1973 et 2002 pour tenter ensuite de prédire son impact sur la pêche commerciale. Pour se faire les espèces ont été regroupées en trois assemblages aux affinités climatiques différentes mais qui cohabitent pourtant au niveau de la zone de transition biogéographique que représentent les côtes atlantiques françaises. Il s'agit des espèces boréales, tempérées et subtropicales.

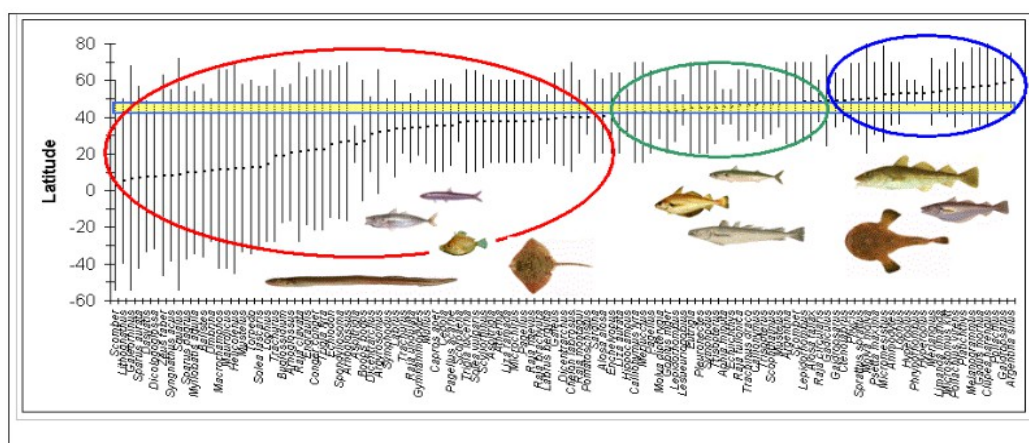
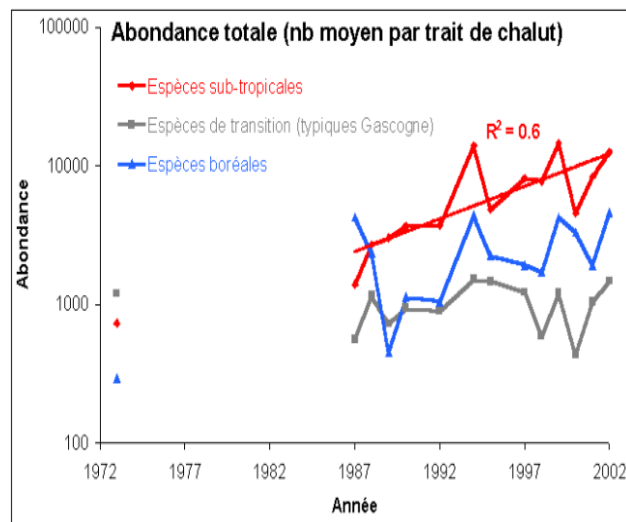
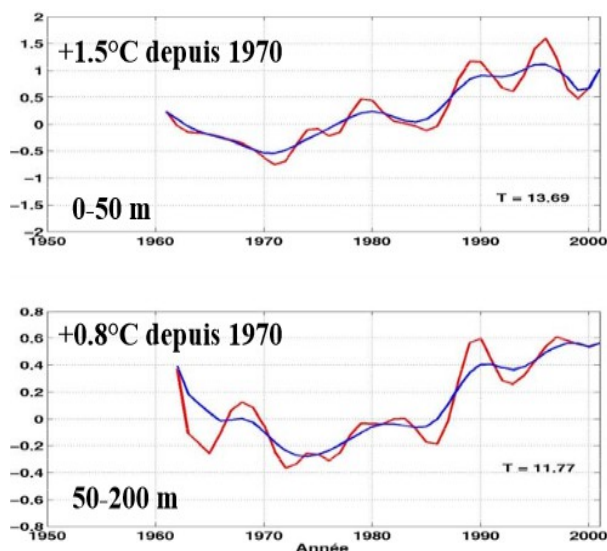


Figure 2. Aire de répartition (latitude haute, basse, médiane) des espèces échantillonnées dans le golfe de Gascogne, dont la position latitudinale est repérée en jaune, au cours des campagnes de chalutage scientifiques : espèces boréales (en bleu), espèces tempérées (en vert) et espèces subtropicales (en rouge).

178 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

Sans surprise, l'analyse des données issues des campagnes scientifiques de chalutage menées entre 1973 et 2002 révèlent une augmentation significative et exponentielle de l'abondance totale des espèces subtropicales à partir de 1992, soit quatre ans après l'accélération brutale du réchauffement du golfe de Gascogne en 1987/1988. Conformément aux hypothèses, l'abondance totale des espèces tempérées ne semble pas avoir été modifiée tandis qu'aucune tendance significative ne se détache pour les espèces boréales qu'on s'attendait pourtant à voir se raréfier.



Aussi la tendance est-elle localement à l'augmentation de la richesse spécifique plutôt qu'à sa diminution. Sur la période considérée, la proportion de traits de chalut dans lesquels le nombre d'espèces est inférieur ou égal à 15 a diminué significativement tandis que la proportion de traits dans lesquels le nombre d'espèces est supérieur ou égal à 16 a augmenté de façon importante. Entre 1973 et 2002, le nombre d'espèces moyen par trait de chalut a donc augmenté de six espèces en moyenne¹⁷⁹. Cela ne veut pas dire que des extinctions d'espèces à affinités boréales ne se produiront pas localement. Hermant & al. (2010) ont d'ailleurs montré pour six espèces de poissons plats ayant régressé entre 1987 et 2006 dans le golfe de Gascogne, que la chute d'abondance des adultes était précédée de plusieurs années par celle des juvéniles. Aussi la régression des espèces boréales au sud de leur aire de répartition est-elle davantage liée à un arrêt du renouvellement des populations et donc à des extinctions locales plutôt qu'à une remontée vers le nord¹⁸⁰.

Le changement climatique n'est pas la seule pression s'exerçant sur les populations ichthyologiques. Afin d'isoler son impact de celui de l'exploitation halieutique, l'analyse des données a donc été affinée en séparant les espèces ciblées par la pêche de celles qui ne le sont pas. Les résultats se sont

179 BLANCHARD Fabian (coord.), 2006. *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries*. IFREMER. 64p.

180 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

révélés similaires pour les deux groupes, ce qui impliquerait que la pêche commerciale aurait un impact moins important sur les changements d'abondances globales des espèces boréales, tempérées et subtropicales que le changement climatique¹⁸¹.

Les conséquences du changement climatique sur les peuplements piscicoles seront toutefois plus subtiles qu'une simple remontée d'espèces méridionales associée à des régressions locales d'espèces boréales. Les poissons possèdent un cycle de vie complexe comprenant plusieurs phases de vie successives (œuf, larve, juvénile, adulte) qui pourraient toutes être affectées par le changement climatique de façon différente. La croissance est une étape sur laquelle la température a une influence déterminante. Les études bretonnes visant à évaluer l'impact du changement climatique sur la croissance du saumon atlantique lors de sa phase de vie en eau douce s'étaient révélées peu concluantes. Les conditions de croissance marine étaient au contraire supposées avoir un impact autrement plus significatif. En effet, de nombreux travaux ont mis en évidence les conséquences du réchauffement des océans sur la croissance mais aussi la taille adulte finale des poissons. En mer du Nord, Baudron & al. (2011) ont démontré l'existence d'une corrélation entre l'augmentation des températures et une croissance plus rapide des haddocks (*Melanogrammus aeglefinus*). Conséquence de cette maturité plus précoce, la taille moyenne adulte de cette espèce a diminué entre 1970 et 2006. Teal & al. (2008) ont quant à eux trouvé la même relation pour la sole et la plie dans les eaux côtières tandis que Tresher & al. (2007) ont généralisé ce constat à toutes sortes d'espèces, partout où les températures sont croissantes, depuis la côte jusqu'aux grands fonds¹⁸². Aussi, la même explication pourrait s'appliquer à la diminution de la taille moyenne des saumons qui reviennent dans nos rivières bretonnes après une phase de croissance en mer. Le taux de survie plus faible sur le long terme pourrait quant à lui s'expliquer par des changements dans la disponibilité des ressources alimentaires dont l'origine serait à rechercher au niveau planctonique. Mais il s'agit là d'hypothèses qui n'ont pour l'instant été ni confirmées, ni infirmées par l'UMR ESE. Si le remplacement des poissons de grande taille par des individus de plus petite dimension s'observe avant tout à l'intérieur d'une même espèce, le phénomène se vérifie aussi à l'échelle interspécifique. En effet, les espèces méridionales, parce qu'elles vivent dans des eaux plus chaudes, ont un cycle de vie plus court que les espèces boréales, connaissent une croissance plus rapide et atteignent donc une taille adulte généralement plus petite. Aussi leur remontée et l'augmentation de leur abondance relative par rapport à celle des poissons d'eau froide contribue-t-elle à diminuer la taille moyenne des individus à l'échelle du peuplement. Cette évolution a été démontrée localement

181 BLANCHARD Fabian (coord.), 2006. *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries*. IFREMER. 64p.

182 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

par Genner & al. (2010) sur un assemblage de poissons démersaux en Manche occidentale sur la période 1911-2007 et par Blanchard & al. (2005) et Désaunay & al. (2006) dans le Golfe de Gascogne où la limande tend par exemple à être remplacée par d'autres poissons plats plus petits tels que la plie et le cèteau¹⁸³.

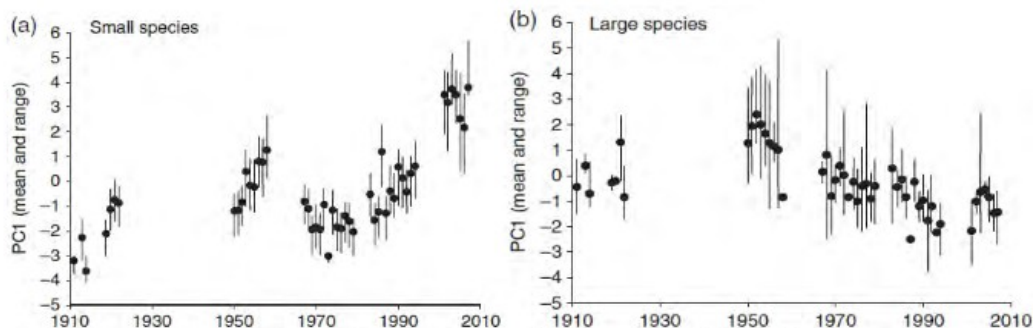


Figure 108 : Changements temporels de la structure des espèces de petite taille (a) et des espèces de grande taille (b) dans les assemblages de poissons en Manche occidentale de 1910 à 2010. Les tendances correspondent aux moyennes annuelles des captures par unité d'effort (CPUE, en anglais : *catch per unit effort*) (Genner et al., 2010a).

Difficile cependant d'affirmer que ces observations sont les conséquences du seul changement climatique. En effet, l'exploitation halieutique exerce une pression sur les stocks capable de modifier la composition des âges ou des espèces. La pêche s'exerce préférentiellement sur les gros individus et les grandes espèces à valeur commerciale plus forte : les petits pélagiques représentent par exemple 60 à 90 % des chalutages scientifiques mais seulement 20 à 40 % des captures professionnelles tandis que les grands Gadidés (cabillaud, haddock) ne représentent que 5 à 30 % des captures scientifiques contre 40 à 60 % des prises professionnelles¹⁸⁴. Les grands individus et grandes espèces étant généralement situés à des niveaux trophiques plus élevés, la sélection halieutique contribuerait à relâcher la pression de prédation s'exerçant sur les plus petits, leur permettant ainsi que proliférer. Aussi l'exploitation halieutique a-t-elle théoriquement le même effet que le changement climatique sur le remplacement intraspécifique et interspécifique des grands poissons par des individus de plus petite taille. A l'échelle intraspécifique, la diminution de la taille adulte des individus due à l'accélération de leur croissance et le prélèvement des poissons les plus âgés par la pêche se combineraient pour conduire à la diminution de la taille moyenne de l'espèce. A l'échelle interspécifique, la remontée d'espèces méridionales en moyenne plus petites et la surexploitation des espèces boréales en moyenne plus grandes se combineraient pour conduire au remplacement des grandes espèces par les petites. Ces conséquences ont-elles un impact sur la

183 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

184 BLANCHARD Fabian (coord.), 2006. *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries*. IFREMER. 64p.

fonctionnalité des populations ? Cela a en tous cas été prouvé au niveau intraspécifique. En effet, la taille étant corrélée à l'âge, une population surexploitée a une structure démographique uniquement basée sur des juvéniles et des jeunes adultes. Or, les jeunes femelles de poissons marins ont une saison de ponte plus restreinte que les femelles plus âgées et généralement plus tardive dans la saison. Une population surexploitée pond ainsi sur une période plus courte ce qui accroît le risque que les conditions hydroclimatiques ne soient pas favorables au succès de la reproduction et donc du recrutement. Pour les espèces à affinités boréales, le réchauffement de l'océan peut quant à lui conduire à ce que la température optimale de reproduction soit moins souvent atteinte durant l'année¹⁸⁵. Ainsi, la surexploitation halieutique fragilise les espèces affectées négativement par le changement climatique et réciproquement, le changement climatique peut précipiter l'épuisement de certaines espèces boréales surexploitées.

Toutes ces données nous permettent d'identifier les espèces qui devraient être les plus négativement affectées par le changement climatique. Il s'agit des grandes espèces boréales qui subissent déjà la pression de la surexploitation, en tête desquels figurent les grands poissons de la famille des Gadidés. Situés à des niveaux trophiques élevés, ces espèces ne représentent qu'une petite part du groupe des espèces à affinité boréale ce qui explique que la diminution de leur abondance se répercute peu sur l'évolution de l'abondance globale du groupe. En revanche, il s'agit de poissons à forte valeur commerciale. Leur raréfaction promet donc d'avoir des conséquences importantes sur l'exploitation halieutique du milieu marin.

Si les poissons monopolisent l'essentiel des études sur les impacts du changement climatique en milieu marin, les niveaux trophiques supérieurs ont été pour l'instant relativement peu étudiés, du moins sur les côtes françaises. Pour les oiseaux et les mammifères marins, l'impact direct du changement climatique sera pour ainsi dire quasiment nul. En revanche, les conséquences du réchauffement de la mer observées au niveau planctonique ou ichtyologique peuvent entraîner des réactions en chaîne capables d'affecter indirectement mais significativement les sommets de la chaîne alimentaire. En 2004 et 2005, les colonies écossaises d'oiseaux marins ont connu des saisons de reproduction catastrophiques dont la responsabilité pourrait revenir en grande partie au changement climatique. En effet, ces échecs semblent être principalement dus à une pénurie alimentaire causée par une faible abondance du poisson "fourrage" de la plupart des espèces : le lançon. Pour subvenir aux besoins de leurs jeunes, les adultes ont donc du parcourir de plus grandes distances, s'épuisant à la tâche, d'où une baisse de leur taux de survie durant l'hiver suivant (en

185 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

particulier chez les mouettes tridactyles). Les parents étant moins présents au nid et revenant plus souvent le bec vide, les goélands et les labbes qui avaient pour habitude de les détrousser se sont jetés sur leurs œufs et leurs poussins laissés sans surveillance¹⁸⁶. Certains parents exemplaires sont néanmoins parvenus à assurer un approvisionnement identique aux années précédentes comme les guillemots de l'île de May dans le sud-est de l'Écosse. Ils n'ont pas pour autant été gratifiés d'un plus grand succès. En effet, les poissons ramenés au nid avaient une valeur énergétique moyenne inférieure à ceux capturés les années précédentes avec une densité calorifique moyenne 25 % moindre, qu'il s'agisse de lançons ou de sprat, espèce de substitution pêchée pour pallier à l'absence des lançons¹⁸⁷. Ces deux poissons se nourrissant de plancton, cette affaire nous ramène aux bouleversements observés par Beaugrand & al. au niveau de la composition du zooplancton. Les conséquences négatives du remplacement de *Calanus finmarchicus* par d'autres espèces moins nourrissantes et du mismatch trophique qui en résulte ont été démontrées scientifiquement pour le cabillaud mais pourraient également s'appliquer au lançon. Si des travaux supplémentaires seront nécessaires pour confirmer cette extrapolation, elle demeure l'hypothèse privilégiée à ce jour. En effet, la pêche, que l'on pourrait également suspecter d'être à l'origine de la pénurie alimentaire, est aujourd'hui strictement contrôlée pour cette espèce. Ces observations inquiétantes n'ont pas tardé à se vérifier en Bretagne. Ainsi, l'année 2007 a vu pour la première fois une très mauvaise reproduction des colonies bretonnes. Bien que le phénomène n'ait pas fait l'objet d'études aussi nombreuses et poussées qu'au Royaume-Uni, les ornithologues bretons n'écartent pas l'hypothèse qu'il puisse s'agir du résultat de conditions alimentaires défavorables, dans la veine de ce qui s'est passé en Écosse¹⁸⁸. Les oiseaux marins ont une forte valeur patrimoniale en Bretagne mais représentent une part négligeable de l'avifaune de la région. Pour de nombreuses espèces, les colonies bretonnes constituent les populations les plus méridionales et les effectifs nicheurs sur nos côtes rocheuses sont dérisoires en comparaison de ceux des colonies du nord de l'Europe. Aussi s'agit-il des noyaux les plus fragiles et les plus vulnérables aux impacts du changement climatique. Si les colonies britanniques et bretonnes ont connu de meilleures années depuis ces échecs retentissants, la tendance est plutôt au déclin qu'à la croissance démographique depuis plusieurs années. À terme, les falaises du cap Fréhel pourraient devenir de plus en plus silencieuses. Mais la disparition des derniers macareux, guillemots ou pingouins bretons serait surtout une perte pour le patrimoine naturel de la région, sans pour autant mettre en péril la pérennité des populations mondiales. Du moins dans l'immédiat...

186 JNCC website. *Climate change impacts – the evidence so far*. [en ligne] <http://jncc.defra.gov.uk/page-5406>

187 WANLESS Sarah & al., 2005. Low energy values of fish as a probable cause of a major seabird breeding failure in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series* vol.294, pages 1-8.

188 DUBOIS Philippe J., 2008. *Le syndrome de la grenouille*. Septembre 2008. Delachaux et Niestlé Paris. 190p.

Quelles conséquences économiques pour l'exploitation halieutique ?

Les oiseaux ne sont pas les seuls à se trouver au sommet de la chaîne alimentaire marine. La pêche commerciale représente une activité phare pour la Bretagne. Le réchauffement de l'océan et ses conséquences sur les peuplements ichtyologiques est donc un problème qui concerne directement l'Homme. L'un des deux principaux intérêts de l'étude de l'IFREMER réside dans sa prise en compte des effets combinés du changement climatique et de l'exploitation halieutique sur la composition des stocks. En effet, ces deux facteurs concourant au même résultat final, il ne serait pas pertinent d'étudier leurs impacts respectifs séparément. L'autre intérêt majeur est de poser la question des répercussions que les changements observés pourraient avoir en retour sur la pêche commerciale. Aussi les données des campagnes de chalutages scientifiques ont-elles été complétées de données de débarquements issus de la pêche professionnelle française dans l'Atlantique nord-est sur la même période (1973-2002). De façon générale, les quantités totales débarquées ont diminué depuis trente ans, passant de 440 000 tonnes en 1973 à 380 000 tonnes en 2002. Dans le même temps, la valeur totale et le prix moyen des débarquements ont également diminué mais pas de façon linéaire. Alors qu'ils ont atteint leur valeur maximale à la fin des années 1980, ils ont connu un effondrement dans les années 1990 sans que cela puisse s'expliquer uniquement par la diminution des quantités totales débarquées.

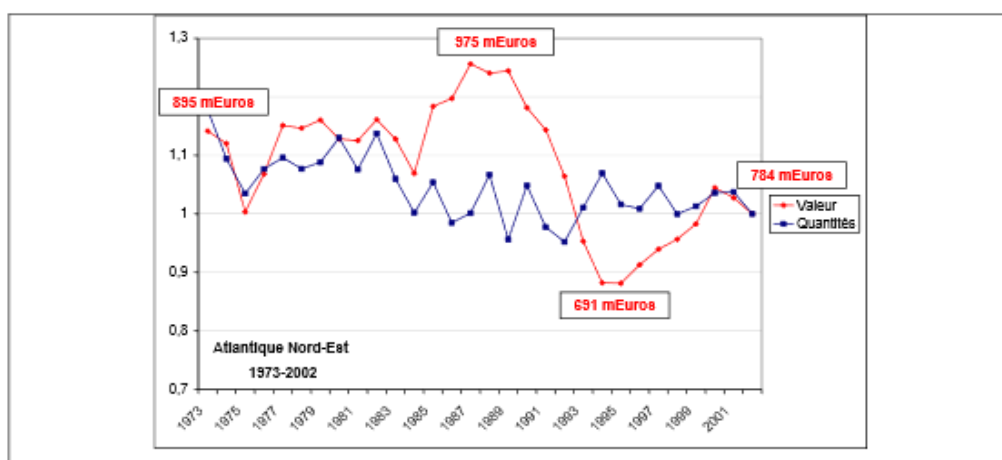


Figure 17. Indices d'évolution de la production totale des flottilles françaises opérant dans l'Atlantique Nord-Est, 1973-2002. Source : Ifremer, d'après CCPM-OFIMER-DPMA

En France, l'effondrement des prix dans les années 1990 s'est traduite par une crise économique majeure pour la pêche commerciale française d'où une chute du nombre de navires et donc d'emplois. Cela a eu pour conséquence une augmentation du rendement des navires, les bâtiments restant augmentant leur effort d'exploitation afin de compenser l'effondrement des prix par un accroissement des volumes débarqués. Au final, cette exploitation accrue a permis de compenser en partie les effets de la diminution du nombre de navires au niveau de la production globale. Quoi

qu'il en soit, cette crise brutale ne peut être uniquement corrélée à la diminution relativement lente des quantités totales débarquées. En revanche, les caractéristiques écologiques des poissons nous renseignent davantage sur les causes de l'effondrement de la valeur commerciale des débarquements. Ainsi, l'évolution du niveau trophique moyen des espèces débarquées, de leur longueur maximale moyenne, de la latitude médiane de leurs aires de répartition et de leur profondeur moyenne de capture a été modélisée sur la période considérée. Entre 1973 et 2002 donc, la latitude moyenne de l'aire de répartition des espèces débarquées a diminué progressivement à raison d'environ $0,17^\circ$ par an, traduisant une augmentation de la proportion d'espèces d'eau chaude dans les débarquements. Le niveau trophique moyen ainsi que la taille maximale moyenne ont quant à eux enregistré une diminution brutale au début des années 1990 qui correspond à la crise économique. Cette dernière semble donc s'expliquer par une diminution de la valeur commerciale des poissons pêchés, liée à une augmentation de la part des petites espèces et des jeunes individus dans le volume total débarqué.

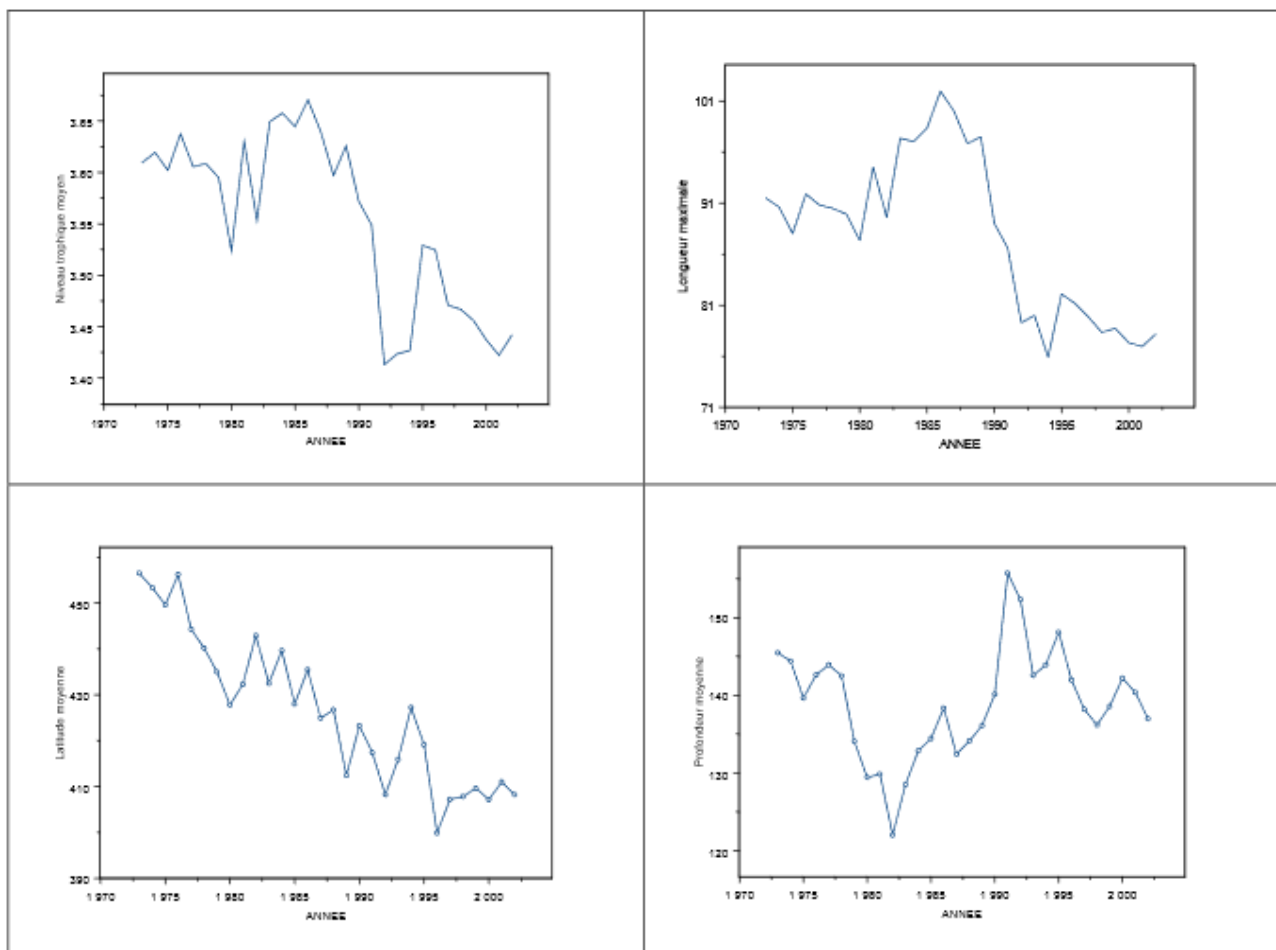


Figure 21. Evolution des caractéristiques bio-géographiques moyennes des débarquements, 1973-2003. Source : Ifremer, d'après CCPM-OFIMER-DPMA

En effet, entre 1973 et 2003, les petits pélagiques sont passés de moins de 20 % des débarquements

en quantité à plus de 25 % tandis que les Gadidés sont passés de plus de 40 % à moins de 25 %. Cette évolution de la structure des débarquements semble expliquer en grande partie la baisse de la latitude médiane de l'aire de répartition des espèces débarquées puisque les Gadidés sont capturés en moyenne vers 60° de latitude nord tandis que les petits pélagiques sont pêchés autour de 37°.

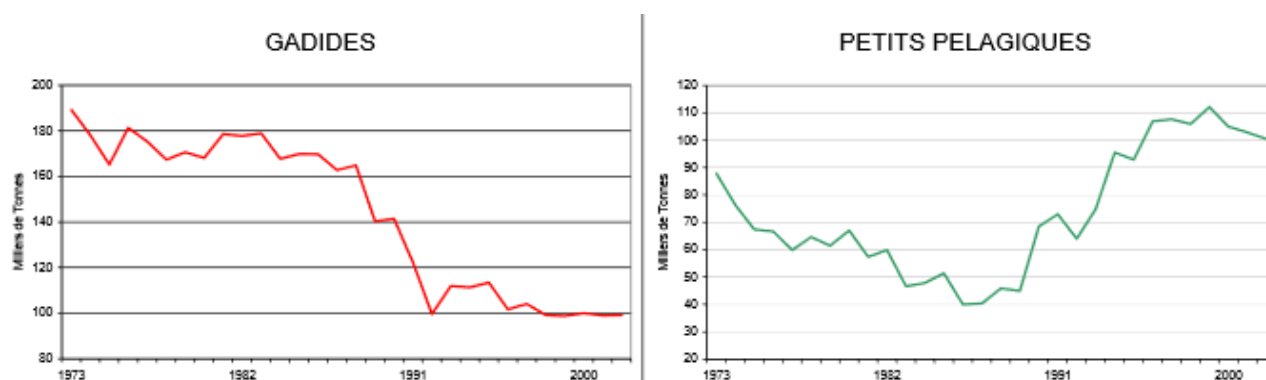


Figure 23. Evolution des quantités débarquées par groupe d'espèces (milliers de tonnes). Source : Ifremer, d'après CCPM-OFIMER-DPMA

Ces résultats semblent donc montrer le plus simplement du monde que la chute des prix observée dans les années 1990 serait liée à une raréfaction des grandes espèces boréales à forte valeur commerciale et une augmentation de l'abondance des petites espèces lusitaniennes. La réalité est plus complexe que cela. En effet, les débarquements ne reflètent pas la composition des peuplements. Leur structure dépend davantage de choix commerciaux que des abondances relatives des espèces dans la mer. Les effets combinés de la surexploitation et du changement climatique peuvent alors avoir des conséquences économiques indirectes assez inattendues. En réalité, la raréfaction des grands poissons explique l'augmentation conséquente des prix précédant immédiatement leur effondrement et non la crise elle-même. La valeur marchande de certaines espèces devenues moins abondantes a augmenté jusqu'à atteindre son maximum à la fin des années 1980 ce qui a permis l'entrée sur le marché de filières plus compétitives pour ces mêmes espèces. Le début des années 1990 a notamment été marqué par un développement de l'aquaculture et une ouverture rapide du marché européen des produits de la mer qui, par voie de concurrence, ont fait s'effondrer les prix moyens des grandes espèces à forte valeur commerciale. Les pêcheurs professionnels se sont alors reportés sur des espèces devenues plus abondantes grâce au changement climatique, tels que les petits pélagiques, d'où une augmentation de leur part dans les débarquements et une diminution de la latitude moyenne de l'aire de répartition, de la taille moyenne et du niveau trophique moyen des espèces débarquées. Aussi l'impact du changement climatique sur la pêche commerciale est-il plus subtil et plus discret qu'il n'apparaît au premier abord et ne peut être dissocié de celui que l'exploitation halieutique a sur elle-même¹⁸⁹. Le

189 BLANCHARD Fabian (coord.), 2006. *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale*

réchauffement de l'océan affecte peut-être négativement les grandes espèces boréales à forte valeur commerciale mais il ne faut pas oublier que ces dernières se sont avant tout raréfiées à cause de la surexploitation. Le principal impact du changement climatique sur les populations ichtyologiques reste avant tout la remontée d'espèces méridionales. Aussi ce dernier pourrait-il fournir des alternatives aux espèces d'exploitation "traditionnelles" et générer de nouvelles sources de revenus. Rijnsdrop & al. (2010) montrent ainsi comment des espèces autrefois rares dans la Manche comme le calmar ou le roujet-barbet sont aujourd'hui structurantes pour l'exploitation halieutique de la Bretagne nord au Pas-de-Calais¹⁹⁰.

Les effets du réchauffement des océans sur les écosystèmes marins sont complexes, multiples, et il aurait été impossible de tous les évoquer dans ce document. Devant un tel bouleversement qui semble s'opérer à chaque niveau trophique, l'Homme peut se sentir bien impuissant. Mais il ne l'est pas. S'il nous est impossible d'agir sur les niveaux les plus bas de la chaîne alimentaire, nous portons une grande part de responsabilité dans les nombreux changements observés à l'échelle des poissons, changements que le réchauffement de l'océan ne fait dans la plupart des cas qu'accélérer. Aussi, les actions destinées à favoriser l'adaptation de la biodiversité marine au changement climatique devront se concentrer sur les niveaux trophiques intermédiaires que représentent les poissons et aller dans le sens d'une exploitation halieutique raisonnée et durable. Il en va de la pérennité de cette activité caractéristique de notre région.

2) L'augmentation du niveau de la mer

L'augmentation du niveau de la mer, quelle ampleur en Bretagne ?

L'élévation du niveau des océans est une conséquence directe de l'augmentation des températures. La fonte des calottes glaciaires est généralement présentée comme sa principale cause. En réalité, celle-ci pourrait le devenir dans le futur mais ne l'a pas été jusqu'à présent. En effet, l'augmentation du niveau de la mer est jusqu'ici principalement imputable au phénomène de dilatation thermique de l'eau qui est mal connu du grand public. Lorsque la température d'un gaz ou d'un liquide augmente, la quantité de mouvements des particules qui le composent augmente également. Si le volume doit rester constant, cela se traduit par une augmentation de la pression car le nombre de chocs entre particules par unité de surface augmente. Mais si le gaz ou le liquide n'est pas contraint par un volume fixe alors la pression reste la même et c'est le volume qui augmente.

des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries. IFREMER. 64p.

190 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions.* Presses Universitaires de Rennes. 458p.

Ainsi, lorsque l'océan se réchauffe, il occupe un plus grand volume malgré une quantité de molécules d'eau identique. La dilatation de l'océan calculée à partir de l'augmentation de sa température s'est révélée similaire à la dilatation effectivement observée. Cela a donc permis de conclure que la fonte des glaces s'est jusqu'ici révélée négligeable en comparaison de la dilatation thermique. Il ne faut toutefois pas oublier que les glaciers qui ont fondu de façon notable depuis un siècle sont les glaciers de montagne et que la fonte des deux grandes calottes que sont le Groenland et l'Antarctique n'a pas encore commencé de façon significative. On estime que la fonte totale du Groenland et de l'Antarctique ferait monter le niveau des océans de 7 et 70 mètres respectivement¹⁹¹! Sans en arriver à de telles extrémités, la fonte des glaces pourrait, dans le futur, porter une responsabilité plus importante dans l'augmentation du niveau de la mer.

Selon le quatrième rapport du GIEC de 2007, le niveau mondial des mers s'est élevé en moyenne de 1,1 mm par an entre 1880 et 1935 et de 1,8 mm par an de 1936 à 2009¹⁹². Toutefois, cette moyenne mondiale cache une fois de plus de fortes disparités régionales et ce qui nous intéresse c'est l'élévation au niveau des côtes françaises et plus spécifiquement bretonnes. En Bretagne, dix stations marégraphiques sont équipées pour mesurer l'évolution du niveau de la mer. Malheureusement, à l'exception de celle de Brest dont les premières données remontent à 1711, toutes les autres ont été mises en place après 1970 et ne disposent donc pas de séries assez longues pour être pertinentes. Or, comme pour les températures, disposer de données de long terme se révèle indispensable afin de rendre compte de l'évolution des moyennes par delà la forte variabilité interannuelle et interdécennale. Celles de Brest révèlent une élévation moyenne de 0,2 mm par an entre 1806 et 1908 puis de 1,2 mm par an de 1909 à 2010 avec une accélération notable à partir de 1980 (+ 3mm/an entre 1980 et 2004)¹⁹³.

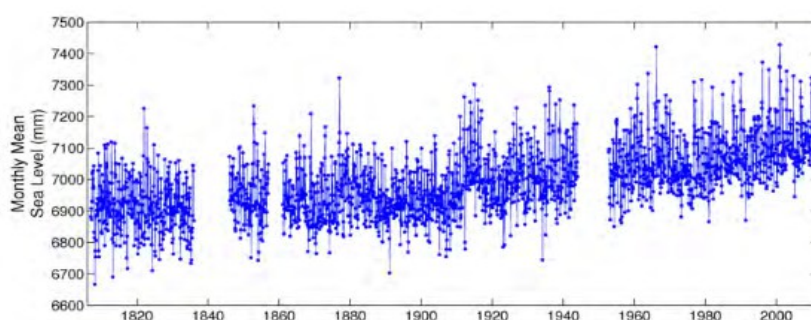


Figure 74 : Evolution du niveau moyen mensuel de la mer à Brest de 1807 à 2010 (source: SHOM sur le site du Permanent Service for Mean Sea Level¹¹²).

191 Futura Environnement par Futura Sciences, 2010. *Pourquoi le niveau de la mer monte ?* [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/rechauffement-climatique-niveau-mer-monte-945/>

192 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques – rapport de synthèse – résumé à l'intention des décideurs*.

193 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198p.

A l'horizon 2100, le GIEC prévoit une hausse moyenne du niveau des océans allant de 18 à 59 cm selon le scénario considéré. En Bretagne, Nicolas Pouvreau du service hydrographique et océanographique de la marine s'est servi des 300 années de données disponibles pour Brest afin de calculer l'accélération moyenne de l'augmentation du niveau de la mer sur cette période. Puis, il en a déduit l'élévation potentielle à l'horizon 2100. Celle-ci pourrait être comprise entre 0,5 et 18,2 cm à mi-marée et entre 13 et 28,7 cm à pleine marée¹⁹⁴.

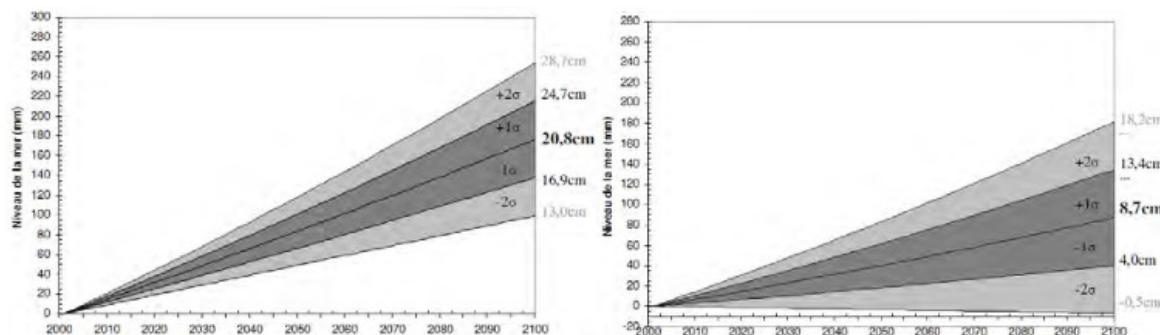


Figure 76 : Hausse du niveau de la mer entre 2001 et 2100 avec en gris les valeurs à $\pm$ deux incertitudes, en noir à $\pm$ une incertitude et en gras, à la valeur exacte de l'accélération. Gauche : 1^{er} scénario : Hausse du niveau de la mer prédite pour le 21^{ème} siècle à partir des accélérations calculées avec les niveaux moyens de mi-marée entre 1807 et 2004. Droite : 2^{ème} scénario : Hausse du niveau de la mer prédit pour le 21^{ème} siècle à partir des accélérations calculées avec les niveaux moyens de pleine marée entre 1711 et 2007 (Pouvreau, 2008).

Toutefois, les travaux du GIEC et de Pouvreau sont des projections basées sur l'accélération de la hausse du niveau de la mer observée jusqu'à présent et ne prennent pas en compte la possibilité d'une augmentation de cette accélération, sous l'effet notamment de la fonte des calottes glaciaires. Des études postérieures incorporant la fonte des glaces considèrent que les projections du GIEC sous-estiment son impact et que l'augmentation du niveau global des océans pour la fin du siècle pourrait être comprise entre 30 et 180 cm¹⁹⁵. Une fois de plus, les projections dont nous disposons actuellement baignent dans l'incertitude et se contredisent mutuellement. Il faut dire que l'élévation du niveau de la mer ne dépend pas d'un mais de trois paramètres : la dilatation thermique, la fonte des glaces mais aussi dans une moindre mesure les échanges d'eau avec le continent. En l'absence de prédictions vraiment fiables, il est difficile d'évaluer avec précision l'impact de la montée des eaux sur la biodiversité. La seule chose dont nous pouvons être sûrs c'est que celle-ci affectera surtout la faune et la flore de la zone intertidale. Cette interface entre terre et mer devrait être brouillée, pourrait être décalée et même disparaître en cas de forte artificialisation du littoral. Mais avant d'en arriver là, les bilans sédimentaires seront modifiés. Compte tenu de l'incroyable richesse biologique qu'elle abrite et du caractère remarquable de cette dernière, il s'agit d'une menace qui ne doit pas être prise à la légère.

¹⁹⁴ Ibid.

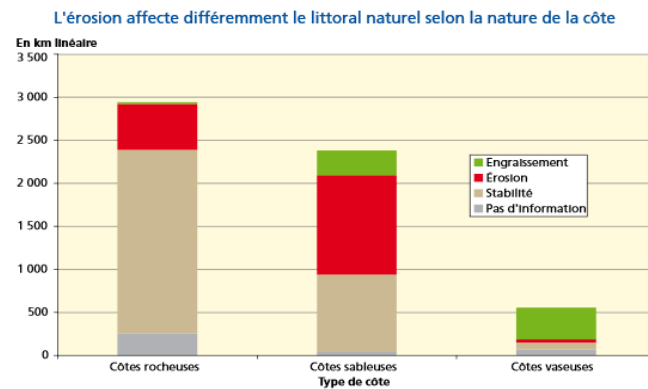
¹⁹⁵ Ibid.

Changement climatique et érosion du littoral, quelles conséquences pour la biodiversité de l'estran ?

Les stocks sédimentaires du littoral sont essentiellement hérités de la dernière période glaciaire qui s'est achevée au début de l'Holocène. A cette époque, les eaux étaient massivement stockées dans les ilandsis ou calottes polaires (dont les deux derniers sont le Groenland et l'Antarctique) et les glaciers continentaux. Aussi, le niveau de la mer était de 100 à 120 mètres en dessous du niveau actuel, laissant ainsi le plateau continental à découvert. Les alternances saisonnières de gel et de dégel produisaient alors des sédiments en abondance par gélifraction (c'est-à-dire la fragmentation des roches par le gel) et gélifluxion (c'est-à-dire leur transport par coulée lors du dégel). Cela a conduit à la formation et l'accumulation d'importantes quantités de matériaux sédimentaires au pied des versants, dans les vallées et le lit des cours d'eau. Au début de l'Holocène, la fonte des glaces entraîne la montée du niveau marin. La mer dispose alors d'importantes quantités de sédiments qu'elle repousse vers le continent, façonnant ainsi le nouveau trait de côte. Sur le pourtour de la Bretagne, le phénomène a d'abord été rapide ce qui a permis une alimentation massive des accumulations littorales formées par la mer. Son ralentissement progressif puis sa stabilisation a mis fin à la sédimentation depuis la mer et aujourd'hui, l'apport de sédiments est principalement d'origine continentale. Dans nombre de cas cependant, ces apports continentaux se révèlent insuffisants ce qui signifie que les stocks sédimentaires sont essentiellement relictuels et ne se renouvellent quasiment pas¹⁹⁶. Ainsi, de nombreuses côtes subissent aujourd'hui un phénomène d'érosion c'est-à-dire un gain d'espace de la mer sur la terre. En France métropolitaine, l'érosion concernerait 27 % des côtes mais toucherait inégalement les différentes classes morphosédimentologiques puisque 41,4 % des plages seraient affectées contre seulement 23 % des côtes rocheuses et seulement 11,8 % des littoraux vaseux¹⁹⁷. D'une manière générale, les littoraux sableux sont donc les plus vulnérables à l'érosion côtière tandis que les côtes vaseuses affichent une tendance à l'accrétion, c'est-à-dire à l'engraissement ou l'envasement et que les côtes rocheuses sont relativement stables.

196HENAFF Alain, MEUR-FEREC Catherine, LAGEAT Yannick, 2013. Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles. *Cybergeo : European Journal of Geography, rubrique "Environnement, Nature, Paysage"*, document 654. [en ligne] <https://cybergeo.revues.org/26058>

197Commissariat général au développement durable – Délégation au développement durable, 2011. Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. *Études & documents n°55*, octobre 2011.

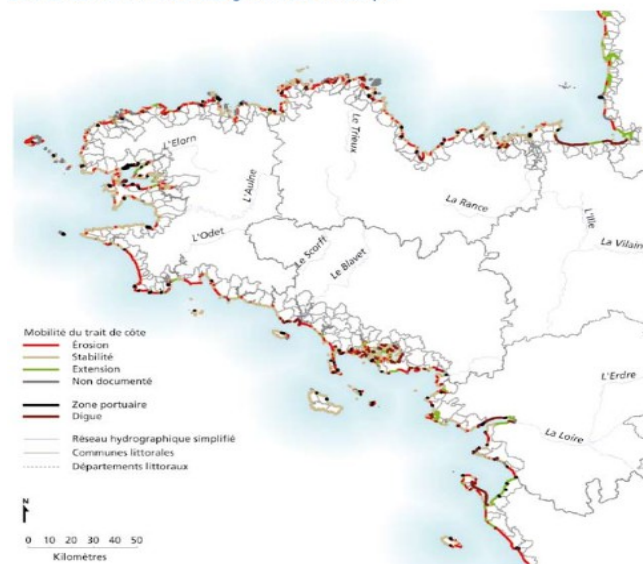


Note : Le faible engraisissement des côtes rocheuses correspond à une sédimentation à leur pied.

Source : Ifen - Observatoire du littoral, d'après EuroSION database, 2004.

A l'échelle de la Bretagne, l'érosion touche 23,1 % du linéaire côtier. Au contraire, 52,6 % du littoral est stable et 3,3 % en accrétion c'est-à-dire que la côte gagne du terrain sur la mer. En fait, les situations sont localement très contrastées. Les départements les plus concernés par les phénomènes érosifs sont les Côtes-d'Armor et le Finistère avec respectivement 37 % et 32 % de leurs côtes en érosion. En revanche, moins de 10 % du littoral de l'Ille-et-Vilaine s'érode, ce dernier étant majoritairement rocheux¹⁹⁸. Enfin, les grandes baies abritées comme la baie du Mont-Saint-Michel et le golfe du Morbihan "s'engraissent" car leurs eaux calmes tendent à piéger efficacement les sédiments¹⁹⁹. En fait, la juxtaposition de côtes rocheuses, sableuses et vaseuses sur les littoraux de Bretagne et de Loire-Atlantique donne lieu à une succession de situations différentes qui empêche la distinction de grands ensembles caractérisés par une évolution identique²⁰⁰.

Érosion côtière sur le littoral de Bretagne et de Loire-Atlantique



Source : Ifen - Observatoire du littoral, d'après EuroSION database, 2004.

198 GIP Bretagne Environnement, 2007. *Plus de 20% du linéaire côtier breton soumis à l'érosion*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Dossiers/L-erosion-cotiere/Plus-de-20-du-lineaire-cotier-breton-soumis-a-l-erosion>

199 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

200 Institut français de l'environnement, 2007. Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine. *Les dossiers ifen n°06*, octobre 2007.

L'érosion littorale fait peser une menace non négligeable sur la biodiversité patrimoniale de la région. En effet, la majorité des territoires à biodiversité remarquable, et en particulier les zones humides, présents en Bretagne sont situés à proximité immédiate du littoral, une réalité qui se confirme également à l'échelle nationale.

Des exemples locaux, en particulier dans le Finistère, permettent d'illustrer le phénomène d'érosion côtière et ses conséquences possibles pour la biodiversité :

Les flèches de galets de la rade de Brest

La rade de Brest compte 37 cordons littoraux ou flèches de galets c'est-à-dire des formations sédimentaires bénéficiant d'un point d'ancrage à la terre ferme sur l'une de leurs extrémités seulement tandis que l'autre s'avance librement vers la mer et se termine en crochet recourbé vers l'intérieur. Ces flèches sont toutes constituées de sédiments grossiers (galets, graviers et sables grossiers) typiques des littoraux très exposés aux grandes houles du large où l'énergie des vagues permet le transport et l'organisation des sédiments de grande taille en cordons. Pourtant, la hauteur des vagues en rade de Brest ne dépasse jamais le mètre. Aussi, l'existence de telles formations sédimentaires s'explique par la présence de falaises meubles constituées d'une matrice argileuse qui englobe des graviers, cailloux et autres matériaux grossiers libérés par les vagues. Une étude s'est récemment attachée à retracer l'évolution des flèches de galets durant ces soixante dernières années à partir de photographies aériennes prises par l'Institut géographique national entre 1952 et 2011 et de relevés GPS entre 2004 et 2011. L'analyse de ces données a révélé une tendance générale à l'érosion des cordons de galets de la rade de Brest puisque les trois quarts d'entre eux sont en recul tandis qu'une seule flèche affiche un bilan stable et que quatre autres connaissent une légère avancée. Ce retrait n'a toutefois pas été continu. Dans le détail, on constate en effet qu'entre 1952 et 2006, la plupart des flèches ont connu tour à tour des phases d'avancée et de recul. Le recul s'effectue donc en réalité de manière très épisodique, lorsque coïncide une pleine mer de fort coefficient et une forte agitation de la mer. Les flèches subissent alors de plein fouet l'action érosive des vagues de tempête qui, déferlant au sommet des accumulations, peuvent les faire reculer, les écrêter ou encore les rompre. L'augmentation du niveau de la mer observée en rade de Brest (jusqu'à 3 mm par an entre 1980 et 2004) ne ferait alors qu'accentuer les dégâts causés par les vagues lors des tempêtes. Toutefois, celles-ci ne font qu'exploiter une situation de fragilité causée par une évolution naturelle. En effet, si l'apport en sédiments est important, les tempêtes peuvent se révéler constructives en déplaçant les sédiments jusqu'aux flèches. Or, les longues périodes de reconstitution qui font suite aux tempêtes occasionnelles ne sont généralement pas suffisantes pour

“réparer” les cordons de galets. Les falaises meubles semblent en effet incapables de délivrer assez de sédiments pour compenser les effets des tempêtes. Elles se sont trop érodées et ont reculé au point que le large platier rocheux qui s'est constitué devant elles dissipe désormais l'énergie des vagues, les empêchant de s'éroder davantage pour alimenter les flèches en sédiments grossiers. Mais les causes de ce déficit sédimentaire sont également anthropiques. Les cales d'accès à l'estran construites en rade de Brest forment notamment des ouvrages perpendiculaires à la ligne de rivage qui interrompent la continuité du transit sédimentaire en direction des cordons. Au lieu de “nourrir” les flèches, les galets s'accumulent au pied de ces ouvrages comme c'est le cas dans l'anse de l'Auberlac'h où les galets se sont accumulés sur une épaisseur de sept mètres en amont du môle entre 1938 et 1993. La flèche située en aval connaît désormais un déficit sédimentaire qui s'est traduit, à l'occasion de la tempête du printemps 1984, par l'ouverture de deux brèches. D'autre part, les enrochements et la construction de murets destinés à stopper le recul des falaises a eu également des conséquences néfastes en isolant les flèches de galets de leurs principales sources d'alimentation. Ces ouvrages tendent à se multiplier sans études techniques préalables ce qui pourrait contribuer à aggraver l'érosion des flèches littorales. Enfin, les flèches elles-mêmes ont été artificialisées pour servir de supports aux routes littorales telles que celles de Kervihan et de Penn ar Poull pour la D355 ou celle de Lanvéoc pour la D55. Toutefois, en raison de leur précarité, ces cordons de galets qui s'érodent finissent à terme par être totalement bétonnés et transformés en digues purement artificielles²⁰¹.

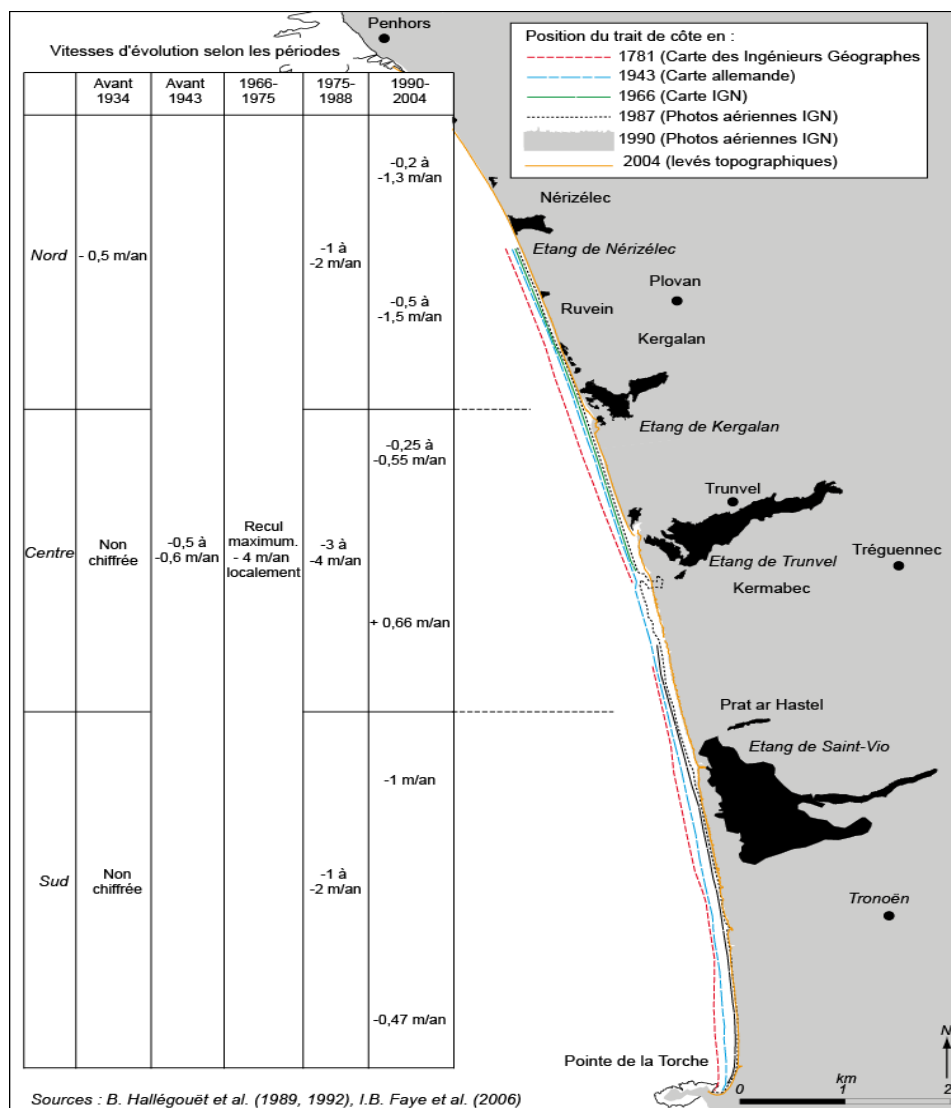
L'érosion des cordons littoraux en rade de Brest menace la biodiversité et en particulier l'avifaune qui se trouve en fin de chaîne alimentaire. En effet, les flèches permettent l'existence de marais d'arrière-cordon qui, protégés de l'action des vagues, captent et retiennent aisément les sédiments d'où la formation de vasières particulièrement nourissantes. Leur faune est relativement mal connue et aucune estimation de la biomasse animale qu'elles hébergent n'est pour l'instant disponible. En revanche, les populations d'oiseaux sont bien recensées, surtout depuis l'évaluation de la ZPS “rade de Brest” par l'association Bretagne Vivante en 2005. Elles nous renseignent sur la richesse nourricière des marais d'arrière-cordon. La rade de Brest constitue un site important de halte migratoire et d'hivernage pour de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau en raison des ressources alimentaires abondantes qu'elle offre mais aussi de sa protection contre les vents violents et de ses conditions climatiques favorables qui permettent un accès à la nourriture durant tout l'hiver. En moyenne, 20 000 volatiles sont ainsi dénombrés chaque année à la mi-janvier, à l'occasion du comptage Wetlands international. La rade accueille 34 espèces d'intérêt international dont 32 ne

201 STEPHAN Pierre, 2006. Mobilité des flèches de galets en rade de Brest. *Penn ar Bed* n°199/200 : *Géomorphologie littorale en Finistère*, décembre 2006/mars 2007, pages 25-38.

sont que migrateurs ou hivernants, l'intérêt du site étant nettement moindre pour la nidification. Alors que les marais littoraux représentent essentiellement des zones d'alimentation, les cordons de galets jouent le rôle indispensable de reposoirs à marée haute pour les Anatidés et les Limicoles. Aussi, leur érosion, voire à terme leur disparition, pourrait nettement diminuer l'intérêt de la rade de Brest comme zone d'hivernage et de halte migratoire. Les surfaces de reposoir disponibles pourraient non seulement se réduire mais la dynamique sédimentaire des marais d'arrière-cordon pourrait également être modifiée avec des conséquences sur les invertébrés qui habitent ces milieux et nourrissent les légions d'oiseaux hivernants. C'est notamment ce qui s'est passé au niveau du site du Loc'h, à Landévennec. Un étang d'eau saumâtre y était isolé de la mer par deux cordons littoraux et ne communiquait avec celle-ci que par un étroit chenal. Ainsi, l'étang du Loc'h restait toujours en eau, même lors des basses mers de vive-eau. Mais en 1993, l'ouverture d'une brèche dans la flèche externe avait entraîné la vidange complète de l'étang. Des travaux avaient alors été entrepris pour colmater la brèche mais en 2004, une nouvelle brèche s'était creusée, dans la flèche interne cette fois-ci. A chaque marée basse, l'étang est désormais vidangé et son exposition accrue aux courants a favorisé le creusement d'un réseau de chenaux qui concentrent l'essentiel des écoulements. La vase nue qui recouvrait autrefois le fond de l'étang est désormais en cours de végétalisation. Autrefois inventorié comme "lagune côtière", un habitat prioritaire à l'échelle communautaire, l'étang du Loc'h a désormais complètement perdu son caractère remarquable. Dans une moindre mesure, l'érosion des cordons de galets pourrait aussi avoir des conséquences sur la flore patrimoniale de la rade. En effet, les marais littoraux abritent une végétation souvent caractéristique et sensible aux modifications du milieu. La ruppie maritime (*Ruppia maritima*), espèce typique des milieux saumâtres, a par exemple rapidement disparu de l'étang du Loc'h après l'ouverture de la brèche de 2004. La rade abrite en tout sept espèces floristiques rares et quatre espèces protégées à l'échelle nationale et/ou régionale. Parmi ces plantes, le petit statice (*Limonium humile*) est la plus vulnérable car sa conservation est étroitement liée à celle des cordons littoraux. En effet, ces derniers abritent les deux tiers des populations françaises. Dans certains secteurs de la rade comme à l'Auberlac'h, les superficies occupées par le petit statice peuvent dépasser les 5 000 m² et compter plus d'un millier de pieds. Cette plante présente donc une forte vulnérabilité face à la menace érosive²⁰².

202 STEPHAN Pierre, FICHAUT Bernard, SUANEZ Serge, 2012. *Les sillons de la rade de Brest et les marais maritimes associés*, tome 1. IUEM. 65p.

S'il y a bien une zone menacée par l'érosion littorale en Bretagne c'est la Baie d'Audierne. Les sédiments y sont à dominance meuble et, à l'inverse de la rade de Brest, directement exposés aux houles et aux vents dominants. Une combinaison de facteurs propice à l'érosion. Pour dresser une brève description du site, disons simplement qu'une vaste plage de sable fin s'étend sur près de 12 km de long et jusqu'à 350 m de large de Penhors à la pointe de la Torche. En arrière de cette plage, l'Ero Vili s'étend de Penhors à l'étang de Trunvel. Il s'agit d'un cordon de galets qui, en barrant les exutoires des bassins versants côtiers, a engendré plusieurs étangs littoraux. A partir de Trunvel et jusqu'à la pointe granitique de la Torche, l'Ero Vili disparaît et laisse place aux dunes sableuses. Exploité par les allemands pour construire le mur de l'Atlantique puis par les entrepreneurs locaux jusqu'à la fin des années 1960, le cordon de galets a été fortement fragilisé, si bien que les tempêtes des hivers 1966, 1978, 1981-1982, 1989-1990 et 2014-2015 n'ont eu aucun mal à l'étaler. Les apports de sable éoliens ont par la suite recouvert les galets, formant des dunes qui ont été sculptées en falaise par les vagues. A cause de la pression anthropique, le recul du trait de côte a été maximal entre 1966 et 1975 : jusqu'à 4 m/an localement. Il a par la suite progressivement ralenti tout en se poursuivant. Les plans cadastraux et cartes géométriques remontant parfois jusqu'à la fin du XVIIIe siècle ainsi que les photographies aériennes réalisées par l'IGN tous les cinq à dix ans depuis 1951 ont permis de rendre compte de cette évolution de long terme. Mais si la baie d'Audierne a connu une forte érosion par le passé sous l'effet des pressions anthropiques, la comparaison de photographies aériennes prises par l'IGN en 1990 et 2000 et de relevés topographiques réalisés en 2004 révèle que le recul du trait de côte se poursuit et s'est révélé particulièrement rapide au cours des dernières décennies, jusqu'à 1,49 m/an entre 1990 et 2004.



Il n'a toutefois pas été d'une ampleur identique sur tout le linéaire côtier :

- Sans surprise, compte tenu de la stabilité générale des côtes rocheuses, les falaises de Penhors comptent parmi les secteurs à avoir le moins reculé, que ce soit dans un passé lointain ou récent puisque entre 1828 et 2004, le retrait est toujours resté voisin de 0,20-0,25 m/an. Néanmoins, ce dernier a mis en péril les chemins, les habitations et les équipements des zones urbanisées implantées à proximité de la falaise. Cela a conduit la commune de Pouldreuzic à procéder à des enrochements sur près de 500 m.
- L'Ero Vili a quant à lui surtout souffert des prélèvements de galets. Avant la Seconde Guerre Mondiale, les vitesses de recul de l'Ero Vili étaient de l'ordre de 0,5 à 0,6 m/an en moyenne et jusqu'à 0,9 m/an localement. Toutefois, après les extractions massives entre 1940 et 1960, le recul s'est considérablement accéléré. Au niveau de l'exutoire de l'étang de Trunvel, c'est-à-dire à l'extrémité sud du cordon de galets, le recul du trait de côté est estimé

à 90 mètres entre 1943 et 1992 soit une vitesse moyenne de 2 m/an avec des périodes d'accélération marquées comme entre 1966 et 1975 durant laquelle le recul est estimé à plus de 4 m/an. Cette érosion était toutefois moins marquée au nord avec des valeurs de 0,9 m/an à Gronval et 0,5 m/an à Ruvein entre 1966 et 1988. Récemment, le retrait de l'Ero Vili s'est poursuivi mais moins rapidement que par le passé. En 14 ans, le cordon de galets aurait ainsi reculé de 11,41 mètres en moyenne soit 0,81 m/an avec des accélérations soudaines liées à la météo comme lors des violentes tempêtes de décembre 1989, de janvier et de février 1990 qui ont entraîné à elles seules un recul de 20 à 25 mètres. Ce qui a changé, c'est surtout la répartition de la pression érosive le long de l'Ero Vili. Alors qu'elle s'atténue à l'extrémité sud du cordon de galets (entre 0,25 et 0,55 m/an entre l'étang de Kergalan et l'exutoire de l'étang de Trunvel), elle a tendance à augmenter au nord, en particulier entre Gronval et Ruvein où elle est désormais comprise entre 0,8 m/an et 1,5 m/an.

- Enfin, les dunes sableuses de Tronoën, dans l'extrême sud de la zone considérée, connaissent quant à elles une évolution contrastée. Les prélèvements de la Seconde Guerre Mondiale qui ont précipité l'étalement du cordon de galets sur l'estran ont d'abord permis à la mer de saper les accumulations éoliennes situées en arrière, accélérant de ce fait la vitesse de retrait du rivage. Entre 1944 et 1966, le recul du rivage au niveau de Tronoën était de 2 à 3 m/an en moyenne et a pu atteindre 4 m/an certaines années. Puis, cette vitesse a diminué à 1,1 m/an jusqu'en 1990, sans doute du fait de conditions météo-marines plus clémentes. Enfin, de 1990 à 2004, l'érosion s'est poursuivie à une vitesse plus ou moins semblable à la période précédente au sud de l'ancien aqueduc de Trunvel mais au nord de celui-ci, le rivage a progressé jusqu'à 0,66 m/an en moyenne. Là où l'Ero Vili a disparu, les dunes ont pu prendre appui sur le cordon de galets aplani et l'ont ainsi remplacé en tant que barrières naturelles. La brèche causée au niveau de Trunvel par la tempête de l'hiver 1978 a par exemple été comblée par le sable et aujourd'hui, une dune de 7,5 mètres au dessus du niveau de la mer se tient à l'emplacement de cet ancien exutoire²⁰³.

Il était nécessaire de détailler l'évolution du trait de côte de la baie d'Audierne en diverses zones de son linéaire côtier afin de rendre compte d'une réalité : celui-ci évolue à une échelle très locale, (il peut être tantôt en érosion, tantôt en accrétion sur seulement quelques kilomètres) et de façon très ponctuelle, à la faveur des conditions météorologiques et non pas climatiques. Cette évolution est conditionnée par les activités anthropiques qui contribuent à perturber le transit sédimentaire, ainsi que par l'apport de sédiments qui varie grandement en fonction du matériau

203 FAYE Ibrahima B. Nd., HENAFF Alain, HALLEGOUET Bernard, 2006. Evolution récente de la ligne de rivage en baie d'Audierne : de Penhors à la pointe de la Torche. *Penn ar Bed* n°199/200 : *Géomorphologie littorale en Finistère*, décembre 2006/mars 2007, pages 50-61.

considéré. Ainsi, dans la baie d'Audierne, les apports de galets depuis le nord sont minimes, rendant l'érosion de l'Ero Vili irréversible tandis qu'un stock important de sable existe au sud, ce qui a permis à la dune de progresser par endroits²⁰⁴.

Quelles conséquences pour la biodiversité peut-on attendre de l'érosion littorale au niveau de la baie d'Audierne ? Ce site présente une grande importance écologique et paysagère et est soumis à diverses mesures de protection (zone de protection spéciale dans le cadre du réseau européen de sites protégés Natura 2000, réserve de Bretagne Vivante...). Cette richesse naturelle tient principalement à la présence de nombreuses palues c'est-à-dire des marais d'eau saumâtre ou douce nés de la fermeture d'anfractuosités du rivage par l'Ero Vili. Ainsi, un nombre important d'étangs s'est formé juste en arrière du cordon de galets et des dunes protectrices. Parmi ces étangs, celui de Trunvel est certainement l'un des plus intéressants d'un point de vue faunistique et floristique. Les échanges avec l'eau de mer sont rares, ce qui a permis le développement d'une végétation dominée par la roselière. Celle-ci n'est pas elle-même un habitat d'intérêt communautaire mais sert de refuge pour plusieurs espèces d'oiseaux inscrits en annexe I de la Directive Oiseaux. En tout, 262 espèces d'oiseaux y ont été observées dont 19 font partie d'une liste d'espèces prioritaires pour le site Natura 2000 "baie d'Audierne"²⁰⁵. Parmi ces espèces remarquables, on peut citer l'hivernage du butor étoilé ou encore la nidification de la panure à moustaches. Mais surtout, le site constitue une zone d'alimentation importante pour les fauvettes paludicoles lors de leurs haltes migratoires ce qui a motivé la création d'une station de baguage en 1990, dont le fonctionnement a été assuré par Bretagne Vivante depuis cette date²⁰⁶. Si les études s'intéressent à la biologie de reproduction de la rousserolle effarvate, l'importance de la baie d'Audierne pour la migration du phragmite des joncs ou encore l'écologie de la panure à moustaches, c'est le phragmite aquatique qui monopolise l'essentiel de l'attention depuis quelques années. Il s'agit de l'un des passereaux les plus menacés d'Europe pour lequel un plan d'action européen a été proposé par la Commission européenne et adopté par le Conseil de l'Europe en 2002. Entre 2004 et 2009, l'association Bretagne Vivante a piloté le programme LIFE "Conservation du phragmite aquatique en Bretagne" visant à restaurer les habitats favorables à son accueil dans la région²⁰⁷. Si l'intérêt premier de Trunvel est son avifaune, l'étang possède aussi une végétation riche. On y a dénombré 248 espèces de plantes dont 12 sont inscrites en liste rouge des espèces du massif armoricain. Parmi celles-ci, on peut citer quelques

204 Ibid.

205 Bretagne Vivante. *La réserve de l'étang de Trunvel*. [en ligne] <http://www.bretagne-vivante.org/content/view/364/172/>

206 BARGAIN Bruno, HENRY Jacques, 2005. *Penn ar Bed n°193/194 : Les oiseaux de la Baie d'Audierne*, juin/septembre 2015.

207 Collectif, 2008. *Penn ar Bed n°206 : Le phragmite aquatique, espèce mondialement menacée. Actes du séminaire du Life "conservation du phragmite aquatique en Bretagne"*, 120p.

plantes protégées comme l'astragale de Bayonne, le flûteau nageant ou l'orchis des marais²⁰⁸. Ainsi, on constate que la fermeture de l'étang de Trunvel et des autres palues de la baie par l'Ero Vili a permis le développement d'une faune et d'une flore typique des marais d'eau douce ou saumâtre à partir d'anciennes rias. Le retour de ces étangs à la mer signifierait donc la perte de cette biodiversité si particulière. Mais ce risque existe-t-il vraiment ? Pas dans un avenir proche en tous cas. En effet, la dune est localement en accrétion dans le secteur de Trunvel et y remplace le cordon de galets. Les sables, de par le diamètre plus petit des grains, sont plus imperméables et la tendance qui semble se profiler à l'horizon serait plutôt celle d'une diminution des échanges entre les étangs littoraux et la mer²⁰⁹. Quand bien même un tel scénario se produirait, on pourrait alors assister à la création de zones lagunaires favorables à la biodiversité. Selon Gaëtan Guyot, c'est lorsqu'il fonctionnait encore comme une lagune, avant 1978, que l'étang de Trunvel a atteint son optimum de biodiversité²¹⁰. La transformation des étangs de la baie d'Audierne en lagunes communiquant davantage avec la mer pourrait par ailleurs avoir des conséquences positives pour un certain groupe faunistique que le changement climatique devrait particulièrement affecter et qui représente un enjeu de conservation important en Bretagne : les poissons migrateurs amphihalins. De nombreux cours d'eau du pays Bigouden et du cap Sizun sont reconnus comme prioritaires pour ces poissons qui accomplissent alternativement leur cycle de vie en eau douce et en eau salée. La libre circulation entre ces deux milieux leur est vitale. Or, un diagnostic de la continuité écologique de 12 estuaires du pays Bigouden mené par Ouest Cornouaille Eau montre des possibilités de franchissement limitées au niveau des exutoires des étangs de la baie. Au niveau de la brèche de Trunvel, exutoire naturel des étangs de Trunvel et Kergalan, la faible lame d'eau qui s'écoule sur le sable rend difficile la montaison (c'est-à-dire le retour en eau douce pour se reproduire) des salmonidés et des aloses. Aussi le franchissement est-il seulement possible à l'occasion des fortes marées, sauf pour les anguilles. Même chose pour l'étang de Saint-Vio qui n'entretient la plupart du temps aucun échange avec la mer, sauf en hiver, lorsque son exutoire se charge en eau et se vide par écoulement dans l'océan. La dévalaison (c'est-à-dire le retour en mer) n'est donc possible qu'à cette période²¹¹. L'ouverture des étangs à la mer favoriserait donc les déplacements de poissons amphihalins entre les deux milieux nécessaires à leur cycle de vie.

La baie d'Audierne est un secteur en constante évolution et les modifications des milieux que pourrait engendrer l'augmentation du niveau de la mer ne seraient pas nécessairement néfastes

208 Bretagne Vivante. *La réserve de l'étang de Trunvel*. [en ligne] <http://www.bretagne-vivante.org/content/view/364/172/>

209 SIVU de la Baie d'Audierne, 2008. *Compte rendu de l'atelier "Oiseaux, autres espèces et habitats naturels" en date du 15/10/08*.

210 Communication personnelle Gaëtan Guyot.

211 OUESCO, 2012. *Diagnostic de la continuité écologique des estuaires de l'ouest Cornouaille*. 51p.

pour la diversité biologique dans le sens où les habitats remarquables que nous connaissons actuellement pourraient céder la place à d'autres milieux très différents mais tout aussi intéressants en matière de faune et de flore.

Ces exemples montrent la grande variabilité du phénomène érosif le long des côtes bretonnes. Sur quelques kilomètres seulement, des situations opposées peuvent se succéder et selon les aléas météorologiques, elles peuvent rapidement s'inverser. En effet, selon le géomorphologue Alain Hénaff, il convient de distinguer trois échelles de temps auxquelles il est possible d'associer les différents facteurs impliqués dans le phénomène d'érosion. La pénurie de sédiments relève de l'échelle des temps géologique. Elle est due à l'épuisement progressif d'un stock sédimentaire essentiellement relictuel issu de la dernière glaciation. L'augmentation du niveau de la mer appartient quant à elle à l'échelle séculaire. Il s'agit d'un phénomène global, relativement lent et progressif qui aura un impact structurel sur l'évolution du phénomène érosif en aggravant les conséquences des phénomènes climatiques extrêmes. Enfin, la direction et la force des vents ainsi que les tempêtes ou même les coefficients de marée appartiennent à l'échelle météorologique. Ces facteurs ponctuels ont les conséquences les plus spectaculaires à court terme mais, sur le long terme, leur incidence sur l'évolution du trait de côte sera presque nulle en comparaison de l'impact plus insidieux de l'augmentation du niveau de la mer²¹².

Cet impact est certain mais est-il possible de le quantifier et de prédire son ampleur dans le futur ? En France, la principale étude prévisionnelle sur l'évolution du trait de côté a été menée par le Conservatoire du littoral sur les sites dont il est propriétaire ainsi que ceux dont il prévoit l'acquisition future. Ces projections se sont basées sur l'hypothèse d'une remontée du niveau moyen de la mer de 44 cm à l'horizon 2100. En Bretagne c'est dans le Finistère que la mer progressera le plus sur la terre (64,3 ha). Deux sites seront principalement exposés : celui de Kerouiny (23 ha) et celui de la baie d'Audierne (35 ha). Au total, le bilan fait apparaître une perte de 77 ha à l'échelle de la région soit 1,7 % de la surface du patrimoine actuellement acquis par le Conservatoire du littoral. Si on considère maintenant les acquisitions à venir, l'essentiel de la surface perdue se concentrera toujours dans le Finistère, le site le plus touché étant de nouveau la baie d'Audierne qui pourrait perdre 62 ha, soit la moitié de la surface susceptible d'être érodée sur cette façade. Si le trait de côte en Ile-et-Vilaine apparaît stable, c'est surtout parce le site de la baie du Mont-Saint-Michel, non concerné par le phénomène d'érosion mais au contraire soumis à l'accrétion, occupe l'essentiel de la

212 HENAFF Alain, MEUR-FEREC Catherine, LAGEAT Yannick, 2013. Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles. *Cybergeo : European Journal of Geography*, rubrique "Environnement, Nature, Paysage", document 654. [en ligne] <https://cybergeo.revues.org/26058>

surface du patrimoine futur du Conservatoire dans ce département. Les sites des Côtes-d'Armor devraient être peu concernés par le phénomène d'érosion. Il en va de même pour les grands sites du Morbihan, à l'exception des dunes du Mat Fernoux qui devraient perdre 13 ha. Au final, le bilan fait apparaître une perte totale de 126 ha, soit 0,7 % de la surface du patrimoine futur sur la façade bretonne. Mais cela reste modéré en comparaison d'autres régions telles que la Normandie, le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie. En Loire-Atlantique, 30 % des sites du Conservatoire n'ont pas pu faire l'objet de projections en raison d'un manque de données disponibles. Sur les soixante-dix autres pourcents pris en considération, aucun site ne devrait normalement reculer²¹³.

Artificialisation du littoral et augmentation du niveau de la mer : l'estran pris en étau ?

Nous l'avons vu au travers de l'exemple de la rade de Brest, les aménagements anthropiques peuvent perturber les flux sédimentaires et accroître localement les phénomènes d'érosion ou d'engraissement. Mais qu'en est-il lorsque des ouvrages anthropiques fixent artificiellement le trait de côte ? Les littoraux français sont soumis à une pression humaine très importante qui va croissant. La densité de population y est par exemple 2,5 fois supérieure à la moyenne du territoire métropolitain, les communes littorales accueillant 10 % de la population française alors qu'elles n'occupent que 4 % du territoire. Mais c'est surtout le tourisme qui aggrave la pression foncière puisqu'on y trouve 51 % des résidences de vacances soit une capacité d'hébergement de sept millions de lits (résidences secondaires/hôtels/campings). A cette pression humaine correspond une part très importante de territoires artificialisés en bord de mer. Les zones urbaines, industrielles, réseaux de communication et espaces verts recouvrent 13 % du territoire des communes littorales soit 2,7 fois plus que la moyenne métropolitaine. Cette part monte à 27 % à moins de 500 m de la mer soit 5,6 fois plus²¹⁴. Par ailleurs, l'augmentation du niveau de la mer accroît sensiblement le risque de submersion lors des tempêtes. Or, le littoral étant fortement artificialisé, de nombreuses installations humaines sont exposées à cette menace. Pour les protéger, des ouvrages de défense contre la mer ont donc été érigés en arrière du trait de côte... aux dépens de la zone intertidale et de sa biodiversité extrêmement riche. En effet, de tels aménagements menacent son existence même puisqu'ils sont susceptibles d'empêcher, à terme, la reconstitution de ce milieu en arrière d'un trait de côte en perpétuel recul. Ainsi, l'estran pourrait, par endroits, être pris en étau entre la mer d'un côté et le béton de l'autre. A l'échelle de la France, les zones portuaires, les digues et les remblais représentent 16,7 % des côtes. Les ouvrages de défense contre la mer représentent quant à eux 18,7

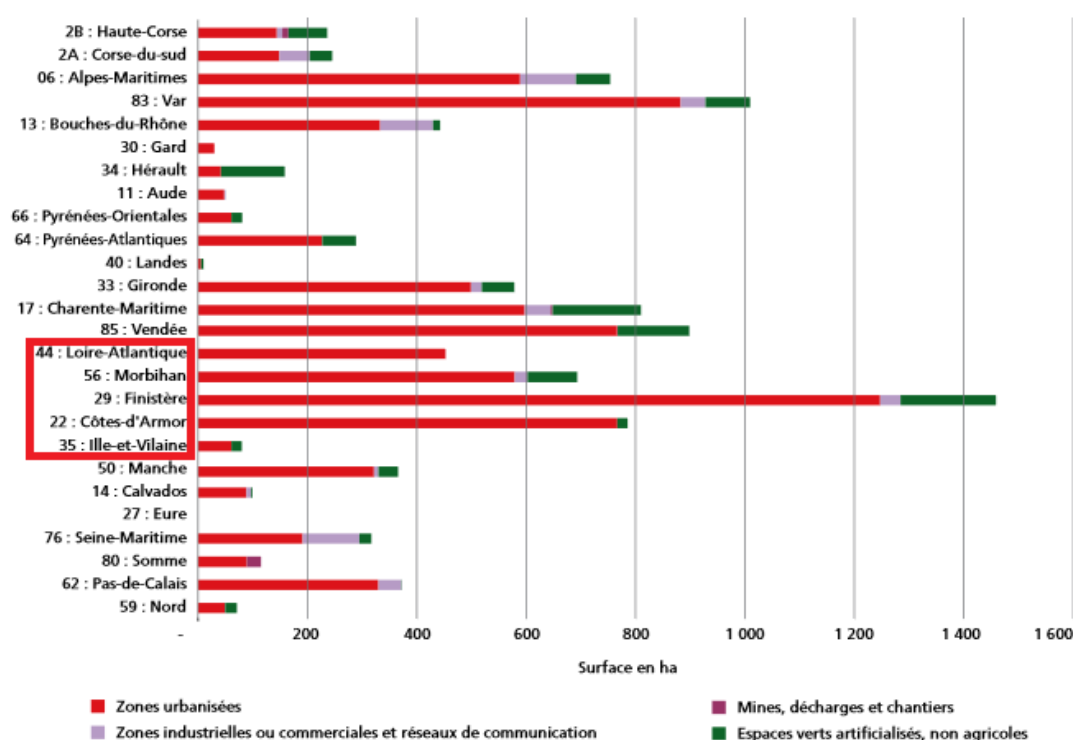
213 CLUS-AUBY Christine, PASKOFF Roland, VERGER Fernand, 2004. *Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral. Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100 – Synthèse*. Conservatoire du Littoral. 43p.

214 Institut français de l'environnement, 2007. Le littoral, entre nature et artificialisation croissante. *Le 4 pages ifen* n°120, octobre 2007.

% du littoral. Ils sont notamment importants en Bretagne. Les principaux secteurs d'endiguement sont situés sur le littoral de la Manche (Calvados et Ille-et-Vilaine) et sur le littoral nord de l'Atlantique (Morbihan, Loire-Atlantique, Charente-Maritime). Au total, 44 % du linéaire où ils sont présents recule. Cela représente près de 600 km de côtes et un peu plus du tiers de l'ensemble des côtes métropolitaines en érosion. En raison de l'importance de leur linéaire côtier, tous les départements bretons, à l'exception de l'Ille-et-Vilaine, présentent une forte surface à la fois soumise à l'artificialisation et au recul du trait de côte²¹⁵.

Des enjeux importants de la Bretagne à la Gironde et sur la Côte d'Azur

Territoires artificialisés à moins de 250 m des côtes reculant, par façade maritime départementale



Source : UE - Ifen - Observatoire du littoral. d'après Eurosis database. 2004 et CORINE Land Cover. 2000.

Dans ces secteurs, la zone intertidale ne se décale pas, elle se réduit. Comme dans beaucoup d'autre milieux, le changement climatique ne constitue donc pas une menace en tant que tel. C'est la combinaison de ses impacts avec ceux des activités humaines qui met réellement en péril la biodiversité. S'il est impossible d'agir sur l'augmentation du niveau de la mer au niveau local puisque cela suppose de limiter le réchauffement climatique à l'échelle globale, il nous est possible de limiter l'artificialisation de nos côtes bretonnes voire d'entreprendre la renaturation de certaines portions du littoral. Aussi, c'est dans cette voie que devront s'inscrire les mesures destinées à favoriser l'adaptation de la biodiversité du littoral à l'augmentation du niveau de la mer.

²¹⁵ Institut français de l'environnement, 2007. Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine. *Les dossiers ifen n°06*, octobre 2007.

3) L'acidification des océans

Aux côtés du réchauffement de la mer et de l'érosion du littoral, l'acidification des océans est souvent présentée comme la troisième conséquence majeure du changement climatique liée au milieu marin. Toutefois, ne nous méprenons pas, l'acidification n'est pas une conséquence du changement climatique à proprement parler. Il s'agit plutôt d'une autre conséquence directe de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ due aux rejets d'origine anthropique. Un phénomène ayant donc la même origine que le changement climatique sans y être lié directement. Afin de comprendre ce phénomène complexe et son impact sur la biodiversité marine, il est nécessaire de s'intéresser aux multiples réactions chimiques dont il est le résultat.

Tout d'abord, il faut savoir que l'océan contribue grandement au stockage du dioxyde de carbone par l'intermédiaire de deux mécanismes : la pompe biologique et la pompe physique. La pompe biologique correspond à la captation de CO₂ par le phytoplancton pour accomplir la photosynthèse tandis que la pompe physique correspond tout simplement à sa dissolution dans l'eau de mer²¹⁶. Par l'intermédiaire de ces deux processus, les océans ont ainsi absorbé 30 % des émissions de CO₂ anthropique depuis 1800 et contiennent aujourd'hui 65 fois plus de CO₂ que l'atmosphère²¹⁷. L'acidification des océans est liée à ce transfert de CO₂. En effet, il existe un échange gazeux permanent entre l'atmosphère et les océans (mais aussi les lacs et les rivières) et un équilibre entre les concentrations atmosphérique et dissoute en dioxyde de carbone. Une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère rompt cet équilibre qui, pour être rétabli, implique une dissolution de l'excès de CO₂ dans l'eau. Plusieurs réactions chimiques s'ensuivent alors. Tout d'abord, une molécule de CO₂ se combine avec une molécule d'eau en formant une molécule d'acide carbonique (CO₂ + H₂O → H₂CO₃). Cet acide, instable, se dissocie directement en un ion hydronium H⁺ et en un ion bicarbonate (HCO₃⁻). C'est à ce niveau qu'intervient le phénomène d'acidification. En effet, le pH d'une solution, qui détermine si celle-ci est acide (valeur inférieure à 7), neutre (égale à 7) ou basique (supérieure à 7), correspond en réalité à l'équilibre entre ions hydronium H⁺ et ions hydroxyde OH⁻ (pH signifie “potentiel hydrogène”). Plus la concentration en ions H⁺ est élevée par rapport à celle en ions OH⁻, plus la valeur du pH sera faible et plus la solution sera “acide”. Cela signifie que lorsque la concentration atmosphérique en CO₂ augmente et que cet excès se dissout en partie dans l'eau de mer, le pH de celle-ci diminue :

216 Futura Environnement par Futura Sciences, 2011. *Océans : la pompe à carbone et le rôle du plancton*. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/rechauffement-climatique-oceans-pompe-carbone-role-plancton-2625/>

217 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

elle s'acidifie. Toutefois, ce n'est pas ce qui importe le plus du point de vue de la biodiversité. L'ion H^+ ainsi libéré tend à s'associer avec un ion carbonate (CO_3^{2-}) présent dans l'eau pour former un ion bicarbonate ($H^+ + CO_3^{2-} \rightarrow HCO_3^-$). Donc la concentration en ions carbonate de l'eau de mer diminue de plus en plus à mesure que des ions hydronium sont produits. Or, les organismes calcifiants, c'est-à-dire ceux qui sont protégés par une coquille, une carapace ou un squelette en carbonate de calcium ou plus simplement "calcaire" ($CaCO_3$), comme par exemple les crustacés, les coquillages mais aussi certaines algues, utilisent ces ions carbonate pour créer leurs protections. C'est la calcification : $Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$. S'il y a moins d'ions carbonate dans l'eau (à cause de l'augmentation de la quantité de CO_2), leurs coquilles deviennent plus fragiles, ils mettent plus de temps à la construire et leur taux de survie diminue²¹⁸. En effet, le calcaire étant soluble dans l'eau, les organismes calcifiants ont besoin d'une concentration en ions carbonate suffisante pour compenser sa dissolution. Lorsque cet équilibre est atteint, l'eau est dite saturée en carbonate de calcium. Or, la solubilité du calcaire augmente à mesure que la pression augmente et que la température diminue aussi les eaux profondes sont-elles défavorables à la calcification et c'est pourquoi les organismes calcifiants vivent plutôt en eau peu profonde, en particulier près des côtes. Il existe donc une frontière naturelle surnommée "horizon de saturation" au-dessus de laquelle le carbonate de calcium peut se former mais en dessous de laquelle il se dissout trop facilement. Dans l'océan Atlantique, elle se situe en moyenne à 3 500 mètres de profondeur. En diminuant la concentration en ions carbonate dans les eaux superficielles, l'acidification contribue à faire remonter cet horizon de saturation réduisant par là-même l'habitat disponible pour les organismes calcifiants²¹⁹. Néanmoins, nous verrons que la vulnérabilité de ces derniers dépend de la composition minéralogique de leur coquille ou carapace. Le carbonate de calcium, ou calcaire, existe en effet sous deux formes cristallines : la calcite, la forme la plus commune et la plus stable de carbonate de calcium, et l'aragonite, uniquement stable à haute pression et haute température, et qui se transforme très lentement en calcite en quelques dizaines voire centaines de millions d'années à température ambiante. Selon les espèces, la coquille ou l'exosquelette des organismes marins sera construit sous l'une ou l'autre de ces formes, voire une superposition des deux. Moins stable et plus soluble que la calcite, l'aragonite sera la première affectée par l'acidification des océans et verra son horizon de saturation remonter plus rapidement²²⁰.

218 Wiki Débrouillard, 2015. Acidification des océans par le CO_2 . [en ligne]

http://www.wikidebrouillard.org/index.php/Acidification_des_oc%C3%A9ans_par_le_CO2

219 NOISETTE Fanny, 2014. *Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés*. Thèse de doctorat. Paris IV : Université Pierre et Marie Curie. 267p.

220 ORR James C. & al, 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on

Si l'acidification est un phénomène particulièrement fâcheux pour la biodiversité marine, n'oublions pas qu'il s'agit de la conséquence directe du stockage de carbone et donc de l'atténuation du changement climatique assurée par les océans ! Un service dont l'efficacité est amenée à décroître à mesure que l'océan s'acidifiera et se réchauffera. En effet, les ions carbonate présents dans l'eau de mer sont en réalité ce qui permet de limiter l'acidification des océans par les ions hydronium. Leur consommation pour former des ions bicarbonate réduit progressivement la capacité des eaux superficielles à absorber davantage de CO₂. Par ailleurs, le CO₂ étant de moins en moins soluble à mesure que la température augmente, le réchauffement climatique devrait également diminuer la capacité de stockage de l'océan mondial. Cette capacité aurait déjà diminué de 70 % depuis le début de l'ère industrielle et pourrait encore diminuer de 20 % d'ici la fin du XXI^e siècle²²¹. Si l'acidification des océans est déjà un problème en soi, elle est également le signal d'alarme d'un autre problème qui pourrait rendre vaines nos tentatives d'atténuation du changement climatique dans le futur.

Quelle est l'ampleur du phénomène ?

A l'échelle mondiale, le GIEC note une diminution du pH des océans de 0,1 unité (passant donc de 8,2 à 8,1) depuis 1750, ce qui correspondrait à une diminution de la concentration en ions carbonate de plus de 10 %. L'acidification serait surtout marquée dans l'Atlantique nord et l'océan Austral, la solvabilité du CO₂ dans l'eau augmentant à mesure que la température de l'eau diminue²²². Au niveau régional, les données manquent pour rendre compte de ces évolutions car la seule série dont nous disposons est trop courte pour être pertinente. Les mesures hebdomadaires réalisées par le Service d'observation en milieu littoral à la station rade de Brest-Portzic entre 2002 et 2011 ne montrent en effet aucune tendance significative si ce n'est une très légère baisse du pH sur dix ans²²³.

calcifying organisms. *Nature* vol.437, pages 681-686.

221 World Meteorological Organization, 2014. *WMO greenhouse gas bulletin n°10*.

222 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

223 ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.

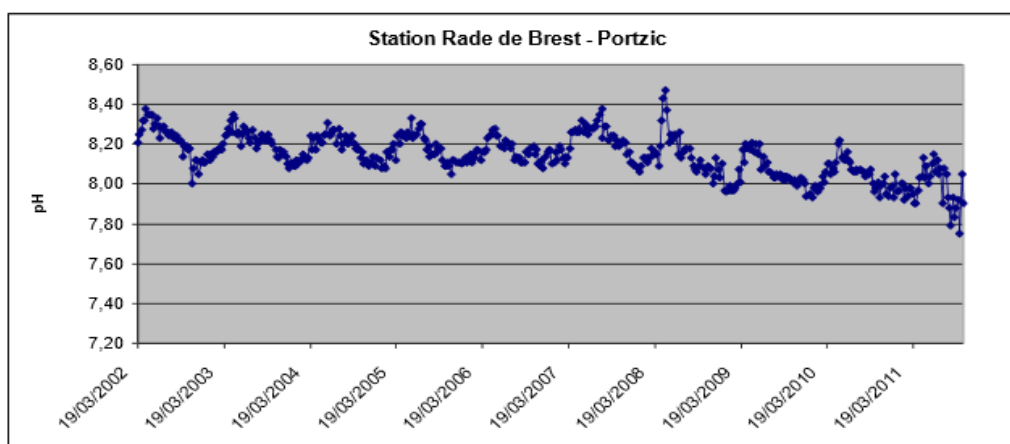


Figure 79 : Evolution du pH de surface enregistré à la station rade de Brest-Portzic, toutes les semaines entre 2002 et 2011 (données : Service d'Observation en Milieu Littoral, INSU-CNRS).

Dans le futur, les projections réalisées par Feely & al. prévoient que si les émissions de CO₂ se poursuivaient au taux actuel (scénario A2), la concentration en CO₂ dissout augmenterait de 12 % d'ici 2095 tandis que la moyenne du pH des eaux marines superficielles descendrait à 7,8. Si cette acidification peut nous paraître modérée, Feely & al. rappellent qu'une telle baisse du pH des océans ne s'était pas produite au cours des dernières vingt million d'années ce qui laisse présager un impact significatif sur le système biologique marin. De plus, celle-ci correspondrait à une diminution de la concentration en ions carbonate de 60 %²²⁴. Enfin, l'horizon de saturation des carbonates de calcium devrait remonter considérablement. Par exemple, il est prédit pour l'aragonite qu'il s'élèvera de 2820 à 110 mètres d'ici 2100, dans l'Atlantique nord²²⁵.

Quels impacts sur la biodiversité marine ?

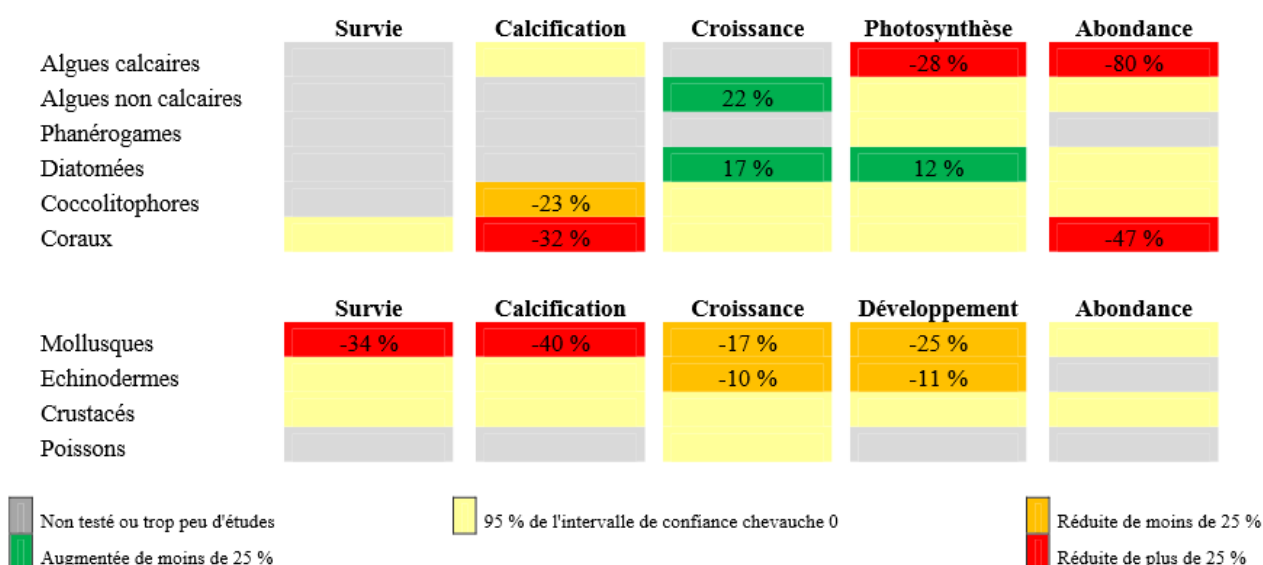
L'acidification des océans devrait affecter de nombreux taxons et, bien que la recherche en soit encore à ses débuts, les études dont nous disposons déjà permettent d'avoir une vue d'ensemble de son l'impact sur les écosystèmes marins. Une méta-analyse synthétisant 228 études a notamment été proposée par Kroeker & al. en 2008. Un tableau récapitulant l'ensemble des résultats disponibles montre que l'acidification devrait affecter la calcification, la croissance, le développement, l'abondance ou encore la survie des espèces marines. Pour certains groupes non-calcaires, les conséquences pourront être positives tandis qu'elles seront systématiquement négatives dans le cas des organismes calcifiants²²⁶.

224 FEELY Richard A. & al., 2004. Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans. *Science* vol.305, pages 362-366.

225 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

226 NOISETTE Fanny, 2014. *Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés*. Thèse de doctorat. Paris IV : Université Pierre et Marie Curie. 267p.

Tableau 0-2: Résumé des principaux effets de l'AO sur différents taxons clé. D'après Kroeker *et al.* 2013c



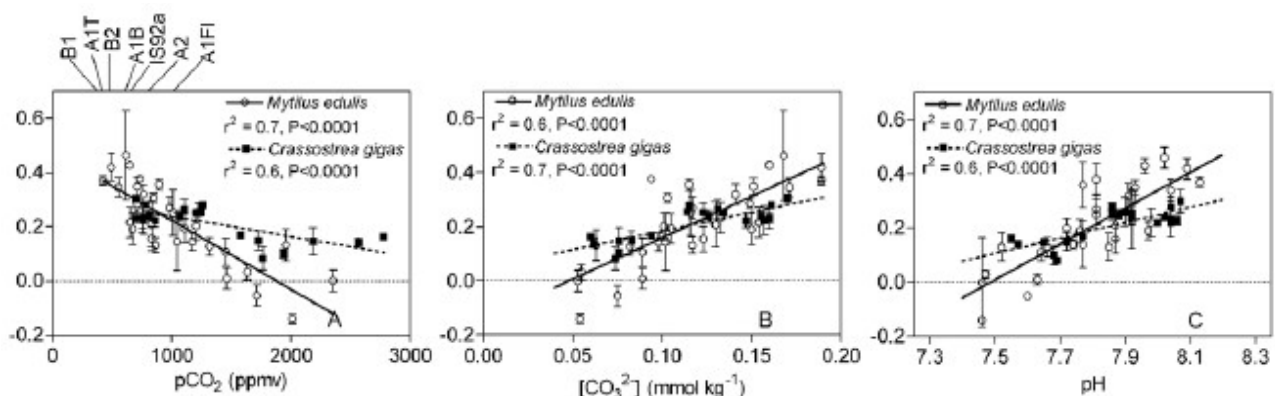
Si plusieurs études mono-spécifiques ont donc été menées, les conséquences indirectes liées aux interactions entre niveaux trophiques sont moins bien connues que pour le réchauffement de l'océan. A la base de la chaîne alimentaire, la vulnérabilité des foraminifères et des ptéropodes qui produisent des coquilles calcaires laisse présager des conséquences importantes sur les niveaux trophiques supérieurs sans que l'on sache encore précisément lesquelles²²⁷. Il serait vain d'essayer de présenter l'intégralité des impacts de l'acidification sur le milieu marin. Aussi, cette partie se focalisera sur des espèces présentant un enjeu fort à l'échelle de la région, qu'il soit économique ou patrimonial.

Premières victimes de l'acidification, les organismes calcifiants représentent une part importante de ce que l'on consomme sous le nom de “fruits de mer”. Aussi, l'acidification des océans fait-elle peser une sérieuse menace sur l'aquaculture et la pêche qui les exploitent. De quoi motiver la réalisation de travaux de recherche sur le sujet. Une étude menée par Gazeau *et al.* (2007) s'est notamment intéressée aux conséquences de l'acidification des océans sur la calcification de deux mollusques d'intérêt commercial majeur : l'huître creuse du Pacifique (*Crassostrea gigas*) et la moule commune (*Mytilus edulis*)²²⁸. Ces deux espèces représentent à elles seules l'essentiel de la production conchylicole française avec respectivement 79 220 tonnes produites en 2012 pour l'huître creuse et 59 781 tonnes pour la moule commune. La Bretagne est par ailleurs la première

227 ORR James C. & al, 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* vol.437, pages 681-686.

228 GAZEAU Frédéric & al., 2007. Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters* vol.34 issue 7.

région productrice de moules communes²²⁹. L'étude qui nous intéresse a quant à elle été menée sur les côtes néerlandaises mais reste pertinente pour rendre compte des impacts potentiels sur la conchyliculture bretonne. De mai/juin à juillet 2006, des spécimens adultes et juvéniles des deux espèces ont été prélevés à marée basse dans l'estuaire de l'Escaut, près de la frontière avec la Belgique. Ils ont ensuite été placés dans deux aquariums de dix litres, chacun relié à un réservoir de dioxyde de carbone. Dans l'un des deux réservoirs, la concentration en CO₂ fut maintenue à environ 600 ppmv (particules par million en volume), c'est-à-dire la concentration en CO₂ moyenne relevée sur le site de prélèvement des bivalves, tandis que l'autre a été paramétré de façon à ce qu'il soit possible d'ajuster la concentration en CO₂ au niveau souhaité. On l'a donc fait varier autour de la valeur témoin, entre 421 et 2 351 ppm pour la moule commune et entre 698 et 2774 ppm pour l'huître creuse. Les résultats montrent sans surprise une forte dépendance du taux de calcification des deux espèces à la concentration en CO₂ et donc en ions carbonate mais révèlent également que la moule commune y serait significativement plus sensible que l'huître creuse du Pacifique. Au dessus de 1800 ppm, la coquille de la moule commence d'ailleurs à se dissoudre tandis que celle de l'huître ne s'est jamais désagrégée, même à des concentrations en CO₂ extrêmes.



Évolution du taux de calcification de l'huître creuse du Pacifique (*Crassostrea gigas*) et de la moule commune (*Mytilus edulis*) en fonction de la concentration en CO₂, de la concentration en ions carbonate et du pH.

Cela peut s'expliquer par la composition minéralogique différente des coquilles. En effet, alors que la coquille de l'huître est majoritairement composée de calcite, celle de la moule commune contient plus de 83 % d'aragonite. Or, au cours des expérimentations, l'eau est toujours restée saturée en calcite, même aux concentrations en CO₂ les plus élevées, tandis qu'elle devenait sous-saturée en aragonite à des valeurs voisines de 2000 ppmv, confirmant que l'aragonite est plus vulnérable à l'acidification que la calcite. Mais que nous apprennent ces résultats sur le devenir des huîtres et des

²²⁹ Agreste, 2012. Recensement de la conchyliculture 2012. *Agreste Primeur* n°316, Juillet 2014.

moules dans le futur ? Les chercheurs se sont basés sur une concentration future de 740 ppm pour établir que la calcification des huîtres et des moules devrait respectivement diminuer de 10 % et 25 % d'ici 2100²³⁰. Cette concentration de 740 ppmv correspond à un ancien scénario climatique de la famille IS92 qui a été remplacée par les scénarii SERS en 2007, soit l'année de publication de cette étude. Aussi, la pertinence de ses prévisions est-elle limitée à l'heure des scénarii RCP/SSP, bien que cela ne remette pas en cause l'impact de l'acidification sur la calcification des huîtres et des moules qu'elle a permis de mettre en évidence et qui pourrait se traduire par d'importantes pertes économiques pour la conchyliculture bretonne. Les conséquences des changements globaux auxquels nous assistons aujourd'hui ne seront toutefois pas uniquement négatives. Si l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ conduit à l'acidification des océans qui menace la survie des mollusques bivalves que nous exploitons, n'oublions pas que le réchauffement climatique dont elle est également responsable a pu se révéler profitable à la conchyliculture française et bretonne. Si l'huître creuse du Pacifique représente aujourd'hui 70 % de la production conchylicole française c'est en grande partie grâce au changement climatique. Cette espèce a été introduite massivement en France dans les années 1970 afin de pallier à l'effondrement des stocks des espèces indigènes. D'abord introduite dans l'étang de Thau et le sud de la façade atlantique, l'huître creuse a peu à peu remonté cette dernière à la faveur de périodes estivales favorables, développant des populations spontanées dans quelques sites très abrités tels que la rade de Brest ou l'estuaire du Trieux. D'abord occasionnel et lié à la variabilité interannuelle, le phénomène s'est accéléré à mesure que les années douces devenaient de plus en plus régulières et aujourd'hui, on assiste à une véritable invasion jusqu'aux Pays-Bas. Chez cette espèce, le développement des gonades, la formation et l'émission des gamètes sont conditionnés par des seuils thermiques qui tendent à être de plus en plus souvent atteints et de plus en plus au nord, ce qui favorise sa progression. En Bretagne, seuls quelques sites tels que la région des Abers dans le Finistère nord atteignent toujours trop rarement les températures nécessaires à son implantation. Ailleurs, l'huître creuse peut désormais être cultivée et ce grâce au changement climatique²³¹. Compte tenu de sa relative résistance à l'augmentation de la concentration en CO₂ dissout, il n'est pas dit que le bilan des effets contradictoires de l'acidification et du réchauffement se révélera négatif pour cette espèce. Une fois encore, les impacts des changements globaux se révèlent moins manichéens que l'on ne pourrait l'imaginer au premier abord.

Si les bivalves ont fait l'objet d'études en raison de leur intérêt commercial, les scientifiques

230 GAZEAU Frédéric & al., 2007. Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters* vol.34 issue 7.

231 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

s'intéressent également de près aux espèces calcifiantes qui représentent un habitat majeur pour de nombreux êtres vivants. A ce titre, les récifs coralliens des eaux tropicales ont bénéficié d'une attention particulière. Leurs équivalents tempérés, les algues Corallinacées, ont été moins étudiées mais représentent pourtant un enjeu tout aussi important en raison de l'importance des fonctions écologiques qu'elles assurent. Les Corallinacées forment un groupe d'algues rouges calcaires qui regroupe la majorité des espèces algales calcifiantes actuelles. Il s'agit de producteurs majeurs de carbonate de calcium à l'échelle du globe puisqu'elles seraient responsables d'un tiers de la production totale des océans. Elles fournissent ainsi des micro-habitats à la faune et la flore benthique et sont des nurseries et des zones de recrutement importantes pour les juvéniles de poissons et d'invertébrés. Enfin, elles contribuent de façon importante aux flux de nutriments par l'intermédiaire de la photosynthèse qui produit du dioxygène mais aussi du glucose à partir de dioxyde de carbone et d'eau. Mais ces algues seraient fortement menacées par l'acidification des océans. En effet, il s'agit d'organismes calcifiants qui présentent la particularité de précipiter de la calcite magnésienne dont les teneurs en magnésium varient entre 9 % et 25 % avec une majorité d'espèces présentant plus de 12 % de magnésium. La présence de cet élément rend la calcite plus soluble et pour cette raison, les Corallinacées comptent parmi les organismes calcifiants les plus menacés par l'acidification des océans. Compte tenu de leur rôle écologique majeur, l'acidification qui devrait les affecter fait peser une sérieuse menace sur les écosystèmes qui se sont développés au sein des vastes bancs qu'elles forment. Une espèce en particulier représente un enjeu crucial en Bretagne. Il s'agit de *Lithothamnion corallioides* plus communément connu sous le nom de “maërl”. Longtemps exploité pour servir d'engrais, nourrir le bétail, traiter les eaux usées où encore fabriquer des produits pharmaceutiques, le maërl est protégé depuis 2013 et n'est donc plus récolté, mais garde une valeur patrimoniale forte à l'échelle de la région. Chaque année, une “fête du maërl” est même célébrée sur la commune de Plougastel. Mais plus important encore, les grands bancs qu'il forme servent d'habitats à de nombreuses autres espèces animales et végétales. Afin de prédire son devenir dans un contexte d'acidification et de réchauffement des océans, des thalles de maërl ont été récoltées en rade de Brest et soumises à différentes concentrations en dioxyde de carbone : 380 ppm (ce qui correspond aux conditions actuelles), 550 ppm, 750 ppm et 1000 ppm. Pour chaque concentration en CO₂, on a fait varier la température afin de simuler les effets conjoints de l'acidification et du réchauffement. Les résultats montrent d'une part que l'acidification devrait avoir un impact majeur sur la calcification du maërl qui diminuerait respectivement de 50 % et 80 % pour des concentrations en CO₂ de 750 ppm et 1000 ppm. D'autre part, à ces concentrations particulièrement élevées, l'augmentation de la température de 10°C à 16°C pour une concentration de 750 ppm et de 10°C à 19°C pour une concentration de 1000 ppm a eu au contraire un effet

positif sur la calcification, contribuant ainsi à tempérer les effets néfastes de l'acidification. Toutefois, cette conséquence supposée du réchauffement doit être considérée avec précaution en raison du déroulement des expériences. En effet, la température a été augmentée de façon relativement lente et progressive et l'augmentation du taux de calcification aux températures maximales pourrait également s'expliquer par une acclimatation du maërl aux concentrations élevées en CO₂, ce qui serait également bon signe puisque cela témoignerait d'une certaine plasticité face aux modifications environnementales. Enfin, l'effet de l'augmentation de la concentration en CO₂ s'est révélé différent selon que le maërl disposait de lumière ou était placé dans le noir. En effet, la photosynthèse contribue à créer un pH favorable à la calcification par la consommation de dioxyde de carbone. Dans un contexte de réchauffement des océans, l'activité photosynthétique pourrait se voir stimulée, ce qui contribuerait à limiter les effets négatifs de l'acidification sur la calcification des algues²³². Les interactions entre calcification et photosynthèse, les capacités d'adaptation des Corralinacées potentiellement sous-estimées et l'incertitude quant à l'évolution des concentrations atmosphériques en CO₂ laissent donc planer le doute sur le devenir des algues calcifiantes. Selon Sophie Martin, chargée de recherche à la station biologique de Roscoff, dans le pire des scénarii, le maërl pourrait disparaître et dans le meilleur des cas s'adapter²³³.

Comment faciliter l'adaptation de la biodiversité marine à l'acidification des océans ?

L'Homme est relativement impuissant face aux impacts de l'acidification des océans sur la biodiversité marine. Afin d'éviter de fragiliser la résilience des populations affectées, il peut néanmoins relâcher la pression d'exploitation sur les espèces calcifiantes les plus vulnérables à cette nouvelle menace. A ce titre, une décision comme l'interdiction de prélever le maërl entrée en vigueur au premier janvier 2013 peut être saluée. Quant à la conchyliculture, elle pourra être amenée à se concentrer sur des espèces dont la composition minéralogique de la coquille permettra l'exploitation dans des eaux côtières plus acides. Mais la meilleure solution pour lutter contre l'acidification revient encore à œuvrer pour l'atténuation du changement climatique et donc la diminution des émissions de CO₂ d'origine anthropique. Un domaine dans lequel Bretagne Vivante n'a pas vocation à s'engager.

232 NOISETTE Fanny, 2014. *Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés*. Thèse de doctorat. Paris IV : Université Pierre et Marie Curie. 267p.

233 France 3 Bretagne, 2015. *Acidification des océans, la menace invisible*. [en ligne] <http://france3-regions.francetvinfo.fr/bretagne/acidification-des-oceans-la-menace-invisible-864849.html>

Ce catalogue des impacts du changement climatique sur les milieux naturels et semi-naturels bretons aura mis en évidence deux réalités.

Tout d'abord, un effort de recherche très contrasté selon les espèces et les milieux, dans tous les cas insuffisant. Si la complexité et la subtilité des conséquences du changement climatique sur le fonctionnement de la nature commencent à être appréhendées à l'échelle mondiale, les études menées sur le territoire breton restent peu nombreuses et gagneraient à faire preuve d'une plus grande ambition. En effet, la plupart des travaux de recherche aujourd'hui disponibles sont mono-spécifiques et ne s'intéressent souvent qu'aux conséquences directes du changement climatique sans prendre en compte sa dimension systémique et ses effets indirects liés aux interactions entre espèces. Aussi échouent-ils généralement à rendre compte des conséquences que le changement climatique peut avoir sur les écosystèmes et les fonctions voire les services qu'ils assurent. Il en résulte une déconnexion plus ou moins consciente entre impacts sur l'Homme, ses infrastructures et ses activités et impacts sur la biodiversité comme si le changement climatique affectait séparément l'un et l'autre sans qu'aucune interaction n'ait lieu entre les deux. Cet écueil est malheureusement inhérent à la vision anthropocentriste qui domine dans nos sociétés modernes. Celle-ci place l'Homme au-dessus de la nature, dans une position de contrôle et de gestion vis-à-vis de celle-ci, sans reconnaître l'influence qu'elle exerce en retour sur ses activités. Une telle conception nous empêche de réaliser l'importance majeure que la nature occupe, ou plutôt « devrait occuper », dans les problématiques d'adaptation des sociétés humaines au changement climatique. Bien sûr, certaines études telles que celle de Joan van Baaren sur les communautés d'insectes ou celle de l'IFREMER sur les effets conjugués de la pêche et du réchauffement de l'océan font exception à la règle mais en arrivent rarement à des conclusions définitives. Pour celles-ci, l'effort de recherche doit se poursuivre, elles sont dans la bonne voie. Pour les autres, un nouvel angle d'attaque pourrait être privilégié afin de gagner en opérationnalité. Si les études mono-spécifiques ont leur intérêt, il semble désormais nécessaire d'abandonner cette approche dominante, tant au niveau de la recherche que de la conservation, afin de raisonner en termes d'écosystèmes et de fonctionnalité, dans une optique de valorisation des services que la nature rend à l'Homme. Ce n'est qu'à ce prix que l'Homme comprendra l'intérêt de préserver la biodiversité et que l'argument conservationniste pourra gagner en percussion auprès du grand public et des décideurs politiques. Compte tenu de sa dimension transversale, le changement climatique pourrait fournir l'occasion d'inaugurer cette nouvelle approche des problèmes de biodiversité et favoriser des programmes de recherche associant des chercheurs de différentes disciplines (sciences du vivant, sciences sociales et humaines), des associations, des collectivités, bref, l'ensemble des forces vives de la société. Car la crise de la biodiversité que nous connaissons actuellement et dont le changement climatique n'est

qu'un aspect parmi d'autres n'est pas qu'un problème environnemental. C'est un problème de société, celui de toutes les sociétés.

Ce premier constat nous amène au second point important. Le changement climatique semble généralement agir comme un catalyseur des pressions anthropiques qui s'exercent sur la biodiversité plutôt que comme une nouvelle menace à part entière. Ses impacts consistent généralement à aggraver ceux des activités humaines qui exploitent un milieu donné. Or, la productivité de ces activités dépend souvent en grande partie du bon fonctionnement des écosystèmes qu'elles tendent pourtant à perturber et à rendre plus vulnérable aux dérèglements induits par le changement climatique. Cette première partie a permis d'identifier précisément les activités qui ont fragilisé et continuent de fragiliser la résilience de la biodiversité. La seconde s'attachera à formuler des pistes pour tenter de concilier l'exploitation durable d'un milieu et des ressources qu'il nous offre avec la préservation de la biodiversité nécessaire à la pérennité de cette exploitation. Aussi, la voie privilégiée par Bretagne Vivante pour répondre aux impacts du changement climatique consistera à atténuer les effets néfastes des activités humaines pour lesquelles le changement climatique agit comme un facteur aggravant plutôt qu'à atténuer le changement climatique lui-même, domaine que nous laisserons volontiers à d'autres associations plus compétentes sur les questions de transition énergétique.

Axe 2 : Solutions publiques, professionnelles, associatives et citoyennes

Bien qu'une grande incertitude pèse encore sur de nombreux impacts supposés du changement climatique, il est aujourd'hui reconnu que ce dernier menace la pérennité et la qualité de certains services écologiques rendus aux activités et à la vie humaine, avec de lourdes conséquences économiques et sociales. Sa rapidité, sans commune mesure avec les précédents réchauffements et refroidissements, impose à la biodiversité une pression adaptative intense à laquelle de nombreuses espèces semblent incapables de répondre sur un temps si court. Pire, nos activités humaines ont bien souvent fragilisé la résilience des espèces, des écosystèmes et des milieux, les rendant plus vulnérables aux bouleversements induits par le changement climatique. Mais plutôt que de sombrer dans un pessimisme morose et inefficace, il est indispensable de poser dès maintenant les bases d'une autre politique touchant à la place de la nature, ses fonctions et services, dans notre société et nos territoires. Cette politique suppose de notre point de vue trois approches complémentaires :

- Une approche transversale d'aménagement et de gestion des territoires, de l'échelle

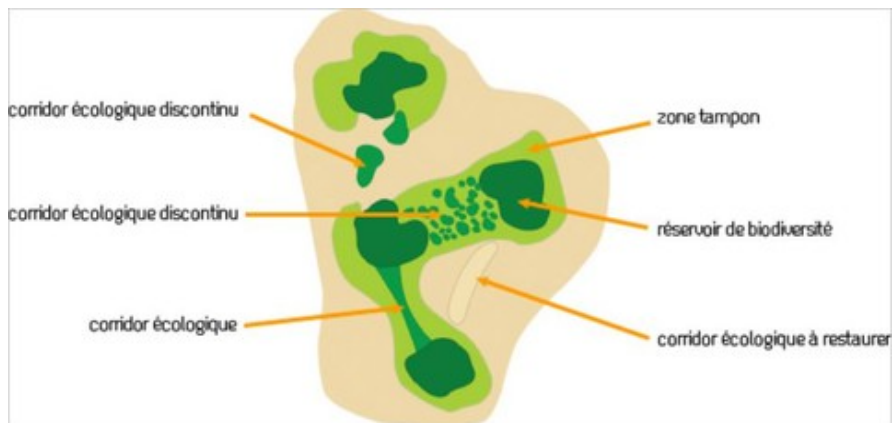
nationale à l'échelle locale, dans laquelle les dispositifs comme le Schéma régional de cohérence écologique et les Atlas locaux de biodiversité ont un rôle fondamental à jouer pour favoriser des démarches systémiques et multifonctionnelles.

- Une approche par milieu visant à définir pour chacun d'entre eux des orientations ambitieuses et des moyens de les mettre en place, en lien direct avec les activités humaines qui mobilisent leurs services.
- Une approche participative et démocratique, visant à générer le débat, la co-construction, l'initiative, l'expérimentation, la responsabilisation pour favoriser la transition écologique dans les politiques publiques comme dans les actions privées et citoyennes. Cela passe par la mobilisation de la recherche et de l'éducation, le développement de l'ingénierie et le soutien à l'action associative et citoyenne.

I Approche par l'aménagement et la gestion des territoires

Le changement climatique va générer des déplacements de populations de différentes espèces, pouvant culminer avec la modification des aires de répartition de celles-ci. Or, ces flux de biodiversité se verront entravés par diverses barrières d'origine anthropique, rendant parfois ces déplacements délicats voire impossibles. En raison de sa très forte artificialisation (voir intro), la Bretagne représente un territoire particulièrement fragmenté d'un point de vue écologique d'où l'absolue nécessité de mettre la notion de continuité écologique au cœur des actions conservationnistes d'aujourd'hui et de demain. Cette dernière, qui peut se définir comme un espace fonctionnel permettant aux individus d'une espèce animale ou végétale de circuler dans les paysages, entre les habitats qui lui sont favorables, est indispensable à la fonctionnalité des écosystèmes en toute circonstance mais le devient plus encore avec la perspective du changement climatique et ce qu'elle implique en matière de déplacements de populations et d'espèces. Les continuités écologiques correspondent à l'ensemble des "réservoirs de biodiversité" et des "corridors écologiques". Définis par l'article R371-19 du code de l'environnement, les réservoirs de biodiversité sont « des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont au contraire susceptibles d'accueillir de nouvelles populations d'espèces ». Les corridors écologiques assurent quant à eux des connexions entre ces réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie²³⁴.

234 Article R371-19 du Code de l'environnement.



Dans un contexte de déplacements d'individus, de populations et d'espèces induits par le changement climatique, promouvoir la préservation, la restauration voire même la création de corridors écologiques revient à faciliter l'adaptation de la biodiversité. Ainsi, la question des impacts du changement climatique sur la biodiversité peut être reliée à celle de l'aménagement du territoire qui, tel qu'il est mené aujourd'hui, constitue un facteur aggravant en raison des multiples barrières anthropiques qu'il dresse.

A) Un nouvel outil à la croisée des politiques d'aménagement et de conservation

1) La Trame verte et bleue et le Schéma régional de cohérence écologique

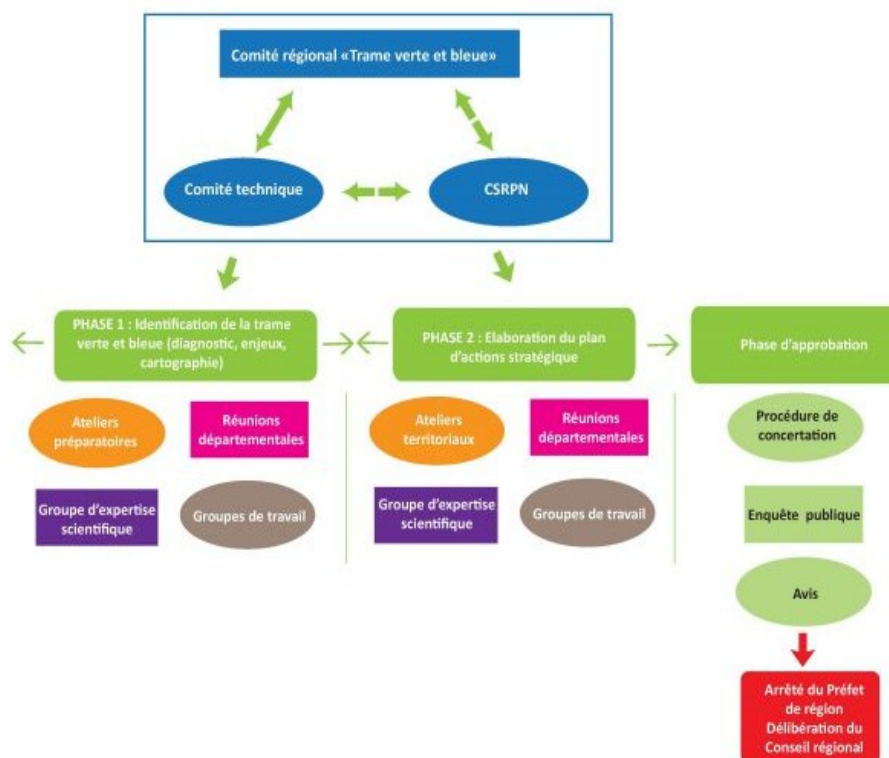
Créée à l'occasion du Grenelle de l'environnement, la Trame verte et bleue apporte une première réponse à cette nécessité d'aménagement écologiquement soutenable par rapport au changement climatique. Il s'agit d'un nouvel outil juridique établi par les lois Grenelle I et II. La première, ou Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, ne faisait que fixer les grands axes pour la création d'une Trame verte et bleue d'ici 2012. L'article 24 jette notamment les fondements de l'élaboration de la Trame verte et de la Trame bleue, de leur pilotage et des modalités de leur prise en compte dans les documents d'urbanisme. L'article 26 établit quant à lui une ébauche des modalités de financement²³⁵. Mais c'est la loi Grenelle II ou Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement qui définit véritablement la Trame verte et bleue. L'article 121 complète le code de l'environnement, lui ajoutant un Titre VII tout simplement intitulé "Trame verte et bleue" et comprenant six articles. Le premier (article L371-1) énonce l'objectif général de la démarche, à

²³⁵ Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Journal Officiel de la République Française n°0179 du 5 août 2009, p.13031.

savoir « enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural ». Le second (article L371-2) établit le premier niveau d'action de la démarche. Il impose la création au niveau national d'un document cadre intitulé "Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques" réalisé par l'État, en association avec un comité national "Trames verte et bleue". Enfin, l'article L371-3 établit le niveau opérationnel de la démarche et c'est ce dernier qui nous intéresse. Il impose la création au niveau régional d'un document-cadre intitulé "Schéma régional de cohérence écologique", élaboré conjointement par la Région et l'État en association avec un comité régional Trames verte et bleue créé dans chaque région²³⁶. Ce dernier est une déclinaison à l'échelle régionale de la Trame verte et bleue nationale. Il présente tout d'abord les enjeux régionaux relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques puis identifie les réservoirs de biodiversité et corridors écologiques en vue de leur cartographie. Il énonce ensuite les mesures permettant d'assurer la préservation et/ou la remise en bon état de la fonctionnalité des continuités écologiques. Le SRCE, et en particulier celui de la Région Bretagne, se distingue par sa procédure d'élaboration. L'État et la Région ont en effet souhaité qu'il soit le résultat d'une construction participative associant le plus large panel de partenaires possible. Aussi le Comité régional Trames verte et bleue comprend-il une centaine de représentants répartis en cinq collèges distincts : le collège des représentants des collectivités territoriales et de leurs groupements, le collège des représentants de l'État et d'établissements publics de l'État, le collège de représentants d'organismes du monde socio-professionnel et d'usagers de la nature, le collège de représentants d'associations, d'organismes, de fondations œuvrant pour la préservation de la biodiversité ou de gestionnaires d'espaces naturels, et enfin le collège des scientifiques et personnalités qualifiées²³⁷. En Bretagne, les associations ont été particulièrement consultées et impliquées dans l'élaboration du SRCE. Bretagne Vivante a notamment siégé au sein du collège des associations mais aussi celui des experts scientifiques. L'association était également membre du comité technique et du comité d'expertise scientifique, tous deux chargés d'apporter un appui au Comité Trames verte et bleue. L'élaboration du document s'est décomposée en deux phases. La première consistait à l'identification des Trames verte et bleue tandis que la seconde visait à l'élaboration d'un plan d'actions stratégiques.

236 Article L371 du Code de l'environnement.

237 Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.



Sans surprise, c'est au niveau de la première phase que Bretagne Vivante est la plus intervenue. L'essentiel de son travail a été de s'assurer que la Trame verte et bleue régionale soit véritablement fonctionnelle d'un point de vue écologique. Selon Annie Rio, bénévole particulièrement impliquée dans l'élaboration du SRCE, l'ignorance de nos sociétés modernes par rapport au fonctionnement de la nature expose la démarche TVB au risque de dérive anthropocentriste. En effet, sans connaissance des besoins de la biodiversité en matière de corridors écologiques, le risque de cette démarche est de la voir se transformer en simple politique de verdissement de l'aménagement territorial uniquement destiné à améliorer le cadre de vie des habitants. Or, il ne suffit pas d'aménager des espaces verts mais de s'assurer qu'ils sont fonctionnels en tant que corridors pour la biodiversité, c'est-à-dire qu'ils répondent aux besoins des espèces et permettent leur déplacement²³⁸. Aussi, la contribution de Bretagne Vivante à l'élaboration du SRCE s'est-elle principalement attachée à mettre les connaissances naturalistes de ses membres au service d'une Trame verte et bleue véritablement efficace. Néanmoins, Annie Rio reconnaît que Bretagne Vivante présente d'importantes lacunes dans ce domaine. La biologie de nombreuses espèces communes impliquées dans la Trame verte et bleue est en effet toujours mal connue par les naturalistes qui s'intéressent souvent davantage aux espèces remarquables tandis que le paradigme conservationniste dominant au sein de l'association reste fortement influencé par la théorie de la biogéographie insulaire. Aussi, l'une des premières étapes de l'engagement de Bretagne Vivante sur la question climatique

238 Communication personnelle Annie Rio, bénévole à Bretagne Vivante.

consistera à élargir sa stratégie conservationniste et plus généralement son approche de la biodiversité, en s'intéressant davantage à la faune et la flore ordinaires ainsi qu'aux questions de continuités écologiques.

Si le SRCE représente un intérêt certain pour la conservation en contexte de changement climatique, se donne-t-il vraiment les moyens de son ambition ? L'article L371-3 qui l'établit est complété de l'article L111-1-1 du Code de l'urbanisme, modifié par la l'article 13 de la loi Grenelle II. Il définit la portée juridique du SRCE que les Schémas de cohérence territoriale (SCoT) doivent prendre en compte. Ces derniers sont des document d'urbanisme qui déterminent, à l'échelle de plusieurs communes ou groupements de communes, un projet de territoire visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles. Les Plans locaux d'urbanisme ou les cartes communales, c'est-à-dire les documents de planification de l'urbanisme au niveau communal ou intercommunal, doivent être compatibles avec les SCoT et, en l'absence de ceux-ci, doivent directement prendre en compte le SRCE²³⁹. La “prise en compte” correspond en fait au niveau d'opposabilité juridique le moins contraignant, les deux autres étant la compatibilité et la conformité. Bretagne Vivante a contribué à l'écriture de ce document aussi l'une de ses missions en aval de la phase d'élaboration est de s'assurer que le SRCE soit bien pris en compte dans les projets d'aménagement du territoire. Pour cela, les sections locales devront assurer une surveillance vigilante des projets d'aménagement menés au plus près de chez eux. Ce n'est qu'à ce prix que la Trame verte et bleue pourra réellement contribuer de façon efficace à l'adaptation de la biodiversité au changement climatique.

2) Les Atlas de la biodiversité communale

Le SRCE présente néanmoins une limite opérationnelle non négligeable. En effet, il fournit une cartographie à l'échelle de la région mais pas aux échelles locales, ne prenant en compte que les grands corridors et oubliant les plus petites connexions dont le maillage assure pourtant la continuité écologique. Les SCoT et les PLU doivent prendre en compte le SRCE mais ce dernier n'est pas à une échelle pertinente ! Ainsi, la déclinaison du SRCE à l'échelle locale est une nécessité qui requiert un travail de collecte de données, d'analyse et d'interprétation mobilisant des compétences naturalistes qui font généralement défaut dans les services en charge de l'aménagement du territoire comme dans les bureaux d'étude. En revanche, ces compétences existent au sein des associations naturalistes pour qui la nécessité de déclinaison locale des trames peut représenter une aubaine. L'association VivArmor Nature basée dans les Côtes-d'Armor a par

239 Article L111-1-1 du Code de l'urbanisme.

exemple décidé de coordonner la réalisation d'Atlas de la biodiversité communale (ABC) associant tous les acteurs du territoire. En inventoriant et en cartographiant la biodiversité à l'échelle locale, ces Atlas constituent une déclinaison communale du SRCE et permettent une prise en compte véritable des continuités écologiques dans les politiques d'aménagement. En Bretagne, huit communes avaient répondu à l'appel à projets du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie et du Développement Durable qui avait lancé un programme de développement des ABC en 2010. Parmi ces huit communes, seule la ville de Plérin, dans les Côtes-d'Armor a mené son ABC à terme. Cela a été possible grâce à la coordination de VivArmor Nature qui souhaitait développer une méthodologie de travail lui permettant par la suite d'accompagner d'autres communes du département dans leurs démarches d'ABC. L'association a véritablement porté le projet, elle s'est chargée de la recherche des financements nécessaires et a même apporté 14 082 € de ses propres caisses. Elle s'est également attelée à mobiliser des ressources humaines en associant chacun des acteurs susceptibles d'apporter une expertise qui lui est propre. Ainsi, 15 experts scientifiques, une quarantaine de naturalistes et pas moins de 18 structures (universités, associations naturalistes, fédérations de chasse et de pêche...) ont travaillé à des inventaires sur le terrain, dans les domaines qu'ils connaissaient le mieux. Les résultats obtenus ont par la suite été pris en compte dans la révision du Plan local d'urbanisme de la ville qui souhaitait s'inscrire dans une démarche d'aménagement durable. Cela a valu à Plérin d'être lauréate du "fonds de Dotation pour la Biodiversité" et "Capitale Française de la Biodiversité 2013 (catégorie villes 2 000 à 20 000 habitants)". Et le moins que l'on puisse dire c'est que l'expérience de Plérin a eu l'effet "boule de neige" escompté puisque l'association réalise désormais l'ABC de Saint-Brieuc tandis qu'elle est également engagée dans un projet d'atlas intercommunal avec Lamballe communauté²⁴⁰. Bretagne Vivante a également suivi cette voie. Bien qu'aucun ABC n'ait encore été mené à terme par l'association, les travaux préparatoires aux atlas et les expériences de conseil local se développent, que ce soit à St Avé, Melesse, Brest, Nantes ou Rennes. L'association VivArmor Nature dispose néanmoins d'une avance considérable. Selon Annie Rio, il s'agit principalement d'une question d'opportunité. Celle offerte par la ville de Plérin à l'association costarmoricaïne lui a permis de développer une méthodologie de travail ainsi qu'une notoriété la poussant à se spécialiser dans la réalisation d'ABC²⁴¹. La réalisation d'Atlas de la biodiversité communale est typiquement le genre de tâches pour lesquelles Bretagne Vivante est compétente. Aussi est-il urgent qu'elle rattrape son retard dans ce domaine, ne serait-ce que dans les quatre autres départements, VivArmor s'étant déjà largement imposée dans les Côtes-d'Armor.

240 Communication personnelle Jérémy Allain, directeur de VivArmor Nature.

241 Communication personnelle Annie Rio, bénévole à Bretagne Vivante.

Les déclinaisons de la Trame verte et bleue aux échelles régionales et locales prouvent que malgré le caractère national, européen voire international des problématiques du changement climatique et de son atténuation, l'adaptation à ses impacts se fera au niveau régional voire communal. Le changement climatique est probablement l'un des enjeux environnementaux les plus globaux, ce qui a tendance à nous faire oublier sa dimension territoriale. L'un des objectifs phares de ce document est donc de faire prendre conscience qu'en matière de conservation comme d'action pour le climat, les associations pouvant peser dans la balance ne sont pas uniquement celles qui ont les moyens d'intervenir au niveau des arènes de représentation européennes et internationales. Bretagne Vivante, de par son ancrage régional, peut apporter en aval une contribution plus opérationnelle mais tout aussi importante que le travail de lobbying effectué par les grandes ONG en amont. De par ses ressources et son degré d'intégration à la mise en œuvre des politiques publiques, Bretagne Vivante domine le paysage associatif breton en matière de biodiversité. Aussi peut-elle et doit-elle s'affirmer comme association référente en matière d'adaptation de la biodiversité au changement climatique en Bretagne et assurer un rôle de leader associatif régional sur les questions de continuités écologiques.

B) Un approfondissement de la stratégie conservationniste plutôt qu'un changement de direction

La question de la préservation ou de la restauration des continuités écologiques n'est pas la solution miracle à l'adaptation de la biodiversité bretonne au changement climatique. Certes, la démarche des Trames verte et bleue présente une dimension transversale et pourra profiter à de nombreuses espèces que le changement climatique forcera à émigrer. Mais il est tout à fait inutile de favoriser le déplacement des espèces si celles-ci ne peuvent retrouver des milieux favorables où s'installer à la fin du voyage. Aussi, la logique "corridor" est-elle insuffisante pour faciliter l'adaptation de la biodiversité au changement climatique et doit être couplée à la préservation des réservoirs de biodiversité. Un point crucial que ne manque pas de souligner Guillaume Gélinaud, conservateur de la réserve naturelle des marais de Séné. Ce dernier fonde son argument sur la théorie de la biogéographie insulaire qui pose les bases de la stratégie de conservation jusque là privilégiée par Bretagne Vivante. Celle-ci a été formulée par Mc Arthur et Wilson dans les années 1960 et s'attachait initialement à expliquer la richesse spécifique des îles par leur superficie et leur éloignement du continent. Mc Arthur et Wilson avaient remarqué que la biodiversité des milieux insulaires était toujours inférieure à celle du continent tandis que cette différence s'atténuait avec l'augmentation de la taille des îles, la diversité spécifique étant visiblement corrélée à la superficie. Ils en ont déduit que la biodiversité d'une île était la résultante d'un équilibre entre un taux de

colonisation et un taux d'extinction. Réciproquement, ces taux résulteraient directement du nombre d'espèces présentes sur l'île. En effet, plus le taux de colonisation serait important, plus le nombre d'espèces sur l'île serait élevé et plus les interactions compétitives seraient nombreuses et conduiraient à l'augmentation du taux d'extinction. A l'inverse, lorsque le taux d'extinction serait élevé, davantage de niches écologiques seraient libres ce qui favoriserait la colonisation par de nouvelles espèces. Selon ce modèle, si deux îles sont soumises au même taux d'immigration, le taux d'extinction sera plus important sur l'île la plus petite où la pression compétitive sera plus importante d'où une richesse spécifique moindre que sur la plus grande. Mais la richesse spécifique dépend également de la distance au continent et donc de l'isolement de l'île. En effet, plus une île est isolée, moins son taux de colonisation sera élevé et, à taux d'extinction égal, l'île la plus éloignée du continent devrait donc avoir la plus faible richesse spécifique. Ainsi, le taux de colonisation dépendrait de l'isolement de l'île tandis que le taux d'extinction serait directement corrélé à sa superficie, ces deux paramètres déterminant *in fine* la richesse spécifique de l'île²⁴². Ce modèle peut s'appliquer aux milieux continentaux et fournir les fondements d'une stratégie de conservation. En effet, la fragmentation écopaysagère est aujourd'hui telle que les milieux naturels et semi-naturels du continent peuvent être assimilés à des îlots de nature perdus dans un océan de sols artificialisés. Sur la base de la théorie de la biogéographie insulaire, il est logique de supposer qu'il vaut mieux préserver une seule surface, mais de grande taille, plutôt que de créer un ensemble de réserves de taille plus petite et ce, même si la surface totale est identique. Toutefois, la surface n'est pas le seul déterminant de la richesse spécifique, l'isolement du site étant tout aussi déterminant. Les logiques "réservoir" et "corridor" ne sont donc pas antinomiques, elles sont complémentaires. Cela peut paraître évident mais il convient toutefois de le rappeler. En effet, la Trame verte et bleue semble fournir la solution miracle à la conciliation de l'aménagement du territoire et de la conservation de la biodiversité. De là à considérer qu'il est désormais possible d'aménager n'importe où à condition de le faire de façon écologiquement soutenable, il n'y a qu'un pas. Le risque est donc de voir la problématique des continuités écologiques occulter complètement celle de la préservation de vastes portions du territoire. En effet, la Trame verte et bleue porte en elle la tentation de focaliser l'effort conservationniste sur les corridors écologiques et de privilégier le maintien de petits réservoirs multiples et facilement intégrables aux projets d'aménagement, aux dépens des réservoirs de grande superficie à l'intérieur desquels l'aménagement est exclu. Aussi, la mission de Bretagne Vivante et celle de toute association disposant de la connaissance naturaliste est de s'assurer que les pouvoirs publics ne pratiquent pas une lecture erronée de cette nouvelle approche. C'est pourquoi la Trame

242 DUFRENE M., 2003. *Méthodes d'analyse des données écologiques et biogéographiques – Introduction à la biogéographie insulaire et outils disponibles*. [en ligne]
<http://old.biodiversite.wallonie.be/outils/methodo/insulaire.htm>

verte et bleue ne doit pas remettre en cause la voie d'action privilégiée par l'association depuis ses origines, à savoir l'acquisition et la gestion de réserves naturelles²⁴³. Selon Maurice Le Démézet, ancien président de l'association et auteur d'un ouvrage sur l'histoire de la SEPNB, la mise en réserve est « l'œuvre de longue haleine que l'association a réussi à poursuivre sans discontinuité et qui fait toute l'originalité de son engagement pour la protection de la nature²⁴⁴ ». Autant dire l'action la plus emblématique de Bretagne Vivante. Celle-ci doit bien évidemment se poursuivre, en toute circonstance mais plus encore à l'heure du changement climatique, afin que les espèces qui remonteront du sud puissent trouver des milieux préservés à coloniser. La Trame verte et bleue apparaît alors comme un complément, un approfondissement de la stratégie conservationniste et non pas comme un changement de direction radical qui balayerait d'un revers de main les actions traditionnellement menées par Bretagne Vivante.

C) Une nouvelle façon de penser la relation homme-nature

Dans le cadre de l'adaptation de la biodiversité au changement climatique, l'intérêt de la Trame verte et bleue ne réside pas uniquement dans la création, la préservation ou la restauration de continuités écologiques permettant aux espèces de fuir les modifications environnementales. Elle correspond également à une nouvelle approche des questions de biodiversité que Bretagne Vivante a ardemment souhaitée avec le mouvement associatif. Comme le dit l'autorité environnementale dans son avis, le SRCE marque un véritable changement de paradigme dans les politiques d'aménagement mais aussi de conservation de la biodiversité, en brisant la séparation qui existait traditionnellement entre les deux et en intégrant la seconde au premier. Ce faisant, la Trame verte et bleue élargit la biodiversité ciblée par l'effort conservationniste. Jusqu'à présent, les actions de conservation, tant des pouvoirs publics que des associations, s'étaient surtout focalisées sur une biodiversité remarquable et patrimoniale, délaissant de ce fait la faune et la flore qui vivent au plus près de nous, interagissent le plus avec nous et nos activités, et sont donc souvent les plus directement impactées par elles. Dans un contexte de bouleversements climatiques ayant pour conséquence probable une reconfiguration profonde des biocénoses, de leur fonctionnalité et des services qu'elles nous rendent, l'action publique et associative doit désormais prendre en compte la nature dite "ordinaire" (elle le devient de moins en moins) ou "proche", en cherchant à en comprendre la richesse, la complexité, le fonctionnement, et le rôle dans les connexions écologiques. Ainsi, le SRCE a un rôle pilote à jouer pour faire de la nature, ses ressources et ses

243 Communication personnelle Guillaume Gélinaud.

244 LE DEMEZET Maurice, MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne – La SEPNB (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.

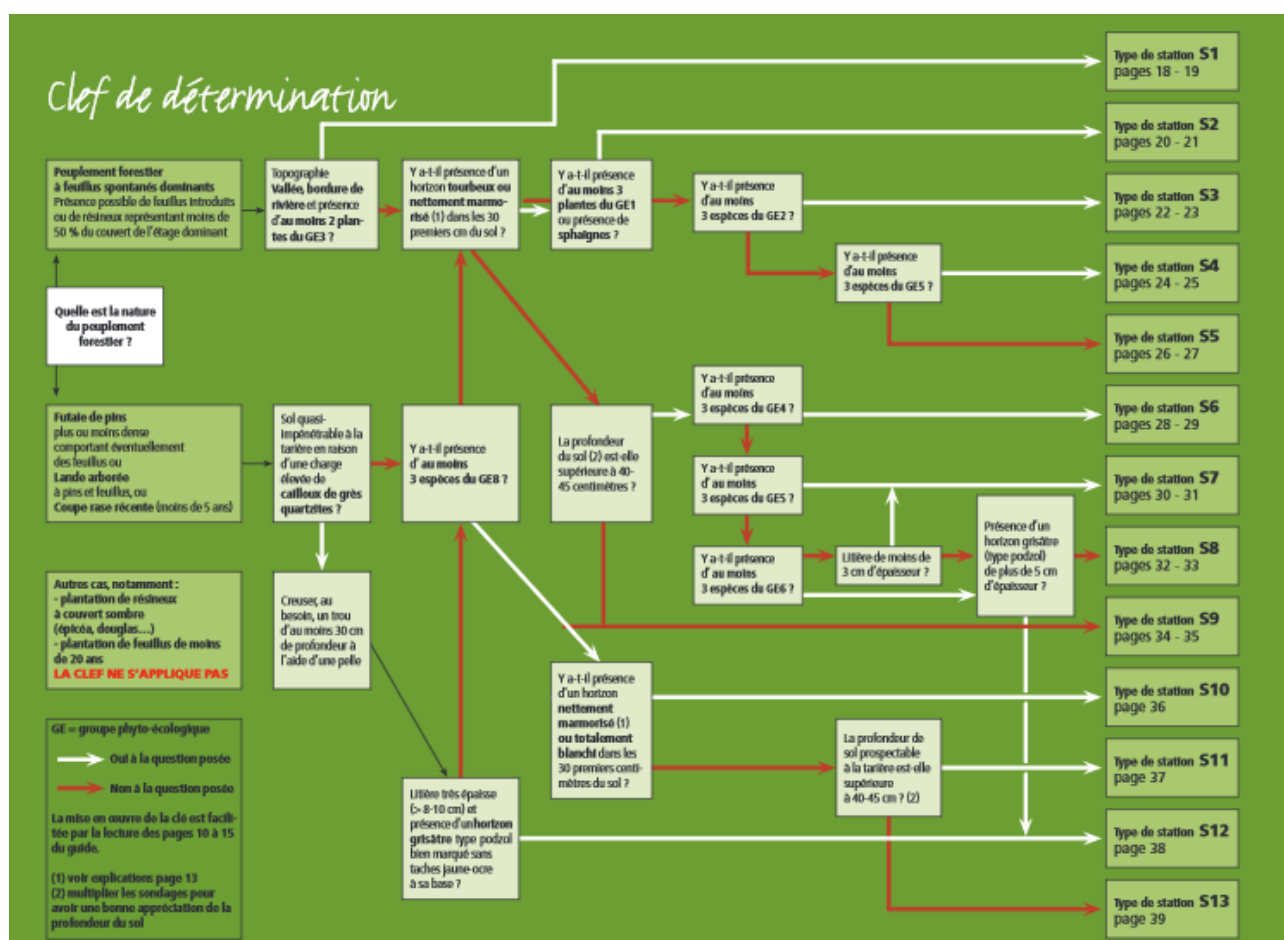
fonctions, un des socles de l'aménagement (ou du ménagement) du territoire régional, dans une vision dynamique et équilibrée. De façon plus philosophique, la Trame verte et bleue nous incite tout simplement à repenser notre lien à la nature, à briser la frontière que nous avons volontairement tracé entre elle et nous, à lui rendre une place dans nos vies et à retrouver notre place en son sein. La menace que fait peser le changement climatique sur l'Homme, sur ses infrastructures et ses activités a été l'occasion de prendre conscience qu'il est vain de tenter de s'affranchir de la nature. Par les services qu'elle nous rend mais que nous remarquons rarement, la biodiversité participe gratuitement à la création de richesses. La crise qu'elle traverse actuellement nous concerne donc en tout premier lieu. Aussi, la transition énergétique, si elle est menée seule, ne résoudra pas la crise environnementale dont le changement climatique ne représente qu'une manifestation parmi d'autres. C'est pourquoi nous insistons sur la nécessité de s'engager dans une démarche plus globale de transition écologique visant à modifier nos modes de vie non renouvelables, fortement consommateurs de ressources, d'espaces, de biodiversité et producteurs de déchets, vers une démarche systémique et pérenne qui mobiliserait le fonctionnement du vivant plutôt que de l'appauvrir ou tenter de s'en affranchir. A ce titre, la Trame verte et bleue représente un premier outil pour agir dans cette voie.

II Approche par milieu

La Trame verte et bleue est une approche transversale qui s'applique à l'ensemble du territoire régional, indépendamment du milieu concerné. Elle demeure néanmoins insuffisante pour répondre aux modifications environnementales que le changement climatique risque d'engendrer. En effet, elle apporte une solution à une conséquence particulière commune à de nombreuses espèces : les déplacements de populations. Aussi, la Trame verte et bleue relève-t-elle davantage d'une approche par l'espèce que par le milieu naturel. Or, le changement climatique affectera les milieux naturels et semi-naturels de Bretagne de façon différenciée et il n'existe pas de solution miracle pouvant s'appliquer à une grande variété de milieux comme la Trame verte et bleue qui peut faciliter l'adaptation au changement climatique d'une grande variété d'espèces. Le travail d'inventaire des impacts du changement climatique milieu par milieu opéré en première partie était nécessaire pour identifier les leviers d'action possibles dans chaque milieu. Cette seconde partie vise à énoncer des grandes orientations et présenter des initiatives concrètes qui pourraient servir de sources d'inspiration aux actions futures destinées à renforcer la résilience de chaque milieu naturel face au changement climatique.

A) Forêt : vers une sylviculture durable face au changement climatique

Pour Gilles Pichard du Centre régional de la propriété forestière de Bretagne, le principal facteur aggravant les impacts du changement climatique sur la forêt est la gestion sylvicole non durable des peuplements. Devant la menace que le stress hydrique représente pour certaines essences, il semble en effet impératif de rationaliser la gestion des forêts. Cela passe tout d'abord par le choix d'essences adaptées au terrain. Comme nous l'avons vu, le risque de stress hydrique différera en fonction de la région considérée ainsi qu'à l'intérieur de chaque région. Ainsi, afin que les essences plantées soient cohérentes avec les caractéristiques du terrain, le CRPF Bretagne a développé des clefs de détermination permettant de classer les différentes zones en grands types de stations. Les paramètres pris en compte sont variés et incluent le climat local ainsi que la réserve en eau du sol. Une fois la station identifiée, des préconisations en matière d'essences adaptées sont faites. Toutefois, cette méthode ne prend en compte que les paramètres actuels et non leur évolution en réaction au changement climatique. Il s'agit malgré tout d'un premier outil permettant d'anticiper les zones à risque en matière de stress hydrique et d'éviter les erreurs de plantation.



Exemple de clé de détermination pour la région Moyenne Vilaine.

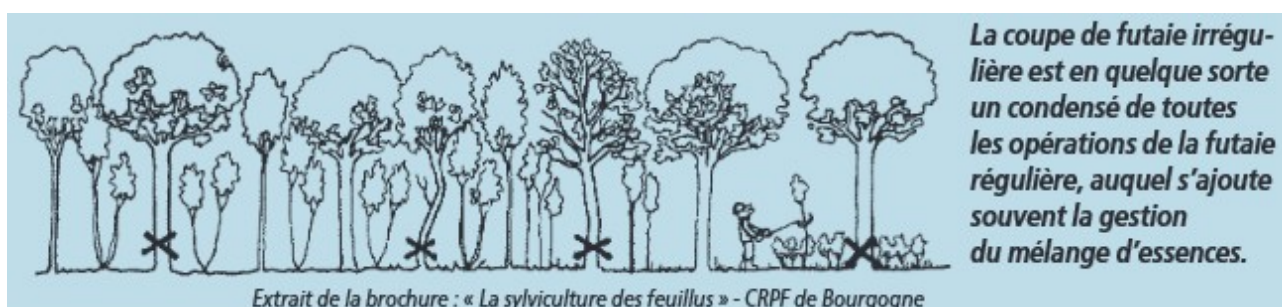
La vulnérabilité au changement climatique est l'un des paramètres retenus pour classer les sites en grands types de station. Celle-ci est évaluée en fonction de la situation topographique, de la réserve en eau du sol, de l'engorgement et des apports d'eau extérieurs. Quatre niveaux de sensibilité sont ainsi établis (sensibilité faible, assez faible, moyenne et forte) en fonction de la dépendance du bilan hydrique aux précipitations. Ce classement est totalement indépendant de la sensibilité des essences qui ont elles aussi été classées selon leurs milieux de prédilection et leurs besoins en eau :

Classement des principales essences de Moyenne Vilaine en fonction de leurs préférences climatiques				
Groupe 1 : Essences d'affinité montagnarde (1) ou à caractère océanique affirmé (2)	Groupe 2 : Essences d'affinité collinéenne appréciant un climat relativement arrosé	Groupe 3 : Essences très exigeantes en eau en toutes saisons	Groupe 4 : Essences de plaine susceptibles de supporter des ruptures d'alimentation en eau	Groupe 5 : Essences thermophiles ou d'affinités subméditerranéennes
Essences concernées				
Sapin pectiné (1) Hêtre (1) Erable sycomore (1) Epicéa commun (1) Epicéa de Sitka (2) Thuya géant (2)	Châtaignier Douglas Noyer noir/hybride Merisier Cyprès de Lawson	Aulne glutineux Peupliers Frêne Chêne pédonculé Ormes Tulipier de Virginie Tremble Saul blanc	Chêne rouvre Chêne rouge d'Amérique Pin sylvestre Poirier sauvage Charme Bouleaux Tilleul à petites feuilles Erable champêtre	Alisier torminal Cormier Pin Laricio Cèdre de l'Atlas Pin maritime Sapin de Nordmann Robinier Chêne vert Pin parasol
Sensibilité au regard du changement climatique annoncé				
Très sensibles	Sensibles	Très sensibles **	Peu sensibles	Peu sensibles, voire favorisées
<i>** Sauf dans les stations bénéficiant d'apports d'eau peu dépendants du climat (station de vallée avec nappe alluviale, stations de vallon concentrant les écoulements des versants adjacents...).</i>				

Les deux classements doivent être croisés afin d'être en mesure de réaliser les meilleurs choix sylvicoles dans un contexte de modification des bilans hydriques. Ainsi, la présence d'une essence très sensible comme le chêne pédonculé sur une station à sensibilité forte représente un risque majeur à moyen terme tandis que cela ne devrait pas poser de problème sur une station à sensibilité faible. De même, la présence d'une essence peu sensible voire favorisée par le changement climatique sur une station à sensibilité forte ne représente normalement aucune menace. L'idée est de rationaliser la plantation des essences au cas par cas afin d'éviter les dépérissements futurs dus au stress hydrique²⁴⁵.

245 COLOMBET Michel, 2008. *Guide du Sylviculteur de Moyenne Vilaine*, 2ème édition. Centre Régional de la Propriété Forestière, 64p.

Par ailleurs, des techniques sylvicoles permettraient de conserver les essences les plus vulnérables au stress hydrique et ce même dans des zones fortement exposées à ce risque. A ce titre, deux types de traitement des peuplements forestiers peuvent être distingués : le traitement régulier et le traitement irrégulier. Le premier s'effectue en toute logique sur des peuplements dits "réguliers" c'est-à-dire composés d'arbres ayant tous le même âge et appartenant généralement à la même essence. Dans ces exploitations, la coupe rase est pratiquée. Ainsi, les arbres de même âge sont tous récoltés au même moment, la forêt disparaissant pour ainsi dire d'un seul coup. Ce type de sylviculture n'est pas sans conséquences sur la ressource en eau du sol ni sur la biodiversité. En effet, des arbres de même âge auront les mêmes besoins en eau qui augmenteront à mesure que le peuplement vieillira. Alors qu'elle sera minime au début, la consommation en eau du peuplement sera particulièrement importante lorsque ce dernier arrivera à maturité ce qui accroîtra sa vulnérabilité en cas de sécheresse estivale prolongée et pourra conduire à des dépérissements de masse. Le risque est aggravé dans le cas de monocultures d'espèces particulièrement hygrophiles et selon Gilles Pichard, la chênaie ou la hêtraie mono-spécifique n'est tout simplement pas pérenne. Au contraire, le traitement irrégulier s'exerce sur les peuplements dits eux aussi "irréguliers" puisqu'ils sont composés d'arbres d'âges voire d'essences différents. Ce système est plus économe en eau puisque les arbres ont des besoins en eau divers qui permettent un meilleur équilibre à l'échelle du peuplement. Ainsi, le hêtre, le chêne pédonculé ou le sapin pectiné pourraient subsister dans la plupart des régions, à condition qu'ils soient intégrés à des peuplements composés d'arbres d'âges et d'essences différents. Par ailleurs, le traitement irrégulier favorise le développement de la biodiversité puisque tous les arbres ne sont pas coupés en même temps, ce qui permet de préserver "l'ambiance forestière" à chaque prélèvement. En effet, la coupe des arbres arrivés à maturité permet aux arbres plus jeunes d'avoir davantage accès à la lumière du soleil ce qui leur permet de pousser jusqu'à remplacer les arbres prélevés. Ils sont à leur tour récoltés et ainsi de suite.



Cette technique de gestion sylvicole présente en plus un intérêt économique majeur : elle permet une plus grande régularité des revenus (tous les dix ans en moyenne) puisque des prélèvements ont lieu plus souvent qu'en coupe rase. En contrepartie, elle impose un suivi intensif du peuplement,

une haute technicité sylvicole et une bonne connaissance du marché du bois. Une expertise que la plupart des propriétaires privés ne possèdent pas. Le CRPF Bretagne s'attache donc à développer cette forme de sylviculture qui reste aujourd'hui élitiste puisque sa complexité fait qu'elle n'est pratiquée que par 1 % des propriétaires en France²⁴⁶.

Pour favoriser le développement d'une sylviculture raisonnée et adaptée aux futures conditions climatiques en Bretagne, le CRPF Bretagne a publié trois guides de stations couvrant trois sous-régions bretonnes : la Moyenne Vilaine, le Centre Ouest Bretagne et le Vannetais. Avec environ 227 000 hectares boisés couverts par ces ouvrages, ce sont plus des deux tiers de la forêt bretonne et les trois quarts des forêts privées qui disposent d'un outil pratique de sylviculture. Ces documents ne visent pas uniquement à répondre à la menace du changement climatique mais s'inscrivent dans une démarche globale de sylviculture durable visant à concilier l'exploitation économique du milieu avec son maintien dans un bon état écologique.

B) Agriculture : s'adapter au changement climatique, une entreprise bien vaine en temps de crise agricole profonde

L'adaptation des milieux agricoles au changement climatique comporte deux volets : l'adaptation de la biodiversité domestique et celle de la biodiversité sauvage. Dans les deux cas, les solutions visant à les favoriser devront être intégrées au système de production agricole. Car le changement climatique et ses impacts fournissent l'occasion de repenser l'agriculture dans son ensemble et de s'engager dans une démarche de transition agricole.

1) Adaptation des exploitations agricoles : d'une gestion tactique de la variabilité inter-annuelle à une gestion stratégique prenant en compte le changement climatique

Afin d'évaluer les capacités d'adaptation des agriculteurs du Grand Ouest au changement climatique, l'INRA de Rennes a mené une étude sociologique sur 60 exploitations visant dans un premier temps à étudier la perception que les agriculteurs ont de ce phénomène global puis à déterminer sa prise en compte dans la gestion de leurs exploitations. Les recherches ont été centrées sur les élevages laitiers en raison de leur importance dans le Grand Ouest en nombre de professionnels et de surfaces gérées mais aussi parce que leurs besoins importants en fourrage les rendent particulièrement vulnérables aux évolutions climatiques. Aussi, l'étude ne s'est-elle pas

246 Communication personnelle Gilles Pichard.

focalisée sur le bétail mais sur l'alimentation de ce dernier, qu'elle soit assurée par pâturage ou par la culture du maïs. Pour rendre compte de cette diversité, les exploitations choisies appartenaient à quatre grands systèmes fourragers : herbager (moins de 20 % de maïs), maïs/herbe (entre 20 % et 35 % de maïs), maïs dominant (entre 35 % et 50 % de maïs) et tout maïs (plus de 50 % de maïs) et étaient localisées dans quatre micro-régions aux conditions climatiques différentes : le centre-ouest Bretagne (climat humide et faibles amplitudes thermiques), le Haut-Anjou (fortes amplitudes thermiques liées à des étés chauds), le Perche (fortes amplitudes thermiques liées à des hivers froids) et la Vienne (sensible aux pénuries d'eau). Les résultats de cette enquête à la fois agronomique et sociologique ont avant tout montré que le changement climatique est loin d'être une préoccupation majeure pour la plupart des exploitants. Interrogés lors d'entretiens semi-directifs, seuls 20 % d'entre eux le mentionnent spontanément. S'ils perçoivent tous une évolution tangible à l'échelle des quinze ou vingt dernières années, seul un tiers d'entre eux l'impute au changement climatique d'origine anthropique. Les autres évoquent d'autres théories comme celle des cycles naturels de Milankovitch ou préfèrent ne faire aucune conjecture, estimant qu'ils ne disposent pas du recul nécessaire pour se prononcer. Si des actions adaptatives sont malgré tout menées, elles ne sont généralement pas perçues comme une réponse au changement climatique. En effet, ce dernier n'est évoqué que pour justifier les dates de semis et de récolte plus précoces et encore, il n'est pas toujours présenté comme le principal facteur de ces changements, les modifications de phénologie étant souvent attribuées à l'évolution génétique des variétés que les semenciers mettent sur le marché. La prise en compte de l'évolution climatique dans la gestion territoriale des exploitations ne va pas non plus de soi. L'adaptation aux conditions pédo-climatiques n'est en effet évoquée que pour justifier le recours à la mise en rotation culturale des prairies ou son abandon, et le passage du pâturage à la fauche ou de la fauche au pâturage. Mais l'objectif est alors de mieux s'adapter aux conditions climatiques existantes et non pas à leur évolution. De manière générale, les principales raisons avancées pour expliquer les changements dans la gestion territoriale des exploitations sont plutôt la recherche d'un gain de productivité, la simplification du travail, ou tout simplement des changements dans le système de production. Cette faible préoccupation des agriculteurs pour la question climatique se reflète dans les réponses qu'ils y apportent. En effet, si le changement climatique est une nouveauté encore peu prise en compte, la variabilité climatique constitue depuis toujours une donnée de base essentielle dans le travail de tout agriculteur. Aussi, c'est surtout par l'intermédiaire des ajustements liés aux variations inter-annuelles que l'adaptation des exploitations agricoles est pour l'instant menée. Par exemple, les réponses des agriculteurs interrogés sur leur gestion de la sécheresse de 2010 montrent que la plupart d'entre eux l'ont intégrée dans les actions tactiques de court terme sans que la récurrence accrue de ces épisodes extrêmes n'impulse le

développement d'actions stratégiques planifiées sur le long terme. Les exploitants de la Vienne font néanmoins exception à la règle. Non content d'évoquer spontanément le phénomène global du changement climatique, ces derniers ont développé diverses adaptations structurelles telles que le recours à de nouvelles variétés ou espèces (le sorgho étant par exemple envisagé comme alternative au maïs), à des modes d'irrigation moins consommateurs d'eau ou encore l'extension de la surface fourragère et/ou la réduction de la taille du troupeau. Il faut dire que la gestion quantitative de l'eau dans ce département est problématique depuis plusieurs années déjà et que le changement climatique y est de ce fait davantage perçu que dans les trois autres régions. Ainsi, si l'agriculture devrait être moins impactée par le changement climatique en Bretagne que dans d'autres régions, la relative absence d'adaptation stratégique à ce dernier risque de poser problème sur le long terme. La première étape à l'adaptation des exploitations bretonnes devra donc être la sensibilisation des agriculteurs à cet enjeu auquel ils ne sont pour la plupart pas encore familiarisés. À terme, cette sensibilisation doit viser à favoriser le passage d'une gestion tactique uniquement basée sur les variations climatiques inter-annuelles à une gestion stratégique comprenant des modifications structurelles des systèmes de production²⁴⁷.

Ce qui nous amène à la question suivante : quelle forme devront prendre ces modifications structurelles du système agricole breton ? En tant qu'association de protection d'une biodiversité avant tout sauvage, Bretagne Vivante n'a pas vocation à apporter de solutions techniques visant uniquement à l'adaptation de la biodiversité domestique au changement climatique. À des fins de transition vers une agriculture soutenable dans un contexte de changement climatique, nous prôtons plutôt l'intégration de la biodiversité sauvage aux systèmes de production agricole afin d'agir conjointement sur la résilience de la biodiversité sauvage et de la biodiversité domestique. En effet, la première peut se révéler bénéfique à la seconde par les services qu'elle rend naturellement. Pourtant, les pratiques agricoles intensives ont eu souvent pour conséquence voire même pour objectif affiché d'exclure la biodiversité sauvage des exploitations agricoles, préservant ces dernières de toute nuisance éventuelle mais les privant par la même occasion des services écosystémiques. Alors que le changement climatique est susceptible de modifier profondément la composition et le fonctionnement des écosystèmes agricoles et des services qu'ils nous rendent, il nous semble essentiel de renforcer la résilience de ces derniers en éliminant peu à peu les diverses pressions qui s'exercent déjà sur eux et contribuent à accroître leur vulnérabilité aux dérèglements futurs. Il s'agit là du pilier sur lequel devront s'appuyer les actions stratégiques en faveur de

247 MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.

l'adaptation de l'agriculture bretonne au changement climatique. Ainsi, la transition écologique doit selon nous permettre la mutation de l'agriculture intensive en une agriculture “écologiquement intensive”.

2) Dépasser le cadre de la seule adaptation au changement climatique : vers une agriculture “écologiquement intensive”

La transformation de l'agriculture bretonne est aujourd'hui une nécessité mais le changement climatique est loin d'être le seul facteur qui l'impose. Le modèle d'agriculture intensive breton est en crise depuis plusieurs années déjà. Ses premières limites ont commencé à apparaître au milieu des années 1990. Avec l'ouverture des marchés européens, négociée dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce, l'agriculture bretonne axée sur les volumes et les faibles marges s'est trouvée confrontée à la concurrence de pays comme le Brésil. Au sein même de l'Europe, avec l'entrée dans l'Union des pays d'Europe centrale et orientale, des distorsions de concurrence sont apparues entre la France et des pays comme l'Allemagne, qui ont recouru à la main-d'œuvre roumaine ou polonaise payée au salaire de son pays d'origine. Enfin, l'Union Européenne qui octroyait des subventions à l'exportation de poulets congelés vers le Moyen-Orient a finalement voté leur suppression en 2013. A cet accroissement des problèmes de concurrence est venue s'ajouter la fluctuation du prix des matières premières agricoles, de plus en plus spéculatives. L'élevage breton importe notamment de grandes quantités de soja (presque la moitié des importations françaises), devenu de plus en plus coûteux au fil des ans (il aurait par exemple triplé entre 2008 et 2013). Le développement de la grande distribution, qui pèse inexorablement sur les prix et les marges de ses fournisseurs, a aussi contribué à mettre le secteur sous tension²⁴⁸.

Si elle traverse actuellement une crise économique, l'agriculture bretonne est également responsable d'une véritable crise environnementale. Selon un indicateur construit par le Ministère de l'Environnement, l'agriculture bretonne a une consommation d'énergie plus de deux fois supérieure à la moyenne nationale²⁴⁹. Compte tenu de l'augmentation du prix de l'énergie et de la stagnation des prix des produits agricoles, cette grande dépendance énergétique contribue à accentuer les difficultés financières rencontrées par les agriculteurs. Mais surtout, cette consommation se traduit ensuite en émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, l'agriculture bretonne n'est responsable que de 7 % des émissions d'origine énergétique de la région. Elle reste

248 GIRARD Laurence, 2013. En Bretagne, un modèle agricole à bout de souffle. *Le Monde.fr* 31/10/2013. [en ligne] http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/10/31/le-modele-agricole-intensif-breton-est-a-bout-de-souffle_3506538_3234.html

249 SCHEPMAN Thibaut, 2013. *La Bretagne doit changer de modèle : la preuve en trois chiffres*. Terraeco. [en ligne] http://www.terraeco.net/spip.php?page=imprimer&id_article=51889

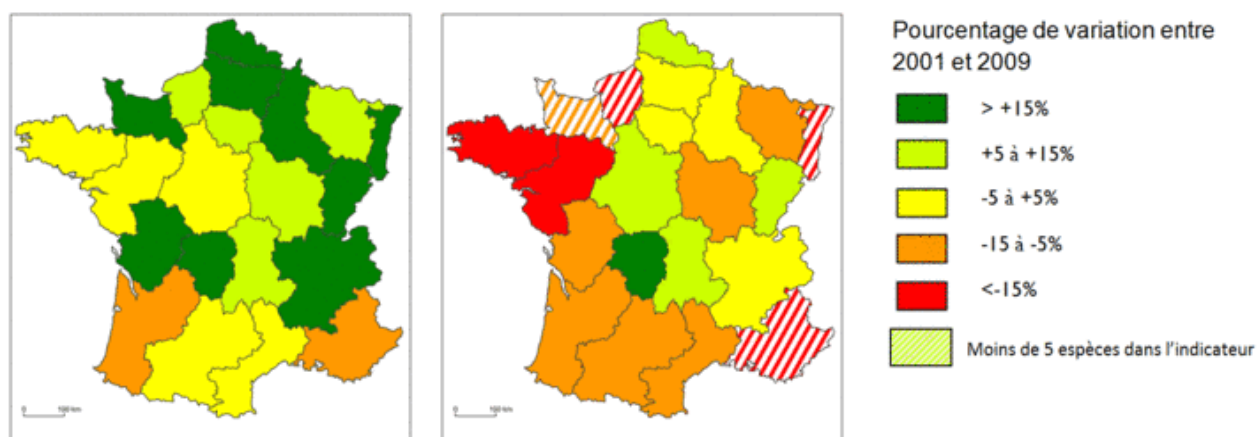
néanmoins le premier émetteur en Bretagne avec 45 % des émissions soit 92 % des émissions non énergétiques qui représentent 44 % des émissions totales de la région, un pourcentage anormalement élevé. La faute au méthane émis par la rumination et les déjections des animaux ainsi qu'au protoxyde d'azote issu des déjections et des engrais minéraux, ces deux gaz ayant un pouvoir de réchauffement 25 et 300 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone. Alors que la priorité environnementale est actuellement à l'atténuation du changement climatique, l'agriculture bretonne est loin de montrer l'exemple²⁵⁰. Mais la pollution atmosphérique n'est pas l'externalité négative pour laquelle elle est la plus pointée du doigt. L'élévation du taux de nitrate dans l'eau est devenue un sujet de préoccupation majeure pour les organisations environnementales mais aussi pour les citoyens et les pouvoirs publics. En 2012, 28 % des stations présentaient une concentration en nitrates supérieure à la norme "eau potable distribuée" de 50 mg/l. On trouve aujourd'hui en moyenne 40 mg de nitrates par litre dans les cours d'eau bretons. C'est presque 10 fois plus qu'en 1971 (5 mg) et presque deux fois plus que la moyenne française actuelle (23 mg). La Bretagne laisse sur 5 % du territoire national l'empreinte écologique de 58 % de la viande de porc française. Cet impact négatif a lui aussi un coût : celui du traitement des eaux polluées, du ramassage des algues vertes ou encore des sanctions européennes qui menacent la France pour non-respect des directives environnementales mises en cohérence par la Directive cadre sur l'eau²⁵¹. Quant à l'impact sur la biodiversité, nous avons déjà établi les conséquences néfastes de l'intensification de l'agriculture, de sa spécialisation régionale et de la suppression des éléments semi-naturels non productifs au sein des exploitations. Situés au sommet de la chaîne alimentaire, les oiseaux sont de bons indicateurs de l'état écologique des milieux agricoles. Une fois de plus, la Bretagne n'a rien à envier aux autres régions françaises en matière de dégradation environnementale puisque les résultats du programme STOC ("suivi temporel des oiseaux communs") mené par le Muséum national d'histoire naturelle montrent une perte de 35 % des effectifs d'oiseaux inféodés aux milieux agricoles sur la période 2001-2009 (beaucoup plus que pour les oiseaux généralistes), ce qui fait de la Bretagne l'une des régions françaises à l'avifaune agricole la plus érodée²⁵².

250 GIP Bretagne Environnement, 2015. *Les émissions de gaz à effet de serre de la Bretagne*.

251 SCHEPMAN Thibaut, 2013. *La Bretagne doit changer de modèle : la preuve en trois chiffres*. Terraeco. [en ligne] http://www.terraeco.net/spip.php?page=imprimer&id_article=51889

252 EDELIST Cécile, JIGUET Frédéric, LEGRAND Marine, 2010. *Publication des indicateurs STOC régionaux*. Muséum national d'Histoire naturelle.

Évolution des espèces d'oiseaux généralistes et spécialistes des milieux agricoles (2001-2009)



Les manifestations de janvier 2016 pour protester contre les cours du porc, du lait et de la viande bovine inférieurs aux coûts de production l'auront une nouvelle fois démontré : le modèle agricole breton n'est ni écologiquement ni économiquement soutenable. Aussi, apporter des solutions uniquement tournées vers l'adaptation des cultures bretonnes au changement climatique ne serait qu'entretenir un modèle à bout de souffle. Selon le géographe Jean Ollivro, la crise agricole bretonne trouve son origine dans trois facteurs principaux : le différentiel de charges pesant sur les exploitations en France par rapport à ses voisins et concurrents, le coût supérieur de la main-d'œuvre en comparaison des autres pays comme l'Allemagne où le secteur agricole a recours au dumping social et enfin l'avalanche excessive de normes et réglementations dans un secteur suradministré où on compte désormais un fonctionnaire par paysan²⁵³. Ainsi, les causes profondes à l'origine des difficultés économiques actuellement rencontrées par les agriculteurs bretons proviendraient de particularismes nationaux qui, dans un marché ouvert, nuiraient à la compétitivité de l'agriculture bretonne. La crise de celle-ci ne viendrait donc pas d'un supposé “modèle breton” mais bien de son appartenance à un modèle de production européen si ce n'est global dans lequel elle n'est pas assez compétitive. Dès lors, deux solutions apparaissent. La première consisterait à lever les contraintes juridiques et fiscales qui s'exercent sur l'agriculture bretonne dans le but d'augmenter sa compétitivité au sein du modèle auquel elle appartient déjà. La seconde viserait à l'extraire de ce modèle de production intensif et à la repositionner sur un autre marché, une autre demande. Si la première solution n'est qu'économique, la seconde pourrait également résoudre la crise environnementale. Dans son argumentaire sur la crise agroalimentaire bretonne paru à

253 OLLIVRO Jean, 2015. Agriculture bretonne : les trois causes d'une situation bloquée. *Ouest-France.fr* 21/10/2015. [en ligne] <http://www.ouest-france.fr/debats/editorial/agriculture-bretonne-les-trois-causes-dune-situation-bloquee-3780909>

l'occasion des manifestations contre l'écotaxe, la Confédération française démocratique du travail considère que seule l'agriculture intensive bretonne basé sur les volumes est en crise et que « la plupart des entreprises qui ont fait le choix de la valeur ajoutée, de la qualité et de l'innovation s'en sortent très bien et ont un vrai avenir si elles sont accompagnées dans cette recherche d'innovation, de qualité et de valorisation²⁵⁴ ». En effet, les exemples d'agriculteurs bretons ayant réussi en quittant le système productiviste existent. C'est le cas de Patrick Baron et Jean-Michel Duclos dont les exploitations sont respectivement situées sur les communes de Fercé et Rougé, à la frontière entre l'Ille-et-Vilaine et la Loire-Atlantique. Interrogé par le quotidien écologiste "Reporterre", le premier revient sur la modernisation des années 1960 qui, bien qu'économiquement prometteuse à ses débuts, n'a fait qu'enfermer les agriculteurs dans un cercle vicieux à l'origine de la crise agricole actuelle :

« C'était le tout début de la politique agricole commune. On a vu arriver le maïs, les phytosanitaires, le suivi technique... Dès qu'on mettait un peu d'engrais sur des terres qui n'en avaient jamais reçu, l'effet était immédiat. Les rendements augmentaient. [...] Comme tout le monde, on a suivi. Chaque année, on augmentait le nombre de vaches. Puis on a changé de race. Avant dans la région on était sur des races traditionnelles : des Normandes ou des Maine-Anjou. Tout ça a été remplacé par des Prim'Holstein. [...] Le fonctionnement est simple. Vous lui donnez à manger du maïs, vous lui mettez des compléments alimentaires avec les tourteaux de soja qui arrivaient des États-Unis et du Brésil à bon marché par les ports, et ça produit du lait en quantité. [...] C'est là qu'on a commencé à travailler pour les autres. La banque qui nous prête pour acheter du matériel, les concessionnaires agricoles qui nous vendent la mécanisation, les marchands d'aliments... Et pour nous, il reste les miettes. [...] Les animaux restaient en bâtiment. On utilisait le tracteur pour leur amener l'aliment, pour ressortir leurs déjections, pour cultiver le maïs... A trop utiliser le tracteur, on finit par trop dépenser en carburant. »

La situation économique de son exploitation n'étant plus soutenable, Patrick Baron a donc décidé de la rendre "économe" tout en restant dans un système de type intensif. Il s'est alors attaché à réduire tous les achats extérieurs, principalement ceux du carburant et de la nourriture. C'est pourquoi il assure désormais l'alimentation de ses bêtes par pâturage plutôt que par achat de maïs et de soja. Cela lui permet également de faire des économies de carburant puisque ce sont désormais les bêtes qui vont à la nourriture plutôt que l'inverse. Toutefois, l'alimentation par pâturage nécessite une surface bien plus importante que lorsque les bêtes sont nourries à l'étable. Aussi Patrick Baron a-t-il consenti à réduire la taille de son troupeau. Jean-Michel Duclos est quant à lui allé encore plus loin

254 CFDT Bretagne, 2013. *Crise de l'agro alimentaire : La CFDT ne veut pas sacrifier la question de l'emploi en Bretagne derrière le paravent de l'écotaxe*. Les Argumentaires CFDT.

en passant en agriculture biologique. Ses seuls achats extérieurs se limitent à quelques céréales pour nourrir ses bêtes durant les trois mois de l'année où elles ne pâturent pas sur les 92 hectares de prairies que compte son exploitation. Aussi fait-il l'économie des fertilisants et des semences cependant que son coût de mécanisation reste très peu élevé²⁵⁵. Patrick Baron et Jean-Michel Duclos ont ainsi décidé de s'émanciper des coûts de production imposés par le système intensif. Leur réussite économique prouve que la transformation de l'agriculture bretonne n'est pas qu'une question environnementale. Aussi pensons-nous que cette transformation est souhaitable, tant pour le maintien de la diversité spécifique et fonctionnelle des deux tiers du territoire qu'elle occupe que pour la pérennité de cette activité qui représente 3,3 % du PIB de la région. Le changement climatique, qui nécessitera des actions adaptatives, est l'occasion ou jamais d'opérer un tel changement.

La désintensification de l'agriculture et son passage à une agriculture "écologiquement intensive" suppose tout d'abord de bien comprendre ce qu'est l'intensification de l'agriculture. En fait, cette notion n'a de sens que rapportée à un facteur de production. En agriculture, il en existe principalement trois : le travail, le capital et la terre. Si l'un de ces facteurs est relativement rare la logique économique veut que l'on fasse des choix augmentant la productivité de ce facteur. En France et en Europe de l'Ouest, la terre a longtemps constitué un facteur limitant voire très limitant. Pour accroître la production et les revenus, on a donc cherché à augmenter la productivité, autrefois par le facteur travail puis, à partir des années 1960, en investissant dans le capital (mécanisation, bâtiments) et en augmentant artificiellement la productivité de la terre (par le recours à des intrants de synthèse). L'agriculture intensive peut donc être définie comme « une agriculture qui utilise davantage de facteurs de production par unité de surface²⁵⁶ ». Ainsi, plus une agriculture est intensive, plus la production par hectare est élevée. La crise agricole bretonne montre que le revenu qu'il reste à l'agriculteur n'est néanmoins pas nécessairement plus important en raison du coût que représente l'intensification des trois facteurs de production dits "classiques". Une agriculture extensive utilise quant à elle de faibles quantités de facteurs de production par hectare. L'extensification est donc un processus d'évolution où l'on cherche à produire moins par hectare²⁵⁷. Mais pour que les revenus de l'agriculteur se maintiennent à un niveau suffisant, celui-ci devrait en toute logique disposer d'une plus vaste surface. Or, la surface agricole utilisée tend à se réduire de

255 ASTIER Marie, 2015. Des paysans bretons s'en sortent bien... en changeant l'agriculture. *Reporterre* 07/03/2015.

256 LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

257 Ibid.

plus en plus au profit de l'urbanisation (-15 % entre 1975 et 2012 en Bretagne)²⁵⁸. C'est là qu'apparaît l'idée d'une agriculture "écologiquement intensive". Celle-ci consisterait à intensifier l'usage d'un facteur de production qui n'est pas reconnu par l'approche économique conventionnelle. Elle se rapproche ainsi de l'agroécologie dans le sens où elle entend s'appuyer sur les services écosystémiques pour produire mais s'en distingue par la volonté d'optimiser l'usage de ces derniers afin de compenser la désintensification conventionnelle²⁵⁹. Elle se propose de substituer dans la mesure du possible, les intrants habituels (et notamment chimiques) par une utilisation intensifiée des fonctionnalités naturelles offertes par les écosystèmes. Par exemple, l'usage de plantes de couverture, si possible de légumineuses (légumes "secs"), valorise la lumière solaire, accroît la quantité de biomasse dégradable, augmente les flux et stocks de carbone et d'eau dans les sols. Ces plantes de couverture peuvent, par ailleurs, limiter l'intérêt du labour, ce qui évite des émissions de CO₂, limiter le développement des adventices, ce qui évite l'emploi d'herbicides, et limiter la propagation des champignons, ce qui limite l'emploi de fongicides. Autre exemple, des quantités élevées de carbone dans les sols, sous des formes variées, semblent amplifier les capacités d'accumulation de l'eau et des nutriments jusqu'à des niveaux élevés de fertilité permettant l'économie des engrais de synthèse. Un aménagement écologique d'un bassin versant peut quant à lui intensifier le régime hydrique c'est-à-dire accroître les flux et les stocks d'eau dans l'écosystème du bassin versant. Il est également possible d'intensifier l'utilisation des chaînes trophiques et de faire en sorte que les ravageurs soient attaqués par des prédateurs ou des parasites. On peut aussi exploiter les vertus allélopathiques (effets bénéfiques d'une plante sur une autre) naturelles de certaines espèces végétales pour éliminer les adventices, ou encore mélanger des variétés d'une même espèce cultivée pour combiner les différentes résistances variétales aux maladies. Utiliser intensivement des mécanismes naturels, c'est aussi connaître et maîtriser des fonctions biologiques "mémorisées" dans le génome des plantes, par exemple, des mécanismes de résistance à des insectes²⁶⁰. L'avantage de cette approche est qu'elle mobilise un facteur de production dont le coût est nul ou du moins peu élevé, et permet l'inversion du regard que les agriculteurs portent sur la biodiversité. De contrainte subie, celle-ci devient un enjeu technique dont la maîtrise contribue au revenu agricole. L'intensification prend alors la forme de la recherche de l'amplification du fonctionnement des écosystèmes et ne cherche plus à exclure la biodiversité sauvage des exploitations mais à favoriser les synergies avec elle. Mais cela suppose d'acquérir de nombreuses connaissances sur le fonctionnement des agroécosystèmes et donc d'intensifier également les

258 GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014*.

259 BONNY Sylvie, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cah Agric vol.20, n°6*, novembre-décembre 2011, pages 451-462.

260 GRIFFON Michel, 2013. Après la Révolution verte, peut-on promouvoir une agriculture économe, intensive et à forte valeur environnementale ? *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France vol.99, n°1*, pages 9-14.

facteurs de production que sont le savoir et l'information. En effet, l'optimisation de l'usage des services écosystémiques à des fins de production requiert de nombreuses connaissances issues de diverses sciences annexes à l'agronomie telles que l'écologie fonctionnelle, l'écologie du paysage, l'écologie de la conservation ou l'éthologie. De plus, l'AEI réhabilite les raisonnements fondés sur la spécificité des situations locales. En effet, la grande diversité des écosystèmes entraîne inévitablement une diversité des solutions techniques. Chaque lieu a son ensemble de solutions écologiques optimales tandis que les solutions techniques standardisées n'ont pas leur place. L'agriculture écologiquement intensive impose donc un changement de paradigme en troquant la standardisation taylorienne contre la diversité et la complexité du vivant²⁶¹. Pour une compréhension plus concrète de l'AEI, le tableau ci-dessous présente quelques techniques envisageables par comparaison à l'agriculture conventionnelle²⁶² :

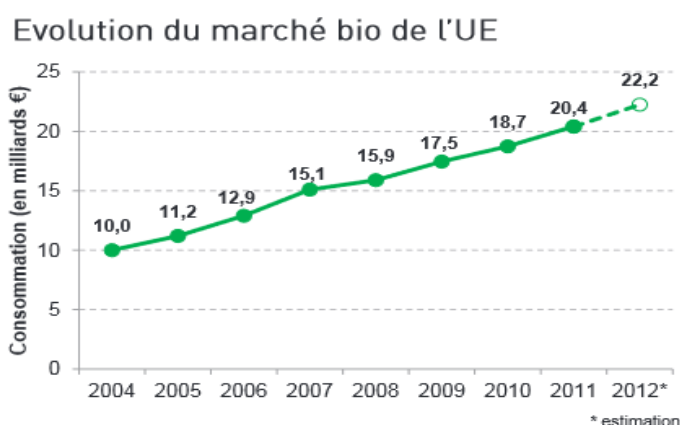
Table 1. Comparison of some ways and methods of conventional agriculture and ecologically intensive agriculture.

Aspects	Agriculture conventionnelle	Agriculture écologiquement intensive
Orientation générale	Artificialisation du milieu, emploi d'intrants achetés	Recherche d'utilisation et d'imitation de processus naturels bénéfiques
Itinéraires techniques et modes de raisonnement des interventions	Suivi d'itinéraires relativement uniformisés	« Retour de l'agronomie », davantage d'observations de terrain ou obtenues par diverses sources, recherche d'adaptation au milieu
Réseaux de conseil	Importance des coopératives et négociants	Groupes d'agriculteurs cherchant à être davantage autonomes et à réfléchir en réseaux
Fertilité	Surtout des engrais chimiques	Utilisation de légumineuses, mycorhizes, lombrics, vie microbienne des sols, plantes de couverture, agroforesterie. Meilleure valorisation des déchets organiques et fumiers. Recherche de mobilisation des éléments profonds. Évitement des sols nus. Objectif d'accroître la biomasse recyclable
Contrôle des adventices	Labour, herbicides	Rotations, binage, allélopathie, couverts végétaux épais, mulchs
Traction et labour	Motorisation importante, par exemple labour	Semis sans labour ou labour réduit pour favoriser la « vie des sols »
Contrôle des maladies des plantes	Surtout des traitements chimiques, ou emploi de variétés résistantes	Rotations, lutte intégrée et biologique, emploi d'auxiliaires, d'associations de cultures, de variétés résistantes, d'allélopathie. Recherche d'une gestion plus durable des pesticides quand on en emploie. Raisonnement des traitements
Contrôle des insectes	Surtout par des pesticides ou variétés résistantes	Variétés résistantes, associations de variétés, phéromones, lutte biologique, confusion sexuelle, utilisation d'auxiliaires
Limitations en eau	Irrigation là où c'est possible	Plantes résistantes mieux à la sécheresse, mulchs, augmentation du taux d'humus, aménagement des parcelles, réservoirs pour recueillir l'eau, irrigation plus finement ajustée
Production de services écologiques	Fourniture relativement limitée	Conservation de l'eau et de sa qualité. Évitement des sols nus. Meilleure lutte contre l'effet de serre et contre l'érosion de la biodiversité
Territoire, paysage et espace naturel	Localement assez uniformes et peu diversifiés	Plus variés avec des cultures diversifiées et association autant que possible des élevages et cultures dans les mêmes zones. Plantation de haies. Agroforesterie

261 Ibid.

262 BONNY Sylvie, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cah Agric vol.20, n°6*, novembre-décembre 2011, pages 451-462.

L'AEI est généralement bien perçue par les divers acteurs en lien avec l'activité agricole tels que la profession agricole elle-même, les coopératives, les groupes locaux d'agriculteurs, l'administration et la recherche, parce qu'elle permet théoriquement de concilier la diminution de l'empreinte écologique de l'agriculture et le maintien de rendements importants. Les consommateurs y semblent également favorables comme en témoignent les résultats d'un sondage réalisé en 2009 par l'Institut français d'opinion publique à la demande du magazine “Valeurs Vertes” qui révélait que 73 % des personnes interrogées faisaient confiance à ce concept pour relever les défis de l'agriculture²⁶³. Il faut dire que l'engouement des européens pour les produits issus d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement et plus saine pour la santé humaine ne cesse de croître. En effet, malgré le contexte économique, le marché bio de l'Union Européenne continue de se développer rapidement et a progressé de 104 % en moins de dix ans²⁶⁴.



Aussi, l'AEI pourrait répondre à une demande qui ne cesse d'augmenter et aurait donc de beaux débouchés devant elle. Seulement voilà, de nombreux freins à sa mise en pratique existent. Tout d'abord, le contexte économique incertain incite naturellement à la prudence. Or, les techniques concrètes proposées par l'AEI sont encore expérimentales pour nombre d'entre elles et nécessitent une bonne connaissance du fonctionnement des écosystèmes qui fait souvent défaut aux exploitants, la biodiversité n'étant pas intégrée comme un facteur de production dans l'agriculture conventionnelle. Ensuite, l'interdépendance des stratégies des acteurs de l'agroalimentaire rend difficile voire impossible des changements unilatéraux décidés uniquement par les agriculteurs. L'évolution de tous les acteurs d'amont en aval est donc indispensable pour que les agriculteurs puissent modifier leurs pratiques. Enfin, l'agriculture écologiquement intensive implique la transition vers une gestion plus complexe. Dès lors, un appui est nécessaire pour accéder à ces nouvelles techniques : formation professionnelle, information continue et recherche²⁶⁵. Il faut par

²⁶³ Ibid.

²⁶⁴ Agence Bio, 2014. La Bio dans l'Union Européenne. *Les carnets de l'Agence Bio – Édition 2014*. 40p.

²⁶⁵ BONNY Sylvie, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cah Agric vol.20, n°6*, novembre-

ailleurs reconnaître que cet effort produit un gain de bien public environnemental qui profite à la société : séquestration de carbone dans le sol, préservation de la biodiversité, préservation des abeilles et du service de pollinisation, réduction des pollutions de l'eau et de l'atmosphère. Les producteurs n'ayant qu'un intérêt partiel à produire de telles externalités positives, il serait naturel de développer des actions incitatives en amont ou de rémunérer les services écologiques qu'ils fournissent en aval²⁶⁶.

De tels encouragements existent déjà et doivent être mis en valeur auprès des agriculteurs. On les trouve notamment au sein de la Politique agricole commune dont les préoccupations environnementales n'ont cessé de se renforcer sous la demande de la société civile. A l'intérieur du premier pilier consacré au soutien au marché et aux revenus, le principe selon lequel les agriculteurs doivent respecter des exigences de protection de l'environnement pour bénéficier des aides directes de la Politique agricole commune s'est progressivement imposé sous le concept d'éco-conditionnalité. Dans le cadre de la réforme de la PAC 2015-2020, l'aide découplée appelée Droit au paiement unique qui existait en 2014 a été remplacée par une aide en trois parties dont l'une dépend de critères environnementaux. Il s'agit du "Paiement Vert", un paiement direct alloué aux exploitants agricoles de métropole pour rémunérer des actions spécifiques en faveur de l'environnement. En imposant le respect de certaines mesures, il vise à améliorer la performance environnementale de l'agriculture en termes de biodiversité, de protection de la ressource en eau et de lutte contre le changement climatique. Indépendant du type de production (aide découplée), sa valeur est en moyenne de 84 € par hectare mais varie selon l'exploitation et est proportionnelle au montant du paiement de base alloué à chaque agriculteur²⁶⁷. Pour toucher cette aide, les exploitants doivent respecter trois critères bénéfiques à la biodiversité :

- Contribuer au maintien d'un ratio de prairies permanentes au niveau régional ou participer à la protection des prairies et pâturages permanents dits sensibles. Les prairies permanentes sont définies comme toute surface dans laquelle l'herbe ou d'autres plantes fourragères herbacées prédominent depuis 5 ans au moins ainsi que toute lande, parcours et estive utilisée pour le pâturage. La part de la surface agricole utilisée (SAU) en prairie et pâturage permanents est calculée à l'échelle régionale chaque année en fin de campagne (second semestre). Elle est ensuite comparée au ratio de référence pour cette région, calculé en 2012 et réactualisé en 2015 pour tenir compte des prairies créées. En cas de dégradation du ratio de plus de 2,5 % dans une région, toute conversion de prairie ou de pâturage permanents en

décembre 2011, pages 451-462.

266 GRIFFON Michel, 2013. Après la Révolution verte, peut-on promouvoir une agriculture économe, intensive et à forte valeur environnementale ? *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* vol.99, n°1, pages 9-14.

267 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – Le "Paiement Vert" c'est quoi ?*

terre arable ou culture permanente doit faire l'objet d'une autorisation administrative préalable. En cas de conversion sans autorisation, l'exploitant s'expose à une réduction ou sanction de son paiement vert. Mais s'il s'engage à créer une surface en prairie permanente équivalente à la surface convertie, celle-ci pourra être déclarée dès la première année et l'agriculteur n'aura donc pas à attendre cinq ans pour récupérer la totalité de son paiement vert. En cas de dégradation du ratio de plus de 5 % dans une région, les conversions de prairies et pâturages permanents sont interdites et des réimplantations sont demandées à certains exploitants de la région. Celles-ci visent en premier lieu les exploitants disposant de surfaces converties sans autorisation, puis, si ce n'est pas suffisant, les exploitants ayant à leur disposition des surfaces converties avec autorisation. Les surfaces réimplantées sont alors considérées comme prairies permanentes dès la première année mais doivent rester ainsi au moins cinq ans à compter de leur création. Enfin, certaines prairies et pâturages permanents jugés sensibles ne peuvent être ni labourés, ni convertis en terre arable ou culture permanente sous peine de réduction ou sanction du paiement vert et d'obligation de réimplantation l'année suivante, et ce quel que soit l'état du ratio régional. Il s'agit des prairies, landes, parcours et estives situés sur des zones Natura 2000²⁶⁸.

- Assurer la diversité des assolements qui est ici pensée comme diversité des genres botaniques et non pas des variétés (tous les maïs ne constituent par exemple qu'une seule culture). En revanche, une culture d'hiver et une culture de printemps constituent deux cultures distinctes, même s'il s'agit du même assolement (blé de printemps et blé d'hiver comptent par exemple pour deux). Cette obligation dépend de la surface en terres arables de l'exploitation. En dessous de 10 ha, l'exploitation n'est pas soumise à ce critère. Entre 10 ha et 30 ha, deux cultures différentes doivent être cultivées au minimum, la culture dominante ne devant pas dépasser 75 % de la surface arable sauf s'il s'agit d'une prairie temporaire ou d'une jachère. Au dessus de 30 ha, au moins trois cultures différentes doivent être cultivées. La culture la plus importante ne doit alors pas dépasser 75 % de la surface arable tandis que la somme des deux cultures dominantes doit être inférieure ou égale à 95 % de la surface arable, sauf si la première culture est une prairie temporaire ou une jachère auquel cas c'est la seconde culture qui est soumise au critère des 75 %. Si la somme des surfaces en prairie temporaire et jachère ou en prairie permanente, prairie temporaire et riz dépasse 75 % de la surface arable et que la surface restante est inférieure à 30 ha, l'exploitation n'est pas soumise au critère de diversité des assolements²⁶⁹.

268 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – Les Prairies Permanentes*.

269 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement*

- Maintenir ou établir des surfaces d'intérêt écologique (SIE) sur l'équivalent de 5 % de sa surface en terres arables. Les SIE comprennent les terres en jachère, les surfaces portant des cultures dérobées ou à couverture végétale, les surfaces plantées de taillis à courte rotation, les surfaces portant des plantes fixant l'azote, les haies et bandes enherbées, les arbres isolés ou alignés, les groupes d'arbres et bosquets, les bordures de champ, les mares, les fossés, les murs traditionnels en pierre, les bandes tampons, les surfaces boisées et en agroforesterie... Un critère d'équivalence en surface est défini pour chacun de ces types de SIE. Sont exemptées de ce critère les exploitations dont la surface en terres arables est inférieure ou égale à 15 ha ou dont la surface en prairie temporaire/jachère/légumineuse ou en prairie permanente/prairie temporaire/riz représente plus de 75 % de la surface en terres arables avec une surface restante inférieure ou égale à 30 ha²⁷⁰.

Enfin, les agriculteurs dont l'exploitation est intégralement en agriculture biologique n'ont pas besoin de satisfaire à ces critères pour toucher le paiement vert. Pensé dans une optique de “verdissement” de la PAC, ce dernier constitue un premier pas vers la réintroduction de la nature sauvage au sein des exploitations agricoles dont on a longtemps cherché à l'exclure. En effet, les trois critères nécessaires à son obtention concernent deux paramètres fortement déterminants pour la richesse des exploitations en biodiversité sauvage : la diversité des cultures et la quantité d'habitats semi-naturels. Mais d'un autre côté, le paiement vert échoue à présenter la biodiversité sauvage comme un atout pour la production agricole. La PAC 2014-2020 exhorte les agriculteurs à favoriser la biodiversité sauvage sur leur exploitation mais sans leur expliquer les éventuels bénéfices pour le revenu agricole qui peuvent en découler. Aussi la nature est-elle toujours perçue comme une externalité positive plutôt qu'un éventuel facteur de production, ce qui limite l'enthousiasme des exploitants à mettre en place des mesures favorables à la biodiversité.

Autre instrument de “verdissement” appartenant cette fois-ci du second pilier, les mesures agro-environnementales sont un outil contractuel permettant de rémunérer les agriculteurs qui s'engagent volontairement à préserver l'environnement pour une durée de cinq ans. Cofinancées par le Fond européen agricole pour le développement rural et les crédits du Ministère de l'Agriculture, les MAE visent à compenser les coûts supplémentaires et pertes de revenus éventuelles occasionnés par l'adoption de nouvelles pratiques plus respectueuses de l'environnement. Apparues lors de la réforme de la PAC de 1992 sous la forme des opérations locales agro-environnementales (OLAE), elles n'ont cessé de prendre de l'importance depuis. Nommées MAE pour la programmation 2007-2013 elles étaient organisées de façon thématique avec deux dispositifs nationaux (prime herbagère

Vert” – La Diversité des Assolements.

²⁷⁰ Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le “Paiement Vert” – Les Surfaces d'Intérêt Écologique.*

et diversification des assolements), six dispositifs à cahier des charges national mais à application régionalisée (système fourrager polyculture-élevage économe en intrants, conversion et maintien de l'agriculture biologique, protection des races animales et variétés végétales menacées, apiculture) et un dispositif territorialisé concernant les zones prioritaires à enjeux spécifiques (zones Natura 2000 et bassins versants prioritaires définis au titre de la DCE)²⁷¹. Avec la nouvelle programmation 2014-2020, les MAE deviennent les Mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC). Leur mise en œuvre échoit davantage aux régions qui deviennent autorités de gestion du FEADER pour la programmation 2014-2020 des fonds européens structurels et d'investissement. En s'appuyant sur le Document de cadrage national (DCN) qui décrit les cahiers des charges des MAEC et après consultation de l'ensemble des acteurs concernés, les régions décident du contenu des Programmes de développement rural (PDR) dans lesquels elles identifient les enjeux environnementaux de leur territoire et définissent les zones dans lesquelles les MAEC pourront être ouvertes au regard de ces enjeux. Au sein de celles-ci sont lancés des appels à projets auxquels répondent les opérateurs de territoire désireux de mettre en place des MAEC. Peut remplir cette fonction toute structure ayant des compétences environnementales et agronomiques : Chambre d'agriculture, syndicat d'eau, Parc naturel régional... Les opérateurs sont en charge de l'élaboration des projets agro-environnementaux et climatiques (PAEC) qui détaillent les MAEC proposées aux agriculteurs et l'assistance prévue pour les aider à tenir leurs engagements. Les agriculteurs sont alors libres de choisir d'en mettre en place ou non. L'organisation des différentes mesures change également par rapport à la programmation précédente. Les mesures localisées et de protection des ressources génétiques sont conservées telles quelles tandis que les autres MAE sont réorganisées par grands systèmes de production : systèmes herbagers et pastoraux individuels, systèmes herbagers et pastoraux collectifs, systèmes de polyculture-élevage et systèmes de grandes cultures²⁷². Chaque MAEC système fixe des conditions qui doivent être respectées pour toucher la rémunération. Celles-ci sont plus contraignantes que celles qui conditionnent l'obtention du paiement vert, ce qui est tout à fait logique compte tenu du caractère volontaire de la démarche. Par exemple, dans le cadre des MAEC grandes cultures, la culture majoritaire ne peut représenter plus de 60 % de la SAU la seconde année et devra descendre à 50 % à partir de la troisième tandis que la limite est fixée à 75 % pour le paiement vert. L'exploitation doit également compter au moins quatre cultures différentes dès la deuxième année et cinq à partir de la troisième, contre seulement trois pour l'obtention du paiement

271 LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

272 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Les nouvelles mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC)*.

vert. A cela s'ajoutent une obligation de rotation, de légumineuse et de limitation des traitements phytos²⁷³. Contrairement au paiement vert alloué par défaut aux agriculteurs sauf en cas de non respect des obligations réglementaires, les MAEC reposent sur le volontariat et représentent un moyen d'aller plus loin que ce qui est légalement imposé. Davantage perçue comme un moyen d'obtenir des fonds supplémentaires plutôt que comme une contrainte susceptible de faire perdre des financements, la voie contractuelle représentée par les MAEC dispose sans doute d'une portée moindre que la réglementation mais présente l'avantage de favoriser l'implication des acteurs et leur appropriation des enjeux environnementaux et du droit, préparant le terrain pour une réglementation future plus avancée.

Si le verdissement de la PAC reflète les préoccupations croissantes de la société civile européenne vis-à-vis de l'empreinte environnementale de l'agriculture et de ses conséquences pour la santé humaine, la transition agroécologique est aussi en marche au niveau national. Depuis 2012, la France s'est en effet engagée dans un vaste projet agroécologique qui a pour ambition d'engager l'agriculture française sur la voie de la triple performance sociale, économique et écologique afin de faire de l'environnement un atout de sa compétitivité. Celui-ci trouve sa base juridique dans la Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014 et s'appuie sur le dispositif clef des Groupements d'intérêt économique et environnemental. Ceux-ci sont définis par l'article 3 de la Loi d'avenir comme « toute personne morale dont les membres portent collectivement un projet pluriannuel de modification ou de consolidation de leurs systèmes ou modes de production agricole et de leurs pratiques agronomiques en visant une performance à la fois économique, sociale et environnementale ». Ce projet doit obligatoirement :

- Associer plusieurs exploitations agricoles sur un territoire cohérent favorisant les synergies.
- Proposer des actions relevant de l'agroécologie permettant d'améliorer les performances économique, sociale et environnementale de ces exploitations, notamment en favorisant l'innovation technique, organisationnelle ou sociale et l'expérimentation agricole.
- Répondre aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux du territoire où sont situées les exploitations agricoles concernées, notamment ceux identifiés dans le plan régional de l'agriculture durable, en cohérence avec les projets territoriaux de développement local existants.
- Prévoir les modalités de regroupement, de diffusion et de réutilisation des résultats obtenus sur les plans économique, environnemental et social²⁷⁴.

273 Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Les nouvelles mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) – MAEC systèmes grandes cultures*.

274 Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt. Journal Officiel de la République Française n°0238 du 14 octobre 2014, p.16601.

Le Décret n° 2014-1173 du 13 octobre 2014 relatif au groupement d'intérêt économique et environnemental complète la Loi d'avenir en précisant la procédure de reconnaissance de la qualité de GIEE. Pour être reconnu comme GIEE, les agriculteurs doivent tout d'abord déposer un dossier les présentant ainsi que leur territoire et les modalités de leur projet pluriannuel. Après avis de la Commission régionale de l'économie agricole et du monde rural et du président du Conseil régional, la reconnaissance comme Groupement d'intérêt économique et environnemental est accordée ou non par arrêté du préfet de région. Les projets réalisés bénéficient de majoration dans l'attribution des aides ou d'une attribution préférentielle des aides. Celles-ci peuvent provenir de plusieurs sources et notamment de financements européens (FEADER, FEDER, FSE...), de l'État (crédits du Ministère en complément du FEADER, aides du compte d'affectation spéciale « développement agricole et rural »...) des collectivités territoriales (principalement la Région) ou d'organismes publics (ADEME, Agence de l'eau...) ²⁷⁵. Les GIEE favorisent donc la coopération entre agriculteurs dans le développement d'initiatives agroécologiques conciliant performance économique et respect de l'environnement, dans une optique de valorisation et de mutualisation des connaissances et compétences acquises. Ils sont notamment tenus de mettre à disposition leurs résultats et expériences utiles aux organismes de développement agricole afin que d'autres exploitants puissent en bénéficier. L'objectif est donc à terme, une modification de l'agriculture par le bas. Plutôt que de se plier à des normes plus contraignantes en échange de financements supplémentaires comme c'est le cas avec les MAEC, les agriculteurs qui choisissent de former un GIEE définissent eux-même le projet qu'ils souhaitent mener. Le dispositif favorise donc bien plus l'apprentissage des exploitants, et leur appropriation de l'agroécologie que ne le font les mesures environnementales de la PAC. Il favorise l'inventivité et l'innovation en matière de conciliation des impératifs économiques et des préoccupations environnementales plutôt que d'imposer des solutions toutes faites qui ne peuvent pas être adaptées à chaque situation particulière. Mais surtout, il intègre pleinement l'exploitant à la définition des pratiques agricoles de demain.

L'agroécologie et l'agriculture écologiquement intensive s'inscrivent parfaitement dans l'idée de transition écologique que Bretagne Vivante souhaite valoriser dans le contexte actuel marqué par des bouleversements qui ne sont pas que climatiques mais aussi environnementaux au sens large et économiques. Elles visent à réintégrer la nature au cœur de l'activité agricole et s'en servir de façon durable pour produire. En plaçant la créativité des agriculteurs au centre du dispositif, faisant d'eux les artisans de la transition agroécologique, le GIEE constitue sans nul doute l'outil de politique

²⁷⁵ Décret n° 2014-1173 du 13 octobre 2014 relatif au groupement d'intérêt économique et environnemental. Journal Officiel de la République Française n°0238 du 14 octobre 2014, p.16707

publique le plus prometteur pour la mutation de l'agriculture française et bretonne. Aussi, les projets portés par ces groupements sont autant d'initiatives et d'expériences qu'il est nécessaire de valoriser afin qu'ils servent d'exemples, de sources d'inspiration pour d'autres. Avant que les GIEE soient mis en place, plusieurs collectifs d'agriculteurs s'étaient déjà lancés dans la transition agroécologique en répondant dès janvier 2014 à l'appel à projets "mobilisation collective pour l'agroécologie". Aujourd'hui, ce sont plus de 240 groupements qui se sont lancés dont 26 en Bretagne. Parmi les projets menés, certains paraissent plus pertinents que d'autres dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. C'est le cas de ceux qui visent à réintroduire les habitats semi-naturels et la continuité écologique au sein des exploitations...

Exemple d'initiative : Vers un rétablissement du maillage bocager comme partie intégrante des systèmes de production agricole²⁷⁶

Par sa contribution à la diversité spécifique (et fonctionnelle) et à la continuité écologique des espaces agricoles, le bocage est essentiel au renforcement de la résilience de ces derniers face au changement climatique. S'il a particulièrement souffert de la modernisation des années 1950 à 1980, sa disparition se poursuit aujourd'hui de façon diffuse et moins spectaculaire que les arasements programmés du remembrement. Son recul se fait au fil de l'évolution socio-économique de l'agriculture, la très forte diminution du nombre d'exploitations agricoles, l'agrandissement et le regroupement de celles-ci, la réduction de la part de la polyculture d'élevage au profit de systèmes privilégiant la culture fourragère. Des opérations de replantation sont organisées depuis le début des années 1980, notamment par les conseils généraux, puis depuis 2007 par le programme Breizh Bocage piloté par la Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt en Bretagne et la Région Bretagne. Ce programme permet à la Bretagne d'accéder aux fonds européens pour l'aider à préserver et restaurer son bocage. De fait, depuis 2007, les résultats en termes quantitatifs n'ont jamais été aussi importants, même si le rythme rapide de plantation constaté entre 2010 et 2014 semble s'essouffler d'année en année, aux dires des porteurs de projets. Ces derniers sont très majoritairement des communautés de communes et des syndicats de bassins versants, maîtres d'ouvrage de ces opérations, qui prennent en charge les plantations, (fournitures et travaux de plantation et d'entretien pendant 3 ans) avec l'aide des fonds Breizh Bocage (FEADER/Département/Agence de l'eau). Ce transfert temporaire de responsabilité des plantations, des agriculteurs vers la collectivité, explique à la fois cette augmentation des linéaires plantés, mais aussi corrélativement leur fragilité accrue, du fait de la moindre implication agricole. Malgré cet

276 Partie rédigée par Thierry Ghéhenneuc.

effort très important, il n'est pas acquis que ces plantations compensent ce qui disparaît de façon diffuse chaque année en Bretagne, du fait de l'évolution des espaces ruraux, par l'agriculture, mais aussi par la progression de l'urbanisation.

Cette question de l'avenir du bocage et de l'évolution de sa signification pour l'agriculture est au cœur du travail de Thierry Guéhenneuc, agro-forestier qui travaille avec les agriculteurs du réseau Terres & Bocages. Pour cette association, le bocage n'a d'avenir que s'il se ré-insère dans le fonctionnement du système agricole. C'était le plus souvent le cas dans les systèmes de polyculture d'élevage mais ce mode d'utilisation de l'espace ne cesse de reculer en même temps que le bocage. L'avenir et le développement à long terme d'une plantation suppose qu'elle soit considérée comme une culture en elle-même, associée aux autres cultures de l'exploitation ; sans quoi la plantation ne trouve pas sa place, ou est au mieux tolérée aux marges du système agricole, en tant que « compensation environnementale à l'activité agricole », et non plus comme partie intégrante du système. Certains agriculteurs font le choix de ré-insérer les haies dans leur système, et ils s'organisent à cet effet pour être en capacité de planter et d'entretenir eux-mêmes leur réseau bocager, en mutualisant les savoirs-faire et en s'organisant collectivement, comme c'est le cas dans l'association Terres & Bocages. En 2014, leur expérience a été reconnue par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre des premiers Groupements d'intérêt économique et environnemental, qui constituent l'un des outils structurants du projet agroécologique pour la France. Le pari de cette association est que le bocage et sa rénovation peut être un projet porté collectivement par des agriculteurs, en lien avec une réflexion sur leur système d'exploitation et leur mode de gestion de l'espace et des sols.

Cette expérience reste néanmoins peu connue et concerne seulement une cinquantaine d'agriculteurs constituant un groupe ouvert, avec des ponts vers d'autres groupements agricoles, tels que le CEDAPA (Centre d'étude pour un développement agricole plus autonome) ou l'association BASE (Bretagne Agriculture Sols et Environnement). Il nous semble pourtant que la réflexion menée par cette association devrait prévaloir dans le rétablissement du maillage bocager en Bretagne. En effet, celle-ci se distingue par sa volonté d'intégrer la nature au système de production agricole tandis que le programme Breizh Bocage tend davantage à séparer la gestion du bocage de celle des exploitations agricoles, consacrant de ce fait l'exclusion de la biodiversité en périphérie des exploitations agricoles opérée par la modernisation des années 1950-1980 et à l'origine de bon nombre de dysfonctionnements des systèmes de production agricole modernes. Or, les quelques données disponibles sur l'intégration de problématiques de biodiversité dans les exploitations font ressortir que la biodiversité, dans le cadre de mesures agro-environnementales, est mieux acceptée

si elle s'intègre dans la multifonctionnalité de l'agriculture que si elle constitue un objectif autonome²⁷⁷. Aussi, les preuves plaident-elles pour une intégration du maillage bocager aux exploitations agricoles.

Le renforcement de la résilience des écosystèmes agricoles face au changement climatique ne pourra se faire sans l'implication totale des agriculteurs. En tant qu'association référente sur les questions de biodiversité, il est impératif que Bretagne Vivante travaille davantage avec les exploitants. L'agroécologie s'appuyant sur l'utilisation des services écosystémiques comme un facteur de production, aucun acteur n'est mieux placé pour assurer une mission de conseil et d'assistance qu'une association consacrée à l'étude des fonctions écologiques à l'origine de ces services. Les GIEE pouvant être épaulés dans la réalisation de leur projet par des structures d'accompagnement, il y a là un créneau à occuper pour notre association.

C) Bassins versants : la politique de l'eau et les initiatives locales au service de l'adaptation au changement climatique

Face aux nombreuses modifications et dégradations des milieux aquatiques causées par les activités humaines, le changement climatique semble exercer un impact presque négligeable. Agir pour l'adaptation de la biodiversité des cours d'eau et des zones humides impose d'abord de tout mettre en œuvre pour conserver ou restaurer la résilience des écosystèmes aquatiques en rétablissant leur fonctionnement naturel. Comme nous l'avons vu, la principale menace que le changement climatique fait peser sur la faune et la flore dulçaquicole réside dans l'aggravation des perturbations liées aux ouvrages hydrauliques qui constituent une entrave à la continuité écologique et modifient les faciès d'écoulement, ainsi que la destruction et la dégradation des zones humides. Des politiques publiques et initiatives citoyennes œuvrent déjà pour corriger ces perturbations et contribuent indirectement à l'adaptation au changement climatique.

1) La politique européenne de l'eau et ses applications régionales et locales : une base juridique aux actions visant l'adaptation de la biodiversité aquatique au changement climatique

Institué par la loi sur l'eau de 1992, le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des

²⁷⁷ LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.

eaux (SDAGE) est l'outil principal de mise en œuvre de la Directive 2000/60/CE du 3 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau dite Directive cadre sur l'eau (DCE), transposée en droit interne par la loi n°2004-338 du 21 avril 2004. L'intégration de la politique de l'eau au niveau de gouvernance européen avait commencé dans les années 1970 et la DCE marque son parachèvement en donnant naissance à une politique communautaire globale de gestion de la ressource en eau. Son objectif était d'apporter une certaine cohérence à l'ensemble des législations sur l'eau afin d'atteindre d'ici 2015 "le bon état écologique des masses d'eau sur tout le territoire européen". Cet objectif n'a pas été atteint et c'est pourquoi la politique initiée par la DCE se poursuit sur la période 2016-2021, à travers la mise en œuvre des SDAGE. Ceux-ci sont des documents de planification qui définissent, pour une période de six ans et dans chaque bassin hydrographique, les grandes orientations et les objectifs précis pour une gestion équilibrée de la ressource en eau. Ils s'articulent entre les questions importantes qui sont les grandes thématiques à aborder (qualité de l'eau, ressource en eau, milieux aquatiques, gouvernance), les orientations fondamentales qui apportent des réponses générales aux questions, les objectifs qui fixent un résultat chiffré à atteindre pour une date donnée et les dispositions qui représentent les déclinaisons concrètes des orientations fondamentales. Le SDAGE est complété d'un Programme de mesures (PDM) qui présente les actions précises et localisées à mettre en place dans chaque bassin. Les deux documents sont intimement liés : le Programme de mesures permet d'atteindre les objectifs du SDAGE tandis que ces derniers sont arrêtés en fonction de la faisabilité technique et économique des mesures. Le SDAGE a une portée juridique plus contraignante que le SRCE puisqu'il relève du niveau d'opposabilité supérieur : la compatibilité. Les programmes et les décisions administratives dans le domaine de l'eau ainsi que les documents d'urbanisme (SCoT, PLU et cartes communales) doivent donc être compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du SDAGE. Son élaboration partage des points communs avec celle du SRCE dans le sens où elle est le fruit d'un processus de consultation de tous les acteurs du bassin concernés par la gestion de l'eau. Le comité de bassin qui arrête les grandes orientations est ainsi composé de 40 % d'élus des collectivités, 20 % de représentants de l'État et 40 % de représentants des usagers de l'eau parmi lesquels on trouve les agriculteurs et les industriels mais aussi les associations environnementales, de pêche et de consommateurs. La consultation du public est par ailleurs organisée à différents stades de l'élaboration²⁷⁸. Le SDAGE est décliné à l'échelle locale par les Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), élaborés par les Commissions locales de l'eau (CLE), dont la structure est similaire à celle des comités de bassin, avec trois collègues

278 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

représentant respectivement les collectivités territoriales, les services de l'État et les usagers. Les SAGE ne couvrent pas nécessairement l'ensemble du bassin hydrographique et leur création n'est pas systématique : on y recourt seulement lorsque l'atteinte des objectifs du SDAGE nécessite la prise en compte d'enjeux locaux ou la résolution de conflits d'usage²⁷⁹. L'ensemble du territoire de la Bretagne administrative est néanmoins couvert par les SAGE qui sont au nombre de 21 mais sont loin d'être tous finalisés²⁸⁰ :



Pour sa programmation 2016-2021, le SDAGE renforce le rôle des CLE et des SAGE afin de permettre la mise en place d'une politique de l'eau à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente, en lien avec les problématiques propres au territoire concerné²⁸¹.

Le SDAGE s'appuie par ailleurs sur un certain nombre de documents : le plan de gestion des poissons migrateurs, le SRCE, le plan de gestion du risque inondation et le plan d'action pour le milieu marin²⁸². C'est principalement parce qu'il reprend à son compte des éléments de ces

279 Gest'eau, 2016. *Qu'est-ce qu'un Sage ?* [en ligne] <http://www.gesteau.eaufrance.fr/presentation/sage>

280 GIP Bretagne environnement, 2016. *État d'avancement des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (Sage) en Bretagne*. [en ligne] <http://bretagne-environnement.org/Media/Atlas/Cartes/Les-Sage-de-Bretagne>

281 L'eau en Loire-Bretagne, 2016. *Sdage 2016-2021*. [en ligne] http://www.eau-loire-bretagne.fr/sdage/sdage_2016_2021

282 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

documents (en particulier le SRCE et le plan de gestion des poissons migrateurs) et notamment l'idée de trame bleue, lui confère une portée juridique plus contraignante et définit des objectifs et des mesures concrètes pour la réaliser, que le SDAGE contribue à l'adaptation des milieux aquatiques au changement climatique.

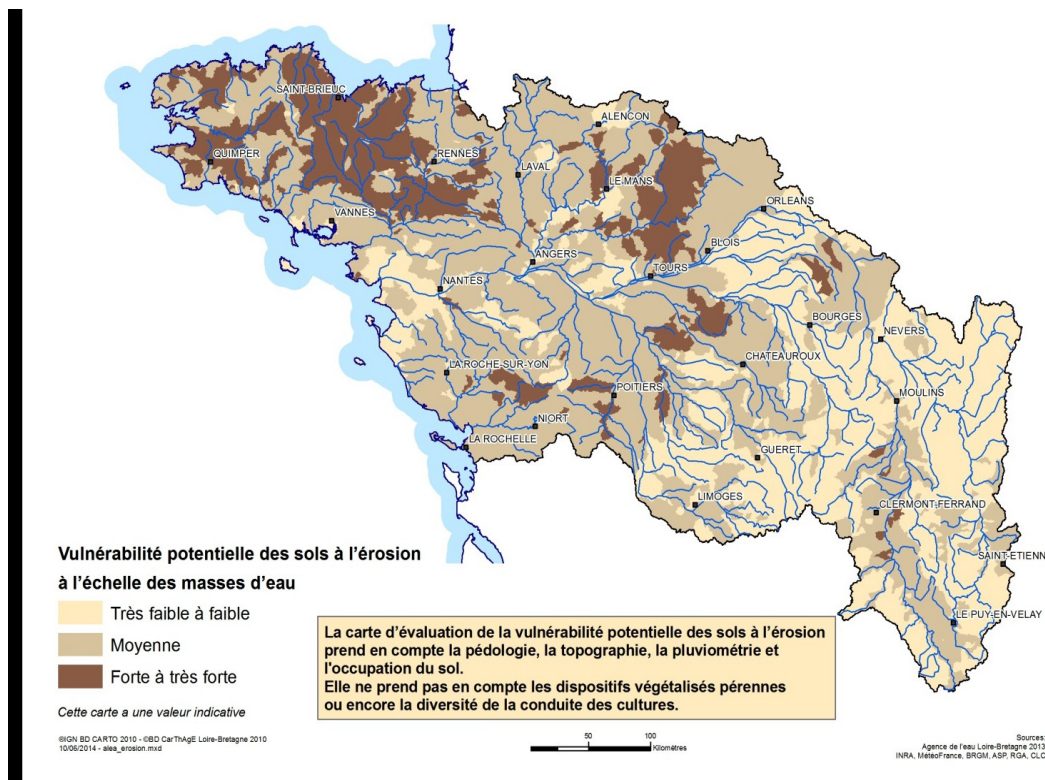
2) La renaturation des cours d'eau et le rétablissement de leurs continuités écologiques

Comme nous l'avons vu, le SDAGE 2016-2021 aborde quatre grandes thématiques : qualité de l'eau, ressource en eau, milieux aquatiques et gouvernance. Les interactions entre qualité de l'eau et changement climatique étant pour l'instant très mal connues, nous ne nous attarderons pas sur les chapitres consacrés à la lutte contre la pollution mais nous focaliserons plutôt sur les dispositions et mesures susceptibles de faciliter les déplacements d'espèces le long du gradient amont-aval et de rétablir les débits naturels. Le SDAGE Loire-Bretagne considère les altérations de l'intégrité physique des milieux comme la première entrave à l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau et fait donc de leur aménagement durable et raisonné sa priorité. Il reconnaît par ailleurs que le changement climatique est de nature à accroître les modifications induites par certaines activités telles que l'hydroélectricité, l'agriculture, la navigation, les aménagements de loisirs liés à l'eau, l'extraction de granulats ou encore la construction d'infrastructures de transport²⁸³... Enfin, il aborde le problème des ouvrages hydrauliques par ses deux entrées : la qualité physique et fonctionnelle des cours d'eau et la continuité écologique. La restauration de ces deux paramètres essentiels au "bon état écologique" recherché par la DCE passe par l'intervention sur les ouvrages hydrauliques transversaux.

Ceux-ci ont pour conséquence première de modifier le débit naturel des cours d'eau, parfois au point de modifier considérablement les habitats naturels et de les rendre impropres aux espèces qui y vivaient. C'est pourquoi le SDAGE impose le maintien d'un débit minimum dans les cours d'eau appelé "débit minimum biologique" ayant pour but de « garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ». Pour toute autorisation administrative de création d'ouvrages, un débit réservé conforme à l'objectif d'atteinte du bon état écologique est ainsi fixé. Des moyens de surveillance permettant de suivre l'évolution de la qualité écologique du cours d'eau peuvent être mis en place pour évaluer la pertinence du débit réservé choisi qui peut être réajusté selon les résultats obtenus, l'objectif étant qu'il soit le plus proche possible du débit minimum biologique. Lorsque les ouvrages hydrauliques existent déjà et qu'ils ont un effet négatif sur l'hydromorphologie d'un cours d'eau, un

283 Ibid.

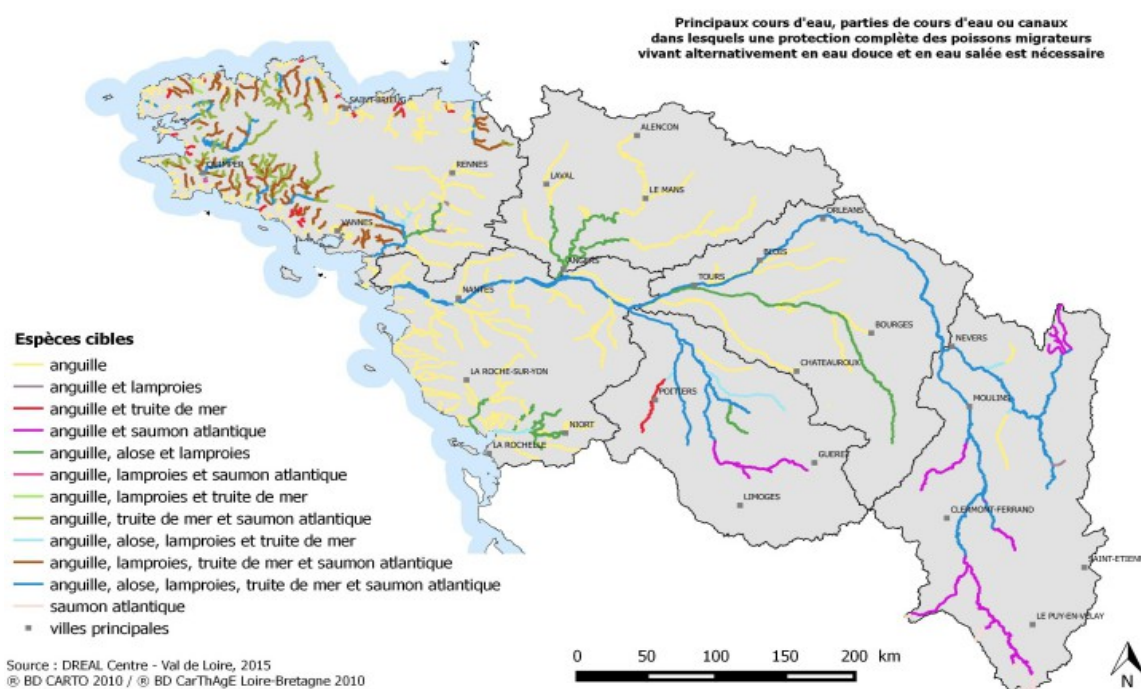
indicateur appelé taux d'étagement permet de déterminer l'ampleur des ajustements à mener. Ce dernier se définit comme le rapport entre la somme des hauteurs des chutes artificielles créées par les ouvrages et le dénivelé naturel du cours d'eau. Il va de soi que l'impact de l'ouvrage est d'autant plus fort que le taux d'étagement s'éloigne de zéro. Pour identifier les masses d'eau présentant des dysfonctionnements hydromorphologiques, les SAGE évaluent le taux d'étagement des cours d'eau présents sur leur territoire et fixent un objectif chiffré et daté de réduction de celui-ci lorsque c'est nécessaire. Le SDAGE émet également des dispositions relatives à la lutte contre l'érosion des sols qui, comme on a pu le voir à travers le cas de l'Oir, peut être un facteur important de modification du substrat. Il charge les SAGE d'identifier les zones dans lesquelles l'érosion diffuse des sols agricoles est de nature à compromettre la réalisation des objectifs de bon état écologique puis de proposer au préfet un plan d'actions pour y remédier. A l'échelle du bassin hydrographique, la Bretagne est particulièrement concernée par ce problème d'érosion des sols pouvant conduire à l'envasement ou au colmatage du substrat :



Les mesures concrètes à mettre en place passent surtout par la création et/ou l'entretien de dispositifs tampons pérennes tels que les haies, les talus, les bandes enherbées, ou encore la rypisilve et les zones humides, c'est-à-dire des habitats semi-naturels qui, en plus de limiter les transferts de sédiments vers le cours d'eau, sont favorables à la biodiversité sauvage des espaces agricoles et à

ses déplacements²⁸⁴.

Les ouvrages hydrauliques ne font pas que perturber la dynamique hydromorphologique des cours d'eau, ils constituent également une entrave à la continuité écologique, un enjeu particulièrement fort à l'heure du changement climatique. A ce sujet, le SDAGE 2016 Loire-Bretagne souligne que « les espèces affectées par le changement climatique devront soit s'adapter aux nouvelles conditions, soit se déplacer pour retrouver des conditions de vie favorables. La continuité écologique représente par conséquent un enjeu majeur dans la conservation et/ou la reconquête d'aires de répartition ou dans le repositionnement des espèces²⁸⁵. » A l'échelle bretonne l'enjeu de conservation concerne principalement les espèces migratrices amphihalines qui sont pour la plupart menacées à l'échelle nationale, ont une forte valeur patrimoniale, et dont certaines pourraient être particulièrement affectées par le changement climatique. Par son chevelu dense de petits fleuves côtiers, la Bretagne est une région clé pour la survie de ces espèces, comme on peut le voir sur cette carte issue du SDAGE Loire-Bretagne.



De plus, le changement climatique devrait s'y manifester de façon moins violente que dans la majeure partie du territoire métropolitain. Aussi la promotion de la continuité écologique n'est pas ici qu'une grande et vague solution aux déplacements d'espèces induits par le changement climatique. Compte tenu de l'absence de grands fleuves dans la région, l'argument de la remontée des aires de répartition vers l'amont est même quelque peu hors de propos. La continuité écologique

284 Ibid.

285 Ibid.

des cours d'eau bretons doit plutôt être pensée comme une condition *sine qua non* à la conservation d'espèces menacés par le changement climatique à l'échelle nationale mais qui pourraient mieux se maintenir en Bretagne qu'ailleurs, à condition de tout mettre en œuvre pour que ce soit le cas. En effet, grâce à sa situation péninsulaire et à ses centaines de fleuves côtiers, la Bretagne est riche en espèces amphihalines ayant progressivement disparu de la plupart des cours d'eau français. En tant qu'espèces rhéophiles (appréciant les forts courants) et cryophiles, ces poissons sont particulièrement menacés par les impacts du changement climatique. Aussi incombe-t-il à notre région une responsabilité vis-à-vis de ces espèces devenues rares partout ailleurs. De manière plus générale, chaque région devrait selon Hubert Catroux, chargé d'études à la Fédération de pêche des Côtes-d'Armor, assumer la responsabilité de la conservation des espèces patrimoniales de son territoire afin que subsiste des refuges pour les espèces les plus menacées par les changements globaux, parmi lesquels figure le changement climatique²⁸⁶. Dans cette optique, le SDAGE Loire-Bretagne encadre la création et la gestion des ouvrages transversaux au regard des objectifs en matière de continuité écologique. Ainsi, tout nouvel ouvrage créant une chute artificielle et ne relevant pas des projets à motif d'intérêt général définis par la Directive cadre sur l'eau ne peut être accepté qu'après démonstration de l'absence d'alternatives meilleures d'un point de vue environnemental et d'un coût non disproportionné. Toute opération sur un ouvrage déjà existant ayant des impacts négatifs doit donner lieu à des mesures compensatoires permettant de retrouver des conditions équivalentes de transport des sédiments, de diversification des habitats, de vitesse de transfert des eaux et de circulation piscicole sur le même bassin versant. Si les mesures compensatoires ne satisfont pas à ces objectifs, une réduction cumulée de chutes artificielles d'au moins 200 %, en cherchant une continuité longitudinale la plus importante possible, est exigée sur le même bassin versant ou en dernier recours sur un autre immédiatement voisin. Concernant la restauration de la continuité écologique à proprement parler, un ordre de priorité des solutions à mettre en place pour chaque ouvrage est établi :

- l'effacement total, solution privilégiée pour les ouvrages abandonnés ou sans usage avéré
- l'arasement partiel et l'aménagement d'ouvertures
- la prise en compte des cycles biologiques des espèces et de la dynamique morphologique dans la gestion des ouvrages (ex : ouverture des barrages en période de migration)
- l'aménagement de dispositifs de franchissement ou de rivières de contournement

Les SAGE sont encouragés à mener des études analysant l'impact cumulé des différents ouvrages sur la continuité écologique et/ou le transport des sédiments afin d'identifier ceux sur lesquels il convient d'intervenir en priorité. Il revient aux CLE de décider quelle solution sera appliquée pour

²⁸⁶ Communication personnelle Hubert Catroux.

chaque ouvrage²⁸⁷. Si l'effacement total est privilégié dans la mesure du possible, les décisions doivent être prises au cas par cas et résulter d'une concertation avec les propriétaires. Cela peut paraître évident mais il convient malgré tout de le rappeler.

En effet, certaines associations environnementales pourtant fermement attachées à la restauration de la continuité écologique ont émis des réserves quant à l'application quelque peu bureaucratique des dispositions du SDAGE relatives à l'aménagement des cours d'eau. Par exemple, Eau & Rivières de Bretagne reconnaît l'importance de la continuité écologique pour la circulation des poissons mais considère que « le raccourci parfois exprimé *continuité écologique* = *suppression des ouvrages* est inadapté et inopportun » et « qu'il est tout aussi faux d'affirmer que tous les ouvrages situés sur nos cours d'eau constituent des freins à la migration des poissons [...], que les poissons migrateurs n'auraient aujourd'hui aucune difficulté à franchir les ouvrages en place sur nos rivières²⁸⁸ ». Jean-Claude Pierre, historien du territoire et cofondateur d'Eau & Rivières de Bretagne, va même jusqu'à comparer la politique de suppression des barrages au remembrement du bocage breton, dans la mesure où la suppression des ouvrages hydrauliques a tendance à être systématique, à l'instar de l'arasement des haies dans les années cinquante²⁸⁹. Ainsi, l'association préconise que la démarche d'amélioration de la continuité écologique des cours d'eau bretons s'appuie sur deux principes essentiels : la prise en compte des spécificités propres à chaque situation et la concertation des acteurs. Tout d'abord, l'analyse de la situation des différents ouvrages et l'élaboration des propositions d'aménagement doivent être menées au cas par cas, et non être soumises à un « diktat » général de suppression des ouvrages. Ensuite, les démarches doivent prendre en compte l'ensemble des préoccupations et doivent donc être menées en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés²⁹⁰. Ce traitement des situations au cas par cas est essentiel pour éviter que l'objectif de restauration de la continuité écologique ne contribue à la destruction dispensable de sites remarquables du point de vue de la biodiversité ou d'une grande valeur patrimoniale. En ligne de mire des SDAGE figurent notamment le troisième patrimoine architectural de France après les châteaux et les églises : les moulins. Leurs propriétaires voient souvent d'un mauvais œil leur destruction pure et simple, surtout lorsque des solutions moins radicales seraient envisageables. Dans la vallée du Couesnon, l'association Rivières et Acteurs pour les Moulins de Basse-Normandie et d'Ille-et-Vilaine s'était mobilisée pour empêcher la destruction de ces éléments patrimoniaux²⁹¹. Autre patrimoine, cette fois-ci naturel, menacé par les impératifs de la DCE : les plans d'eau. Ces

287 Ibid.

288 Eau & Rivières de Bretagne, 2012. *Amélioration de la continuité écologique des cours d'eau bretons*.

289 NAOUR Sylvestre, 2012. Avec l'étang, tout s'en va. *Liberation.fr* 18/09/2012. [en ligne]

http://www.liberation.fr/societe/2012/09/18/bretagne-avec-l-etang-tout-s-en-va_847185

290 Eau & Rivières de Bretagne, 2012. *Amélioration de la continuité écologique des cours d'eau bretons*.

291 <http://moulins.bas.normands.free.fr/>

derniers abritent des milieux parfois très anciens où une biodiversité singulière a pu se développer. A ce titre, l'étang de Pont-Calleck, dans l'ouest du Morbihan, était né d'un barrage élevé à la fin du XIII^e siècle et avait fini par devenir un site récréatif de premier ordre dans le département. Les pêcheurs venaient de Lorient et de Vannes pour s'adonner à leur passion, le site possédant une grande richesse piscicole. Mais surtout, l'étang abritait des loutres, ce qui lui valait d'être classé sur sa partie haute zone Natura 2000. Le 11 septembre 2011, une bonde prévue pour évacuer les eaux vers le bas du barrage s'est rompue et l'étang s'est complètement vidé, ses eaux s'échappant dans le Scorff, entraînant dans leur sillage les boues denses qui s'étaient accumulées dans le fond du plan d'eau. L'étang aurait pu être remis en eau une fois l'ouvrage réparé et ses vieilles boues évacuées mais cela aurait été contraire aux impératifs de restauration de la continuité écologique. En effet, la retenue d'eau était accusée d'endiguer les sédiments, d'empêcher la remontée des poissons migrateurs (saumon atlantique, truite fario, anguille, lamproie marine) et d'être fortement eutrophisée. Le maire de Berné, la commune sur laquelle la partie aval de l'étang était située, avait proposé le rachat de l'étang à l'association qui en était propriétaire et l'installation d'une passe à poissons mais cette solution n'a pas été retenue. Finalement, c'est l'effacement pur et simple du plan d'eau qui a été choisi, au grand dam des riverains. Ces derniers ont été par ailleurs étonnés que les autorités publiques, pourtant si inquiètes de la toxicité des boues de l'étang, aient donné le feu vert à l'agrandissement de la porcherie à l'origine de la pollution du plan d'eau²⁹². L'incompréhension face à ce paradoxe fait directement écho à un autre reproche régulièrement émis à l'encontre de la politique de l'eau. La restauration de la continuité écologique étant un objectif plus facilement réalisable que la reconquête de la qualité de l'eau, cette dernière aurait été reléguée au second plan. Ainsi, Eau & Rivières rappelle que la réalisation de la trame bleue ne doit pas éclipser l'objectif de lutte contre la pollution de l'eau qui, bien que ses interactions avec le changement climatique soient mal connues, affecte aussi la biodiversité des milieux aquatiques, atténuant sa résilience à toute pression supplémentaire²⁹³.

La gouvernance multi-niveaux de la politique de l'eau, qui prend sa source à Bruxelles et est mise en œuvre à l'échelle du bassin versant, fournit donc un cadre juridique à la renaturation des cours d'eau. En Bretagne, de nombreux projets ont déjà vu le jour. Dans le cadre du programme "poissons migrateurs" du contrat de projet État-Région 2007-2013, 38 actions de restauration de la continuité écologique ont par exemple été menées²⁹⁴. La diversité des porteurs de projets, qui

292 NAOUR Sylvestre, 2012. Avec l'étang, tout s'en va. *Liberation.fr* 18/09/2012. [en ligne]

http://www.liberation.fr/societe/2012/09/18/bretagne-avec-l-etang-tout-s-en-va_847185

293 Eau & Rivières de Bretagne, 2012. *Amélioration de la continuité écologique des cours d'eau bretons*.

294 GERMIS Gaëlle, 2014. *38 exemples de travaux en faveur de la restauration de la continuité écologique -*

Programme "Poissons migrateurs" du Contrat de projet État-Région 2007-2013. Bretagne Grands migrants. 103p.

s'explique par la diversité des propriétaires d'ouvrages, montre que la renaturation des cours d'eau bretons est un enjeu à la portée de l'ensemble des acteurs de la société. Si les opérations menées poursuivent avant tout l'objectif de restauration des continuités écologiques, elles contribuent indirectement à l'adaptation au changement climatique en rétablissant le fonctionnement naturel des cours d'eau, les rendant plus résilients à tout dérèglement supplémentaire. Aussi, il semble que l'adaptation assistée de la biodiversité des fleuves, des rivières et des ruisseaux bretons soit en très bonne voie, les exemples d'initiatives étant déjà nombreux. Le succès de la trame bleue s'explique par le fait qu'à l'inverse de la trame verte, celle-ci est également portée par la politique européenne de l'eau, plus contraignante. Toutefois, la restauration de la continuité écologique peut parfois donner lieu à des abus, par manque de connaissance des enjeux environnementaux ou sociaux d'une situation particulière. Le rôle des sections locales d'associations telles qu'Eau & Rivières et Bretagne Vivante est alors d'apporter leur expertise et leur avis au sein des Commissions locales de l'eau, afin que la meilleure solution soit prise pour chaque ouvrage.

Exemple d'initiative : La démolition des ouvrages hydrauliques de l'ancien abattoir de Kervéneur sur le Kérallé

Le Kérallé est une petite rivière de première catégorie à salmonidés, à cheval entre les communes de Plounévec-Lochrist et Cléder, dans le nord Finistère. Au lieu dit Kervéneur, un barrage hydroélectrique de quatre mètres de haut autrefois nécessaire au fonctionnement d'un abattoir abandonné depuis près de 50 ans empêchait totalement le passage des poissons. Il avait été classé au coefficient d'infranchissabilité maximum et bloquait également le transport solide du Kérallé, les sédiments s'étant entassés sur une hauteur de trois mètres à son pied. Compte tenu de l'ampleur des impacts environnementaux et de l'inutilité du barrage, l'effacement total s'est imposé de lui-même et les travaux ont été menés en juillet 2009, après qu'un accord ait été trouvé avec le Syndicat mixte de production et de transport de l'eau de l'Horn, propriétaire de l'ouvrage. L'automne suivant immédiatement les travaux, un grand nombre d'anguilles électriques ont pu être pêchées en amont de l'ouvrage, tandis que des frayères de truites Fario y ont été découvertes²⁹⁵.

Exemple d'initiative : L'abaissement du barrage du Houël sur le Leff

Le Leff est une petite rivière des Côtes-d'Armor de première catégorie (c'est-à-dire qu'elle abrite des saumons) dont la dynamique fluviale a été modifiée par les ouvrages transversaux. Le

295 Ibid.

déversoir du moulin du Houël est l'une des barrières anthropiques auxquelles elle est soumise. Désaffecté en 1925, il est la propriété de la Fédération de pêche des Côtes-d'Armor depuis 1954. Cet ouvrage, situé en partie aval de la rivière du Leff, n'était que légèrement perturbant pour la migration des poissons. Il avait toutefois un impact fort sur les habitats puisqu'il modifiait les écoulements sur 700 mètres de rivière en amont, supprimant les zones courantes. Compte tenu de cet impact, la Fédération de pêche a engagé en octobre 2011 des travaux pour abaisser de plus d'un mètre la crête de l'ouvrage (1,30 m) sur la moitié de sa longueur. En plus de favoriser le passage des poissons et notamment des poissons migrateurs amphihalins, les travaux de la Fédération de pêche ont permis une "renaturation" du cours d'eau en recréant des zones courantes qui ont considérablement modifié le substrat de la rivière. Ce dernier s'était envasé en l'absence d'un débit suffisant pour évacuer les particules fines. Or, la particularité du Leff réside dans la présence de poissons migrateurs qui apprécient un substrat grossier pour leurs frayères. Grâce aux travaux réalisés par la Fédération de pêche des Côtes-d'Armor, les conditions d'accueil du Leff pour ces poissons qui devraient être particulièrement affectés par le changement climatique ont donc été considérablement améliorées²⁹⁶.



Avant et après travaux © Hubert Catroux

Exemple d'initiative : La construction d'une passe à poissons sur la centrale hydroélectrique de Kerousse sur le Blavet

Dans l'ouest du Morbihan, le bassin versant du Blavet présente un potentiel d'accueil intéressant pour les grands migrateurs. La présence du saumon est bien établie, et sa progression sur le bassin est suivie depuis 1997 par un réseau de stations d'indices d'abondance sur les

296 Fédération des Côtes-d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2012. *Continuité écologique des rivières – L'exemple de l'abaissement du déversoir du Houël sur le Leff*. [en ligne] <https://www.youtube.com/watch?v=dLhfHfkKnm4>

affluents. Mais le bassin du Blavet accueille aussi d'autres espèces migratrices : l'anguille, la lamproie marine et l'alse. Très artificialisé suite à la canalisation d'une grande partie de son cours, il n'est pas classé comme cours d'eau à poissons migrateurs, alors qu'il constitue pourtant un axe majeur pour la circulation de ces espèces. Au niveau de la commune d'Inzinzac-Lochrist, on trouve la centrale hydroélectrique de Kerrouse, créée en 1902. Comme toutes les centrales hydroélectriques, cette usine produit une électricité propre et sans émission de gaz à effet de serre, d'une valeur équivalente à la consommation annuelle domestique d'une commune de 400 habitants. Il s'agit donc d'un ouvrage présentant un enjeu important du point de vue de la transition énergétique et d'un cas diamétralement opposé à celui du barrage hydroélectrique de l'ancien abattoir de Kervéneur. L'installation possédait initialement une passe à saumons et truites qui s'est avérée peu efficace. Il était par ailleurs nécessaire de permettre le franchissement de l'obstacle par les autres espèces telles que l'alse, la lamproie et l'anguille. En 2008, le volet breton du plan de gestion "anguille" avait notamment classé le barrage de Kerrouse en zone d'action prioritaire tant à la montaison qu'à la dévalaison. EDF avait alors du proposer des solutions aux services de l'État et c'est finalement la création d'une passe à bassins avec débit d'attrait complémentaire qui fut validée par la préfecture. Le "débit d'attrait" facilite le passage des poissons par les bassins en les "aspirant" depuis le pied de la passe. Ils remontent ensuite successivement les bassins jusqu'à l'amont du barrage. Ce dispositif a pour objectif de permettre la montaison. Pour faciliter la dévalaison, l'ancienne passe à poissons a été enlevée et transformée en passage pour la descente, afin de limiter le nombre de poissons passant par les turbines. Pour compléter les effets bénéfiques de cette passe, EDF arrête désormais le fonctionnement des turbines la nuit, lors des principaux pics de dévalaison des anguilles²⁹⁷. Mis en service le 21 novembre 2009, ce dispositif est un exemple intéressant de conciliation des impératifs environnementaux et économiques mais aussi de conciliation de deux objectifs environnementaux pouvant parfois se révéler antinomiques : l'atténuation du changement climatique et la conservation de la biodiversité. Bien sûr, la création de passes à poissons est moins intéressante que l'effacement total des ouvrages car elle vise exclusivement la restauration de la continuité écologique et n'a aucun effet sur la dynamique hydromorphologique des cours d'eau. Dans le cadre du renforcement de la résilience des milieux aquatiques aux impacts du changement climatique, ce genre d'opération présente donc un intérêt limité, d'autant plus qu'elle ne bénéficie qu'à un nombre restreint d'espèces. Toutefois, compte tenu de l'importance économique de la centrale de Kerrouse, en particulier à l'heure de la transition énergétique, une solution plus radicale n'était pas envisageable.

297 GERMIS Gaëlle, 2014. *38 exemples de travaux en faveur de la restauration de la continuité écologique - Programme "Poissons migrateurs" du Contrat de projet État-Région 2007-2013*. Bretagne Grands migrants. 103p.

3) La conservation et la restauration des zones humides

Le SDAGE 2016 Loire-Bretagne consacre également un chapitre à la préservation des zones humides, insistant sur l'impact que le changement climatique devrait avoir sur les services qu'elles rendent et notamment leur fonction de puits de carbone, leur capacité à écrêter les crues ou à assurer un rôle de soutien en période d'étiage²⁹⁸. Toutefois, il convient de rappeler que la menace représentée par le changement climatique est négligeable en comparaison de la destruction pure et simple de ces milieux qui continue d'être menée aujourd'hui, surtout à des fins d'urbanisation. L'enjeu n'est donc pas tant d'aider les zones humides à s'adapter au changement climatique que de les préserver afin que les services qu'elles nous rendent puissent faciliter notre propre adaptation. Cette protection passe tout d'abord par la maîtrise des causes de leur disparition, en limitant au maximum leur drainage, leur comblement ou leur assèchement, mais aussi par des politiques de gestion de l'espace visant à favoriser et/ou soutenir des types de valorisation compatibles avec les fonctionnalités des sites. Ces deux types de mesures constituent un volet prioritaire des SAGE, notamment sur les secteurs situés en tête de bassin versant. Les CLE sont ainsi chargées d'identifier les principes d'action à mettre en œuvre pour assurer la préservation et la gestion de l'ensemble des zones humides. Ceux-ci reposent en tout premier lieu sur la prise en compte des zones humides dans les documents d'urbanisme. Ces derniers reprennent les inventaires réalisés par les SAGE et, s'il n'y en a pas, c'est la commune ou l'établissement public de coopération intercommunale qui est chargé de les réaliser. Les SCoT ou en leur absence les PLU et cartes communales, doivent par ailleurs être compatibles avec les objectifs de protection et de gestion des zones humides prévus dans les SDAGE et les SAGE. A ce titre, les PLU incorporent dans leurs documents graphiques, des zonages protecteurs des zones humides et précisent dans le règlement ou dans les orientations d'aménagement et de programmation, les dispositions particulières qui leur sont applicables en matière d'urbanisme²⁹⁹. Outre le recours opportun aux documents d'urbanisme, la protection des zones humides peut s'appuyer sur des programmes contractuels (contrats territoriaux, contrats Natura 2000, MAE...), des outils réglementaires (désignation comme zone humide prioritaire, intégration à un site protégé tel qu'un ENS (Espace naturel sensible) ou un site du Conservatoire du Littoral, ou encore mesures spécifiques de gestion d'espèces protégées) ou l'acquisition foncière telle que pratiquée par Bretagne Vivante sur de nombreux sites transformés en réserves naturelles. La désignation comme zone humide prioritaire mérite que l'on s'y intéresse plus en détails. Créées par la loi n°2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux, les zones

298 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

299 Ibid.

humides d'intérêt environnemental particulier (ZHIEP) et les zones humides stratégiques pour la gestion de l'eau (ZSGE) devaient être délimitées par arrêté préfectoral afin d'être préservées de toute destruction, même partielle (sauf en cas de projet déclaré d'utilité publique ou pour des raisons impératives d'intérêt public majeur). En concertation avec l'ensemble des acteurs concernés réunis en comité de gestion de la zone humide, la CLE devait être chargée de définir un programme d'actions visant à les restaurer, les préserver, les gérer et les mettre en valeur de façon durable. Une compensation financière était prévue dans le cas où ces actions généreraient un surcoût ou une perte de revenu pour le propriétaire et/ou l'exploitant³⁰⁰. Cette désignation conférait donc un niveau de protection particulièrement fort en plus d'organiser la valorisation des zones humides. Seule ombre au tableau, aucun arrêté préfectoral n'a à ce jour délimité de telles zones³⁰¹! Par ailleurs, les zones humides qu'on pourrait appeler “ordinaires” bénéficient d'une protection juridique qui laisse à désirer. Les articles L214-3 et R214-1 du code de l'environnement autorisent leur destruction sous certaines conditions : pour une surface supérieure ou égale à un hectare, tous travaux sont soumis à autorisation de l'autorité administrative tandis que pour une surface comprise entre 0,1 et 1 ha, il ne sont soumis qu'à déclaration. Il en résulte que tous travaux sur une zone humide inférieure à 1000 m² sont libres³⁰². De plus, la doctrine nationale “éviter, réduire, compenser” facilite la destruction des zones humides de plus de 1 ha. En effet, la disposition 8D-1 du SDAGE impose aux maîtres d'ouvrages impactant une zone humide de chercher une autre implantation à leur projet, afin d'éviter sa dégradation. Mais s'il n'existe pas d'alternative, l'autorisation est généralement délivrée et donne lieu à des compensations. Celles-ci doivent viser la recreation ou la restauration d'une zone humide qui soit équivalente sur le plan fonctionnel (soutien en étiage, éponge à inondations, purification des polluants...), équivalente sur le plan de la biodiversité et située dans le même bassin versant³⁰³. Pour qu'une zone humide répondant à ces trois critères soit identifiée, une étude précise du site dégradé et de ceux présélectionnés pour recevoir les compensations doit être menée. C'est un travail difficile et très contraignant qui, selon Henri Girard, n'est généralement pas réalisé ou alors de façon superficielle. Par ailleurs, ce système peut faire l'objet d'abus comme lorsque les compensations sont mises en œuvre sur une zone humide qui présente déjà un bon état écologique³⁰⁴.

300 *Loi n° 2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux*. Journal Officiel de la République Française n°0046 du 24 février 2005, p.3073.

301 Forum des marais atlantiques, 2016. *Zones humides prioritaires, ZHIEP et ZSGE*. [en ligne] <http://www.forum-zones-humides.org/zones-humides-prioritaires-zhiep-zsge.aspx>

302 Code de l'environnement.

303 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

304 Communication personnelle Henri Girard.

a) Valoriser pour protéger

Des zones humides prioritaires qui n'existent que sur le papier, une procédure d'autorisation peu contraignante et des abus au niveau des compensations, on comprend vite que la protection des zones humides, bien qu'elle ait beaucoup progressé, est encore loin d'être optimale. Si les sites les plus remarquables bénéficient de mesures de protection avancées, comme l'inclusion dans une zone Natura 2000, la mise en réserve ou l'acquisition par une association de protection de l'environnement, l'immense majorité des sites plus "ordinaires" demeurent très vulnérables. Aussi la voie réglementaire est-elle à l'heure actuelle insuffisante pour assurer leur protection. C'est pourquoi celle-ci doit également passer par l'initiative locale. Pour que leur protection soit assurée efficacement, les zones humides devront être perçues différemment par l'ensemble des acteurs de la société. La principale croyance qui favorise leur destruction est leur supposée inutilité économique. Un tel lieu commun doit être déconstruit par un effort de recherche accru autour des services écosystémiques qu'elles nous rendent. Ces derniers sont pour la plupart étroitement liés à la question climatique, soit parce qu'ils tempèrent l'impact des événements climatiques extrêmes à l'échelle locale, soit parce qu'ils contribuent à la régulation du climat à l'échelle globale. Aussi, le rôle des zones humides dans l'adaptation des sociétés humaines au changement climatique doit être souligné afin que leur protection bénéficie de la portée médiatique de la question climatique. A ce sujet, le SDAGE reconnaît que la prise de conscience de la nécessité de protéger ces milieux se limite encore trop souvent à leurs enjeux patrimoniaux en termes de biodiversité. Il encourage les CLE à multiplier les analyses socio-économiques afin de mettre en évidence les services rendus par ces "infrastructures naturelles" et les coûts évités de mise en place d'infrastructures produisant les mêmes services³⁰⁵. Les travaux réalisés dans le cadre du projet Explore 2070 ou l'étude de l'IFREMER sur les capacités épuratoires du marais de Kerviguen s'inscrivent dans cette démarche générale de valorisation des zones humides. Ils doivent être multipliés afin que l'importance des services écosystémiques rendus par ces milieux poussent l'ensemble des acteurs de la société à les préserver ou, lorsqu'elles ont déjà été dégradées, à les restaurer.

Par ailleurs, les objectifs de conservation ne sont pas nécessairement incompatibles avec une exploitation durable du milieu. Certaines activités humaines peuvent s'y pratiquer sans pour autant menacer la biodiversité et les fonctions écologiques. Il s'agit souvent d'activités susceptibles de les dégrader mais qui, pratiquées de façon extensive et raisonnée, contribuent au contraire à leur valorisation économique, voire dans certains cas, à l'amélioration de leur état écologique. Alors que

305 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

la Bretagne pourrait bientôt artificialiser davantage que l'Allemagne toute entière³⁰⁶, la conservation des zones humides ne peut plus être dissociée de leur mise en valeur. En effet, l'avenir de la protection de ces milieux repose sur la modification des perceptions à leur égard. Tout comme il est nécessaire de retrouver à la nature une place dans nos villes ou de réintégrer le bocage au fonctionnement des exploitations agricoles, il est impératif de leur donner une utilité économique ou sociale dans notre société. Ce n'est qu'à ce prix que leur destruction pourra réellement être freinée.

Exemples d'initiatives : Concilier conservation et valorisation économique, l'exemple de l'agriculture.

Si elle a présidé à l'arasement des haies à partir des années 1950, l'agriculture est aussi l'activité humaine qui exerçait autrefois les plus fortes pressions sur les zones humides, notamment par le biais des drainages et des prélèvements pour l'irrigation. Aujourd'hui, elle pourrait néanmoins contribuer à la protection de ces milieux désormais menacés par l'urbanisation.

Le domaine de Bois-Joubert dans le PNR de Brière

La raison qui a autrefois poussé au drainage des zones humides n'est autre que l'idée selon laquelle ces milieux étaient impropres à toute valorisation par les activités humaines. Pourtant, le domaine de Bois-Joubert situé au sein du Parc naturel régional de Brière contredit cette idée préconçue. Acquis par l'association Bretagne Vivante en 1981, le domaine est loué à Jacques Cochy, un éleveur bovin qui voit dans le marais une ressource agricole. Alors que la plupart des autres éleveurs de la région cultivent leur maïs fourrager, les vaches pie noir de Jacques Cochy se nourrissent principalement des ressources végétales du marais. La paille est faite à partir de la litière du marais (roseaux, carex, plantes herbacées) tandis que les prairies humides sont mises à contribution pour le pâturage des bêtes. Dans cette région où les prairies sont très asséchantes, le marais est particulièrement utile lors des années les moins pluvieuses. « L'avantage avec le marais, c'est qu'on n'a pas besoin de le ressemer et il s'améliore naturellement » ironise l'agriculteur à qui la nature permet de faire des économies. En plus de valoriser économiquement le milieu, l'élevage bovin contribue également à renforcer sa résilience au changement climatique. Autrefois pâturés, les marais briérons risquent aujourd'hui de se fermer complètement en évoluant en roselière, dont la progression était autrefois contenue par le piétinement des bêtes. « La roselière c'est une monoculture naturelle. Or, les monocultures n'attirent jamais une biodiversité très variée et à part les

306 Le Télégramme, 2011. Terrains. Les Bretons trop gourmands ? *Le Télégramme.fr* 04/02/2011. [en ligne] <http://www.letelegramme.fr/ig/generales/regions/bretagne/terrains-les-bretons-trop-gourmands-04-02-2011-1196277.php>

butors, la majeure partie de la faune briéronne affectionne plutôt les prairies humides ». Ainsi, quels que soient les impacts du changement climatique, les vaches de Jacques Cochy contribuent à maintenir un milieu naturel dans le meilleur état possible afin qu'il soit plus résilient à ce que lui réserve l'avenir³⁰⁷.

Le marais de Sougéal dans la baie du Mont-Saint-Michel

Le marais de Sougéal constitue un vaste ensemble de prairies, support d'une agriculture extensive ancestrale. Les agriculteurs locaux y trouvent notamment un complément fourrager pour nourrir leurs troupeaux. Mais il s'agit également d'un site ornithologique d'exception au sein de la baie de Mont-Saint-Michel qui sert de zone d'alimentation à de très nombreux oiseaux d'eau migrateurs et hivernants. Deux espèces y atteignent notamment le niveau d'intérêt international (1 % de la population mondiale) durant la migration prénuptiale entre février et mars : la barge à queue noire et le canard pilet. Enfin, la topographie particulière du site permet le maintien de l'eau dans les zones les plus basses, notamment lors des crues automnales et hivernales. Pourtant, malgré cette grande valeur du point de vue de la biodiversité et des services écosystémiques rendus, cette zone humide avait été asséchée comme bien d'autres. Avant 1969, le marais était humide en permanence mais à partir de cette date, il fut drainé tandis qu'un barrage était érigé sur le Couesnon dont le cours fut également rectifié. Le site se transforma donc en prairies de pâtures plus adaptées à l'élevage. Mais en 1995, le maire de la commune de Sougéal souhaite le restaurer en zone humide et amorça la discussion entre les différents acteurs concernés. Tout cela prit forme de façon concrète en 1997, lorsqu'un contrat nature fut signé. Bretagne Vivante, les fédérations de chasse et de pêche ainsi que l'ONCFS et l'ONEMA furent intégrées à la réflexion et le bureau d'études Ouest Aménagement commença à réfléchir à ce qui pourrait être fait sur le site. Bretagne Vivante souhaitait notamment créer une frayère à brochets. Le projet s'opposa tout d'abord à une certaine résistance de la part des agriculteurs qui acceptaient que la partie sud appelée « la musse » soit remise en eau mais insistaient pour que la partie nord soit maintenue en pâtures. Or, seule la partie nord était réellement utilisable pour la reproduction du brochet. La situation finit par se débloquer à la fin des années 1990, et le projet put enfin démarrer dès 2000. En 2002, divers vannages furent construits afin de gérer les niveaux d'eau dans le marais. Suite aux premiers résultats positifs de cette gestion, le classement en espace remarquable de Bretagne – réserve naturelle régionale a pu être envisagé et en 2006, la réserve fut finalement créée.

La levée de boucliers des agriculteurs à l'époque de la genèse du projet était liée à la crainte d'un arrêt du pâturage. En réalité, la création de la réserve de Sougéal est un bel exemple de

307 Communication personnelle Jacques Cochy.

conciliation des objectifs environnementaux et économiques sur un même site. Il n'a en effet jamais été question d'empêcher le pâturage des bêtes sur le marais. Au contraire, cette activité est indispensable au maintien du site dans un état favorable à l'accueil des oiseaux. En broutant et en piétinant les jeunes pousses, les bêtes préservent le marais d'une transformation en saulaie, un problème récurrent dans la baie. Or, l'élevage extensif est rare dans la baie, plutôt soumise à l'agriculture intensive. Il a donc fallu trouver des agriculteurs pour entretenir le site et aujourd'hui, le nombre de bovins est malgré tout en diminution. Afin que le pâturage puisse se poursuivre sur le marais de nouveau inondé une bonne partie de l'année, ce dernier est asséché après le 15 mai. Cela n'est pas sans conséquence sur la biodiversité. En effet, l'intérêt du site pour la nidification s'en voit nettement diminué puisque les niveaux d'eau ne sont plus suffisamment hauts lors de la période de reproduction des oiseaux. Toutefois, compte tenu de la nécessité de maintenir un élevage extensif sur le site, tant d'un point de vue conservationniste que politique, il s'agit d'un compromis intéressant qui permet malgré tout d'optimiser les conditions d'accueil durant le passage migratoire pré-nuptial. La réserve de Sougéal est un projet né de la conciliation et qui continue de vivre par la conciliation. Selon Matthieu Beaufiles, bénévole de Bretagne Vivante particulièrement impliqué sur le site, les représentants régionaux et départementaux soulignent régulièrement la qualité des débats et des négociations au sein du comité de pilotage. En matière de résultats concrets du point de vue de la biodiversité cela dit, l'ornithologue estime que nous manquons encore de recul pour attester de l'efficacité de la gestion du site. Si le nombre de canards présents en février-mars a globalement augmenté à partir du début des années 2000, il est difficile d'attribuer cette évolution à la seule gestion de la réserve. En 2001, la date de fermeture de la chasse avait été avancée au 31 janvier et il est probable que cela explique en grande partie l'augmentation des effectifs. Quoi qu'il en soit, il s'agit d'un bel exemple d'exploitation durable d'une zone humide³⁰⁸.

b) Développer une ingénierie de la restauration

La restauration des zones humides est parfois nécessaire lorsqu'elles ont déjà été fortement dégradées. A ce sujet, le SDAGE Loire-Bretagne 2016 établit un enjeu spécifique de reconquête des fonctionnalités des zones humides dans les territoires où les masses d'eau présentent un risque de non-atteinte des objectifs environnementaux de la DCE, du au cumul de pressions sur l'hydrologie et de pollutions. Dans ces territoires, les SAGE peuvent comporter des actions spécifiques de reconquête qui peuvent prendre la forme de restaurations ou de créations de zones humides³⁰⁹.

308 Communication personnelle Matthieu Beaufiles.

309 DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne*.

Mais est-il seulement possible de retrouver les fonctionnalités d'une zone humide dégradée ? En effet, comment être sûr que les actions de restauration menées sont réellement efficaces d'un point de vue fonctionnel ? Tout comme la Trame verte et bleue ne peut être fonctionnelle que si elle s'appuie sur la connaissance naturaliste locale, la reconquête des fonctions naturelles des zones humides nécessite le déploiement d'une véritable ingénierie, qu'elle soit écologique, hydrologique ou biogéochimique. Afin que les actions de réhabilitation ne soient plus menées “à l'aveuglette”, une première démarche ambitieuse a vu le jour en Bretagne.

Exemple d'initiative : Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides du Finistère

Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides du Finistère est un projet de “recherche-action” ayant pour but d'associer maîtres d'ouvrage et chercheurs autour de travaux de restauration. Ce projet est né de la prise de conscience que les maîtres d'ouvrage manquaient de protocoles scientifiques pour réhabiliter ces milieux au fonctionnement complexe et vise au développement d'une ingénierie de la restauration des zones humides qui pourrait par la suite être mobilisée à plus grande échelle³¹⁰. L'idée est d'expérimenter sur des sites test puis de mesurer les effets des travaux de réhabilitation sur les services écosystémiques, de quantifier le gain apporté en matière de régulation de la ressource en eau et de la qualité de l'eau, de production agricole et de biodiversité. Coordonné conjointement par la Cellule d'animation des milieux aquatiques, le Forum des marais atlantiques et le Conseil général du Finistère, il s'agit d'une démarche associant une grande diversité d'acteurs qui apportent leurs compétences à diverses étapes du processus³¹¹ :

310 Conseil départemental du Finistère & Forum des marais atlantiques, 2016. *Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides*. [en ligne]

http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/ComRERZH/CD29_Zones_humides.mp4

311 THIRY Joseph, 2015. *Évaluation édaphique et botanique de mesures de réhabilitation de zones humides*. Mémoire de fin d'études. Rennes : Agrocampus Ouest. 65p.

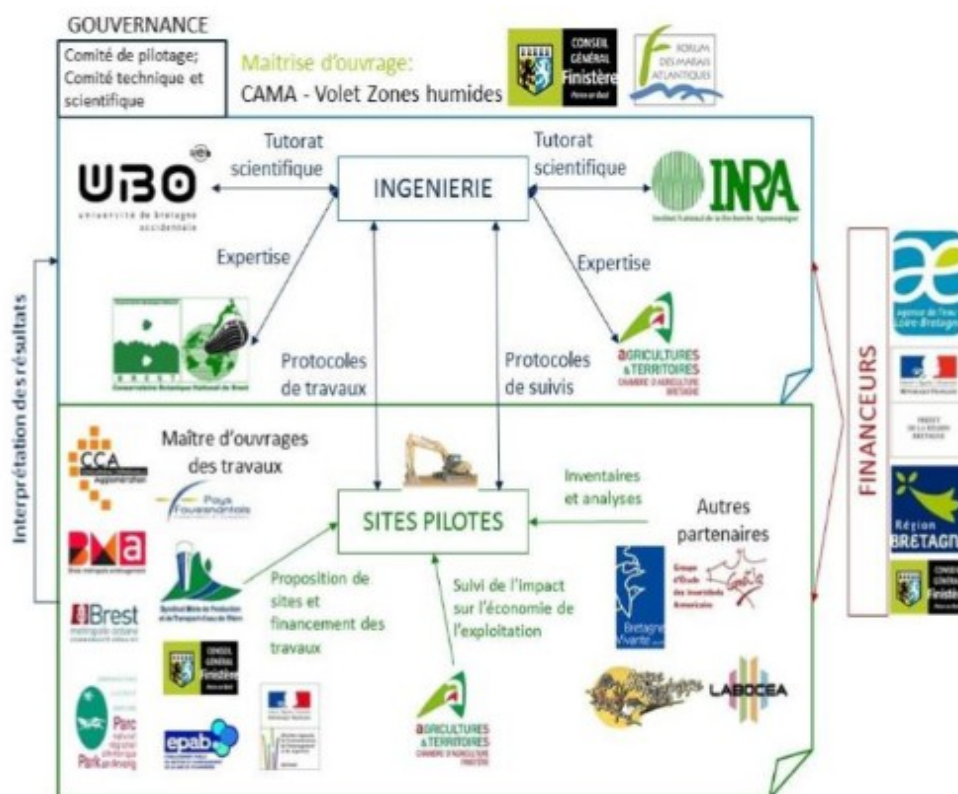


Figure 1: Partenaire du Réseau d'Expérimentation et de Réhabilitation de Zones Humides (CAMA 2014)

Quatre sites pilotes ont été choisis à l'issue d'un appel à projets qui a été lancé auprès des acteurs des zones humides dans le Finistère : le site de Fontaine Margot à Brest, le site de Boullac'h dans le nord du Finistère, le site de Roc'h Plat à Hanvec et le site de Coat Cariou situé sur le territoire de Saint-Evarzec. Chacun des sites a fait l'objet de travaux particuliers en fonction de la problématique spécifique. Sur chaque site, une parcelle pilote a été soumise à expérimentation tandis qu'une parcelle témoin en bon état écologique était conservée telle quelle à proximité du site à réhabiliter, à des fins de comparaison. Cette dernière fait office d'écosystème de référence pour évaluer l'efficacité de la restauration³¹².

Fontaine Margot

Situé au cœur d'un futur quartier de Brest, le quartier de Fontaine Margot, il s'agit d'une tête de bassin versant de 4 ha qui avait été remblayée sur 9 000 m² et drainée à des fins de mise en culture. Le site ayant été transformé en parcelle céréalière, cultivé et labouré pendant des décennies, c'est un véritable travail de recreation qui a dû être mené. Le projet de réhabilitation est porté par

³¹² Conseil départemental du Finistère & Forum des marais atlantiques, 2016. *Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides*. [en ligne]

http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/ComRERZH/CD29_Zones_humides.mp4

Brest Métropole et s'inscrit dans le cadre de la compensation écologique de l'extension urbaine de la ville. Il vise à recréer une tête de bassin versant fonctionnelle du point de vue de l'épuration des eaux (en particulier de la dénitrification) mais aussi à favoriser le développement d'une biodiversité plus riche et à maintenir une exploitation agricole du site. Comme sur les autres sites du réseau, les travaux qui ont été menés à Fontaine Margot avaient une visée expérimentale. La parcelle pilote a été soumise à différents traitements afin d'en mesurer l'efficacité et les intérêts potentiels les uns par rapport aux autres. Une partie du remblai a été décapée tandis que des semis (monospécifiques ou mélange de plantes de prairie humide) et transferts de foin à partir de parcelles adjacentes ont été effectués par endroits³¹³.

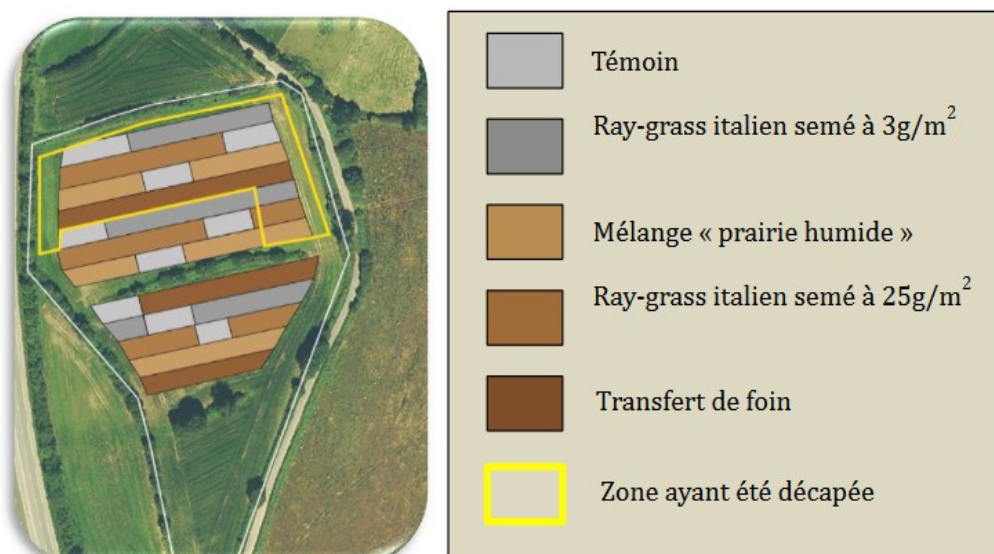


Figure 3 : Parcelle d'expérimentation avec les différents traitements appliqués.

Les résultats du suivi de la végétation neuf mois après la mise en place de ces différents traitements fournissent des indications quant aux méthodes de restauration à privilégier pour concilier la restauration d'un couvert végétal caractéristique des prairies humides et la production fourragère. La richesse spécifique végétale s'est révélée la plus importante dans les parcelles témoin n'ayant subi aucun traitement, que le sol ait été décapé ou non. Cependant, aucune espèce caractéristique des zones humides n'y a poussé si ce n'est le jonc des crapauds, une plante cosmopolite caractéristique des milieux perturbés, artificialisés et fertiles. La végétation issue du mélange "prairie humide" s'est peu développée, surtout dans la partie décapée, tandis que les semis issus du commerce n'ont pas permis d'obtenir une diversité spécifique supérieure au témoin ou au transfert de foin. De plus, le recouvrement végétal issu du semis de ray-grass ne s'est pas révélé très important et n'est donc pas rentable d'un point de vue agronomique. Les zonesensemencées par le transfert de foin ont quant à

313 THIRY Joseph, 2015. *Évaluation édaphique et botanique de mesures de réhabilitation de zones humides*. Mémoire de fin d'études. Rennes : Agrocampus Ouest. 65p.

elles développée une végétation à faible richesse spécifique, largement dominée par la houlque laineuse, une espèce commune des prairies fraîches à humide. Néanmoins, ce traitement a permis la présence d'autres espèces communes des prairies humides telles que la glycérie flottante, l'agrostide blanche et le pâturin commun ainsi que le développement d'un couvert végétal dense. Ainsi, le transfert de foin local se révèle être la meilleure des solutions, tant dans le but de produire un couvert végétal exploitable que pour favoriser l'installation d'espèces pérennes typiques des prairies humides³¹⁴. Les travaux de réhabilitation ont par ailleurs modifié la composition des communautés d'arthropodes. Dans son état initial, le site de Fontaine Margot était plus favorable aux carabes qu'aux araignées, la végétation très homogène offrant une grande part de sol nu. Mais après les travaux, la situation s'est inversée, la végétation dense et diversifiée étant plus favorable aux araignées. De plus, les travaux menés semblent avoir favorisé la colonisation de la parcelle par les espèces à forte capacité de dispersion telles que les petites araignées du genre *Erigone*³¹⁵. Si les conséquences des divers traitements sur la biodiversité ont été relativement immédiates, on manque de recul pour évaluer leur impact sur la fonction de dénitrification. En effet, une baisse de la teneur en nitrates du sol entre mars-juin 2014 et mars-juin 2015 a été mesurée sur le site pilote soumis à expérimentation, trahissant une amélioration de l'abattement des nitrates. Cependant, une baisse similaire a également été observée sur le site témoin pour la même période, ce qui empêche de conclure quant à l'impact des travaux sur le service d'épuration de l'eau³¹⁶.

Boullac'h

Sur le territoire de la commune de Plouzévé, le site de Boullac'h est une ancienne zone humide qui avait été drainée par un système de drains enterrés et de fossés. Porté par le syndicat mixte de l'Horn, le projet de réhabilitation n'aurait pas été possible sans le volontarisme de l'exploitant du site : l'agriculteur André Jézéquel. Soucieux de l'impact environnemental de ses actions passées, ce dernier souhaitait savoir s'il était possible de substituer au drainage permanent, un drainage temporaire qui permettrait de concilier l'exploitation agricole du site et le rétablissement des fonctionnalités naturelles d'un milieu humide telles que la dénitrification. Les fossés ont donc été comblés tandis que des collecteurs étanches ont été installés sur les drains. La première étape du projet consistait à réaliser des tests au niveau des collecteurs pour déterminer combien de temps les fermer et les laisser ouverts au cours de l'année. Puis il s'agira d'évaluer les conséquences de la gestion sur la qualité de l'eau, la flore et la faune. Dans ce but, les collecteurs

314 Ibid.

315 CARDINAL Gaël, 2015. *Évaluation de la réhabilitation de zones humides en Finistère à partir des communautés d'arthropodes terrestres*. Rapport de stage. Brest : Université de Bretagne Occidentale. 36p.

316 VIDAL Sébastien, 2015. *Évaluation de la dénitrification dans des zones humides ripariennes réhabilitées*. Rapport de stage de Master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 26p.

permettent de réaliser des prélèvements d'eau à l'entrée et à la sortie de la parcelle. Un suivi de la végétation au cours du temps est également assuré dans le but d'étudier la réponse de la flore aux ouvertures et fermetures des drains. Mais le projet ne s'intéresse pas uniquement aux conséquences environnementales des travaux de réhabilitation. En effet, la Chambre d'agriculture du Finistère s'est attachée à évaluer l'impact de la restauration en zone humide sur le fonctionnement de l'exploitation agricole ainsi que le rapport coûts/avantages de tels travaux, tant sur le plan environnemental qu'agricole. Pour André Jézéquel réside là tout l'intérêt de la démarche : pouvoir associer l'agriculture à la préservation du milieu³¹⁷.

Roc'h Plat

Situé dans le PNR d'Armorique, qui assume le rôle de maître d'ouvrage du projet de réhabilitation, le site de Roc'h Plat est une large tourbière de pente de 3,2 ha qui s'était enrésinée dans les années 1950. La première étape était donc de supprimer le boisement, ce qui fut fait dès 2006. Afin de favoriser l'état d'engorgement permanent essentiel aux fonctionnalités des tourbières, des fascines ont été installées sur la partie amont du site dans le but de freiner les écoulements d'eau et permettre le développement d'une végétation hygrophile caractéristique. Une année seulement après l'installation des fascines, des zones d'eau stagnante se sont formées en amont et ont été colonisées par tout un cortège d'odonates. La plus-value en matière de biodiversité a donc été quasi-immédiate, comme le souligne Stéphane Wiza, chargé du suivi naturaliste pour Bretagne Vivante. L'expérience de Roc'h Plat permet d'étudier les capacités de résilience des tourbières après altération. Un suivi de la végétation réalisé par le Conservatoire botanique de Brest vise actuellement à évaluer la vitesse de réimplantation de la flore si particulière des milieux tourbeux après restauration du site³¹⁸.

Coat Cariou

Le site de Coat Cariou est une prairie humide de 0,3 ha qui avait été drainée grâce à des fossés par l'ancien propriétaire. Le nouvel exploitant du site, Jean-Yves Le Guillou a quant à lui choisi de combler ces fossés afin de restaurer l'état naturel de la prairie. Il a été contacté par la communauté de communes du pays fouesnantais qu'il a autorisé à effectuer des relevés pour évaluer la réussite des travaux du point de vue du rétablissement des fonctions épuratrices du site, tant vis-à-vis des nitrates que du phosphore. Pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau à l'intérieur de la

317 Conseil départemental du Finistère & Forum des marais atlantiques, 2016. *Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides*. [en ligne]

http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/ComRERZH/CD29_Zones_humides.mp4

318 Ibid.

zone humide, un dispositif expérimental assez lourd a été mis en place. Des échantillonnages sont réalisés trois fois par an pour mesurer les différences de concentration en nitrates et phosphore à l'entrée et à la sortie de la zone humide. Des échantillonnages de sol sont également effectués afin de mesurer la quantité d'azote qui reste dans le sol³¹⁹. Avant travaux, les prélèvements ont permis de mettre en évidence une dénitrification jusqu'à deux fois plus faible que sur le site témoin situé à proximité et considéré comme une référence de bon fonctionnement en termes de régulation de la teneur en nitrates. Mais après travaux et aux mêmes dates d'échantillonnage, les teneurs en nitrates dans le sol de la parcelle se révèlent être dans le même ordre de grandeur que sur le site témoin, prouvant ainsi l'efficacité de la réhabilitation d'un point de vue fonctionnel³²⁰.

Bien qu'il n'ait en apparence aucun lien avec la question climatique, le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides du Finistère représente l'une des initiatives bretonnes les plus intéressantes dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Pour Philippe Mérot, l'intérêt de ce réseau réside dans l'évaluation de l'efficacité des travaux qui est réalisée sur chaque site. En effet, de nombreux travaux de réhabilitation sont menés sans que l'effet obtenu ne soit mesuré et donc sans que leur réussite ou leur échec ne soit attesté, privant les futurs projets de retours d'expérience qui pourraient se révéler fort utiles³²¹. Un problème récurrent qu'Henri Girard ne cesse de déplorer. Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides du Finistère est une initiative pionnière qui se donne réellement les moyens de faire progresser l'écologie de la restauration dans le domaine des zones humides. Par ailleurs, en associant les agriculteurs à la démarche, il contribue à réintégrer au fonctionnement des exploitations, ces milieux trop longtemps perçus comme une gêne. Pour Jean-Yves le Guillou, « une ferme, c'est quelque chose qui a une cohérence globale, et les zones humides font partie du territoire de la ferme, il faut bien qu'elles soient intégrées au mieux dans le fonctionnement de la ferme. Ça fait partie de la mission du paysan³²². » Le but premier de programmes tels que réseau expérimental de réhabilitation des zones humides est donc finalement humain. Il consiste à amener davantage d'agriculteurs, d'aménageurs et de citoyens à raisonner de cette manière.

319 Ibid.

320 VIDAL Sébastien, 2015. *Évaluation de la dénitrification dans des zones humides ripariennes réhabilitées*. Rapport de stage de Master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 26p.

321 Conseil départemental du Finistère & Forum des marais atlantiques, 2016. *Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides*. [en ligne]
http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/ComRERZH/CD29_Zones_humides.mp4

322 Ibid.

D) Littoral : le plus grand défi posé par le changement climatique en Bretagne

En matière d'impacts du changement climatique, la mer est probablement le milieu naturel qui a été le plus étudié en Bretagne. Cependant, la connaissance acquise n'a fait que confirmer qu'il s'agit également du milieu pour lequel nos moyens d'action sont les plus limités. En effet, l'acidification des océans apparaît comme une menace que seule la diminution des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle globale semble pouvoir atténuer. Quant aux conséquences de l'augmentation de la température des océans sur la biodiversité marine, elles sont si nombreuses, complexes et interconnectées qu'il nous a été bien difficile d'identifier un niveau d'action pertinent. Ce niveau est celui des poissons dont la composition des stocks est bouleversée par les effets combinés de la pêche commerciale et du changement climatique. Malheureusement, la gestion des ressources halieutiques est un domaine communautaire sur lequel notre région et ses associations ont finalement peu de poids. Aussi consacrerons-nous cette dernière sous-partie à une conséquence du changement climatique sur laquelle nous avons véritablement les moyens d'agir à l'échelle régionale : l'érosion du littoral.

1) L'adaptation à l'élévation du niveau de la mer : de vagues orientations nationales, de fortes résistances locales

Le littoral breton représentant plus d'un tiers du linéaire côtier de la France métropolitaine³²³, le recul de ce dernier s'impose comme l'un des enjeux les plus forts de l'adaptation régionale au changement climatique. Si les actions en faveur de l'adaptation des écosystèmes terrestres et dulçaquicoles peuvent s'appuyer sur des bases juridiques facilement identifiables qui fixent un cadre opérationnel bien défini (Trames verte et bleue, Directive cadre sur l'eau, Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt...), les solutions apportées au recul du trait de côte sont pour l'instant cantonnées à de grandes orientations dispersées dans divers documents officiels. En effet, l'adaptation à la montée du niveau de la mer est encore relativement embryonnaire à l'échelle nationale. La question est abordée dans les Schémas régionaux climat air énergie élaborés dans chaque région pour définir les grandes orientations et objectifs régionaux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de maîtrise de la demande d'énergie, de développement des énergies renouvelables, de qualité de l'air et d'adaptation au changement climatique. Cependant, une étude interrégionale Grand Ouest d'adaptation au changement climatique publiée en 2015 a

323 GIP Bretagne environnement, 2010. *La nature des côtes bretonnes*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Chiffres-cles/La-nature-des-cotes>

pointé du doigt leur faiblesse en la matière, les accusant de ne pas être « assez précis » et de présenter « trop d'incertitudes au regard des enjeux ». Après vérification, il apparaît que même si les vulnérabilités y sont étudiées de manière assez exhaustive, les orientations préconisées sont, elles, très modestes. Il est par exemple mentionné dans le SRCAE breton la nécessité « d'approfondir des thématiques régionales » comme l'élévation du niveau de la mer, dans une partie « Améliorer et diffuser la connaissance sur le changement climatique et ses effets en Bretagne ». Ce texte se borne donc à souligner l'incertitude des prévisions scientifiques et à suggérer vaguement l'étude d'une initiative territoriale intéressante, on est donc bien loin de l'élaboration d'une stratégie cohérente d'adaptation³²⁴.

A l'occasion du Grenelle de la mer, lancé en 2009, la France s'est néanmoins dotée d'une Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte qui a ébauché les premiers éléments de réponse au défi de l'adaptation à la montée du niveau de la mer. Cette stratégie repose sur huit principes communs devant encadrer les solutions mises en place et sept recommandations stratégiques précisant les directions à privilégier. Parmi ces principes et recommandations, plusieurs points nous semblent orienter l'effort adaptatif dans la bonne voie. Tout d'abord, le principe n°1 reconnaît que « le trait de côte est naturellement mobile » et « qu'il ne peut être fixé partout ». Le second établit « qu'il est nécessaire de planifier maintenant et de préparer les acteurs à la mise en œuvre de la relocalisation à long terme des activités et des biens exposés aux risques littoraux, dans une perspective de recomposition de la frange littorale ». Le troisième précise que « l'implantation de biens et d'activités dans les secteurs où les risques littoraux (submersion marine et érosion côtière) sont forts doit être arrêtée ». De ces principes découlent les recommandations suivantes :

- « N'envisager les opérations de protection artificialisant fortement le trait de côte que dans des secteurs à très forte densité ou d'intérêt stratégique national et les concevoir de façon à permettre à plus long terme un déplacement des activités et des biens. »
- « Recourir à des techniques souples de gestion du trait de côte pour les secteurs à densité moyenne (urbanisation diffuse) ou à dominante agricole. »
- « Protéger et restaurer les écosystèmes côtiers (zones humides, cordons dunaires...) qui constituent des espaces de dissipation de l'énergie de la mer et contribuent à limiter l'impact de l'érosion côtière sur les activités et les biens³²⁵. »

Ces éléments nous paraissent prometteurs pour une adaptation respectueuse des écosystèmes littoraux et donc favorable à leur adaptation au changement climatique. En effet, la menace que fait

324 PERRIER Victor, 2015. *Livre blanc des APNE du Grand Ouest sur le changement climatique*. France Nature Environnement. 148p.

325 Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012. *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte : Vers la relocalisation des activités et des biens*. 19p.

peser l'augmentation du niveau de la mer sur la biodiversité de l'estran est essentiellement liée à la mise en place de certaines techniques d'adaptation destinées à la protection des biens et des activités de la côte. Pour faire simple, la protection des infrastructures humaines se fait aux dépens de la résilience des écosystèmes côtiers. Toutefois, toute solution destinée à favoriser l'adaptation des sociétés humaines n'est pas nécessairement néfaste à l'adaptation de la biodiversité. En effet, il convient de distinguer deux grandes familles de méthodes de défense contre l'érosion littorale. Les méthodes dites souples sont respectueuses de la dynamique sédimentaire des côtes et sont par définition réversibles. Elles peuvent prendre la forme de l'engraissement artificiel du rivage par apports de sédiments prélevés ailleurs ou la reconstitution d'un massif dunaire en arrière de la plage. Les techniques lourdes consistent au contraire à bâtir des ouvrages rigides dans le but de figer le trait de côte. L'enrochement et l'érection de digues en sont deux exemples particulièrement courants³²⁶. Les techniques lourdes peuvent certes protéger les infrastructures humaines de la mer mais menacent l'existence même de la zone intertidale en l'empêchant de se reformer en arrière du trait de côte. Par ailleurs, en perturbant les dynamiques sédimentaires, les ouvrages de défense contre la mer peuvent aggraver localement le phénomène d'érosion, comme on l'a vu avec l'exemple de la rade de Brest. Enfin, les coûts d'entretien peuvent se révéler conséquents et, bien souvent, le maintien des digues et enrochements n'est pas viable sur le long terme. Pour ces raisons, Bretagne Vivante y est fortement défavorable. C'est pourquoi la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte nous semble engager l'adaptation à l'érosion littorale sur la bonne voie en valorisant les méthodes de protection souples partout où c'est possible, ainsi que le recul progressif des activités et des biens.

Malheureusement, ces préconisations sont loin d'être suivies à la lettre. On est très loin de l'amorce d'un abandon de la zone littorale, son attractivité et l'afflux de population s'y traduisant par la poursuite des constructions. Le littoral est en effet un des deux types de zones, avec la périphérie des grands centres urbains, où le rythme de construction n'a pas faibli avec la crise. Alors que le défi est de répondre à l'accroissement démographique de ces territoires sans pour autant en augmenter l'exposition future, c'est exactement le contraire qui se produit. Face à cette situation, plutôt qu'un changement de cap en matière d'urbanisme, les élus locaux sont pour la majorité favorables au maintien de la ligne de côte, ce qui induit la construction ou le rehaussement d'ouvrages lourds (digues, jetées portuaires...). Or, la hausse du niveau de l'océan étant inéluctable, cette solution ne peut être que temporaire. La réticence des élus locaux à adopter des solutions réellement stratégiques et non plus seulement tactiques est parfaitement illustrée par la mise en

326 Sur-la-plage.com *Les défenses contre l'érosion*. [en ligne] <http://www.sur-la-plage.com/articles/les-defenses-contre-l-erosion-35.php>

œuvre des Plans de prévention des risques littoraux (PPRL) créés en 2010 suite à la tempête Xynthia. Ces plans visent à identifier les zones à risque pour y adapter les règles d'urbanisme et de construction. Aujourd'hui, presque tout le linéaire côtier fait l'objet de tels plans, mais peu sont encore approuvés. Ces plans prennent donc un retard considérable dans leur mise en œuvre. On constate sur ce point une résistance des élus locaux, qui semblent encore traîner les pieds, moins cela dit depuis la condamnation au pénal (fait rarissime pour un élu) du maire de la Faute-sur-Mer qui avait été durement touchée par la tempête Xynthia. Cependant, même dans cette commune qui a subi le décès de 29 personnes lors du passage de la tempête, le PPRL n'est toujours pas validé. De manière générale, sur les quelques 834 communes pour lesquelles des PPRL ont été prescrits, seuls 59 plans ont été validés³²⁷. Cette résistance des élus locaux, quoique de moins en moins forte, est d'une part le reflet de l'importance économique du littoral pour les communes de bord de mer, et d'autre part celui de l'opinion publique. En effet, les riverains ne sont souvent pas prêts à consentir de déménager au nom de la prévention des risques littoraux. Une enquête menée en 2009 dans le cadre du projet IMCORE, portant sur « la perception du changement climatique dans le golfe du Morbihan », est tout à fait révélatrice de ce point de vue. Elle cherchait à évaluer les connaissances de 1 000 habitants de 38 communes du golfe sur le changement climatique, ainsi que leurs préférences en matière de choix d'adaptation et d'atténuation du changement climatique. Ils se sont révélés être un public plutôt sensibilisé à la question, se disant majoritairement prêts à changer leur mode de vie ou même à participer financièrement à des actions de lutte contre le changement climatique et ses effets. Cependant, parmi ces effets, le danger pour les habitations et les risques de tempête et d'inondation leur paraissaient en majorité pas ou peu menaçants, contrairement aux conséquences possibles sur la biodiversité ou l'économie locale. L'étude avançait l'hypothèse que ces risques puissent ne pas être clairement perçus comme corrélés au changement climatique. Il se peut que ce point de vue ait légèrement évolué avec la recrudescence d'événements extrêmes qu'a connu l'Ouest ces dernières années. De plus, l'option « construction d'ouvrages de défense des côtes » était jugée souhaitable à 56 %, contre 46 % pour un repli des habitations vers l'intérieur des terres. Cette seconde réponse, déjà minoritaire, paraît encore étonnamment fréquente pour les enquêteurs, qui supposent un biais dû à l'absence d'engagement de la part des riverains (il est peu probable que les sondés aient répondu ainsi s'il leur avait été demandé de partir peu après)³²⁸. Que les acteurs locaux refusent d'envisager le repli stratégique passe encore, mais la politique de l'autruche ne s'arrête pas là. L'artificialisation reste possible et se poursuit jusque dans les zones les

327 PERRIER Victor, 2015. *Livre blanc des APNE du Grand Ouest sur le changement climatique*. France Nature Environnement. 148p.

328 Université de Bretagne Occidentale, Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Golfe du Morbihan, 2011. *Perception du changement climatique par la population du golfe du Morbihan*. Projet Interreg 4B ENO IMCORE. 8p.

plus exposées au risque de submersion. En effet, le projet de “zones noires” qui devait déclarer certaines zones inconstructibles et à évacuer suite à la tempête Xynthia a finalement été abandonné³²⁹. Il existe donc un décalage certain entre les instances nationales, qui tentent d’anticiper le danger, et la résistance des élus locaux et des riverains, qui ont tendance à minimiser les risques et à se contenter de solutions de court terme non durables.

L'inversion de cette tendance négative est aujourd'hui une nécessité absolue. Toutefois, il faut bien comprendre que le recul stratégique est une solution dont la mise en œuvre demande énormément de temps car elle implique souvent des enjeux économiques et sociaux importants. Pensées pour être durables, les techniques dures de stabilisation du trait de côte ne le sont plus face à l'augmentation du niveau de la mer. Continuer d'en ériger ou même d'en entretenir pour un coût conséquent serait contre-productif et même dangereux en plus d'être néfaste pour les écosystèmes littoraux. Aussi, les solutions douces doivent leur être préférées. Mais uniquement dans le but de parer à l'immédiat, le recul stratégique devant être envisagé sérieusement dans certaines zones particulièrement soumises à l'érosion.

2) Des solutions douces contre l'érosion innovantes et particulièrement prometteuses

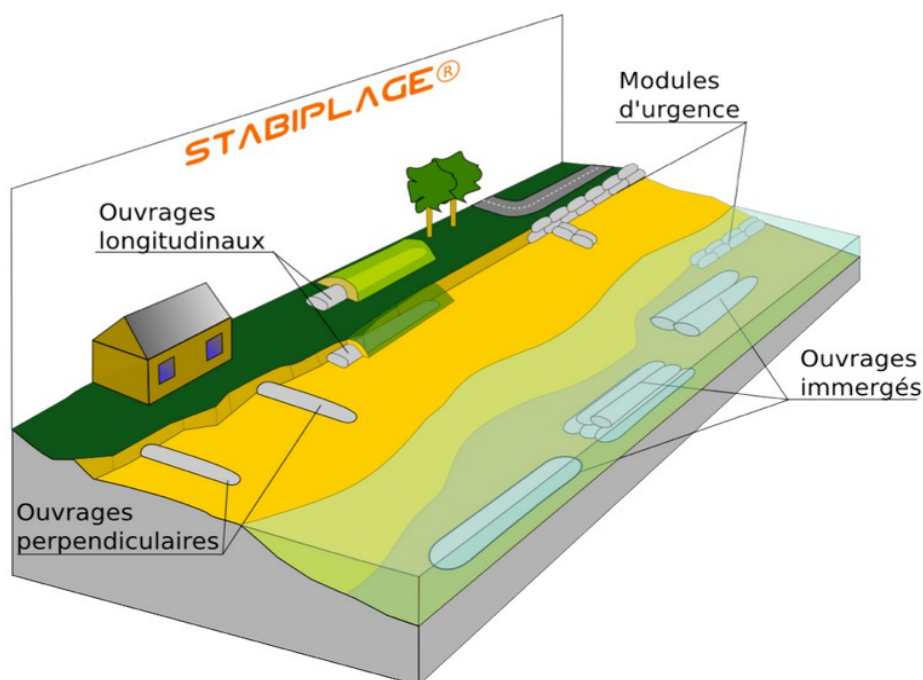
Face au défi représenté par l'augmentation du niveau de la mer et l'érosion littorale qu'elle accentue, il devient nécessaire d'investir dans la recherche de solutions alternatives à l'enrochement ou la construction d'ouvrages lourds qui ne font bien souvent qu'aggraver ou déplacer le problème. Heureusement, quelques entreprises ont déjà développé des dispositifs particulièrement innovants et de surcroît respectueux de l'environnement, surtout sur les milieux sableux les plus exposés au recul du trait de côte. Certains, en plus de contribuer à l'adaptation au changement climatique, participent même à son atténuation en s'inscrivant dans la démarche de transition énergétique. Deux sociétés en particulier mènent des projets de ce type en Bretagne.

Exemple d'initiative : Le système Stabiplage de la société Espace Pur

Basée à Pont-l'Abbé dans le Finistère, l'entreprise Espace Pur est spécialisée dans les solutions “douces” de lutte contre l'érosion littorale. La société a été créée en 1997, à l'occasion du brevetage de la technologie innovante “Stabiplage”. Celle-ci consiste à substituer aux ouvrages lourds, des sortes de sacs remplis de sable et d'eau de mer, pour un résultat plus efficace, moins

329 PERRIER Victor, 2015. *Livre blanc des APNE du Grand Ouest sur le changement climatique*. France Nature Environnement. 148p.

onéreux, réversible et plus respectueux de l'environnement. L'idée de ce système est né d'un constat simple : les ouvrages lourds perturbent grandement la dynamique sédimentaire des plages et peuvent contribuer à l'accentuation du phénomène érosif. Cela est principalement du à leur imperméabilité. Lorsque les vagues rencontrent un obstacle imperméable, elles sont déviées comme si elles butaient contre un mur (c'est d'ailleurs parfois le cas) et peuvent être réfléchies, diffractées ou réfractées. Il en résulte un transport de sédiments plus important que s'il avait été causé par le reflux naturel de la vague. Si les ouvrages lourds peuvent protéger efficacement les biens et les activités devant lesquels ils se trouvent contre la violence des vagues, ils ne permettent pas de limiter l'érosion et peuvent même l'accentuer localement. Par sa perméabilité, le système Stabiplate contribue au contraire à absorber une partie de la puissance de la vague, d'où un reflux moins puissant et donc un transport de sable moins important. Le grand intérêt de Stabiplate réside donc dans son intégration aux échanges sédimentaires naturels de la plage. Mais aussi dans son adaptabilité à tout type de situation locale. A partir d'un même produit de base, une chaussette en géotextile injectée de sable et d'eau de mer, l'entreprise Espace Pur peut répondre à une grande diversité de besoins. En effet, les sacs peuvent être disposés parallèlement, perpendiculairement à la plage ou encore en épi selon l'orientation des vents et des vagues et le but recherché (atténuation de l'érosion ou captation de sédiments). Ils peuvent être placés en pied de dune ou en pleine zone de marnage et assurer un rôle de brise-lame. Enfin, il ne semble pas y avoir de limite à la longueur et au volume des chaussettes, le dispositif pouvant être composé de plusieurs modules de quelques mètres à d'immenses Stabiplate d'une dizaine de kilomètres³³⁰.



330 Communication personnelle Cédric Rocher.

Espace Pur met un poing d'honneur à proposer des solutions sur-mesure adaptées spécifiquement à chaque situation locale. D'ailleurs, l'entreprise n'intervient pas uniquement par le biais de l'installation de Stabiplates. Elle procède également à des rechargements de plage ou des créations de dunes, notamment sur les sites classés où les enjeux sont également paysagers. La démarche suivie pour chaque projet obéit à une méthodologie interne faisant intervenir une grande diversité d'experts (sédimentologues, hydrauliciens, techniciens spécialistes en fabrication et en pose de structures géocomposites). Tout d'abord, un avis de faisabilité est réalisé. Il vise à déterminer si le site se prête à la pose de Stabiplates, envisager les impacts potentiels et fournir une estimation financière des travaux à réaliser. Cette étude préliminaire est complétée d'une autre étude destinée à déterminer le nombre d'ouvrages à mettre en place sur le site, leurs caractéristiques techniques (dimensions, matériaux...), leur disposition en fonction des caractéristiques du site et de l'effet recherché ainsi que le planning des travaux. S'en suit la fabrication puis la pose et l'injection des ouvrages. Enfin, un suivi des impacts peut être réalisé par Espace Pur ou par un autre organisme tel qu'une université ou les services de l'État³³¹. Les conséquences sur l'environnement et plus spécifiquement la biodiversité sont prises en compte en amont et en aval des projets. Par exemple, à la Graye-sur-Mer en Normandie où des ouvrages Stabiplate ont été posés, une étude préalable avait été menée dans le but de déterminer la période optimale pour mener les travaux sans déranger les gravelots à collier interrompu qui se reproduisent sur le site. Par ailleurs, l'entreprise a vocation à évoluer vers l'utilisation de matériaux biodégradables pour la fabrication de ses ouvrages et en a fait sa priorité. Enfin, pour Cédric Rocher, ingénieur en aménagement du littoral à Espace Pur, l'entreprise conçoit le système Stabiplate comme une solution intermédiaire destinée à maintenir les activités et les biens dans des zones à enjeux économiques trop importants mais à préparer le repli stratégique ailleurs. D'où l'intérêt d'un système réversible pouvant être aisément retiré lorsque les communes seront prêtes à laisser la nature refaçonner le trait de côte. Malheureusement, il semble que l'évolution des mentalités locales ne soit pas pour tout de suite, la plupart des communes qui ont fait appel à la technologie Stabiplate l'ayant fait pour des raisons plus financières qu'environnementales, l'entretien de leurs ouvrages lourds devenant trop onéreux³³². Les solutions innovantes comme Stabiplate permettent néanmoins d'éviter le pire d'un point de vue écologique, c'est-à-dire l'enrochement de l'estran.

En Bretagne, plusieurs communes ont déjà fait appel à Espace Pur parmi lesquelles Le Guilvinec, Sarzeau, Damgan, Guidel, Arzon... Voici un exemple typique de projet mené par

331 Espace Pur. *Etapes d'un projet – Financement – Type de Marché*. [en ligne]

http://www.stabiplate.com/vars/fichiers/pub_defaut/M_Oeuvre_Projet_STABIPLAGE.pdf

332 Communication personnelle Cédric Rocher.

Stabiplage, associant ouvrages perpendiculaires d'engrèvement et ouvrages longitudinaux de protection face à l'érosion.

La plage de la Grève Blanche au Guilvinec

En plein pays Bigouden, la commune du Guilvinec a sollicité Espace Pur en 2002, pour tenter de trouver une solution au problème d'érosion que connaissait la plage. Celle-ci était divisée en deux unités. D'un côté, un enrochement longitudinal implanté en haut de plage qui avait permis d'enrayer le recul du trait de côte mais avait également perturbé gravement la dynamique sédimentaire de la plage. De l'autre, un platier rocheux naturel et un cordon dunaire non aménagé qui connaissait un recul très important. Espace Pur a donc procédé à l'installation de quatre ouvrages Stabiplage. Le premier, long de 145 mètres, a été déposé au pied de la dune afin de la protéger tandis que trois autres de 35 mètres chacun ont été installés perpendiculairement à l'enrochement, afin de capter les sédiments à son pied. Depuis la pose des chaussettes, la dune a retrouvé sa stabilité et a même été recolonisée par la végétation, preuve de l'intégration totale de l'ouvrage au milieu. Le stock sédimentaire se reconstitue petit à petit au pied de l'enrochement et les Stabiplages devraient à terme être totalement recouverts par le sable³³³.

Exemple d'initiative : Le dispositif Ecoplage/Enerplage, entre adaptation du milieu littoral et atténuation du changement climatique

Autre entreprise proposant une solution innovante au problème érosif, Ecoplage s'appuie sur la technologie de drainage des plages découverte en 1982 par la société danoise GEO. A l'instar de la loi de gravitation universelle, cette technique a été découverte par hasard. Alors qu'elle avait installé des drains sous une plage dans le but de récupérer de l'eau de mer filtrée pour alimenter un aquarium, l'entreprise s'est rendue compte que le dispositif conduisait à l'élargissement progressif de la plage. En 1996, le procédé était racheté et breveté par la société française Ecoplage basée à Sainte-Luce-sur-Loire, en Loire-Atlantique. Depuis, huit dispositifs Ecoplage ont été installés sur les côtes française, de façon à couvrir les trois façades maritimes (Manche, Atlantique, Méditerranée). Ce système repose sur de larges drains en géotextiles installés parallèlement au trait de côte, à environ deux mètres de profondeur et reliés à une station de pompage. A marée basse, l'eau de mer s'infiltre dans le drain par gravité ce qui conduit à l'assèchement de la zone de marnage. L'effet du drain est particulièrement visible sur cette photo prise aux Sables d'Olonne :

333 Espace Pur, 2005. *La plage de la Grève Blanche – Guilvinec – Finistère – France (2005) : stabilisation du trait de côte et valorisation de l'espace littoral*. [en ligne] http://www.stabiplage.com/vars/fichiers/pub_defaut/Ref%20Le%20Guilvinec2005%20web%20300107.pdf



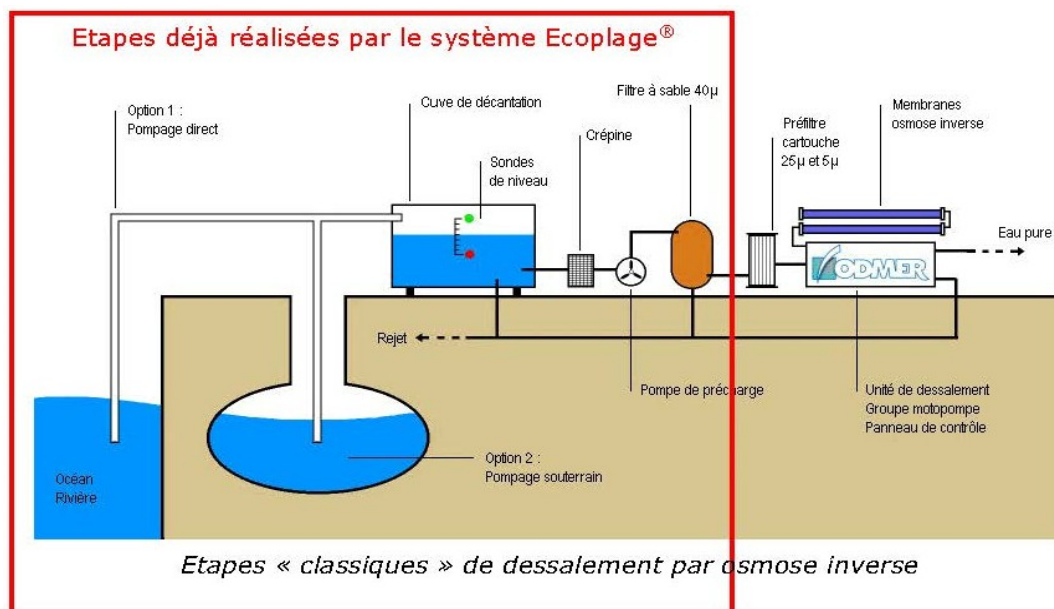
L'eau ainsi collectée est renvoyée en haute mer tandis que le sable sec peut être emporté vers le haut de la plage par les vents marins afin de renforcer les pieds de dunes. Mais l'intérêt premier du dispositif se révèle lorsque la marée monte. La plage ayant été "séchée" à marée basse, elle est désormais capable d'absorber un bien plus grand volume d'eau que si elle était restée humide. Aussi absorbe-t-elle en partie la puissance des vagues, ce qui conduit à un moindre reflux et par conséquent, à un transport de sédiments vers le large moins important. Cela favorise par ailleurs le dépôt de sable et donc l'engraissement de la plage³³⁴. En fait, le système Ecoplage n'est pas si différent de Stabiplate dans son principe de base : utiliser la capacité d'absorption du sable pour limiter l'érosion causée par le reflux des vagues. Expérimenté en France pour la première fois en 1999, sur la plage des Sables d'Olonne en Vendée, Ecoplage était à l'origine exclusivement conçu pour limiter l'érosion des plages et favoriser leur engraissement. Il s'agissait alors d'une alternative plus durable, économe et écologique au ré-engraissement artificiel. En un siècle, la plage des Sables d'Olonne avait perdu pas moins de 100 000 m² de sable³³⁵. Le ré-ensablement permanent n'était plus financièrement soutenable pour la commune qui avait choisi la solution d'Ecoplage avec comme espoir initial le ralentissement de l'érosion. Au final, cinq ans après la pose d'un drain de 600 mètres, c'est un ré-engraissement de 30 cm qui a été constaté par l'Université de Nantes chargée du suivi scientifique³³⁶. Ce succès avait permis à Ecoplage d'installer des drains sur d'autres plages de France, toujours dans le seul but de proposer une solution douce et invisible au problème érosif. Mais dans un contexte de transition énergétique, la valorisation de l'eau de mer drainée est vite

334 Communication personnelle Christelle Breton.

335 AUMONT Franck, 2005. La plage sauvée d'une érosion annoncée. *Ouest-France* 08/11/2005. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Sables_Olonne/OF.pdf

336 GAUVRY Christian, 2006. La force des vagues pour retenir le sable des plages. *Presse Océan* 07/10/2006. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Sables_Olonne/PRESSEOCEAN.pdf

devenue une nouvelle priorité pour Jean-Yves Audrain, directeur général de la société : « Rejeter l'eau filtrée à la mer, aujourd'hui c'est une aberration. Notre méthode peut permettre ensuite d'obtenir une eau potable sans pré-traitement chimique³³⁷ ». Plutôt que de continuer à rejeter une eau particulièrement bien filtrée par son passage dans le sable, Ecoplage a décidé d'investir dans un système d'épuration visant à rendre l'eau utilisable. 100 000 € ont été investis par l'entreprise, auxquels se sont ajoutés 35 000 € du fonds Territoires d'innovation de la région, pour concevoir Enerplage, un système dérivé du précédent ayant pour but la valorisation de l'eau drainée³³⁸. Il faut dire que l'eau collectée par Ecoplage est particulièrement intéressante : en raison de sa propreté, elle peut directement passer dans un système de filtration par osmose inverse sans préfiltration³³⁹. En somme, le sable réalise la majeure partie du travail permet l'économie de plusieurs étapes du processus d'épuration, comme on peut le voir sur ce schéma³⁴⁰ :



L'épuration de l'eau n'est toutefois qu'un volet d'Enerplage parmi d'autres. En effet, pour être réellement utilisable, l'eau de mer doit également être dessalée. Mais il est également possible d'en tirer de la chaleur ou du froid selon les besoins, grâce à un système de pompe à chaleur. Enerplage est donc un système trois en un qui associe un système de drainage, une micro-station d'épuration et de dessalement et des pompes à chaleur. En parallèle, le système a été miniaturisé afin d'être

337 JANVIER Simon, 2012. Ecoplage. Après un chantier à Dubaï, la TPE veut valoriser l'eau de mer. *Le Journal des Entreprises* 02/2012. [en ligne]

http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/JOURNAL_DES_ENTREPRISES.pdf

338 BLIN Didier, 2014. En Vendée ou à Dubaï, Ecoplage combat l'érosion. *Ouest-France Entreprises* 27/01/2014. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Ouest_France.pdf

339 Inconnu, 2015. Ecoplage – ATP / Protéger la nature, fournir de l'eau potable et produire de l'énergie. *Le Moniteur* 10/2015. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/151013-tropheestp-lemoniteur.pdf>

340 Ecoplage. *La valorisation de l'eau*. Ecoplage.fr [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/fr/technologie/la-valorisation-de-l-eau.html>

adaptable aux plages de moins de cent mètres de long. Testé en 2013 sur quarante mètres de long, sur la plage Saint-Gilles-Croix-de-Vie en Vendée, le prototype a permis d'alimenter quatre douches de plage en eau douce et chaude³⁴¹. Durant la période d'expérimentation, les baigneurs se sont donc rincés avec la même eau que celle dans laquelle ils se baignaient. Les performances du dispositif expérimental ont été meilleures que prévu. Le système s'est révélé capable de produire 4 800 m³ d'eau par jour, ce qui ne représente que 5 à 10 % du volume drainé. Cela pourrait alimenter entre 20 000 et 30 000 habitants en eau potable, ou fournir de l'eau aux piscines, aux bassins piscicoles ou conchylicoles ou à l'agriculture, notamment dans les périodes de restriction d'eau qui promettent d'être de plus en plus fréquentes dans le futur³⁴². Car selon Jean-Yves Audrain, « l'eau est potable dans les faits. Reste à le prouver officiellement³⁴³ ». L'énergie produite pourrait quant à elle chauffer ou climatiser 10 000 à 25 000 m² habitables³⁴⁴. Et tout cela sur seulement 40 mètres de drain ! Selon Arnaud Balley, directeur du bureau d'études d'Ecoplage, en extrapolant aux 600 mètres de l'équipement des Sables d'Olonne, « on pourrait chauffer 1 000 à 1 500 appartements de 100 m² tout l'hiver et les climatiser l'été³⁴⁵ ». En plus de lutter contre l'érosion littorale, le système de la société Ecoplage pourrait donc fournir des sources d'eau et d'énergie alternatives dans un contexte de changement climatique. Une initiative particulièrement intéressante donc, car à la croisée des volets adaptation et atténuation. Toutefois, Ecoplage semble partager l'opinion d'Espace Pur à propos des solutions douces de maintien du trait de côte. En effet, le dispositif est exclusivement mis en place sur des plages fortement urbanisées et touristiques. « S'il n'y a pas d'infrastructure humaine à protéger, nous considérons qu'il est préférable de laisser la nature faire³⁴⁶ » confie Christelle Breton, chargée d'étude à Ecoplage. La solution n'en demeure pas moins très précieuse sur les secteurs où le repli stratégique s'annonce particulièrement délicat.

Un projet d'envergure pour la plage de La Baule

Bien qu'installée dès l'origine en Loire-Atlantique, Ecoplage commence tout juste son premier projet sur le sol breton... qui s'annonce comme l'un des plus ambitieux depuis la création de l'entreprise. Le client : la commune de La Baule en presqu'île guérandaise. Cette ville connue pour

341 LUNEAU Sylvie, 2013. Les douches de plage alimentées par l'eau de mer filtrée. *Technicités* 10/2013. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Enerplage/TECHNICITES.pdf>

342 Inconnu, 2015. Ecoplage – ATP / Protéger la nature, fournir de l'eau potable et produire de l'énergie. *Le Moniteur* 10/2015. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/151013-tropheestp-lemoniteur.pdf>

343 DECHARTE Pierre, 2013. Vendée. Ecoplage stoppe l'érosion et réutilise l'eau. *Ouest-France Entreprises* 14/07/2013. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Enerplage/OuestFrance.pdf>

344 Inconnu, 2015. Ecoplage – ATP / Protéger la nature, fournir de l'eau potable et produire de l'énergie. *Le Moniteur* 10/2015. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/151013-tropheestp-lemoniteur.pdf>

345 BLIN Didier, 2014. En Vendée ou à Dubaï, Ecoplage combat l'érosion. *Ouest-France Entreprises* 27/01/2014. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Ouest_France.pdf

346 Communication personnelle Christelle Breton.

posséder “la plus grande et la plus belle plage de sable fin d'Europe” est soumise à une pression érosive qui lui aurait arraché jusqu'à 80 000 m³ de sédiments depuis 2004. Pour compenser, La Baule et sa commune voisine Pornichet doivent recharger leur plage à raison de 10 000 à 15 000 m³ par an ce qui, en plus d'être coûteux, présente un impact environnemental non négligeable. En effet, le sable est majoritairement dragué au niveau du Pouliguen où se trouve un gisement de coque. Pour cette raison, l'État interdit désormais le prélèvement de sable blanc sur ce secteur. Alors qu'Ecoplage tente d'obtenir un contrat avec la municipalité depuis sa création, l'entreprise a finalement obtenu une réponse favorable fin 2014. La plage se dotera donc d'un drain d'un kilomètre de long pour un coût qui devrait avoisiner les deux millions hors taxe. La facture devra néanmoins être divisée en deux, la commune n'étant pas le seul acteur intéressé par le dispositif. La communauté d'agglomération CAP Atlantique, qui a en charge la piscine publique d'eau de mer Aquabaule, compte également bénéficier du projet par l'installation d'un système Enerplage. L'énergie produite par thalassothermie devrait en effet permettre l'alimentation de la piscine. Par rapport à un chauffage au gaz, l'économie pourrait s'élever à 80 000 € par an, sans parler de l'impact positif évident d'un point de vue environnemental³⁴⁷. La baie de La Baule représente une portion du linéaire breton particulièrement artificialisé ainsi qu'une destination touristique de premier ordre. Il est difficile d'y envisager un quelconque repli stratégique, du moins à court terme. Aussi, la stabilisation du trait de côte semble être la seule solution viable. Les vacanciers ne sont pas les seuls à fréquenter la longue bande de sable fin. La baie de La Baule accueille également une biodiversité animale et végétale variée, quoique peu remarquable. Il s'agit notamment d'un site de halte migratoire et d'hivernage important pour certains limicoles tels que le bécasseau sanderling, spécialiste des milieux sableux³⁴⁸. Le dispositif Ecoplage/Enerplage semble donc particulièrement pertinent sur des sites tels que la plage de La Baule dont l'importance touristique empêche le repli stratégique.

Exemple d'initiative : L'AlgoBox de l'université de Bretagne-Sud

L'innovation en matière de techniques douces de stabilisation du trait de côte n'est pas l'apanage exclusif des PME. Le monde universitaire est également engagé dans l'effort de recherche. Le laboratoire géosciences marines & géomorphologie des littoraux de l'Université de Bretagne-Sud a notamment développé un nouveau procédé expérimental de protection contre

347 ORIOT Michel, 2016. Plage. Ecoplage trouve la solution à l'érosion sous le sable de La Baule. *Ouest-France Entreprises* 07/01/2016. [en ligne] <http://www.entreprises.ouest-france.fr/article/plage-ecoplage-trouve-solution-lerosion-sous-sable-07-01-2016-248749>

348 Observation personnelle.

l'érosion littorale baptisé “AlgoBox”. Il consiste à disposer sur la plage des casiers de ganivelles renforcés, de façon à ce qu'ils captent le maximum de sédiments transportés par les vents. Les AlgoBox sont initialement remplies d'algues brunes et rouges afin de stabiliser les sédiments qui se déposent. En se décomposant, elles libéreront des nutriments qui favoriseront le développement d'une végétation sur la dune embryonnaire. Deux expérimentations de ce nouveau procédé sont menées sur les plages de Penvins et de Kerjouano dans le Morbihan. A Penvins, le dispositif poursuit également un objectif de protection de la biodiversité puisque la présence des AlgoBox permettra de limiter le piétinement en bordure des falaises dunaires et donc de protéger les nids d'hirondelles de rivage³⁴⁹. Il faudra encore attendre quelques années pour se prononcer sur l'efficacité du dispositif lancé en 2014. Toutefois, les relevés topographiques et photographiques réalisés régulièrement à Penvins sont très encourageants : le recul des dunes est presque entièrement stabilisé et les algues placées dans les ganivelles sur la plage de Penvins se sont entièrement décomposées, ce qui a permis à une nouvelle végétation de voir le jour³⁵⁰. Parfois, les solutions les plus simples sont les meilleures. En effet, le système des AlgoBox n'est pas très différent de celui des châteaux de sable qui existe quant à lui depuis bien longtemps !



Photographies des AlgoBox® installés sur la plage de Penvins

Les communes susceptibles de faire appel à ces solutions durables sont innombrables, compte tenu de l'étendue du fléau que représente l'érosion côtière. Cependant, les PME telles que Stabiplage et Ecoplage doivent faire les frais de l'inertie des collectivités territoriales bretonnes³⁵¹. Pour cette raison, elles tendent de plus en plus à se concentrer sur l'étranger où les besoins sont

349 Université de Bretagne Occidentale, 2014. Expérimentation d'un nouveau procédé innovant de protection/réhabilitation des dunes : l'AlgoBox. *Lettre à la presse du 08 au 12 septembre 2014 – n°38*. [en ligne] http://www.univ-ubs.fr/medias/fichier/lettre-a-la-presse-du-8-au-12-septembre-2014-n-38_1410353551924-pdf

350 JAGLIN Maxime, 2015. Les AlgoBox à l'épreuve des grandes marées. *Ouest-France.fr* 19/02/2015 [en ligne] <http://www.ouest-france.fr/bretagne/sarzeau-56370/les-algobox-lepreuve-des-grandes-marees-3202899>

351 LE HOUELLEUR Yann, 2010. Ecoplage au secours du littoral malade de l'érosion. *Usine Nouvelle.com* 05/08/2010. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Usinenouvelle.pdf>

beaucoup plus pressants. Ecoplage a par exemple réalisé un projet pharaonique sur une plage de Dubaï aux Émirats Arabes Unis : l'installation d'un drain d'un kilomètre réalisée de nuit, afin de ne pas gêner les touristes³⁵².

Des solutions innovantes et prometteuses existent déjà pour contrer l'érosion littorale sans impact négatif sur le milieu naturel. Certaines ont même été développées sur le territoire breton et pourtant, elles connaissent souvent plus de succès à l'exportation ! Il serait temps que les communes bretonnes s'intéressent à ces technologies alternatives nées sur leurs propres territoires. La mission des associations environnementales est de faire connaître ces initiatives et de les promouvoir, même si cela revient à faire de la publicité pour des entreprises privées.

3) Accepter l'avancée de la mer : une fatalité ?

Si le maintien du trait de côte semble nécessaire dans les zones fortement urbanisées, qu'en est-il ailleurs ? Doit-on vraiment lutter contre l'érosion du littoral là où il n'y a pas d'enjeu économique trop important pour que le repli des activités et des biens puisse être envisagé ? Selon la stratégie nationale de gestion du trait de côte, il faut « recourir à des techniques souples de gestion du trait de côte pour les secteurs à densité moyenne (urbanisation diffuse) ou à dominante agricole³⁵³ ». Nous pensons au contraire que les techniques souples doivent être privilégiées partout et non pas uniquement dans ces zones. Par ailleurs, nous proposons d'aller plus loin encore sur de tels secteurs en favorisant l'avancée de la mer et, dans certains cas, son retour.

a) La dépoldérisation : s'inspirer de nos voisins pour rendre des terres à la mer dans un but environnemental et défensif

A l'échelle de la France, notre région présente la particularité de compter un nombre relativement important de terres gagnées sur la mer par la construction d'ouvrages lourds : les “polders”. Cette pratique visant à grignoter du terrain sur la mer afin de pouvoir y implanter biens et activités existe depuis près d'un millénaire et on estime que 15 000 km² de marais ont été endigués sur les côtes basses et les rives des estuaires d'Europe occidentale depuis le XI^e siècle, principalement aux Pays-Bas et en Allemagne où, dans chaque pays, 6 000 km² ont été “poldérisés”. La France ne compte quant à elle que 1 400 km² de polders mais une bonne partie se

352 DEFAWE Jean-Philippe, 2012. L'érosion des plages stoppée par drainage. *Le Moniteur* 27/01/2012. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Le_Moniteur.pdf

353 Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012. *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte : Vers la relocalisation des activités et des biens*. 19p.

trouve sur le linéaire breton. Un polder est une terre conquise sur la mer par l'endiguement de marais maritimes ou de marais estuariens. Le terrain est généralement drainé et dessalé afin d'être utilisé à des fins agricoles, les conquêtes à finalité démographique étant rares. L'ampleur de cette pratique tient au fait qu'elle a longtemps fait l'objet d'une politique généralisée dans de nombreux pays. Le procédé était généralement considéré comme rentable, dans la mesure où le coût d'endiguement d'un hectare de marais était inférieur à la valeur moyenne d'un hectare de terre agricole. Mais il pouvait aussi permettre de se protéger contre les submersions marines. Les ouvrages de protection se révélant insuffisants par endroits, de nouvelles digues plus solides, plus hautes et plus larges étaient parfois érigées en avant des anciennes afin de mieux se protéger des tempêtes. Une partie des polders est donc apparu à l'abri de ces nouvelles digues. Cette tendance a perduré jusque dans les années 1960 mais a pris fin entre les années 1970 et 1990 pour les conquêtes à visée démographique ou agricole et à partir des années 1990 pour les conquêtes à finalité protectrice. En effet, il est devenu trop difficile et/ou trop coûteux d'entretenir les ouvrages lourds à l'origine de polders peu productifs et/ou situés trop à l'écart des axes de communication. Depuis les années 1950, les polders agricoles du Finistère sont en déprise. Cette décennie qui marque le début de l'abandon n'a rien d'anodin : elle correspond au début de la modernisation de l'agriculture dans laquelle la plupart des polders n'avaient pas leur place en raison de leurs contraintes d'entretien. A partir des années 1960, la course à la rentabilité lancée par la PAC a accentué le phénomène tandis que la surproduction atteinte dans les années 1980 a définitivement mis fin à la nécessité de gagner de nouvelles terres agricoles. Parallèlement, l'émergence de l'écologie politique n'a pas tardé à donner naissance à un fort mouvement de contestation des endiguements qui détruisaient vasières et pré salés. Faute d'entretien, nombre de polders sont naturellement revenus à la mer³⁵⁴. Mais l'Homme a également favorisé leur disparition dans certains cas.

Ces entreprises de dépoldérisation volontaire sont néanmoins peu nombreuses. Elles ne représentent que 80 km² à l'échelle de l'Europe occidentale soit seulement 1 % de la surface poldérisée³⁵⁵. Elles sont également très localisées. En 2008, on en comptait autant au sur les côtes britanniques que sur l'ensemble des autres côtes d'Europe occidentale, le Royaume-Uni ayant institué le retour de la mer en véritable politique d'adaptation³⁵⁶. Il faut dire que les Britanniques prennent très au sérieux le risque de compression des écosystèmes littoraux, contraints de migrer

354 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie* 2007/4 n°656, pages 339-360.

355 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2010. Changement climatique et dépoldérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique. *Quaderni* 71, pages 41-60.

356 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie* 2007/4 n°656, pages 339-360.

vers l'amont de l'estran du fait d'une élévation du niveau de la mer, mais ne le pouvant pas en raison de structures défensives lourdes comme les digues. Le fait qu'ils aient donné un nom à cette menace ("coastal squeeze") est révélateur de cette prise de conscience³⁵⁷. Les entreprises de dépoldérisation peuvent prendre différentes formes et poursuivre différents objectifs. On parle de dépoldérisation partielle lorsque des ouvertures sur la mer ont été installées dans le corps d'une digue sous forme de tuyaux, de clapets, de portes à marée ou d'écluses. L'entrée des eaux est alors limitée, voire régulée. Pour dépoldériser complètement, on peut ouvrir une ou plusieurs brèches dans une digue, comme cela se produit accidentellement lors des tempêtes. Enfin, on peut opérer, mais c'est plus rare, un véritable démantèlement de la digue de mer, synonyme de complète disparition de cette digue et submersion d'un polder. Les Britanniques procèdent surtout à des "managed realignment", c'est-à-dire à la destruction des digues situées en avant des polders puis à leur reconstruction plus loin dans les terres. La Belgique a quant à elle une préférence pour les dépoldérisations partielles qui consistent à araser les digues et à les équiper d'écluses de façon à créer des polders "de décharge" en cas de tempête ou de forte marée. Ces opérations peuvent répondre à deux visées : l'une environnementale et l'autre défensive. Tout d'abord, l'intérêt écologique de la dépoldérisation est évident : elle permet de recréer des écosystèmes de marais maritimes ou estuariens qui s'étaient fortement rétractés ou avaient même parfois disparu du fait des endiguements. Il s'agit de milieux fortement productifs du point de vue de la biodiversité et donc, le retour de la mer dans les polders est toujours synonyme d'accroissement de la richesse spécifique. Par ailleurs, le retour de ces habitats littoraux peut avoir des répercussions positives sur la faune du grand large : en servant de nurseries à de nombreuses espèces de poissons, les marais littoraux et estuariens favorisent le renouvellement des populations. Mais pour certains scientifiques, l'intérêt environnemental dépasse le cadre de la seule biodiversité. En diminuant par endroits la surface de la zone intertidale, les endiguements avaient souvent réduit considérablement sa capacité à piéger les polluants. La dépoldérisation pourrait donc également présenter un intérêt du point de vue de la qualité de l'eau. Il existe néanmoins quelques cas pour lesquels les bénéfices environnementaux d'un retour de la mer sont plus mitigés. En effet, il n'est pas toujours souhaitable de restaurer un écosystème de marais maritime, si cela doit se faire aux dépens d'un autre écosystème littoral d'une valeur ou d'une rareté comparable. On pense notamment aux étangs de la baie d'Audierne dont la biodiversité présente une singularité qu'il n'est pas envisageable de sacrifier au profit d'un milieu lagunaire dont la richesse spécifique serait pourtant plus importante. Il s'agit donc de mettre en balance les intérêts écologiques les uns par rapport aux autres au cas par cas. Enfin, rendre des

357 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2010. Changement climatique et dépoldérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique. *Quaderni* 71, pages 41-60.

polders abandonnés à la mer pourrait indirectement contribuer à limiter la progression de l'urbanisation sur le littoral. En analysant de manière conjointe la fragilité de l'agriculture et la pression foncière urbaine, l'IFEN a noté une corrélation intéressante entre ces deux phénomènes sur certains littoraux, et notamment la côte sud de la Bretagne : le marché foncier résidentiel ou de loisir tend à amplifier les risques de disparition des terres agricoles, et notamment de polders déjà en déprise. En ce sens, la remise en eau constituerait une alternative intéressante à l'urbanisation dans ce contexte de déprise agricole qui touche aujourd'hui les communes littorales³⁵⁸. Si les dépoldérisations à visée environnementale sont encore largement majoritaires, un quart des opérations poursuit un objectif de défense contre l'augmentation du niveau de la mer. En 2008, 70 % d'entre elles se concentraient au Royaume-Uni. Favoriser le retour de la mer dans le but de se protéger contre l'élévation du niveau de celle-ci peut sembler paradoxal. En fait, les dépoldérisations défensives visent principalement à recréer un certain type d'habitat capable de freiner la houle : le pré salé. En effet, lorsqu'un pré salé est suffisamment large, il peut jouer le rôle d'un espace tampon où la houle s'atténue progressivement, ce qui permet de ne plus craindre de niveaux d'eau trop élevés et de ne pas engager de politique trop coûteuse de surélévation systématique des digues³⁵⁹. Dans les faits, les enjeux environnementaux et de défense contre la mer vont généralement de pair, ce qui fait de la dépoldérisation une solution d'adaptation à la montée du niveau de la mer respectueuse et même favorable à la biodiversité.

Contre toute attente, la démarche peut également présenter des avantages économiques. En effet, les pertes économiques qu'une dépoldérisation est susceptible d'entraîner sont généralement très limitées. En Europe occidentale, les deux tiers des espaces dépoldérisés sont soit d'anciens polders en déprise soit des polders déjà acquis ou gérés par des protecteurs de la nature avant même leur retour à la mer. Les polders créés à des fins agricoles sont peu à peu abandonnés. En France, entre 1970 et 2000, la surface agricole a chuté de 20 % dans les communes littorales contre seulement 6,8 % dans l'ensemble de la métropole. Par ailleurs, si dépoldériser présente un coût, ce dernier est généralement moins élevé que l'entretien sans fin des ouvrages lourds. Nos voisins outre-Manche ont déjà fait le calcul pour nous : d'après la National River Authority, une digue doit avoir, en l'absence de pré salé, une hauteur de 12 m, ce qui représente un coût de construction de 5 000 £ par mètre linéaire. En présence d'un schorre de 80 m de large, la hauteur de la digue peut s'abaisser à 3 m, ce qui entraîne une réduction importante des coûts de construction qui ne s'élèvent plus qu'à 400 £ par mètre linéaire. A Brandcaster, en Angleterre, les aménageurs avaient estimé que le coût

358 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie* 2007/4 n°656, pages 339-360.

359 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2010. Changement climatique et dépoldérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique. *Quaderni* 71, pages 41-60.

d'une dépoldérisation était 1,3 fois inférieur à celui de l'entretien de la digue dans un bon état. A Orplands, les coûts de restauration et d'entretien de la digue pendant vingt ans auraient été six fois supérieurs à ceux d'une dépoldérisation. Là où c'est possible, rendre des terres à la mer semble donc n'avoir que des avantages, surtout lorsqu'il ne s'agit pas de céder du terrain à l'océan mais de rendre à César, ou plutôt à Poséidon, ce qui lui appartient. Dans certains cas, les polders remis en eau peuvent même être économiquement valorisés. Au Royaume-Uni où la curiosité naturaliste est un trait culturel, la dépoldérisation de Freiston Shore qui avait pour but la création d'une réserve naturelle de la Royal Society for the Protection of Birds a rapporté 220 000 € à la localité de Freiston du fait de l'arrivée de 60 000 visiteurs sur la réserve, dès la première année³⁶⁰.

Si de nombreux exemples de dépoldérisations existent de l'autre côté de la Manche, de telles expérimentations restent extrêmement rares en France. Le seul exemple breton de dépoldérisation complète est celui de l'Aber de Crozon réalisé en 1981. Des endiguements y avaient été réalisés en 1958 et 1960 afin de gagner 110 ha de terres dont les deux tiers étaient destinés à l'agriculture. En plus de perturber la dynamique sédimentaire, cette poldérisation avait conduit à la disparition des plantes halophiles ainsi que des bancs de coques, de moules et de palourdes. L'activité agricole déclinant, le site avait été racheté par le Conservatoire du littoral en 1978 et remis en eau dès 1981. L'opération fut un succès du point de vue de la biodiversité puisqu'une vingtaine d'espèces de poissons est revenue frayer sur le site tandis que les prés salés ont refait leur apparition. Toutefois, le projet fut un échec sur le plan sédimentaire, la dépoldérisation ne faisant qu'accentuer les phénomènes locaux d'érosion et d'envasement³⁶¹. Plus récemment, le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel, initié en 1995 et achevé en 2015, peut être considéré comme une opération de dépoldérisation, à enjeu principalement paysager. Ici, l'objectif n'avait rien à voir avec la défense contre l'érosion littorale, la baie du Mont étant un secteur en accrétion. Au contraire, il s'agissait de freiner l'ensablement du site en favorisant l'évacuation des sédiments par les marées³⁶². Ce cas est donc quelque peu hors sujet dans la mesure où il n'avait aucun lien avec l'adaptation au changement climatique ni n'avait spécialement de visée environnementale. Néanmoins, l'entreprise s'est révélée bénéfique à la biodiversité, en particulier au niveau des 15 ha de parking qui ont été restitués à la nature. Un accroissement significatif de la richesse spécifique des passereaux paludicoles y a été noté par Matthieu Beaufils³⁶³.

360 GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie* 2007/4 n°656, pages 339-360.

361 BAWEDIN Vincent, 2004. La dépoldérisation, composante d'une gestion intégrée des espaces littoraux ?

Prospective sur le littoral picard et analyse à la lumière de quelques expériences. *Cahiers Nantais* n°6, pages 11-20.

362 http://www.projetmontsaintmichel.fr/pourquoi_agir/objectifs.html

363 Communication personnelle Matthieu Beaufils.

L'exemple de l'Aber de Crozon montre qu'il ne s'agit pas de dépoldériser partout où cela est possible mais qu'il est nécessaire de prendre les décisions au cas par cas, en fonction de l'objectif recherché et des caractéristiques de chaque site. Une politique de dépoldérisation telle qu'elle est menée au Royaume-Uni exige une certaine expérience et doit s'appuyer sur une ingénierie de la restauration et de la protection contre la mer qui fait encore défaut en France. Nous n'en sommes encore qu'à la phase d'expérimentation et il est important que celle-ci se poursuive pour que l'on puisse, à terme, envisager la dépoldérisation comme politique d'adaptation au changement climatique. L'une des raisons d'un tel engouement pour cette pratique de l'autre côté de la Manche est l'existence d'associations de protection de la nature particulièrement influentes telles que la Royal Society for the Protection of Birds, qui ont impulsé le mouvement en réalisant les premières dépoldérisations sur les sites dont elles sont propriétaires. Il faut dire que le statut de la propriété de l'estran, plus libéral en Grande-Bretagne qu'ailleurs en Europe, a grandement facilité ces interventions, les associations pouvant être propriétaires des digues qui ceinturent leurs polders, mais aussi des marais maritimes adjacents ou recréés par la dépoldérisation³⁶⁴. En France, l'estran appartient au domaine public maritime au sein duquel aucune construction, même saisonnière, ne peut se faire sans autorisation préalable par un service de l'État au-delà d'une utilisation supérieure à la journée, avec obligation de restaurer les lieux en l'état initial. Le plus grand propriétaire de polders de première ligne est le Conservatoire du littoral qui, par sa philosophie de non-résistance à la mer, contribue à la dépoldérisation naturelle de sites en laissant ouvertes des brèches qui s'étaient accidentellement produites. Cela dit, Bretagne Vivante peut malgré tout participer au développement de cette pratique en Bretagne, en s'y intéressant davantage et en la promouvant auprès des pouvoirs publics.

b) La relocalisation des activités et des biens : se préparer dès maintenant aux scénarii les plus extrêmes

La dépoldérisation permettrait de rendre à la mer des terres de faible valeur économique afin qu'elle les transforme en zones à forte valeur écologique voire défensive. L'entreprise semble économiquement peu contraignante et représente une solution complémentaire aux techniques douces de maintien du trait de côte mises en place dans les secteurs les plus fortement urbanisés. Toutefois, la mer pourrait bien ne pas nous laisser le choix des mesures à mettre en œuvre sur certaines portions du littoral. Aussi, céder du terrain à la mer y compris dans des zones fortement

³⁶⁴ GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2010. Changement climatique et dépoldérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique. *Quaderni* 71, pages 41-60.

urbanisées doit être envisagé. Contre toute attente, la France a d'ores et déjà amorcé une réflexion sur les mesures d'adaptation à mettre en place dans une telle éventualité.

Exemple d'initiative : L'appel à projets “Expérimentation de la relocalisation des activités et des biens : recomposition spatiale des territoires menacés par les risques littoraux”

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie a lancé en 2012, auprès des collectivités locales intéressées, un appel à projets sur la “relocalisation des activités et des biens” dans les territoires fortement menacés par les risques littoraux. Cinq projets répartis sur l'ensemble des façades maritimes de métropole et d'outre-mer et représentatifs de différentes morphologies littorales ont été retenus. Malheureusement, aucun d'entre eux n'a été mené sur le territoire breton. Deux se situent néanmoins sur des façades maritimes partagées par la Bretagne, celles de l'Atlantique et de la Manche. Il s'agit des sites pilotes d'Ault en Picardie et de Lacanau sur le littoral aquitain. Conduite sur une période de deux ans, cette première vague de projets s'est achevée en 2015. Son objectif n'était pas uniquement de répondre à des enjeux locaux mais de proposer des éléments méthodologiques et de doctrine applicables à l'échelle nationale³⁶⁵. Dans cette dernière sous-partie, nous reviendrons sur le bilan des expériences picarde et aquitaine.

Ault : La falaise vive

La commune d'Ault est située sur la côte picarde, à la confluence des falaises normando-picardes et de la baie de Somme. Elle est bâtie au bord d'une falaise vive qui ne cesse de reculer depuis des siècles. Estimé à 30 cm par an en 2001, l'érosion s'élèverait aujourd'hui à 70 cm par an. Elle a déjà amputé la ville de plusieurs îlots et rues et donc, on peut dire que le recul des activités et des biens y est déjà en marche, indépendamment de la volonté humaine. Deux phénomènes naturels concourent à cette érosion spectaculaire : le ruissellement et l'infiltration d'eau par le haut de la falaise et l'action de la mer à son pied. Par ailleurs, Ault souffre d'un autre mal, de nature économique. Cette station balnéaire connaît une baisse de fréquentation depuis le début des années 1980 et a vu 17 % de ses résidents permanents partir en l'espace de dix ans. Elle s'est également endettée à lutter contre l'érosion inexorable de la falaise. Saisissant l'opportunité de l'appel à projets, la commune a donc décidé de s'engager dans une démarche novatrice portée par le Syndicat mixte baie de Somme – Grand littoral picard visant à valoriser et redynamiser la ville sur fond de gestion

³⁶⁵ Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015. *Vers la relocalisation des activités et des biens – 5 territoires en expérimentation. Actes du séminaire national de restitution du 30 juin 2015.* 79p.

du risque lié à l'érosion de la falaise. L'objectif est de définir un projet “d'urbanisation résiliente” sur deux échelles de temps. A moyen terme, le but est d'inscrire des mesures conservatoires dans les documents d'urbanisme (SCoT et PLU), de limiter les constructions en zone à risque, d'anticiper les acquisitions lorsque c'est possible et de prescrire des travaux de réduction de la vulnérabilité. A long terme, il s'agira de prévoir de nouvelles zones de développement ou de densification pour compenser la perte de territoire et d'adopter des modalités innovantes d'occupation des terrains. De manière plus concrète, une attention particulière a été portée à la mise en œuvre de solutions techniques novatrices en matière d'aménagement capables tant de valoriser les espaces menacés que de réduire les facteurs qui en aggravent l'érosion, tout en s'inscrivant dans une perspective de relocalisation des activités et des biens à plus long terme : maintien de l'étanchéité des sols, choix de matériaux non polluants dans l'hypothèse d'un retour possible à la mer, revêtements facilement “découpables” et “recomposables”, un mobilier “repositionnable”... Un scénario de désartificialisation de la bande littorale a également été élaboré dans l'optique de créer un parc littoral tandis qu'une promenade en bord de mer privilégiant les déplacements doux devrait être mise en place. Des réflexions ont par ailleurs été conduites sur les réseaux et infrastructures publiques (assainissement, eau potable, électricité, gaz, circulation et stationnement) avec pour objectif la mise en œuvre d'aménagements résilients capables de permettre à la ville, en cas de “catastrophe” érosive, de s'adapter et d'assurer la continuité du service. En parallèle, une zone d'aménagement concerté de 7 ha doit être créée loin du front de mer pour servir, le cas échéant, au relogement des personnes qui pourraient être contraintes de quitter le front de mer. La zone est également pensée pour redynamiser la ville puisqu'elle devrait comporter, en plus d'une nouvelle offre de logements, un parc public, un pôle d'hébergement touristique et un équipement culturel et festif. En fait, la démarche mise en œuvre à Ault ne doit pas être vue comme un strict programme d'adaptation au recul du trait de côte mais plutôt comme une entreprise de valorisation de la commune intégrant le risque érosif. Il s'agit donc à la fois d'une démarche de développement économique et d'adaptation au changement climatique tentant de concilier ces deux impératifs qui ont trop souvent tendance à s'opposer. Le projet est à présent défini et n'attend plus qu'à être mis en œuvre à travers les aménagements futurs de la ville³⁶⁶.

Lacanau : Site-atelier du littoral aquitain pour la relocalisation

Lacanau est une station balnéaire du littoral aquitain qui a connu une érosion fulgurante et imprévue à l'occasion des tempêtes de l'hiver 2013-2014 : le trait de côte y est aujourd'hui d'ores et déjà celui qui avait été estimé pour 2040 ! Or, le front de mer concentre 20 % des résidences

366 Ibid.

secondaires ainsi que la majorité des activités commerciales. On a donc affaire à une commune au pied du mur, ou plutôt de la mer. La participation à l'appel à projets "Expérimentation de la relocalisation des activités et des biens", n'a pas marqué le début d'une réflexion sur l'adaptation à l'érosion littorale mais sa poursuite. En effet, une première réflexion sur l'élaboration d'une stratégie locale de gestion de la bande côtière initiée en 2009 avait déjà permis de dégager douze scénarii d'évolution combinant résistance dure, résistance douce et relocalisation. Sur ces douze propositions, deux avaient été retenues par la commune, la première impliquant une protection en dur avec des rechargements en sable au sud et la seconde impliquant la relocalisation du front de mer. Le travail s'est poursuivi et affiné sous la tutelle du GIP Littoral Aquitain, dans le cadre de la participation à l'appel à projets. Dans un premier temps, un scénario dit "révélateur" a été élaboré avec pour objectif d'imaginer l'évolution de la station de Lacanau à l'horizon 2050/2100 dans l'hypothèse où rien ne changerait dans les décisions et actions des acteurs publics. Ses enseignements ont été clairs : en conservant les cadres réglementaires, politiques et financiers actuels, on risque fort de déboucher sur une situation chaotique, où la gestion des problèmes ne sera pas à la hauteur des enjeux. En complément, quatre autres scénarii ont été envisagés. Deux dimensions ont été prises en compte pour les élaborer. La première concerne la gestion du trait de côte avec trois propositions de relocalisation et une proposition d'ouvrage lourd. La seconde a trait au modèle de développement urbain et socio-économique de la ville. En combinant les deux dimensions et en prenant compte les contraintes qu'elles s'imposent mutuellement, il a été possible de dresser différents scénarii possibles d'évolution du trait de côte destinés à favoriser la prise de décision tant au niveau de l'adaptation à l'érosion côtière que de l'aménagement urbain. Les scénarii favorisant le repli des activités et des biens à l'intérieur des terres s'imposent en toute logique comme les plus durables, les plus respectueux de l'environnement mais aussi les plus avantageux d'un point de vue touristique puisqu'ils permettraient de retrouver une dune au fonctionnement naturel et de recréer une plage centrale. Malheureusement, les conditions de réalisation financières, institutionnelles, et réglementaires nécessaires à leur mise en œuvre ne sont aujourd'hui pas réunies. Sur le long terme, il y a de fortes chances pour que la relocalisation soit plus économe que la construction d'un ouvrage lourd et son entretien mais cette seconde option est actuellement la seule qui soit financièrement réalisable³⁶⁷. L'exemple de Lacanau témoigne donc de la nécessité pressante de créer des mécanismes de financement pour appuyer l'adaptation des côtes françaises à l'augmentation du niveau de la mer, faute de quoi celle-ci se limitera à des solutions court-termistes qui ne feront qu'aggraver le phénomène érosif et se révéleront peu rentables sur le long terme.

367 Ibid.

Des solutions d'adaptation à l'augmentation du niveau de la mer durables et respectueuses des milieux littoraux existent d'ores et déjà en France. Pour la plupart encore en phase expérimentale, elles sont néanmoins très prometteuses et ont de quoi nous rendre optimistes face au plus grand défi posé par le changement climatique en Bretagne. D'un autre côté, l'exemple de Lacanau, une commune s'étant volontairement engagée sur la voie de l'adaptation mais freinée dans son élan par des considérations d'ordre institutionnel et financier, ainsi que celui des nombreuses communes littorales qui restent inertes face à la montée des eaux prouve que le véritable frein à la mise en œuvre de ces solutions innovantes et ambitieuses est lié à la gouvernance. A l'avenir, la priorité sera donc de définir un système de gouvernance dans lequel les actions de gestion du trait de côte pourront être menées. La "Gestion intégrée des zones côtières" est un premier essai de gouvernance littorale qui rencontre un certain succès. L'idée est de réunir les acteurs du territoire pour établir un diagnostic de celui-ci, définir collégialement une série d'objectifs, puis de mener des actions pour les remplir. La GIZC prône une approche transversale incluant tous les secteurs d'activité et tous types d'acteurs (professionnels, citoyens, experts...) dans une réflexion à long terme. Elle fonctionne selon un système d'appels à projets dont la première vague, en 2005, a désigné 25 lauréats. La région Bretagne, de par la longueur de son linéaire côtier, est sans surprise un territoire moteur de cette démarche, avec cinq projets territoriaux retenus. Elle a renouvelé son intérêt pour la GIZC par la suite, en lançant notamment des appels à projets territoriaux, en partenariat avec l'État dans le cadre du projet État-région 2007-2013. Lancée en 2011, cette initiative a été reconduite les deux années suivantes, pour 14 projets retenus³⁶⁸. L'adaptation au recul du trait de côte pourrait être menée dans le cadre de la GIZC dont l'intérêt principal réside dans la conciliation des objectifs (économiques, environnementaux...) et des activités au sein d'un même projet de territoire.

Autre conclusion que nous pouvons tirer : en matière d'adaptation au recul du trait de côte, les enjeux environnementaux et économiques vont souvent de pair et pointent vers le même type de solutions. Aussi, dans la lutte contre l'érosion, les choses sont beaucoup moins complexes et beaucoup plus manichéennes que l'on pourrait le croire au premier abord. Il existe une rupture nette entre techniques dures de stabilisation du trait de côte d'une part et techniques douces et repli stratégique d'autre part. Les premières semblent être les plus efficaces d'un point de vue défensif ainsi que les moins onéreuses mais n'apportent aucune solution viable sur le long terme, ni d'un point de vue défensif, ni d'un point de vue économique. Seule les secondes sont à même de répondre aux enjeux de demain.

368 PERRIER Victor, 2015. *Livre blanc des APNE du Grand Ouest sur le changement climatique*. France Nature Environnement. 148p.

A travers ce recensement (non exhaustif) des solutions susceptibles de favoriser l'adaptation de la biodiversité bretonne au changement climatique, nous avons rendu plus claire la notion de “transition écologique” qui doit selon nous sous-tendre l'ensemble des politiques publiques et initiatives professionnelles et citoyennes de demain. L'objectif de ce livre blanc n'est pas de fournir des pistes de réflexion sur la seule adaptation au changement climatique mais de promouvoir une nouvelle vision des politiques publiques dans laquelle les questions de biodiversité intégreront de manière transversale d'autres domaines tels que l'aménagement du territoire, le tourisme, l'agriculture, le développement économique, la mer et le littoral. L'entrée doit devenir multifonctionnelle. Cela nécessite sans doute des outils d'évaluation comme l'empreinte écologique ou de prévention comme l'éco-conditionnalité, afin de progressivement changer les logiciels et les cahiers des charges des politiques régionales en y intégrant la biodiversité et le changement climatique. Enfin, pas de stratégie sans moyens : cela suppose donc que les politiques régionaux mesurent l'importance de l'enjeu pour y mettre les moyens suffisants, y compris financiers (par un retour de l'écotaxe par exemple). Le changement climatique est l'occasion d'amorcer une telle “réforme” de la gouvernance car ses impacts permettent de mettre en évidence le lien qui unit biodiversité et activités humaines, notamment à travers la notion de “services écosystémiques”. Il constitue un point de départ à partir duquel le débat peut être aisément élargi à d'autres questions majeures telles que la crise environnementale et même, à bien des égards, la crise économique. Un débat dont pourraient émerger des solutions, non pas uniquement au changement climatique mais à l'ensemble des grands défis de notre siècle.

Par ailleurs, si nous voulons construire de nouvelles approches des problèmes publics, rien ne se fera sans développer une intelligence collective au service de projets et d'actions. Il n'y aura pas d'avancée significative sans stratégie, sans un pilote et sans un dispositif adapté de type réglementaire ou contractuel. Le niveau régional apparaît tout à fait pertinent pour porter des stratégies proches des enjeux du territoire. Néanmoins, la Région ne devra pas agir seule ni décider unilatéralement. La concertation habituelle ne suffira pas et les démarches descendantes ont montré leurs limites, même dans le domaine de la recherche, où expertise et expérience doivent être mis dans un pot commun, au bénéfice mutuel (comme dans le cas du réseau expérimental de réhabilitation des zones humides du Finistère). Le pilotage, l'animation, l'ingénierie ne seront efficaces que s'ils s'appuient sur des démarches participatives, une interface science-société-décideurs organisée, porteuse d'expérimentations et de construction de nouveaux référentiels. Dans ce contexte, il convient de souligner le rôle des associations. Parce qu'elles disposent de l'expertise nécessaire en matière de biodiversité, les associations peuvent et doivent servir de moteur aux actions territoriales menées en faveur de l'adaptation de la biodiversité au changement climatique.

Or, nous vivons une période de baisse des financements publics, de remise en cause du partenariat au bénéfice de l'appel d'offres et de la prestation, de simplifications administratives qui cachent des intentions différentes... Aux associations de monter au créneau pour rappeler des évidences sur la démocratie, l'intérêt général, le bien commun, l'action citoyenne, et d'interpeller les élus sur ces sujets. De plus, si la biodiversité doit être intégrée à tous les domaines de politiques publiques, la connaissance à son sujet ne peut pas rester l'apanage exclusif des associations comme Bretagne Vivante. La biodiversité manque cruellement d'ingénierie dans les territoires, et parfois aussi de mutualisation des personnes et des services. De la même façon qu'il y a des points d'info ou de conseil sur l'énergie, il pourrait y en avoir pour la biodiversité. Pour porter la voix de la nature dans les documents d'urbanisme ou les opérations d'aménagement, le travail d'un bureau d'études extérieur ne suffit pas. Celui des associations, indispensable, se heurte parfois à un manque d'écho du côté des élus et des techniciens... Il faudra développer de véritables compétences écologiques dans les agences d'urbanisme, les collectivités, pour que la connaissance, les compétences et expériences du génie écologique deviennent des éléments structurants dans les projets d'aménagement.

De manière plus philosophique, s'engager sur la voie de la "transition écologique" c'est accepter de déconstruire des barrières que nos sociétés modernes ont érigé. Celle que nous avons dressé entre l'Homme et la nature mais aussi celles qui existent entre les hommes, c'est-à-dire entre les différents acteurs de la société. La transition écologique n'a donc pas qu'une visée conservationniste mais poursuit également un but démocratique en promouvant une gouvernance qui serait le fruit de la concertation entre les différentes composantes de la société, avec pour point de départ son unité atomique : le citoyen.

Conclusion : Vers la définition d'un positionnement stratégique par rapport au changement climatique

Derrière ces considérations spirituelles, ce document poursuit un objectif opérationnel : favoriser l'appropriation de la problématique climatique par les bénévoles et salariés de Bretagne Vivante afin que cette question environnementale et problème public de premier ordre soit enfin intégré à l'agenda de l'association. Car entre Bretagne Vivante et le changement climatique, il y a encore toute une relation à construire. En effet, l'association a jusqu'à présent affiché des difficultés certaines à se saisir de cette question. Ce document dont la réalisation s'achève en 2016 marque le début d'un positionnement de Bretagne Vivante sur la problématique climatique quand l'immense majorité des associations environnementales l'ont déjà intégrée à leur agenda depuis longtemps. Le désintérêt, voire même l'hostilité et parfois le sentiment d'incompétence de certains des bénévoles et salariés face à un sujet qui prendrait trop de place dans l'agenda environnemental politique et médiatique et présenterait trop d'incertitudes scientifiques n'a aidé en rien. Afin d'identifier l'origine de ces blocages sous-jacents, il convient de revenir sur l'histoire de Bretagne Vivante, ses origines et sa nature singulière qui la distinguent des autres associations bretonnes de protection de l'environnement et permettent d'expliquer ses difficultés à s'approprier la question du changement climatique.

Fondée en 1959 par deux enseignants, la SEPNB est d'abord pensée comme une société savante naturaliste consacrée à la connaissance et à l'éducation à la biodiversité en Bretagne³⁶⁹. Ainsi, l'association est née bien avant le mouvement de l'écologie politique des années 1970 et ne s'inscrit pas dans ce dernier dans le sens où elle n'est pas fondamentalement militante. Bien qu'étant la plus ancienne et la plus grande association de protection de la nature en Bretagne, cette spécificité l'a toujours empêchée d'assumer le leadership du courant environnementaliste en Bretagne, ses préoccupations n'étant pas en phase avec celles des associations plus jeunes et plus modestes³⁷⁰. Maurice Le Démézet et Bruno Maresca, auteurs de "La Protection de la Nature en Bretagne" qui relate l'histoire de la SEPNB, établissent une distinction nette entre les préoccupations "naturalistes" de Bretagne Vivante et les préoccupations "environnementalistes" des autres associations membres de l'Union régionale bretonne pour l'environnement, fédération des associations environnementalistes bretonnes fondée en 1972. Le naturaliste est celui qui étudie et connaît la nature, la biologie de ses espèces et le fonctionnement de ses écosystèmes.

369 LE DEMEZET Maurice et MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne, La SEPNB (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.

370 Ibid.

L'environnementaliste est au contraire celui qui pressent l'importance des fonctions et services assurés par la nature et la menace que les activités humaines font peser sur ces derniers sans pour autant disposer nécessairement des connaissances scientifiques nécessaires pour le démontrer de façon irréfutable. Alors que le naturaliste base sa légitimité sur la science, l'action de protection de la nature étant justifiée par la vérité scientifique, celle-ci n'est pas indispensable à l'environnementaliste qui se repose plus volontiers sur l'émotion et la "vox populi" et poursuit un objectif souvent plus militant que le naturaliste. Pour l'environnementaliste, le moteur de l'action réside dans la volonté d'entrer en résistance contre les méfaits que le système économique a sur l'environnement. Il y a donc opposition idéologique et contestation politique, ce qui n'est pas nécessairement le cas chez les mouvements naturalistes. La naissance des mouvements environnementalistes est par ailleurs souvent liée à une menace spécifique et mobilisatrice tandis que celle des mouvements naturalistes, comme c'est le cas pour Bretagne Vivante, ne dépend pas d'un problème environnemental particulier ni d'une mobilisation conjoncturelle autour de ce dernier³⁷¹. La spécificité de Bretagne Vivante en tant qu'association avant tout naturaliste tient au fait que son objet d'étude et terrain d'action est la nature elle-même et non pas les menaces anthropiques qui pèsent sur elle. Aussi a-t-elle pu apparaître avant la grande prise de conscience des années 1970 qui a conduit à la naissance des mouvements environnementalistes mobilisés autour de problèmes environnementaux spécifiques, mis à l'agenda de l'opinion publique à la faveur d'événements marqués dans le temps. Si les mobilisations conjoncturelles qui ont donné naissance à ces mouvements ont pu s'institutionnaliser autour du problème d'origine qui est alors devenu structurel, la SEPNB est née d'une préoccupation non dépendante de la conjoncture et donc dès le départ structurelle : la connaissance et l'éducation à la nature. D'un côté, une préoccupation aussi vaste que "la nature" laisse à l'association une grande marge quant à la définition des problèmes publics de son agenda. Mais de l'autre, sa naissance en marge de la conjoncture des années 1970 la rend peu réactive à l'évolution des préoccupations environnementales. Afin d'illustrer ce propos, l'exemple de la contestation anti-nucléaire est particulièrement intéressant et offre un parallèle intéressant à celui du changement climatique.

Dans les années 1970, la SEPNB ne peut se soustraire aux agendas de l'opinion publique et des nouvelles associations environnementalistes fédérées au sein de l'URBE. L'association devient alors tributaire des mouvements de l'opinion qui sont de plus en plus influencés par les thématiques investies par l'écologie politique et en particulier la question du nucléaire. Le numéro spécial publié

371 DE ROOSE Frank et VAN PARIJS Philippe, 1994. *La pensée écologiste : Essai d'inventaire à l'usage de ceux qui la pratiquent comme de ceux qui la craignent*. Presses Universitaires de De Boeck.

à l'occasion du vingtième anniversaire de Penn ar Bed, la revue trimestrielle historique de l'association, va donner lieu au premier article sur l'énergie nucléaire. Dans ce dernier, Philippe Lebreton s'inscrit à contre-courant de la position favorable au nucléaire qui prédomine alors parmi les bénévoles de l'association. Si la polémique a été introduite, elle mettra quelques années à s'imposer à l'agenda de la SEPNB. En France, les premières manifestations antinucléaires d'ampleur nationale ont lieu en avril et juillet 1971. Pourtant, ce n'est qu'en 1977 que l'assemblée générale de la SEPNB prend clairement position contre le programme électronucléaire du gouvernement Messmer. Jusqu'à cette date, l'association était restée paralysée par l'incapacité d'adopter une position politique sur la question, les bénévoles étant profondément partagés sur celle-ci. Finalement, c'est le projet d'implantation d'une centrale sur le site de Plogoff dans le cap Sizun, réserve naturelle historique de l'association, qui va décider l'association à s'engager dans la lutte antinucléaire³⁷². En réalité, la question du nucléaire s'est imposée à l'agenda de la SEPNB par le contexte militant des associations dans les années 1970 mais en aucun cas cette problématique ne s'inscrivait dans les préoccupations et objets d'études d'origine de l'association. En fait, les divisions politiques qui ont émergées au sein de la SEPNB à cette époque peuvent s'expliquer par son absence d'expertise scientifique sur la question. La SEPNB se repose traditionnellement sur l'objectivité de ses connaissances scientifiques pour définir sa ligne d'action. Or, cette connaissance sur l'énergie et les déchets faisait défaut à une société savante dont le seul objet d'étude avait toujours été la biodiversité, l'empêchant de prendre une décision "objective" fondée sur la science. Aujourd'hui, la question du changement climatique n'est ni scientifiquement ni politiquement aussi polémique que ne l'était celle du nucléaire. Le consensus scientifique mondial sur la réalité du changement climatique actuel et de ses origines anthropiques a placé les climatosceptiques en position largement minoritaire, que ce soit au sein de l'opinion publique ou de Bretagne Vivante. Pourtant, le manque de connaissances de l'association à l'égard de cette problématique ainsi que les incertitudes qui perdurent quant aux impacts du changement climatique l'empêchent aujourd'hui de se saisir de ce sujet. La rigueur scientifique des naturalistes de l'association leur interdit un positionnement sur la question comme le souligne Guillaume Gélinaud, conservateur de la réserve naturelle des marais de Séné pour qui l'absence de données sur le long terme et de recul ne permet pas d'établir des conclusions mais tout au plus des conjectures et des corrélations faciles, ce que l'association est réticente à faire³⁷³. Par ailleurs, le changement climatique est perçu comme une menace beaucoup plus incertaine et beaucoup moins immédiate que celles exercées par les activités humaines telles que l'agriculture ou l'aménagement du territoire et dont les conséquences sur la biodiversité sont

372 LE DEMEZET Maurice et MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne, La SEPNB (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.

373 Communication personnelle Guillaume Gélinaud.

visibles et palpables. Pour cette raison, le changement climatique est pour ainsi dire ignoré par l'immense majorité des bénévoles et salariés de l'association alors même qu'il représente la problématique environnementale la plus mise en avant dans les agendas de tous les autres acteurs. Peu réactive à l'évolution des préoccupations environnementales de la société civile de par ses racines de société savante qui la conduisent à aborder les problèmes environnementaux par le seul biais de l'expertise scientifique, contrairement aux associations environnementalistes nées de mobilisations militantes beaucoup plus spontanées, Bretagne Vivante risque aujourd'hui de passer à côté d'une problématique pourtant incontournable dans le débat public. La même chose s'était passée dans les années 1970. Alors que son positionnement contre l'énergie nucléaire aurait pu lui attirer de nouveaux bénévoles plus militants, sa mobilisation tardive par rapport aux autres associations environnementalistes l'a empêchée de profiter de la "vague nucléaire". De même, le lancement d'une publication militante principalement tournée vers la question nucléaire (la revue "Oxygène") est intervenu trop tard, en 1979, alors que François Mitterrand annonçait l'abandon du projet de Plogoff en 1981³⁷⁴. Le même manque de réactivité risque de nuire de nouveau à Bretagne Vivante. Il aura fallu attendre l'année de la COP21 pour que l'association pionnière de la protection de la nature en Bretagne s'intéresse à la question du changement climatique alors qu'une jeune association comme Ille-et-Vilaine Nature Environnement a placé cette problématique au cœur de son agenda et s'est octroyée une visibilité non négligeable par l'organisation de l'événement "La Pluie et le Beau Temps". Il est donc nécessaire d'intégrer le changement climatique à l'agenda Bretagne Vivante mais cela suppose d'aborder la question par une entrée sur laquelle l'association est scientifiquement compétente ou peut être amenée à le devenir, et donc de privilégier un cadrage du problème différent du cadrage dominant.

Le cadrage d'un problème public est l'angle par lequel ce dernier est abordé. Les acteurs politiques, médiatiques ou de l'opinion publique, lorsqu'ils construisent des problèmes publics à partir de faits sociaux, imposent un cadre prédéterminant une façon de penser le problème public³⁷⁵. En matière de changement climatique, le cadre privilégié est celui de l'atténuation. Ainsi, dans les débats comme dans les politiques publiques, le changement climatique est avant tout traité à travers la réduction des émissions de gaz à effet de serre par une démarche de transition énergétique, récemment traduite dans la loi du même nom. Bien entendu, le livre blanc Bretagne Vivante n'a pas vocation à contester le caractère indispensable de la modification des modes de production et de

374 LE DEMEZET Maurice et MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne, La SEPNE (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.

375 NEVEU Erik, 1999. L'approche constructiviste des "problèmes publics". Un aperçu des travaux anglo-saxons. *Études de communication* n°22, pages 41-58.

consommation énergétique dans un objectif d'atténuation du changement climatique. Il vise toutefois à démontrer la nécessité de mettre en œuvre en complément, la transition écologique des territoires, qui va bien au-delà des innovations technologiques et énergétiques. Aujourd'hui, la recherche de solutions privilégie l'atténuation du changement climatique plutôt que l'adaptation à ce dernier. L'objectif affiché de la COP21 en est la preuve : limiter la hausse moyenne des températures à 2°C, c'est-à-dire l'augmentation moyenne des températures à la surface de la Terre attendue par les scientifiques du GIEC dans le cas où des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre permettraient de limiter le réchauffement planétaire puis de le réduire à l'horizon 2250 (scénario RCP 2.6). Autant dire le scénario le plus optimiste si ce n'est utopique. Ainsi, même si nous parvenons à réduire son ampleur, le changement climatique aura bien lieu quoi qu'il arrive et il imposera une nécessaire adaptation à la biodiversité, et par conséquent aux territoires, qu'il convient de préparer dès maintenant. Ce livre blanc vise donc à recadrer le sujet du changement climatique sur son volet adaptation, et plus particulièrement sur la résilience des milieux et des territoires. En privilégiant un tel cadrage de la problématique, celle-ci devient abordable auprès des salariés et bénévoles de Bretagne Vivante dont l'expertise porte sur la biodiversité et non pas sur le climat ou l'énergie. S'en rendre compte est une première étape vers le développement d'un positionnement stratégique permettant de favoriser l'adaptation de la biodiversité au changement climatique mais aussi de renforcer la portée des actions que Bretagne Vivante mène déjà par la mise en avant de l'indissociabilité entre impacts du changement climatique et des activités humaines.

En effet, l'adaptation de la biodiversité au changement climatique est, comme nous avons pu le voir, un thème transversal qui peut être relié à toutes les questions environnementales que Bretagne Vivante investit déjà. En intégrant la question climatique à ses actions, l'association pourrait ainsi leur donner davantage d'impact sans avoir pour autant à les modifier. Malgré l'évolution des préoccupations environnementales de l'opinion publique, Bretagne Vivante est restée fidèle à ses préoccupations premières d'étude de la biodiversité et de conversion des acteurs à la cause de la protection de la nature et c'est tout à son honneur. Toutefois, il faut bien comprendre qu'intégrer la question climatique à notre agenda ne représenterait pas une trahison des fondations de notre association ni même une redéfinition de ses priorités. En 1974, un nouvel adhérent de la SEPNB qui avait demandé s'il avait été établi un choix prioritaire quant aux questions traitées par l'association s'était vu répondre par le président de l'association : « Il est impossible de se désintéresser de certains problèmes même si d'autres présentent un caractère d'urgence : il n'est pas concevable de négliger la protection du littoral même si l'action sur l'énergie nucléaire accapare bon

nombre de nos animateurs bénévoles³⁷⁶ ». Aujourd'hui, de tels propos n'auraient pas lieu d'être vis-à-vis du changement climatique. En effet, la menace que ce dernier fait peser sur les milieux littoraux est indissociable de leur artificialisation contre laquelle Bretagne Vivante mène un combat depuis toujours. De manière plus générale, les impacts du changement climatique sont indissociables de ceux des activités humaines. Aussi, l'une des missions principales de ce livre blanc n'est pas de proposer un plan d'action spécifiquement centré sur la question climatique mais de dresser l'ébauche d'une stratégie d'instrumentalisation du changement climatique dans les actions que Bretagne Vivante mène déjà. Parce que la question climatique est une formidable tribune pour parler d'autres menaces qui pèsent sur la biodiversité, Bretagne Vivante ne doit pas hésiter à recourir au "climate washing" et à profiter de la "vague climatique" pour mettre en avant ses préoccupations traditionnelles de protection de la biodiversité.

Tout d'abord conçu comme un investissement épisodique de l'association dans le cadre de "La Pluie et le Beau Temps", ce travail a progressivement évolué et pris en ampleur à mesure que s'est révélée l'étendue et la complexité de la question. Aujourd'hui, Bretagne Vivante sait ce qu'elle attend : une intégration durable de la question climatique à son agenda et non pas simplement une participation éphémère à un événement autour du climat. Aussi, la rédaction de ce document n'est qu'une première étape précédant la formation des salariés et des bénévoles aux enjeux d'une problématique face à laquelle ils se sentent actuellement démunis alors même qu'ils possèdent déjà, sans le savoir, la connaissance et l'expertise permettant d'y répondre. Les connaissances naturalistes devront être approfondies mais elles sont pour l'essentiel déjà là. Tout ce que nos bénévoles et salariés ont à apprendre c'est comment les mobiliser dans un discours intégrant le changement climatique. Nous espérons que ce document leur fournira de nombreuses pistes de réflexion pour l'avenir.

376 LE DEMEZET Maurice et MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne, La SEPNB (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.

Bibliographie :

Ouvrages :

- MEROT Philippe, DUBREUIL Vincent, DELAHAYE Daniel, DESNOS Philippe, coord., 2012. *Changement climatique dans l'Ouest : Évaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes. 458p.
- DUBOIS Philippe J., 2008. *Le syndrome de la grenouille*. Septembre 2008. Delachaux et Niestlé Paris. 190p.
- Groupe Ornithologique Breton (coord.), 2012. *Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne*. Delachaux et Niestlé, 512p.
- LE GARFF Bernard, 2014. Les facteurs climatiques. *Penn ar Bed n°216/217/218 : Atlas des Amphibiens et des Reptiles de Bretagne et de Loire-Atlantique*. pages 113-116.
- CHEVRIER M. et Al., 2004. *Les invertébrés continentaux de Bretagne*. Collection Les Cahiers Naturalistes de Bretagne. GRECIA. Éditions Biotope, 144p.
- MARIS Virginie, 2014. *Nature à vendre, les limites des services écosystémiques*. Collection Sciences en questions. QUAE. 96 p.
- LE ROUX Xavier (coord.), BARBAULT Robert, BAUDRY Jacques, BUREL Françoise, DOUSSAN Isabelle, GARNIER Éric, HERZOG Felix, LIFRAN Robert, TROMMETTER Michel, LAVOREL Sandra, ROGER-ESTRADE Jean, SARTHOU Jean-Pierre, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective INRA. Juillet 2008. QUAE. 176p.
- BAUDRY Jacques, JOUIN Agnès, coord., 2003. *De la haie aux bocages : Organisation, dynamique et gestion*. INRA Paris. 435p.
- LE DEMEZET Maurice, MARESCA Bruno, 2003. *La protection de la nature en Bretagne – La SEPNE (1953-2003)*. Presses Universitaires de Rennes, 239p.
- DE ROOSE Frank et VAN PARIJS Philippe, 1994. *La pensée écologiste : Essai d'inventaire à l'usage de ceux qui la pratiquent comme de ceux qui la craignent*. Presses Universitaires de De Boeck.

Rapports scientifiques et synthèses bibliographiques :

- BELLEGUIC Karine, CONSEIL Catherine, EVENO Thierry, LORGE Sébastien, BARAER Franck, 2012. *Le Changement Climatique en Bretagne*. Météo France, Section études et climatologie.

- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2000. *Rapport spécial du GIEC, Scénarios d'émission – Résumé à l'intention des décideurs.*
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques – rapport de synthèse – résumé à l'intention des décideurs.*
- World Meteorological Organization, 2014. *WMO greenhouse gas bulletin n°10.*
- ROUSSEL Gaëlle, sous l'encadrement de MEROT Philippe, QUENOL Hervé, TREGUER Paul et LAUNAY Josette, 2012. *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* Janvier 2012. Conseil Scientifique de l'Environnement en Bretagne. 198 p.
- Natacha Massu, Guy Landmann, coord., 2011. *Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine, synthèse de la bibliographie.* Mars 2011. ECOFOR. 180p.
- GIP Bretagne Environnement, 2011. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2011.*
- GIP Bretagne Environnement, 2014. *L'environnement en Bretagne, cartes et chiffres clés, édition 2014.*
- CCI Bretagne, 2014. *Chiffres clés Bretagne 2014. Repères économiques Bretagne.*
- GIP Bretagne Environnement, 2015. *Les émissions de gaz à effet de serre de la Bretagne.*
- CNPF et IDF. Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques globaux : comprendre et agir.
- ISENRING Richard, 2010. *Les pesticides et la perte de biodiversité, comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces.* Pesticide Action Network Europe.
- BAPTIST Florence, POULET Nicolas, SEON-MASSIN Nirmala, coord., 2014. *Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation.* ONEMA. 128p.
- BLANQUART Stéphanie, coord., 2011. *Zones humides : évaluation économique des services rendus. Analyse sur sept sites du bassin Loire-Bretagne.* Agence de l'eau Loire-Bretagne. 75p.
- CHOLET Jérémie, CUBIZOLLE Hervé, LAGGOUN-DEFARGE Fatima, 2010. Chapitre 2 : Tourbières et climat. *Tourbières des montagnes françaises – Nouveaux éléments de connaissance de réflexion et de gestion.* Pôle-relais Tourbières, Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels.

- BLANCHARD Fabian (coord.), 2006. *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries*. IFREMER. 64p.
- CLUS-AUBY Christine, PASKOFF Roland, VERGER Fernand, 2004. *Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral. Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100 – Synthèse*. Conservatoire du Littoral. 43p.
- STEPHAN Pierre, FICHAUT Bernard, SUANEZ Serge, 2012. *Les sillons de la rade de Brest et les marais maritimes associés, tome 1*. IUEM. 65p.
- Institut français de l'environnement, 2007. Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine. *Les dossiers ifen n°06*, octobre 2007.
- Institut français de l'environnement, 2007. Le littoral, entre nature et artificialisation croissante. *Le 4 pages ifen n°120*, octobre 2007.
- SIVU de la Baie d'Audierne, 2008. *Compte rendu de l'atelier "Oiseaux, autres espèces et habitats naturels" en date du 15/10/08*.
- OUESCO, 2012. *Diagnostic de la continuité écologique des estuaires de l'ouest Cornouaille*. 51p.
- EDELIST Cécile, JIGUET Frédéric, LEGRAND Marine, 2010. *Publication des indicateurs STOC régionaux*. Muséum national d'Histoire naturelle.
- GRIFFON Michel, 2013. Après la Révolution verte, peut-on promouvoir une agriculture économe, intensive et à forte valeur environnementale ? *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France vol.99, n°1*, pages 9-14.
- Agence Bio, 2014. La Bio dans l'Union Européenne. *Les carnets de l'Agence Bio – Édition 2014*. 40p.
- GERMIS Gaëlle, 2014. *38 exemples de travaux en faveur de la restauration de la continuité écologique - Programme "Poissons migrateurs" du Contrat de projet État-Région 2007-2013*. Bretagne Grands migrants. 103p.
- Université de Bretagne Occidentale, Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Golfe du Morbihan, 2011. *Perception du changement climatique par la population du golfe du Morbihan*. Projet Interreg 4B ENO IMCORE. 8p.
- Espace Pur, 2005. *La plage de la Grève Blanche – Guilvinec – Finistère – France (2005) : stabilisation du trait de côte et valorisation de l'espace littoral*. [en ligne]
http://www.stabiplage.com/vars/fichiers/pub_defaut/Ref%20Le%20Guilvinec2005%20web%20300107.pdf
- Université de Bretagne Occidentale, 2014. Expérimentation d'un nouveau procédé innovant

de protection/réhabilitation des dunes : l'AlgoBox. *Lettre à la presse du 08 au 12 septembre 2014 – n°38*. [en ligne] http://www.univ-ubs.fr/medias/fichier/lettre-a-la-presse-du-8-au-12-septembre-2014-n-38_1410353551924-pdf

- BAWEDIN Vincent, 2004. La dépoldérisation, composante d'une gestion intégrée des espaces littoraux ? Prospective sur le littoral picard et analyse à la lumière de quelques expériences. *Cahiers Nantais n°6*, pages 11-20.
- PERRIER Victor, 2015. *Livre blanc des APNE du Grand Ouest sur le changement climatique*. France Nature Environnement. 148p.

Thèses et rapports de stage :

- BAL Guillaume, 2011. *Évolution des populations françaises de saumon atlantique (Salmo salar L.) et changement climatique*. Thèse de doctorat. Rennes : Université Rennes 1. 328p.
- LE PAVEN Étienne, 2011. *Modélisation de l'impact du changement climatique sur le fonctionnement d'un bassin-versant : Extension des zones humides et Évolution des débits*. Rapport de stage de master 1. Rennes : Agrocampus Ouest. 23p.
- MARTIN Thomas, 2010. *Sensibilité des différentes zones humides en Bretagne au changement climatique*. Rapport de stage de master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 25p.
- JOSSE Jim, 2010. *Influence du changement climatique sur les zones humides*. Rapport de recherche. Rennes : Agrocampus Ouest. 16p.
- NOISETTE Fanny, 2014. *Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés*. Thèse de doctorat. Paris IV : Université Pierre et Marie Curie. 267p.
- THIRY Joseph, 2015. *Évaluation édaphique et botanique de mesures de réhabilitation de zones humides*. Mémoire de fin d'études. Rennes : Agrocampus Ouest. 65p.
- CARDINAL Gaël, 2015. *Évaluation de la réhabilitation de zones humides en Finistère à partir des communautés d'arthropodes terrestres*. Rapport de stage. Brest : Université de Bretagne Occidentale. 36p.
- VIDAL Sébastien, 2015. *Évaluation de la dénitrification dans des zones humides ripariennes réhabilitées*. Rapport de stage de Master 2. Rennes : Agrocampus Ouest. 26p.

Articles scientifiques :

- CHARMENTIER Anne, 2010. *Changement climatique : les mésanges s'adaptent*. Futura Nature par Futura Sciences.

- DUBOIS Philippe J., 2003. *Impacts des changements climatiques sur les oiseaux*. Futura Environnement par Futura Sciences.
- JULLIARD R. et JIGUET F., 2011. *Les oiseaux et la biodiversité face au changement climatique*. Société française d'écologie.
- PIEDALLU Christian, PEREZ Vincent, GEGOUT Jean-Claude, LEBOURGEOIS Francois, BERTRAND Romain, 2009. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, LXI (6), pages 567-593.
- SCHMIDT Martin H., LAUER Andreas, PURTAUF Tobias, THIES Carsten, SCHAEFER Matthias, TSCHARNTKE Teja, 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *The Royal Society Journal*, Juillet 2003, pages 1905-1909.
- GEIGER Flavia & al., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11, pages 97-105.
- BILLETER Regula & al., 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes : a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* vol.45, n°1, February 2008, pages 141-150.
- BUREL Françoise, 1989. Landscape structure effects on Carabid beetle spatial patterns in western France. *Landscape Ecology* vol.2 n°4, May 1989, pages 215-226.
- RIVOT Étienne & al., 2009. Climate change may have affected growth and life history in Atlantic Salmon juveniles over the past 30 years. *American Fisheries Society Symposium* 69, pages 855–857.
- BAGLINIERE Jean-Luc & al., 2004. *Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (Salmo salar) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002*. INRA Rennes.
- COMTE Lise & GRENOUILLET Gaël, 2013. Do stream fish track climate change ? Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography* 36, pages 1236–1246.
- BUISSON Laëtitia & GRENOUILLET Gaël, 2009. Contrasted impacts of climate change on stream fish assemblages along an environmental gradient. *Diversity and Distributions* 15, pages 613-626.
- BEAUGRAND Grégory & al., 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* vol.296, pages 1692-1994.
- BEAUGRAND Grégory, KIRBY Richard R., 2010. Climate, plankton and cod. *Global Change Biology* vol.16 issue 4, pages 1268-1280.
- BEAUGRAND Grégory & al., 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea.

Nature vol.426, pages 661-664.

- WANLESS Sarah & al., 2005. Low energy values of fish as a probable cause of a major seabird breeding failure in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series* vol.294, pages 1-8.
- HENAFF Alain, MEUR-FEREC Catherine, LAGEAT Yannick, 2013. Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles. *Cybergeog : European Journal of Geography*, rubrique "Environnement, Nature, Paysage", document 654. [en ligne] <https://cybergeog.revues.org/26058>
- STEPHAN Pierre, 2006. Mobilité des flèches de galets en rade de Brest. *Penn ar Bed n°199/200 : Géomorphologie littorale en Finistère*, décembre 2006/mars 2007, pages 25-38.
- FAYE Ibrahima B. Nd., HENAFF Alain, HALLEGOUET Bernard, 2006. Evolution récente de la ligne de rivage en baie d'Audierne : de Penhors à la pointe de la Torche. *Penn ar Bed n°199/200 : Géomorphologie littorale en Finistère*, décembre 2006/mars 2007, pages 50-61.
- BARGAIN Bruno, HENRY Jacques, 2005. *Penn ar Bed n°193/194 : Les oiseaux de la Baie d'Audierne*, juin/septembre 2015.
- Collectif, 2008. *Penn ar Bed n°206 : Le phragmite aquatique, espèce mondialement menacée. Actes du séminaire du Life "conservation du phragmite aquatique en Bretagne"*, 120p.
- ORR James C. & al, 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* vol.437, pages 681-686.
- FEELY Richard A. & al., 2004. Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans. *Science* vol.305, pages 362-366.
- GAZEAU Frédéric & al., 2007. Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters* vol.34 issue 7.
- BONNY Sylvie, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cah Agric* vol.20, n°6, novembre-décembre 2011, pages 451-462.
- GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de Géographie* 2007/4 n°656, pages 339-360.
- GOELDNER-GIANELLA Lydie, 2010. Changement climatique et dépoldérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique. *Quaderni* 71, pages 41-60.

Articles de presse :

- GIRARD Laurence, 2013. En Bretagne, un modèle agricole à bout de souffle. *Le Monde.fr* 31/10/2013. [en ligne] http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/10/31/le-modele-agricole-intensif-breton-est-a-bout-de-souffle_3506538_3234.html
- OLLIVRO Jean, 2015. Agriculture bretonne : les trois causes d'une situation bloquée. *Ouest-France.fr* 21/10/2015. [en ligne] <http://www.ouest-france.fr/debats/editorial/agriculture-bretonne-les-trois-causes-dune-situation-bloquee-3780909>
- ASTIER Marie, 2015. Des paysans bretons s'en sortent bien... en changeant l'agriculture. *Reporterre* 07/03/2015.
- NAOUR Sylvestre, 2012. Avec l'étang, tout s'en va. *Liberation.fr* 18/09/2012. [en ligne] http://www.liberation.fr/societe/2012/09/18/bretagne-avec-l-etang-tout-s-en-va_847185
- Le Télégramme, 2011. Terrains. Les Bretons trop gourmands ? *Le Télégramme.fr* 04/02/2011. [en ligne] <http://www.letelegramme.fr/ig/generales/regions/bretagne/terrains-les-bretons-trop-gourmands-04-02-2011-1196277.php>
- AUMONT Franck, 2005. La plage sauvée d'une érosion annoncée. *Ouest-France* 08/11/2005. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Sables_Olonne/OE.pdf
- GAUVRY Christian, 2006. La force des vagues pour retenir le sable des plages. *Presse Océan* 07/10/2006. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Sables_Olonne/PRESSEOCEAN.pdf
- JANVIER Simon, 2012. Ecoplage. Après un chantier à Dubaï, la TPE veut valoriser l'eau de mer. *Le Journal des Entreprises* 02/2012. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/JOURNAL_DES_ENTREPRISES.pdf
- BLIN Didier, 2014. En Vendée ou à Dubaï, Ecoplage combat l'érosion. *Ouest-France Entreprises* 27/01/2014. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Ouest_France.pdf
- Inconnu, 2015. Ecoplage – ATP / Protéger la nature, fournir de l'eau potable et produire de l'énergie. *Le Moniteur* 10/2015. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/151013-tropheestp-lemoniteur.pdf>
- LUNEAU Sylvie, 2013. Les douches de plage alimentées par l'eau de mer filtrée. *Technicités* 10/2013. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Enerplage/TECHNICITES.pdf>
- DECHARTE Pierre, 2013. Vendée. Ecoplage stoppe l'érosion et réutilise l'eau. *Ouest-France Entreprises* 14/07/2013. [en ligne]

<http://www.ecoplage.fr/images/Medias/Enerplage/OuestFrance.pdf>

- ORIOT Michel, 2016. Plage. Ecoplage trouve la solution à l'érosion sous le sable de La Baule. *Ouest-France Entreprises* 07/01/2016. [en ligne] <http://www.entreprises.ouest-france.fr/article/plage-ecoplage-trouve-solution-lerosion-sous-sable-07-01-2016-248749>
- LE HOUELLEUR Yann, 2010. Ecoplage au secours du littoral malade de l'érosion. *Usine Nouvelle.com* 05/08/2010. [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Usinenouvelle.pdf>
- DEFAWE Jean-Philippe, 2012. L'érosion des plages stoppée par drainage. *Le Moniteur* 27/01/2012. [en ligne] http://www.ecoplage.fr/images/Medias/ECOPLAGE/Le_Moniteur.pdf
- JAGLIN Maxime, 2015. Les AlgoBox à l'épreuve des grandes marées. *Ouest-France.fr* 19/02/2015 [en ligne] <http://www.ouest-france.fr/bretagne/sarzeau-56370/les-algobox-lepreuve-des-grandes-marees-3202899>

Documents techniques :

- INRA-EFPA-Unité de recherche sur l'écosystème prairial, 2009. *Lexique thématique à l'usage des techniciens en écologie*.
- BAUDOT Bernard, coord., 2002. Les fonctions des zones humides. *Études sur l'eau n°89 : Les zones humides et la ressource en eau, guide technique*. Agences de l'eau.
- LAGGOUN-DEFARGE Fatima, MULLER Francis, 2008. Les tourbières et leur rôle de stockage de carbone face aux changements climatiques. *Zones humides info 2008*, pages 22-24.
- COLOMBET Michel, 2008. *Guide du Sylviculteur de Moyenne Vilaine, 2ème édition*. Centre Régional de la Propriété Forestière, 64p.
- ONEMA, 2012. *Pourquoi restaurer ?*
- Espace Pur. *Etapes d'un projet – Financement – Type de Marché*. [en ligne] http://www.stabiplate.com/vars/fichiers/pub_defaut/M_Oeuvre_Projet_STABIPLAGE.pdf

Documents officiels :

- Direction générale de l'énergie et du climat, Service climat et efficacité, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2013. *Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de

l'Énergie.

- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. *Drias, les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés. Simulations climatiques pour plusieurs scénarios pour la métropole*. [en ligne]. <http://www.drias-climat.fr/decouverte/parcours/neo/vignettes/temperature>.
- Direction de la nature et des paysages, 2007. *État de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire – Sortie de la première évaluation en France*. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables.
- Pôle interrégional Nord-Ouest de la santé des forêts, 2010. *Santé de la forêt en Bretagne en 2010 : quel diagnostic?* Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. *Explore 2070. Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Étude de la répartition des poissons d'eau douce*.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012. *Explore 2070. Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Étude des zones humides*.
- Préfecture maritime atlantique, Préfecture du Morbihan/DIREN Bretagne, date ? *Projet de réseau européen Natura 2000 en mer – Directive Oiseaux – Golfe du Morbihan*.
- Commissariat général au développement durable – Délégation au développement durable, 2011. *Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. Études & documents n°55*, octobre 2011.
- Région Bretagne, 2014. *Projet de SRCE – Version septembre 2014*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – Le "Paiement Vert" c'est quoi ?*
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – Les Prairies Permanentes*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – La Diversité des Assolements*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Le "Paiement Vert" – Les Surfaces d'Intérêt Écologique*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-2020 : Les nouvelles mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC)*.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2015. *Cap sur la PAC 2015-*

2020 : Les nouvelles mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) – MAEC systèmes grandes cultures.

- DREAL de bassin Loire-Bretagne & Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 – Bassin Loire-Bretagne.*
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012. *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte : Vers la relocalisation des activités et des biens.* 19p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015. *Vers la relocalisation des activités et des biens – 5 territoires en expérimentation. Actes du séminaire national de restitution du 30 juin 2015.* 79p.

Lois et règlements :

- *Loi n° 2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux.* Journal Officiel de la République Française n°0046 du 24 février 2005, p.3073.
- *Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.* Journal Officiel de la République Française n°0179 du 5 août 2009, p.13031.
- *Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt.* Journal Officiel de la République Française n°0238 du 14 octobre 2014, p.16601.
- *Décret n° 2014-1173 du 13 octobre 2014 relatif au groupement d'intérêt économique et environnemental.* Journal Officiel de la République Française n°0238 du 14 octobre 2014, p.16707.
- Article L371 du Code de l'environnement.
- Article R371-19 du Code de l'environnement.
- Article L111-1-1 du Code de l'urbanisme.

Documents militants :

- Eau & Rivières de Bretagne, 2012. *Amélioration de la continuité écologique des cours d'eau bretons.*
- CFDT Bretagne, 2013. *Crise de l'agro alimentaire : La CFDT ne veut pas sacrifier la question de l'emploi en Bretagne derrière le paravent de l'écotaxe.* Les Argumentaires CFDT.

Pages internet :

- GIP Bretagne environnement, 2010. *La nature des côtes bretonnes*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Chiffres-cles/La-nature-des-cotes>
- GIP Bretagne Environnement, 2007. *Plus de 20% du linéaire côtier breton soumis à l'érosion*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Dossiers/L-erosion-cotiere/Plus-de-20-du-lineaire-cotier-breton-soumis-a-l-erosion>
- GIP Bretagne Environnement, 2008. *Densité bocagère en Bretagne*. [en ligne] <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Atlas/Cartes/Densite-bocagere-en-Bretagne>
- Futura Environnement par Futura-Sciences. Définition de l'effet de serre. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/climatologie-effet-serre-966/>
- Futura Environnement par Futura Sciences, 2010. *Zoom sur les zones humides*. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/eau-zoom-zones-humides-1136/>
- Futura Environnement par Futura-Sciences. Définition de la thermocline. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/climatologie-effet-serre-966/>
- Futura Environnement par Futura Sciences, 2010. *Pourquoi le niveau de la mer monte ?* [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/rechauffement-climatique-niveau-mer-monte-945/>
- Futura Environnement par Futura Sciences, 2011. *Océans : la pompe à carbone et le rôle du plancton*. [en ligne] <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/rechauffement-climatique-oceans-pompe-carbone-role-plancton-2625/>
- <http://millenniumassessment.org/fr/index.html>
- Région Bretagne, 2014. *L'Économie bretonne*. [en ligne] http://www.bretagne.bzh/jcms/TF071112_5068/fr/economie
- Insee. *Produit intérieur brut en Bretagne : une croissance soutenue entre 1990 et 2008*. [en ligne] http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=15947®_id=2
- Inter-SAGE de la Baie du Mont-Saint-Michel. *Les oiseaux de la baie*. [en ligne] <http://www.intersage-baiedumont.fr/focus/animaux-de-la-baie/les-oiseaux-de-la-baie/>
- Agences des aires marines protégées, 2012. *Molène et ses habitats remarquables*. Parc naturel marin d'Iroise. [en ligne] <http://www.parc-marin-iroise.fr/Richesses->

[naturelles/Archipel-de-Molene/Molene-et-ses-habitats-remarquables](#)

- ACCES, 2010. *Circulation thermohaline*. Institut Français de l'Éducation. [en ligne] http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/paleo/systemclim/gulf-stream/pages_gulfstream/dossicientif/descriptgulfstream/circuthermohal/circuthermohalhtm/
- Fondation Charles Léopold Mayer – Océanopolis, 2011. *Module de formation Plancton*. [en ligne] <http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/index.html>
- JNCC website. *Climate change impacts – the evidence so far*. [en ligne] <http://jncc.defra.gov.uk/page-5406>
- Bretagne Vivante. *La réserve de l'étang de Trunvel*. [en ligne] <http://www.bretagne-vivante.org/content/view/364/172/>
- Wiki Débrouillard, 2015. Acidification des océans par le CO₂. [en ligne] http://www.wikidebrouillard.org/index.php/Acidification_des_oc%C3%A9ans_par_le_CO2
- DUFRENE M., 2003. *Méthodes d'analyse des données écologiques et biogéographiques – Introduction à la biogéographie insulaire et outils disponibles*. [en ligne] <http://old.biodiversite.wallonie.be/outils/methodo/insulaire.htm>
- SCHEPMAN Thibaut, 2013. *La Bretagne doit changer de modèle : la preuve en trois chiffres*. Terraeco. [en ligne] http://www.terraeco.net/spip.php?page=imprimer&id_article=51889
- Gest'eau, 2016. *Qu'est-ce qu'un Sage ?* [en ligne] <http://www.gesteau.eaufrance.fr/presentation/sage>
- L'eau en Loire-Bretagne, 2016. *Sdage 2016-2021*. [en ligne] http://www.eau-loire-bretagne.fr/sdage/sdage_2016_2021
- <http://moulins.bas.normands.free.fr/>
- Forum des marais atlantiques, 2016. *Zones humides prioritaires, ZHIEP et ZSGE*. [en ligne] <http://www.forum-zones-humides.org/zones-humides-prioritaires-zhiép-zsge.aspx>
- Sur-la-plage.com *Les défenses contre l'érosion*. [en ligne] <http://www.sur-la-plage.com/articles/les-defenses-contre-l-erosion-35.php>
- Ecoplage. *La valorisation de l'eau*. Ecoplage.fr [en ligne] <http://www.ecoplage.fr/fr/technologie/la-valorisation-de-l-eau.html>
- http://www.projetmontsaintmichel.fr/pourquoi_agir/objectifs.html

Vidéos en ligne :

- Bretagne Durable, 2011. *Interview d'Hervé Le Bouler (CNBF) au forum Climsea* [en ligne] http://www.dailymotion.com/video/xlil5w_herve-le-bouler-cnbf-au-climsea_news

- France 3 Bretagne, 2015. *Acidification des océans, la menace invisible*. [en ligne]
<http://france3-regions.francetvinfo.fr/bretagne/acidification-des-oceans-la-menace-invisible-864849.html>
- Fédération des Côtes-d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2012. *Continuité écologique des rivières – L'exemple de l'abaissement du déversoir du Houël sur le Leff*. [en ligne] <https://www.youtube.com/watch?v=dLhfHfkKnm4>
- Conseil départemental du Finistère & Forum des marais atlantiques, 2016. *Le réseau expérimental de réhabilitation des zones humides*. [en ligne]
http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/ComRERZH/CD29_Zones_humides.mp4