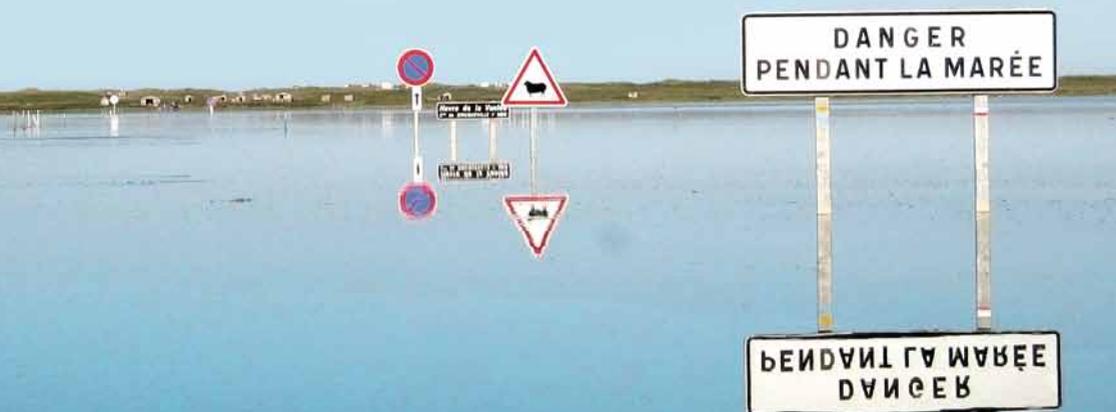


Changement climatique

impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion

SYNTHÈSE DU SÉMINAIRE
DES 18 ET 19 OCTOBRE 2010, FRÉJUS



LAURENT BASILICO, NATACHA MASSU, DANIEL MARTIN

Changement climatique, impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion

*SYNTHÈSE DU SÉMINAIRE
DES 18 ET 19 OCTOBRE 2010, FRÉJUS*

Laurent Basilico, Natacha Massu, Daniel Martin

Préambule

Avec plus de sept millions d'habitants – soit 12% de la population – et un taux d'artificialisation presque trois fois supérieur à celui de la moyenne nationale (INSEE), les communes littorales de France métropolitaine concentrent des enjeux sociétaux et économiques majeurs : industrie, tourisme, activités portuaires, pêche et conchyliculture, pressions démographiques et urbaine croissante.

Dans ce contexte, le changement climatique apparaît comme une nouvelle contrainte qui inquiète l'opinion et les politiques. Les interrogations sont nombreuses : Comment la montée annoncée du niveau de la mer va-t-elle s'opérer ? Quel seront les impacts du changement climatique sur les milieux naturels et les zones urbaines ? Quelles en seront les conséquences sur l'économie locale (pêche, tourisme, etc.) ? Les infrastructures côtières devront-elles s'adapter ? De quelles manières et à quel coût ?

Répondre à ces questions complexes implique de nouer un dialogue soutenu entre les gestionnaires du littoral et la communauté scientifique. Tel était l'objectif du séminaire organisé à Fréjus, les 18 et 19 octobre 2010, par les programmes incitatifs de recherche LITEAU (Ges-

tion de l'espace littoral) et GICC (Gestion et impacts du changement climatique). Intitulé « Impacts du changement climatique sur le littoral et conséquences sur la gestion », il a réuni scientifiques, experts, gestionnaires, représentants de collectivités et d'organisations, et initié une concertation ciblée, à l'échelle nationale, sur cette thématique.

Le présent document constitue une synthèse des informations, points de vue et interrogations collectés à cette occasion. Il reprend la logique du séminaire : après une présenta-

tion des projections climatiques pour le futur et de leurs conséquences sur les océans et le domaine côtier, il propose un tour d'horizon des besoins et attentes exprimés par différents gestionnaires du littoral face au changement climatique. Dans un troisième temps, la parole est rendue aux scientifiques, qui apportent des éléments de réponse ciblés. Les nombreuses questions en suspens identifiées au cours des différentes contributions et tables rondes du séminaire alimentent une recommandation de politique scientifique. ■

Contacts

Natacha Massu
Chargée de mission Changement climatique
GIP Ecofor
natacha.massu@gip-ecofor.org

Daniel Martin
Chargé de mission Changement climatique
MEDDTL CGDD/DRI/SR
daniel.martin@developpement-durable-gouv.fr

Claude Millier
Président du conseil scientifique du programme GICC
claudemillier@agroparistech.fr

Yves Henocque
Président du conseil scientifique du programme LITEAU
IFREMER
yves.henocque@ifremer.fr



Crédit photo : Pietrzak Massu

Sommaire

1 – Changement climatique et littoral : notions préliminaires et projections globales	6
1.1 – Quel changement climatique ?	
1.2 – Des conséquences multiples sur les océans et le littoral	
1.3 – Changement climatique ou changement global ?	
2 – Les gestionnaires du littoral face au changement climatique : attentes et besoins exprimés	18
2.1 – Une enquête pour connaître les besoins des gestionnaires	
2.2 – Regards de gestionnaires sur le changement climatique	
2.3 – Les politiques publiques nationales : prise en compte actuelle et interrogations	
3 – La parole aux scientifiques : éléments de réponses et questions en suspens	28
3.1 – Jusqu’où peut aller la climatologie ?	
3.2 – Quels impacts sur les écosystèmes ?	
3.3 – Gestion du trait de côte : quelles solutions techniques ?	
3.4 – La société face à la montée des eaux : quelles pistes d’adaptation ?	
3.5 – Quel coût pour le changement climatique et l’adaptation ?	
4 – Quelle politique scientifique pour appuyer les gestionnaires ? Quelles pistes de recherche ?	50
Références bibliographiques	54

Les programmes GICC Gestion et impacts du changement climatique et LITEAU Gestion de l’espace littoral

Tous deux pilotés par la Direction de la recherche et de l’innovation du Commissariat général au développement durable CGDD (Ministère en charge du développement durable - MEDDTL), les programmes GICC et LITEAU sont menés dans une optique d’appui aux politiques publiques. Ils adoptent une logique interdisciplinaire, mobilisant conjointement des équipes issues des sciences physiques, de la biologie et des sciences humaines et sociales. Ils opèrent par appels à propositions de recherche (APR) d’une durée de deux à trois ans.

GICC a été lancé en 1999. Il est financé par la Direction Recherche et Innovation du CGDD, l’Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Énergie (Ademe) et l’Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (Onerc). Les résultats issus de GICC contribuent à développer les connaissances relatives au changement climatique, sous l’angle à la fois des impacts, de l’adaptation pour y faire face et des mesures d’atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Son huitième et dernier Appel à Propositions de Recherche, lancé en 2010, a ciblé particulièrement les thématiques de l’attribution des impacts, de l’analyse coûts-bénéfices des politiques d’adaptation et d’atténuation et des négociations internationales et ses aspects juridiques.

Lancé en 1998, **LITEAU** est dédié à la gestion durable du littoral. Résolument interdisciplinaire, il vise à articuler une meilleure connaissance des écosystèmes et des dynamiques littorales à une compréhension fine des usages et usagers qui impriment sur le littoral leurs attentes et leurs stratégies d’action. Le dernier Appel à Propositions de Recherche, lancé en 2009, a sélectionné des projets portant sur l’évolution des écosystèmes et les indicateurs du bon état écologique, la résilience, la vulnérabilité et l’adaptation aux changements globaux, la gestion et la valorisation des services écosystémiques et les enjeux et modèles émergents de gouvernance des zones côtières.

1

Changement climatique et littoral :

notions préliminaires et projections globales

En préalable au dialogue entre gestionnaires du littoral et scientifiques développé par la suite, cette première partie fournit au lecteur un repérage des connaissances actuelles sur le changement climatique et dresse un panorama des méthodes et scénarios utilisés en climatologie. Elle donne un aperçu des différentes conséquences observées ou attendues de ce changement sur les océans et le littoral : élévation du niveau moyen de la mer, de sa température, acidification des océans et conséquences sur les écosystèmes. Rappelant que le changement climatique ne peut être envisagé que comme une des composantes d'un **changement global**, issue des pressions anthropiques croissantes sur les ressources, de l'urbanisation accélérée et de la pollution, elle pose enfin la délicate question de l'**attribution** : quelles sont les causes réelles des changements observés, et quelle est la part de responsabilité du climat dans ces changements ?

Crédit photo : Pietrzak Maassu

1.1 – Quel changement climatique ?

Le changement climatique à l'échelle globale est maintenant avéré et il est décrit sans ambiguïté dans le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) paru en 2007 : « *Le réchauffement du système climatique est sans équivoque car il résulte dé-*



Crédit photo : Foti

sormais de l'observation de l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et des océans, de la fonte généralisée des neiges et des glaces et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer. » (GIEC, 2007)

Changement climatique déjà observé

Depuis 1910, la température moyenne de la Terre s'est accrue d'environ 0,74 °C. En France, cette augmentation est de l'ordre de 1 °C. La décennie 1990 a été la plus chaude du XX^e siècle, en valeur moyenne et au niveau planétaire, avec un record pour l'année 1998. La décennie actuelle ne dément pas cette tendance, et 2010 est une des années les plus chaudes jamais enregistrées. Il est désormais établi que la principale cause de ce changement est l'accroissement de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre d'origine anthropique, comme l'a confirmé le GIEC dans son rapport de 2007. La figure 1 page suivante illustre la rapidité et l'intensité de cet accroissement de la concentration en gaz à effet de serre (GES), sans précédent depuis 800 000 ans. L'augmentation actuelle des températures diffère sans équivoque des cycles naturels de réchauffements et de refroidissements qu'a connus la planète depuis l'ère quaternaire.

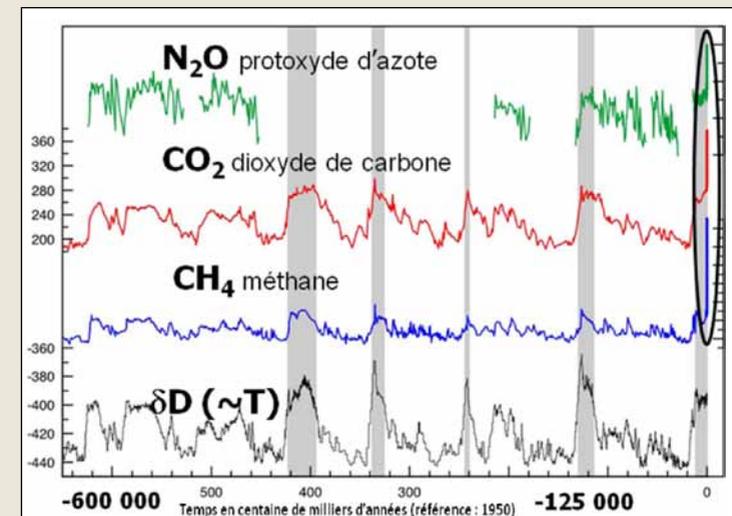
Scénarios d'émissions et projections climatiques

L'évolution future du climat est aujourd'hui assez bien connue pour les trois ou quatre décennies à venir en raison de la

grande inertie des phénomènes concernés (réchauffement des océans, durée de vie plus ou moins longue des gaz à effet de serre). En revanche, une forte incertitude demeure pour la fin du XXI^e siècle, dépendant des évolutions socioéconomiques influant sur les émissions de gaz à effet de serre. Pour alimenter les modèles climatiques et générer des projections, le GIEC établit divers scénarios d'émissions basés sur différentes hypothèses d'évolution socio-économiques et géopolitiques, dont deux scénarios, dits A2 et B2, parmi les plus utilisés. Le scénario A2, le plus pessimiste, envisage une certaine inaction ou inefficacité des autorités mondiales qui ne pourraient éviter d'ici 2100 un

triplement des concentrations en gaz à effet de serre depuis la révolution industrielle. Celui-ci se traduirait par une augmentation de température moyenne pour la France de 2,5 à 3,5 °C en un siècle. Le scénario B2 correspond quant à lui à une réduction efficace et générale des émissions permettant de ralentir l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre, laquelle limiterait l'accroissement de la température moyenne en France à 2 °C d'ici 2100. Ce scénario, présenté comme optimiste, correspondrait tout de même à une augmentation de la température de la planète comparable aux périodes les plus chaudes des 400 000 dernières années.

Figure 1. Variations de la température moyenne de la Terre et concentrations atmosphériques de quelques gaz à effet de serre, du quaternaire à nos jours. Reconstruction paléoclimatique sur la base de carottages glaciaires. Projet EPICA dome C.



Modèles climatiques, incertitudes et régionalisation

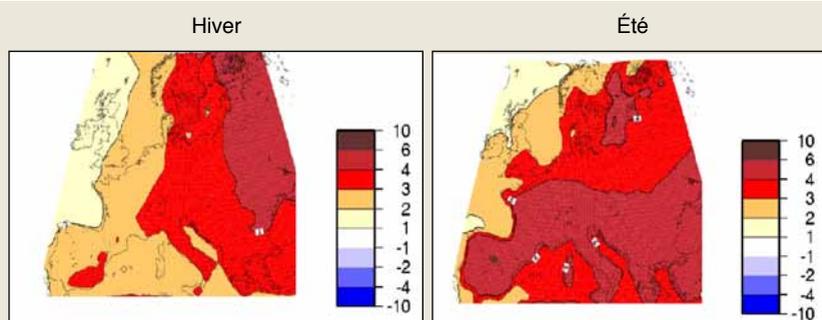
Ces projections climatiques globales sont obtenues au moyen de modèles numériques, qui cherchent à simuler de la manière la plus réaliste possible les phénomènes et interactions complexes qui régissent le climat. Les résultats restent cependant entachés d'une forte incertitude, issue des forçages (scénarios d'émission), des imprécisions inhérentes aux calculs numériques, et de la prise en compte, toujours perfectible, par les modèles de certains mécanismes du système climatique.

Un axe de progression, essentiel dans une perspective de gestion et d'adaptation, consiste ainsi à augmenter la résolution spatiale des projections (« descente d'échelle ») : les projections globales masquent une grande diversité des évolutions locales,

des températures et des précipitations. La figure 2 donne les projections obtenues en température à l'échelle de l'Europe, dans le cas du scénario A2 à la fin du XXI^e siècle.

Tout perfectibles qu'ils soient, les résultats disponibles pour l'Europe occidentale permettent cependant d'affirmer que, quel que soit le scénario d'émission, **les vagues de chaleur estivales seront très probablement plus fréquentes, plus longues et plus intenses**, tandis que les périodes de sécheresse seront plus longues. Il est aussi très probable qu'en hiver le nombre de jours de gel diminuera et que les vagues de froid, sinon moins fréquentes, seront probablement moins sévères. Il est enfin probable qu'en hiver les précipitations intenses augmenteront. En revanche, les travaux les plus récents ne prévoient **pas de changement net de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en France métropolitaine**.

Figure 2. Changement moyen des températures en Europe à la fin du XXI^e siècle pour l'Europe, scénario A2. (Météo-France - modèle ARPEGE-Climat).



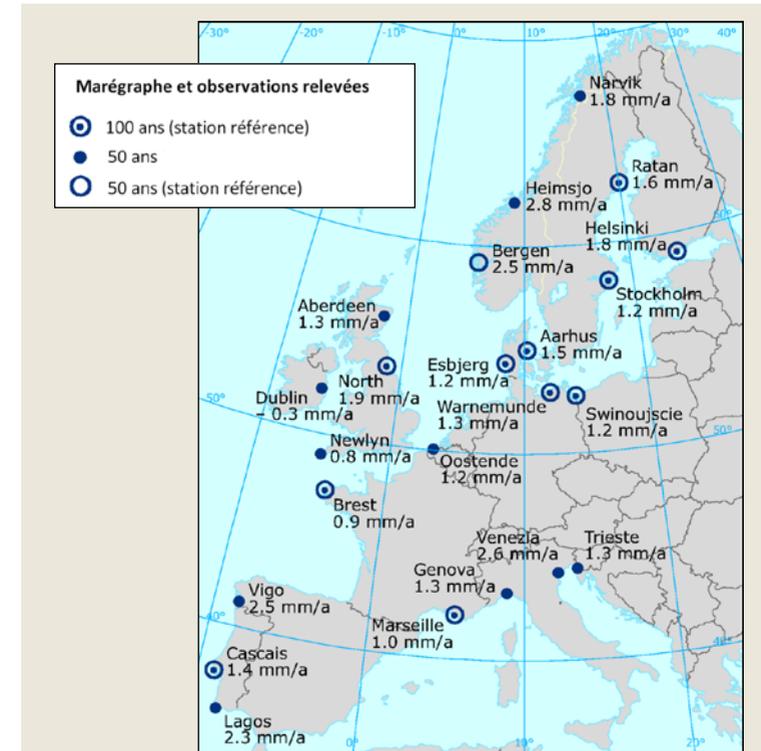
1.2 – Des conséquences multiples sur les océans et le littoral

Une élévation inéluctable du niveau de la mer

La conséquence la plus médiatisée du changement climatique sur le littoral est bien sûr l'élévation du niveau de la mer. Celle-ci est déjà observée : entre 1900 et 2000, on a relevé une élévation moyenne globale de 1,7 mm/an. La tendance

s'accélère actuellement : entre 1993 et 2003, l'élévation moyenne a été de 3,1 mm/an, soit **une élévation de 31 cm sur un siècle** (fig.3). Les contributions à l'élévation du niveau de la mer sont multiples : dilatation thermique de l'eau due au réchauffement, fonte des glaciers, du Groenland et de l'Antarctique et apport des eaux continentales.

Figure 3. Élévation récente du niveau de la mer sur la période 1896-2004. Les données sont corrigées (l'élévation post-glaciaire des continents a été retranchée). Novotny *et al.*, 2007.

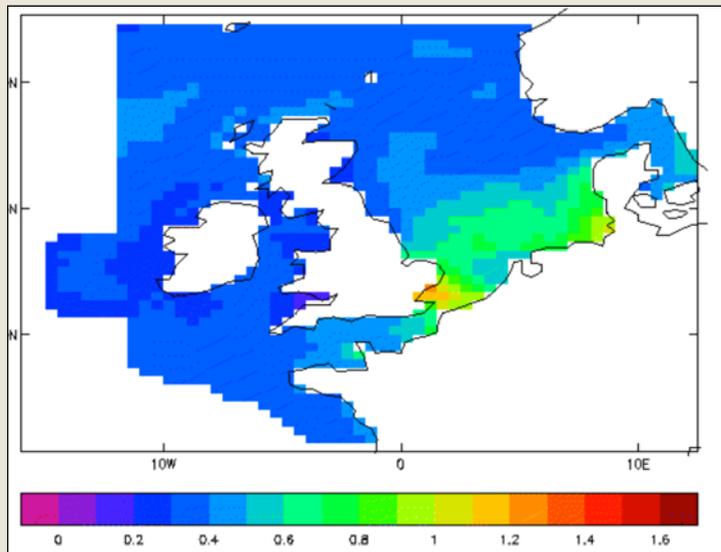


La contribution de la dilatation thermique, prépondérante au cours du siècle dernier, semble se réduire : aux incertitudes près, elle a représenté 50 % de l'élévation totale entre 1961 et 2008, mais seulement 25 % entre 2003 et 2009. L'apport d'eau douce en lien avec la fonte des glaciers, de l'Antarctique et du Groenland semble devenir aujourd'hui la principale explication de la hausse du niveau de la mer (Cazenave et Lovel, 2009).

Les modèles couplés océan-glace-atmosphère utilisés par le GIEC permettent de calculer les conséquences à venir du

changement climatique sur les masses d'eau océaniques. On peut donner ici quelques projections d'élévation moyenne globale pour la décennie 2090-2099, en référence à 1980-1999. Pour le scénario B2, celle-ci serait comprise entre 20 et 43 cm. Dans le cas du scénario A2, l'augmentation du niveau de la mer serait comprise entre 23 et 51 cm (GIEC, 2007, fig. 4). Mais ces projections ne prennent pas en compte l'impact éventuel d'une accélération de la fonte des calottes en liaison avec les changements de la dynamique de la glace, telle que suggérée par les observations

Figure 4 : Variation des extrêmes du niveau de la mer sur une période de retour de 50 ans (depuis 1961) exprimée en mètres dans la mer du Nord due à la fréquence des tempêtes dans l'atmosphère, au niveau moyen des mers et des mouvements verticaux du sol pour la période 2071-2100 dans le scénario A2 (GIEC 2007).



Crédit photo : Pietrzak Massu

récentes. La distribution régionale du changement du niveau de la mer est quant à elle plus difficile encore à estimer, car dépendante de l'évolution locale de nombreux paramètres : température de l'océan, salinité, courants marins, pression de surface, apport d'eaux continentales ou encore déformation des plateaux continentaux. La figure 4 illustre une approche régionale des extrêmes du niveau de la mer calculée sur une période de retour de 50 ans. Elle montre la grande variabilité régionale à l'échelle de la Manche et de la Mer du Nord.

Réchauffement et acidification des océans

Outre l'élévation du niveau de la mer, le changement climatique se traduit par des modifications des caractéristiques physico-chimiques des eaux marines. Le premier paramètre impacté est bien sûr la température : les océans ont stocké plus de 90% de la chaleur supplémentaire reçue par la planète pendant la seconde moitié du XX^e siècle (Bindoff *et al.*, 2007). Levitus *et al.* (2009) estiment que la **température moyenne des eaux superficielles a augmenté de 0,17 °C** depuis 1969.

Cette tendance est, là encore, inégalement répartie dans l'espace et c'est en Atlantique Nord qu'elle a été la plus marquée (+0,4 °C).

Ce réchauffement s'accompagne d'une série d'évolutions des équilibres chimiques. Alors que la concentration en oxygène des eaux marines tend à diminuer (Keeling *et al.*, 2010), la concentration en CO₂ connaît un accroissement significatif : on estime que les océans absorbent 25 à 30 % du CO₂ émis par les activités humaines. Cette absorption entraîne une acidification des eaux superficielles marines, qui ont connu une diminution de leur pH moyen d'environ 0,1 depuis 1800. Si elle n'est pas une conséquence à proprement parler du changement climatique, cette acidification en partage la cause essentielle – l'accroissement de la concentration en CO₂ atmosphérique. C'est pourquoi elle est souvent qualifiée de « miroir chimique » du réchauffement de l'océan.

De plus, la dynamique couplée du réchauffement et de l'acidification de l'océan mondial est régie par différents mécanismes de rétroactions physico-chimiques et biologiques. Par exemple, l'élévation de la température diminue la solubilité du CO₂ dans l'eau. De plus, l'augmentation de la pression partielle du CO₂ atmosphérique diminue la concentration en ions carbonate des eaux superficielles : à la fin du XX^e siècle, la capacité moyenne

de l'eau de mer à piéger le CO₂ atmosphérique pourrait être diminuée au tiers de ce qu'elle était en 1750.

Conséquences sur les écosystèmes : un défi scientifique

La compréhension et la prévision des réponses possibles de la biodiversité marine à ces changements – réchauffement, acidification, modification des équilibres chimiques – restent un véritable défi scientifique.

Des impacts sont attendus, et souvent déjà observés, sur les aires de répartition des espèces, mais aussi sur le fonctionnement des réseaux trophiques, avec par exemple des altérations des relations prédateurs-proies. Le réchauffement a en outre pour effet de réduire l'apport de nutriments aux eaux superficielles en renforçant leur stratification. Cet appauvrissement limite la production primaire et favorise l'extension de « déserts océaniques »

(Polovina *et al.*, 2008). L'apparition d'espèces envahissantes, déjà constatée, pourrait également être favorisée par le changement climatique ; enfin, la diminution de la concentration en oxygène des eaux marines pourrait aggraver jusqu'à l'anoxie les effets de l'eutrophisation des eaux côtières (Diaz et Rosenberg, 2008), de même que l'acidification des océans pourrait ralentir la croissance des organismes calcificateurs (mollusques, coraux...).



Crédit photo: Pietrzak, Massu

1.3 – Changement climatique ou changement global

Les effets couplés du changement climatique sur les océans (élévation du niveau moyen, réchauffement, acidification, modification des équilibres chimiques) s'exercent dans le prisme plus large des autres pressions d'origine anthropique : surpêche, rejets industriels et agricoles, dégradation des habitats, urbanisme et artificialisation du littoral. L'ensemble constitue un faisceau complexe de perturbations agissant conjointement, souvent de manière synergique, sur les écosystèmes marins et littoraux. Par exemple, les ouvrages hydrauliques installés sur le cours d'un fleuve limitent le flux de sédiments apportés dans la région littorale de son embouchure. Cette limitation a des conséquences sur le trait de côte, lesquelles s'ajoutent à la hausse du niveau de la mer liée au changement climatique.

Cet état de fait rend généralement très difficile l'attribution d'un changement observé à l'une ou l'autre des pressions s'exerçant sur le milieu. La même difficulté se retrouve au niveau des projections : les études menées modélisent en général l'impact attendu d'une perturbation donnée (le réchauffement par exemple) sur une communauté ou une zone géographique données, sans prendre en compte les éventuelles interactions ou rétroactions avec les autres pressions présentes.

Cette problématique de l'attribution, qui constitue un défi majeur pour la recherche et la gestion, est récurrente dans la réflexion sur le changement climatique et les discussions menées lors du séminaire de Fréjus n'ont pas fait exception à la règle.

Dans ce contexte, l'enjeu véritable des recherches menées sur l'adaptation au changement climatique est bien de diminuer la vulnérabilité des écosystèmes aux changements globaux, ce qui suppose en parallèle un effort concerté pour la réduction des pressions locales. Un consensus émerge désormais autour du changement climatique comme composante d'un changement global. Cette notion est maintenant clairement identifiée dans les appels à propositions de recherche de GICC ; le programme LITEAU se focalise quant à lui sur le changement global dans toutes ses composantes. ■

Xynthia, symptôme du changement climatique ?

La tempête Xynthia a traversé la France dans la nuit du 27 au 28 février 2010, faisant au total 53 victimes. Les régions les plus durement touchées, situées sur les littoraux vendéens et charentais, ont subi des submersions spectaculaires et des dommages exceptionnels. À l'heure où se développe dans l'opinion publique une véritable prise de conscience environnementale, l'émotion suscitée et le traitement médiatique de l'événement ont pu alimenter les craintes : Xynthia serait-elle une manifestation du changement climatique ? Doit-on se préparer à la répétition de telles tempêtes ?

Les dernières avancées en climatologie ne montrent aucune corrélation claire entre le changement climatique et la survenue d'épisodes venteux extrêmes. On ne peut donc affirmer que ce type d'événement se produira plus souvent à l'avenir. En revanche, l'élévation annoncée du niveau de la mer tendra à aggraver leurs conséquences. Rappelons que le bilan dramatique de Xynthia est d'abord le résultat d'une rare coïncidence : des vents puissants survenant à marée haute avec un très fort coefficient, pendant la nuit, heures pendant lesquelles les populations sont particulièrement vulnérables.



La Faute-sur-Mer, février 2010

attentes et besoins exprimés

Les informations présentées dans ce qui précède dressent un tableau très général des connaissances actuelles sur le changement climatique et ses différentes conséquences, observées ou attendues, sur les océans et le littoral : élévation du niveau de la mer, réchauffement, acidification et modifications des écosystèmes. Ces éléments, s'ils permettent de préciser le contexte, ne fournissent que peu de données utilisables par les gestionnaires et services opérationnels liés au littoral. C'est par un **dialogue entre scientifiques et gestionnaires** que pourra s'opérer la traduction des tendances globales en projections locales, permettant l'élaboration des mesures de gestion et des solutions techniques les plus adaptées à chaque cas de figure.

Afin d'initier ce dialogue à l'échelle de la France métropolitaine, le séminaire Fréjus 2010 a donné la parole à un panel sélectionné de gestionnaires du littoral, venus exposer leur vécu ou leurs interrogations face au changement climatique. Cette session a permis d'approfondir les résultats d'une enquête réalisée au préalable auprès de plus de 100 structures liées à la gestion du littoral.

L'examen est complété par un état des lieux succinct des politiques publiques nationales menées à l'interface entre changement climatique et littoral, qui permet lui aussi de faire émerger un certain nombre d'interrogations et de demandes.

Cette seconde partie synthétise les besoins et attentes exprimés par les différents gestionnaires à cette occasion, dont certains trouveront des réponses dans la troisième et dernière partie de la présente synthèse.

2.1 – Une enquête pour connaître les besoins des gestionnaires

Une enquête a été organisée au printemps 2010 auprès d'une centaine de structures gestionnaires (industries, parcs naturels régionaux, organisations non gouvernementales, agences de l'eau, etc.). Elle se basait sur un questionnaire ouvert leur proposant d'identifier, dans leur pratique quotidienne, les problèmes liés au changement climatique, déjà observés ou attendus ; leurs priorités pour la prise en compte de ces impacts ; les freins rencontrés dans cette prise en compte et, en conséquence, leurs besoins et attentes vis-à-vis de la recherche. Les réponses obtenues, souvent détaillées, ont constitué une base structurante pour l'organisation du séminaire – et ont notamment aiguillé le choix des contributions scientifiques présentées dans la suite.

Les impacts déjà constatés par les gestionnaires du littoral ne sont en général pas clairement liés au changement climatique. Dans le sillage de la tempête Xynthia, la question de

la fréquence des événements extrêmes apparaît comme une préoccupation prioritaire. Les interrogations liées à l'apparition d'espèces envahissantes et l'émergence de nouvelles pathologies sont également posées. Enfin, certains gestionnaires sont déjà confrontés à la problématique de gestion du trait de côte dont le changement climatique n'est à l'heure actuelle, en France, qu'un facteur secondaire. Pour **ce qui est des impacts du changement climatique attendus ou anticipés**, les gestionnaires évoquent principalement la gestion du trait de côte et les évolutions des cycles biologiques des espèces littorales, envisagées sous l'angle des impacts sur les activités économiques (pêche et conchyliculture) ou récréatives.

Les freins identifiés à la prise en compte de ces impacts sont d'abord le manque de moyens et de connaissances scientifiques ciblés, permettant d'appréhender les effets du changement climatique à l'échelle locale.

2.2 – Regards de gestionnaires sur le changement climatique

À la suite de cette enquête, la session d'ouverture du séminaire de Fréjus a donné la parole, successivement, à des représentants de six structures liées à la gestion du littoral

(voir pages suivantes). Chaque acteur s'est attaché à témoigner de son vécu et de ses attentes face au changement climatique, dans le cadre de discussions ouvertes et souvent passionnées.

De manière générale, tous les gestionnaires déplorent **l'absence de résultats scientifiques** permettant d'orienter leurs stratégies sur les impacts directs et indirects du changement climatique, d'étayer certains choix techniques ou de trouver des solutions aux crises sanitaires ou écologiques. Dans certains domaines, comme le tourisme ou la pêche, dont l'incidence économique est importante, cette absence de données scientifiques robustes se révèle d'autant plus dramatique que sont notamment constatées l'apparition d'espèces envahissantes, la disparition de certaines espèces emblématiques, la réduction de la surface des plages dues à l'érosion et à la submersion, etc.

La hausse annoncée du niveau de la mer et les conséquences des événements extrêmes bouleversent les habitudes des gestionnaires qui doivent désormais s'adapter au risque de submersion et **anticiper la perte d'écosystèmes** ou leur modification. Les espaces naturels protégés apparaissent dès lors comme des observatoires privilégiés des impacts du changement climatique, fournissant par exemple des données précieuses sur les capacités de résilience des écosystèmes après une submersion.

Le **devenir des infrastructures côtières** en cas d'événement extrême ou d'élévation du niveau de la mer interpelle également. Quand faut-il opter pour une (ou

plusieurs) digue de protection ? Quelles sont les solutions alternatives ? Qui est responsable de la protection des zones habitées ? Comment mieux encadrer l'attribution des permis de construire par les élus ? De nombreuses questions techniques, depuis le choix des aménagements pertinents pour la reconstitution des équilibres naturels jusqu'à l'anticipation des influences à venir du changement climatique, se posent également. De même, l'évaluation du succès de l'opération suppose idéalement la détermination de paramètres de suivi et l'intégration de la variabilité de ceux-ci avec le climat.

De nombreux gestionnaires soulignent l'écart entre **l'horizon temporel du changement climatique**, plusieurs décennies, et leurs capacités d'action et de planification, limitées à quelques années pour des structures comme les Agences de l'eau ou les collectivités territoriales. Pour l'instant, la prise en compte des impacts du changement climatique par ces structures apparaît donc limitée. L'incidence économique reste le principal moteur des mécanismes actuels de prise de décision : le chiffrage des impacts du changement climatique constituerait sans doute une avancée majeure pour leur prise en compte.

Conchyliculteurs : « La profession doit être soutenue »

Gérald Viau (Président de la section régionale conchylicole de Poitou-Charentes).

Une tempête désastreuse en 1999, les naufrages des pétroliers Erika et Prestige, une mortalité anormale d'huîtres adultes en 2007 suivie de trois années de mortalités massives des naissains et huîtres juvéniles, encore aggravée en 2010 par Xynthia... La profession est en grande difficulté, avec un effondrement des volumes commercialisables à compter de la fin 2010 et jusqu'à 2013 dans le meilleur des cas. Le climat figure bien sûr parmi les causes supposées du problème, en association avec les pollutions, la dégradation des milieux et de la qualité de l'eau, ou l'apparition d'agents pathogènes nouveaux. À défaut d'une compréhension claire des mécanismes à l'œuvre, la profession opte pour une diversification génétique :



approvisionnement en naissains, importation de souches en provenance de pays tiers (le Japon dès 2011) et lancement d'un programme de sélection génétique par la filière ostréicole. Le SRC plaide également pour une diversification des productions (crevettes, algues, salicorne). Dans tous les cas, le soutien financier aux entreprises par des mesures adaptées semble indispensable, au moins jusqu'à 2013.

Réserves naturelles : un observatoire du changement climatique ?

Marie-Laure Cayatte (Réserves naturelles de Charente maritime et de Vendée).

Les impacts de la tempête Xynthia sur les réserves naturelles nationales sur le littoral ont été importants. Elles, qui constituent un enjeu écologique majeur pour l'hivernage, la migration et la reproduction des oiseaux, ont été durement impactées par la tempête Xynthia. Les conséquences écologiques de la submersion totale de ces réserves sont multiples : salinisation de tous les milieux, destruction quasi-totale des populations de micro-mammifères et d'amphibiens, chute de la reproduction de nombreux oiseaux et développement d'une végétation halophile. Au moins la tempête a-t-elle eu « le mérite » de régler le problème de l'écrevisse de Louisiane, qui proliférait jusque-là.

Collectivités locales : la préservation du littoral est un enjeu économique majeur

Jean-Louis Loeuillard (Direction de l'environnement, Conseil Général du Var).

Le Schéma départemental de la mer et du littoral en préparation au Conseil général du Var constitue un exemple de la prise de conscience par les collectivités locales des enjeux liés aux impacts du changement climatique sur le littoral. Cette démarche est motivée par un double constat : l'économie locale et l'attractivité du département reposent pour bonne part sur les activités liées au littoral (1 970 millions d'euros annuellement, comparables au chiffre d'affaires total du secteur du Bâtiment et Travaux Publics), et celles-ci sont soumises à des pressions croissantes : conflits d'usages, dégradation des milieux naturels, modifications du trait de côte. En conséquence, le Schéma vise à développer auprès des différents acteurs locaux une approche intégrée des volets environnementaux et socio-économiques de la gestion du littoral et se traduira par des propositions d'actions concrètes. Le changement climatique est explicitement intégré à cette réflexion : quels risques pour les biens et les personnes, quelles incidences sur les milieux et sur l'économie locale ? Certaines actions de gestion sont déjà proposées : définition de profils de vulnérabilité des plages, stratégie de lutte contre l'érosion et la submersion marine, création de zones de mouillage dédiées à la plongée sous-marine, à la plaisance...

Conservatoire du littoral : une prise en compte systématique du changement climatique

Richard Barety (Conservatoire du littoral, délégation Provence Alpes Côte d'Azur).

S'il n'est pas directement gestionnaire du littoral (il achète des terrains et les confie en gestion aux communes), le Conservatoire a un rôle important à jouer dans la gestion des impacts du changement climatique. Cet établissement public, en charge de la protection des zones côtières, a acquis à l'heure actuelle plus de 135 000 hectares de littoral, représentant 12% du linéaire côtier national (2007). La prise en compte des impacts à venir du changement climatique est systématiquement intégrée à sa stratégie d'acquisition depuis plusieurs années. Dès 2004, il a ainsi initié avec un cabinet spécialisé un **diagnostic global de la vulnérabilité** du littoral français dans l'hypothèse (forte) d'une élévation de 44 cm du niveau de la mer, couvrant les aspects économiques, environnementaux et paysagers liés à la submersion. Cette démarche, toujours en cours, fournit au conservatoire des éléments objectifs pour définir ses orientations d'acquisition, justifier l'intervention foncière et accompagner les gestionnaires face au changement climatique.

Camargue gardoise : vers une réhabilitation du second cordon dunaire

Pauline Constantin (Syndicat Mixte pour la protection et la gestion de la Camargue Gardoise).

Le littoral camarguais subit de longue date un déplacement rapide de son trait de côte, dont le moteur principal est pour l'heure la réduction des apports de sédiments par le Rhône. L'érosion du littoral s'y traduit par un recul des plages et dunes, l'ouverture de brèches dans le premier cordon dunaire, la destruction de certains ouvrages de protection. Les plages sont submergées chaque hiver, et d'importantes intrusions marines dans les terres ont été constatées en 1982 et 1997.

Figure 5 : Carte du littoral de l'Espiguette en 2006



Face à cette situation, le Syndicat mixte de la Camargue gardoise a amorcé une démarche originale en vue d'une **alternative durable à l'endiguement** : la réhabilitation du cordon dunaire de seconde ligne, selon le principe du repli stratégique. Cette solution, qui concilie protection des enjeux humains et restauration de la dynamique naturelle des systèmes, présente en outre plusieurs intérêts indirects : elle favorise la connaissance de l'écosystème, le suivi et la gestion du patrimoine naturel, et fait émerger une concertation des acteurs locaux en vue de la gestion des conflits d'usage sur le site.

Tableau 1. Aperçu synoptique des besoins exprimés par les gestionnaires du littoral.

Le tableau 1 propose une synthèse non exhaustive des besoins exprimés par les gestionnaires du littoral lors de ce séminaire. La grande diversité des interrogations soulevées reflète le rôle prépondérant qu'aurait à jouer, dans les politiques scientifiques à venir, les approches transdisciplinaires, de la climatologie à la sociopolitique, du génie côtier à l'économie.

	Connaissances scientifiques	Besoins techniques	Questionnements propres	Financement - économie	Sociopolitique
Collectivités locales	Projections : réduction des plages, disparition d'espèces, espèces envahissantes Dynamique sédimentaire Influence des nouveaux aménagements sur les écosystèmes	Critères de définition du trait de côte optimal pour la protection des enjeux Devenir des infrastructures côtières en cas d'aléa, gestion des ouvrages déjà en place Identification des paramètres à suivre		Réponse aux conflits d'usage Impact du changement climatique sur les secteurs économiques (tourisme, pêche) Évaluation bénéfiques/valeur des biens naturels	Insuffler une culture du risque aux populations Réponse aux conflits d'usage
Agences de l'eau	Compréhension des influences directes et indirectes du changement climatique	Traduction des projections en réponses opérationnelles (ex. dimensionnement bassins d'orage)	Concilier logique de temps opérationnelle et horizon du changement climatique	Traduction économique des projections liées au changement climatique	
Conservatoire du littoral	Projections localisées : vulnérabilité des sites et submersions		Rôle de "courroie" à jouer pour accompagner le repli stratégique ?	Définition des responsabilités pour la protection des zones habitées Anticipation des coûts de gestion des équipements de protection	Définition des responsabilités pour la protection des zones habitées
Pêcheurs - conchyliculteurs	Compréhension des facteurs de mortalité Projections localisées sur changement climatique et aléas	Recherche de souches résistantes et diversification des cultures Accompagnement à court terme des exploitations		Mesures de soutien à la profession	
Réserves naturelles	Projections localisées, dont évolution de la géomorphologie des estrans Données sur les modifications d'aires de répartition et/ou espèces envahissantes Indicateurs du changement climatique sur le littoral		Rôle des réserves naturelles : observatoire du changement climatique ?		Acceptabilité sociale du repli ?
Politiques publiques nationales	Valeurs de référence et scénarios Cartographie fine et descente d'échelle Données sur le régime des surcotes et des précipitations Évolution température et acidité des eaux Comportement des matériaux et structures des équipements	Mesure et suivi de l'évolution du littoral Dispositifs de vigilance et d'alerte Diagnostic de vulnérabilité des ouvrages de protection Collecte des données et mise à disposition pour les acteurs		Chiffrage du risque sur les infrastructures	Prospective sur le lien entre changement climatique et comportements de mobilité Éclairage sociologique sur le repli Réflexion sur le « risque acceptable » Sensibilisation et participation citoyenne Articulation solidarité nationale / responsabilité individuelle

2.3 – Les politiques publiques nationales : prise en compte actuelle et interrogations

À l'échelle nationale, les problématiques liées au changement climatique, à ses impacts, à l'atténuation et à l'adaptation font l'objet d'une prise en compte croissante par les politiques publiques. Cette prise en compte s'est traduite par l'élaboration d'un **Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)** dont la préparation a mobilisé entre décembre 2009 et juin 2010 une large concertation de type Grenelle. Cette mise en œuvre prévoit en outre que soit organisée rapidement une réflexion collective afin de définir la notion de risque acceptable. De manière générale, la politique d'adaptation passera davantage par l'intégration de l'adaptation

au changement climatique dans les politiques publiques thématiques et sectorielles plutôt que par la création d'une politique publique spécifique.

Les recommandations de la concertation préalable au Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)

La concertation préalable au PNACC a donné lieu à 202 recommandations des groupes nationaux (en ligne sur le site du ministère en charge du développement durable). On donne ici celles qui sont communes à tous les groupes.

Plusieurs actions sont identifiées comme prioritaires en amont de la décision publique :

- l'amélioration des connaissances (recherche fondamentale et appliquée) ;
- le renforcement de la collecte de données et leur mise à disposition ;
- la mise en place de dispositifs d'évaluation afin de tirer tous les enseignements des épisodes passés qui pourraient préfigurer les évolutions climatiques (canicule, inondations, incendies) ;
- l'association des citoyens à l'élaboration de la décision et à sa mise en œuvre.

Est soulignée la nécessité d'intégrer les interactions entre les différentes thématiques. Cela vaut particulièrement pour l'adaptation en zone littorale, qui se trouve à la croisée des risques écologiques et côtiers, de l'urbanisme, du tourisme et de l'acceptation sociale. La con-

certation préalable au PNACC a confirmé sur ce point plusieurs besoins spécifiques qui renforcent la nécessité d'une gestion intégrée des zones côtières. À court terme, un choix rapide d'hypothèses devra permettre d'organiser l'entretien et la mise à niveau des ouvrages de protection existants et de définir des orientations en matière d'urbanisme côtier et de maintien des zones naturelles. À plus long terme, des études locales approfondies devront permettre d'opérer des choix entre **protection et repli stratégique**. Ce dernier point a fait l'objet d'un ouvrage collectif paru en mars 2010¹, évoqué dans la section 3.3 de cette synthèse. ■



Crédit photo : Pietrzak Massu

1. La gestion du trait de côte Février 2010. Ministère en charge de l'Écologie - Direction de l'eau de la Biodiversité DEB. Ed. Quae. ISBN 978-2-7592-0360-4. Avec l'appui du Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales CETMEF en collaboration avec les Directions générale de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages DHUP, de la prévention des risques DGPR du Ministère en charge de l'Écologie et le Commissariat Général au développement durable CGDD.

3

La parole aux scientifiques :

éléments de réponses et questions en suspens



Crédit photo : Foti

Le développement qui précède a donné la parole à différents gestionnaires du littoral confrontés, dans leurs pratiques respectives, aux manifestations constatées, supposées ou attendues du changement climatique. Chacun a pu exprimer ses besoins et attentes face à cette nouvelle donne qui bouleverse les certitudes. La récolte réalisée ici, sans prétention d'exhaustivité, se caractérise d'abord par la grande diversité des interrogations soulevées, de la compréhension des impacts écologiques aux solutions techniques de la gestion du trait de côte, des traductions économiques du changement climatique à ses implications sociologiques. Ces problématiques complexes appellent des réponses fines, déclinées au cas par cas selon les spécificités de chaque contexte local. Leur obtention ne pourra être que le fruit d'un dialogue itératif entre gestionnaires et scientifiques. Le séminaire de Fréjus a opéré une première étape en exposant une série de contributions scientifiques ciblées sur les différentes questions identifiées. Ces interventions font l'objet de cette troisième partie, qui vaut autant par les données communiquées que par l'identification de celles – nombreuses ! – qui restent à obtenir.

3.1 – Jusqu’où peut aller la climatologie ?

Au premier rang des attentes citées par les gestionnaires, on trouve sans surprise le besoin de disposer de projections utilisables d’un point de vue opérationnel, c’est à dire présentant des incertitudes moindres et une meilleure résolution spatiale. C’est le cas en particulier, pour ce qui est du littoral, des projections de l’élévation du niveau de la mer. Au-delà des tendances globales, présentées dans la première partie de ce document, les situations peuvent présenter localement de grandes disparités. Certains points du globe ont ainsi vu le niveau de la mer baisser au cours du siècle dernier. Ces disparités résultent de plusieurs causes, parmi lesquelles les déformations de la croûte terrestre, les variations de température et de salinité de l’eau de mer, ou encore les échanges d’eau entre les océans et les masses d’eau continentales ou les calottes glaciaires.

La réduction des incertitudes et la régionalisation des projections sont bien sûr des objectifs majeurs des recherches actuelles en climatologie. Le cinquième rapport du GIEC, prévu pour 2013, proposera ainsi un jeu de scénarios affiné et un ensemble de modèles enrichi (de 25 à environ 33 modèles). Plus performants, ces modèles assurent notamment une meilleure prise en compte du cycle

global du carbone, des contributions des calottes polaires et de la végétation ou de l’impact de la chimie des aérosols. Pour les océans, leur résolution spatiale sera ramenée entre 0,5 et 2° (contre 1 à 2,5 auparavant). Ces modèles « primaires », qui couvrent l’ensemble du globe, restent cependant inadaptés à l’obtention de projections détaillées pour lesquelles une prise en compte fine de la topographie est indispensable. Ils doivent donc être relayés par des simulations locales qui utiliseront leurs résultats comme données d’entrée.

C’est notamment l’objectif de l’initiative internationale CORDEX (coordinated regional downscaling experiment), qui permettra de descendre à une résolution de l’ordre de 50 km. Elle se décline à l’échelle de la Méditerranée avec l’ambitieux projet Med-CORDEX, qui s’appuie sur trois campagnes de mesure complémentaires actuellement en cours : les projets HyMex, qui vise à une meilleure compréhension des cycles hydrologiques méditerranéens, ChArMex, qui propose une modélisation intégrée de la chimie troposphérique et des aérosols à l’échelle régionale ; et MerMex, dédié à la compréhension des réponses des écosystèmes aux forçages physico-chimiques.

Ces avancées ne permettront cependant pas l’obtention



de projections ponctuelles, à l’échelle d’un port par exemple. Un tel objectif n’est plus du ressort des seuls climatologues : ceux-ci pourront en revanche, si les enjeux l’exigent, intervenir en support auprès des gestionnaires dans le cadre de projets ciblés.

Un autre axe de recherche important en climatologie concerne l’obtention des **prévisions décennales** (5 - 30 prochaines années). Il s’agit ici non pas de réaliser des projections en ali-

mentant des modèles avec des scénarios, mais bien de prévoir le climat à venir, à partir d’un état initial, au sens commun du bulletin météorologique – ce qui constituerait évidemment une avancée importante pour les gestionnaires. De telles prévisions sont envisageables à l’heure actuelle mais restent un axe de recherche très prospectif. Les premiers retours d’expérience, attendus pour 2014, donneront de bonnes indications quant à la faisabilité de telles prévisions. Il est cependant d’ores et déjà

possible d'affirmer que le système climatique s'ajustera dans un futur proche à l'augmentation récente des concentrations en gaz à effet de serre (du fait de l'inertie du système climatique – voir plus haut).

En attendant, un outil novateur permettra bientôt aux gestionnaires un accès simple et ergonomique aux scénarios et projections climatiques régionalisées : le portail internet DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques régionalisés fran-

çais pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et environnements). Lancé dans le cadre de l'appel à propositions de recherche du programme GICC, ce projet évolutif est mené conjointement par le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique CERFACS, le Centre national de Recherches Météorologiques CNRM, l'Institut Pierre Simon Laplace IPSL et Météo France, et une première version sera accessible aux utilisateurs dès 2011.

3.2 – Quels impacts sur les écosystèmes ?

Les réponses des écosystèmes marins et côtiers aux perturbations induites par le changement climatique – modifications des aires de répartition ou du fonctionnement des réseaux trophiques, apparition d'espèces envahissantes – intéressent de près les gestionnaires du littoral, au double titre de la protection des équilibres naturels et de la préservation des intérêts économiques associés à la pêche, au tourisme ainsi qu'à la santé humaine. En conséquence, les recherches consacrées à ces réponses, en lien avec les travaux menés en climatologie, connaissent un développement croissant, à l'image du projet MerMex évoqué plus haut. L'obtention de scénarios et de projections fiables reste cependant très délicate, du fait de l'influence croisée des différentes pressions qui s'exercent sur les populations.

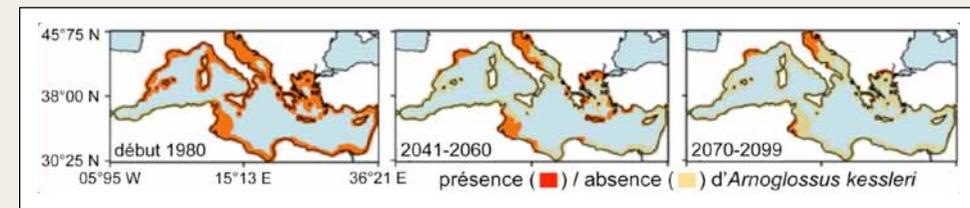
Dans les eaux européennes, il est a priori attendu que le réchauffement entraînera un déplacement vers le nord ou en profondeur des populations, avec des variations d'abondance plus marquées à proximité de la « limite froide » ou de la « limite chaude » des aires de répartition. Ces tendances sont déjà observables, notamment dans le cas du plancton, véritable « moteur » de la pompe biologique et source de 99% de la matière organique utilisée dans les chaînes trophiques marines. L'essentiel des séries temporelles d'observation provient du *Continuous Plankton Recorder* (CPR, cf. Hays *et al.* 2005, Edwards *et al.* 2009, 2010). Parmi les nombreux résultats issus de leur analyse, on peut citer pour la seconde moitié du XX^e siècle en Atlantique du Nord-est des évolutions significatives de l'indice de couleur du phytoplancton en

Atlantique (Reid *et al.*, 1998), une tendance à l'accroissement de l'abondance des dinoflagellés et au fléchissement de celle des diatomées (Leterm *et al.*, 2005), ou encore un rapide déplacement vers le nord (10° de latitude entre 1960 et 1999) de la répartition d'espèces de copépodes calanoïdes d'eaux chaudes (Beaugrand *et al.*, 2002a, 2002b, 2009). Pour ce qui est des poissons, à l'échelle mondiale, Cheung *et al.* (2008b, 2009) ont esquissé une projection des effets de différents scénarios sur l'organisation de 1066 espèces de poissons et invertébrés marins. Pour la Méditerranée, Ben Rais Lasram *et al.* (2010) ont simulé les changements de la température des eaux superficielles pour cartographier l'évolution jusqu'à la fin du XXI^e siècle des habitats potentiels de 75 espèces endémiques, en majorité côtières. La figure 6 ci-dessous montre les résultats obtenus, dans le cas du scénario A2 du GIEC, pour la fausse limande (*A. kessleri*).

Proliférations : cas de l'algue *Ostreopsis* et de l'huître creuse du Pacifique

Le sujet des espèces envahissantes, connexe à celui des aires de répartition, constitue un enjeu important pour les gestionnaires, en raison des déséquilibres induits par les proliférations sur les écosystèmes, mais aussi de leurs répercussions sur le tourisme et parfois la santé humaine. C'est le cas des micro-algues tropicales du genre *Ostreopsis* qui se développent en Méditerranée depuis une vingtaine d'années alors que leur aire de répartition d'origine est comprise entre 35° Nord et 35° Sud. Ces microalgues, qui se rencontrent sous forme d'amas benthiques, de cellules planctoniques dérivantes ou d'amas flottants (fleurs d'eau), présentent en certains endroits des concentrations très élevées, affectant l'attractivité des paysages littoraux. Elles occasionnent

Figure 6. Distribution observée (à gauche) de la fausse limande de Kessler (*A. kessleri*), poisson endémique de la Méditerranée. Au milieu et à droite : rétrécissement et fragmentation au cours du XXI^e siècle de l'habitat potentiel de l'espèce, délimité d'après des conditions de température simulées (Ben Rais Lasram *et al.*, 2010).



divers problèmes sanitaires par inhalation, ingestion ou simple contact cutané.

Le phénomène a été étudié par le projet pluridisciplinaire Medios 2. Financé notamment par le programme LITEAU, celui-ci visait à rassembler des connaissances sur le développement de cette algue et ses conséquences, dans les domaines écologiques, épidémiologiques et socio-économiques, afin de constituer un support d'aide à la décision. Son premier acquis est un bilan de la dangerosité de cette prolifération. Les intoxications par contact ou inhalation (via les détendeurs utilisés en plongée sous marine) occasionnent en moyenne 10 admissions par an au CHU de Marseille et s'avèrent en général bénignes, les symptômes disparaissent en 24h, mais pourraient entraîner des engorgements des services d'urgence, notamment en Espagne ou en Algérie.

En revanche, l'accumulation constatée de ces algues dans les tubes digestifs des poissons, les mollusques ou les crustacés entraîne un risque d'intoxication alimentaire grave en cas de consommation par l'Homme. Sous les tropiques, les cas rapportés restent rares mais souvent mortels. En Méditerranée, aucun cas n'a encore été signalé, peut être par manque d'information des médecins. Les craintes portent notamment sur la consommation d'oursins – dont la pêche est réglementée en été mais fait souvent l'objet de

braconnage – et la consommation de petits poissons non éviscérés, en soupe ou en friture par exemple. Parmi les principales recommandations émises vers les gestionnaires dans le cadre de Medios 2 (Rodolphe Lemée, Observatoire océanographique de Villefranche, Fréjus 2010), on peut citer l'adaptation des procédures et seuils de surveillance et l'instauration d'une surveillance du risque alimentaire ; la mise en place, au delà d'une simple note de la Direction Générale de la santé (DGS), d'un texte réglementaire, ainsi que d'un comité de pilotage, possiblement national. L'étude recommande également le soutien aux actions de recherche, avec comme priorités l'identification des sites impactés et l'optimisation des procédures de suivi. Ce soutien reste en pratique difficile : il suppose des prélèvements in situ assez lourds à mettre en place et coûteux, souvent inefficaces du fait du caractère imprévisible et rapide de l'apparition des bancs d'algues sur un site donné. Pour ces mêmes raisons, la réalisation d'études en vue de l'attribution de cette prolifération au changement climatique ou à une autre cause demeure très hypothétique. Le principal facteur limitant est ici d'ordre financier.

Une autre prolifération spectaculaire concerne l'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* ; elle a colonisé à l'heure actuelle des portions entières du littoral atlantique français, au point de recouvrir entièrement certaines

zones, la rade de Brest par exemple. Introduite à la fin des années 60 dans les parcs à huîtres du pourtour Manche-Atlantique en réponse aux mortalités frappant les huîtres autochtones, cette variété originaire du Japon et du Canada a été observée à l'état sauvage au cours des années 70 au sud de la Loire, puis en rade de Brest et dans le Golfe du Morbihan (1976). Elle a depuis connu un développement très rapide, devenant envahissante au Sud de la Loire et en Bretagne Sud, et se fixant à proximité des parcs en Bretagne Nord et Normandie.

Sa prolifération a été étudiée entre 2006 et 2008 par le projet PROGIG « Impact du changement climatique sur la prolifération de l'huître creuse *Crassostrea gigas* sur les côtes Manche-Atlantique françaises » (programme LITEAU). Les résultats de ce travail (Morgane Lejart, Université de Bretagne Occidentale, Fréjus 2010) permettent d'identifier clairement les causes de cette prolifération : l'analyse croisée des relevés de température de l'eau et des densités de présence observées de l'huître, au regard de la température nécessaire à la reproduction de cette dernière, identifie **sans équivoque le changement climatique** comme cause essentielle de son développement au détriment de l'hypothèse d'une évolution génétique, également testée.

Quant aux conséquences socio-économiques, elles doivent

être considérées localement sans catastrophisme excessif : peu esthétique et gênante pour les plaisanciers et baïgneurs, dangereuse par endroits (du fait du risque de coupures), *Crassostrea gigas* a un impact plutôt positif pour ce qui est de l'ostréiculture ou de la pêche à pied. Du point de vue des écosystèmes, l'installation de l'huître sur un rocher s'accompagne



Prolifération de l'huître creuse du Pacifique à Piriac-sur-Mer (Loire-Atlantique).

souvent d'une explosion de la biodiversité, avec la remontée sur l'estran d'espèces de substrat rocheux – la contrepartie à grande échelle étant une chute de la diversité des habitats. Les actions de gestion doivent donc être envisagées au cas par cas : le projet PROGIG a proposé à cette fin des outils analytiques d'aide à la décision.

3.3 – Gestion du trait de côte : quelles solutions techniques ?

Lieu de dynamiques complexes, le littoral se caractérise par la mobilité naturelle du trait de côte sous l'effet notamment de l'érosion éolienne, des courants ou de l'accrétion sédimentaire. En France, la nécessité de protéger les enjeux humains (habitations, installations diverses) s'est longtemps traduite par une volonté de « fixer le trait de côte » par l'emploi de structures rigides (digues, épis et enrochements). À partir des années 1980, est apparu le recours à des techniques alternatives dites souples, agissant avec les phénomènes naturels et laissant une part de résilience au littoral : rechargement de plages par importation de sable, stabilisation des dunes par pose de brise-vents ou de branchages par exemple.

La réalité du changement climatique a accéléré la prise de conscience par les gestionnaires et les pouvoirs publics des limites des infrastructures existantes, conduisant à réinterroger leur capacité à assurer leur rôle de protection mais aussi leurs impacts sur l'environnement, dans une optique de gestion durable du trait de côte. Cette préoccupation croissante, évoquée par tous les gestionnaires, a notamment motivé la commande par les pouvoirs publics d'un ouvrage collectif paru en mars 2010 (La gestion du trait de côte, *op.cit.*). Celui-ci, dans une dé-

marche d'aide à la décision, repositionne les différentes stratégies possibles, selon les enjeux :

- le « laisser faire », qui consiste à suivre l'évolution naturelle lorsque les enjeux locaux ne nécessitent pas une action de gestion ;
- l'adaptation, intervention limitée accompagnant les processus naturels ;
- la fixation et la protection du trait de côte, pour les zones à enjeux importants, qui peuvent être réalisées par différentes techniques rigides ou plus souples ;
- enfin, le « repli stratégique », retrait de constructions existantes derrière une nouvelle ligne de défense, naturelle ou aménagée, est envisageable en conclusion d'une analyse coût / avantages, pour les zones à faibles enjeux ou lorsqu'il constitue la seule option garantissant le niveau de sécurité souhaité.

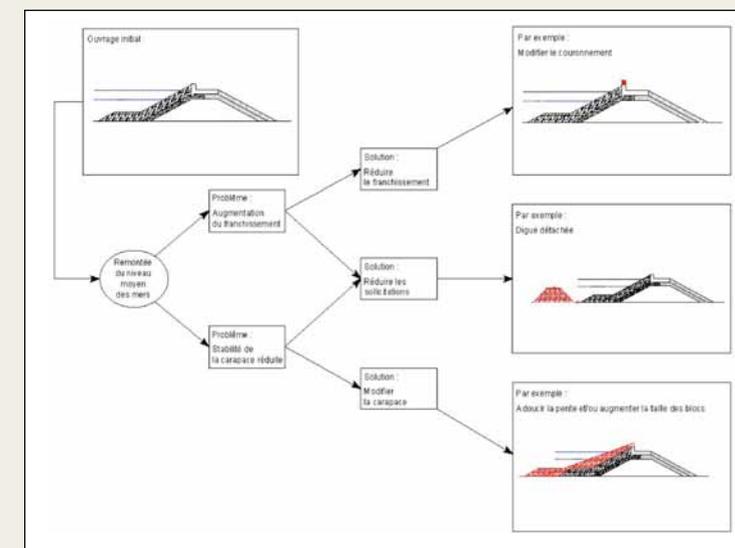
Plusieurs études récentes permettent d'apporter des éléments concrets pour appuyer cet arbitrage. L'un des axes de travail concerne **l'adaptation des infrastructures côtières** existantes à l'élévation du niveau de la mer. Elle fait l'objet d'un ambitieux projet de recherche coordonné par le CETMEF (Centre d'études techniques maritimes et fluviales) et financé par le programme GICC depuis début

2010. Baptisé SAO POLO « Stratégies d'adaptation des ouvrages de protection marine ou des modes d'occupation du littoral vis-à-vis de la montée du niveau des mers et des océans », celui-ci se fixe pour objectif la définition d'une méthode d'adaptation et de renforcement des ouvrages à des fins d'aide à la décision. Les paramètres d'étude retenus, sur la base d'une inter-comparaison de modèles numériques, sont les niveaux d'eau (N) et de houle (H) attendus en regard de leurs valeurs respectives lors du dimensionnement de l'ouvrage. Les conditions simulées comprennent plusieurs niveaux d'eau (de 1 à 10 m en pied d'ouvrage), trois pentes des fonds et trois hauteurs de houle. Les premiers résultats (Guirec Prévot, CETMEF, Fréjus 2010) montrent que les ouvrages si-

tués à faible profondeur sont les plus exposés au risque de submersion. Dans le cas d'une augmentation d'un mètre du niveau moyen de la mer, il faudrait surélever les ouvrages d'au moins deux mètres pour conserver la résistance initiale aux franchissements, ce qui supposerait également d'augmenter considérablement la masse des enrochements (doublée pour un ouvrage de 4 mètres).

De manière générale, l'augmentation du niveau de la mer pose un double problème en vue de l'adaptation d'une digue : il s'agit, d'une part, de limiter les possibilités de franchissement et d'autre part, de conserver la solidité de l'ouvrage. Les différents types de réponse envisageables dans le cas d'une digue peuvent être représentés comme dans la figure 7.

Figure 7 : exemples d'adaptation d'une digue face à l'élévation du niveau de la mer (projet SAO POLO).



Ces résultats seront complétés par l'analyse de l'utilisation d'un canal à houle, permettant de modéliser les contraintes de l'eau sur plusieurs types de protections côtières, en testant plusieurs options de renforcement. La dernière phase visera à évaluer les coûts des travaux de renforcement en regard de la valeur des biens protégés. L'ensemble permettra d'aboutir, d'ici 2013, à la rédaction d'un guide de recommandations destiné à accompagner les acteurs locaux dans la prise de décision.

Solutions alternatives : le cas des dunes domaniales

En attendant ces traductions économiques, on peut déjà affirmer que l'adaptation des ouvrages d'ingénierie classique ne sera pas systématiquement retenue par les gestionnaires : leurs impacts parfois négatifs sur l'environnement et le trait de côte apparaissent d'autant plus préjudiciables dans une optique de gestion durable en lien avec le changement climatique. Par exemple, les épis installés sur le littoral camarguais ou en Languedoc-Roussillon, qui ne réussissent pas partout à stopper le recul du rivage, présentent de surcroît l'inconvénient majeur d'induire systématiquement des érosions des plages limitrophes (François Sabatier, Université d'Aix-Marseille, Fréjus 2010). Les digues quant à elles, lorsqu'elles stabilisent la position du trait de côte, augmen-

tent l'érosion sous-marine ce qui remet en cause leur efficacité à long terme.

Une des alternatives les plus intéressantes à ces infrastructures « en dur » réside dans le cordon dunaire dont le potentiel de protection du trait de côte est connu de longue date, encore démontré à l'occasion des événements météorologiques de 2010. L'Office national des forêts, qui gère plus de 320 km de dunes domaniales sur le littoral atlantique avec une mission initiale de contrôle de la mobilité des dunes (susceptibles d'envahir l'arrière pays sous l'action du vent), s'est saisi de cette problématique nouvelle. En partenariat avec l'IGARUN (Institut de géographie et d'aménagement), l'ONF a ainsi réalisé un atlas cartographique localisant la position des « dunes digues » ou « dunes de défense » domaniales entre le sud Bretagne et l'estuaire de la Gironde. Cet atlas, appuyé par des observations sur le terrain, prend en compte les paramètres morphologiques de la dune (hauteur de crête, rapport base/hauteur), la dynamique littorale locale, et une évaluation des enjeux – occupation du sol et dynamique communale. Il ressort de ce travail (Loïc Gouget, ONF, Fréjus 2010) que, sur les 145 km de dunes situées dans la zone étudiée, 60 km sont des dunes étroites jouant un rôle de protection contre les submersions. Parmi celles-ci, 15 km sont en bon état, 21 km dans un état satisfaisant, 17 km en état d'alerte et 7 km en mauvais état.

Le maintien de ce potentiel de protection implique bien sûr l'adoption de mesures de restauration proactives et adaptées à chaque cas : l'option du « laisser-faire » est désormais exclue. S'il semble inévitable à terme, pour certaines zones, d'envisager un repli stratégique, les solutions de confortement du cordon dunaire par apport de sable et plantation doivent être privilégiées. À Noirmoutier, une expérience a été menée en taille réelle, visant à organiser le recul du cordon dunaire en profitant de l'action du vent. En lien avec la collectivité, qui a pris en charge le contrôle de la fréquentation du site, la dune a été remodelée puis couverte de branchages et plantée de chiendent des sables et d'oyat.

Lors du passage de la tempête Xynthia, elle n'a pas subi de dommages majeurs.

De telles mesures doivent bien sûr être prises à bon escient, en fonction des dynamiques locales et faire l'objet d'un suivi attentif après réalisation. Un indicateur pertinent à cet effet est fourni par la forme des zones de contact entre plage et dune, qui reflètent la tendance évolutive du massif. Plus généralement, l'ONF souligne la nécessité de mettre en place des outils de connaissance et de suivi pour poursuivre et généraliser ce type d'actions, ce qui justifierait la création d'observatoires dédiés et d'instances de concertation avec les collectivités, sur le modèle de ce que développe le projet LITEAU Multidune.

Cordon dunaire dans un état satisfaisant sur le littoral atlantique.



3.4 – La société face à la montée des eaux : quelles pistes d'adaptation ?

Outre les solutions évoquées précédemment – adaptation des infrastructures existantes, protections douces, réhabilitation du cordon dunaire – la montée annoncée du niveau de la mer conduit à envisager dans certains cas, un recul accepté et accompagné du trait de côte. Désignée sous l'expression de « **repli stratégique** », cette alternative n'est plus de l'ordre du tabou : les pouvoirs publics recommandent ainsi de l'expérimenter sur des sites pilotes dans la Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique de 2006. Quant aux gestionnaires du littoral, ils sont désormais nombreux à percevoir ce repli comme une option possible en dernier recours. Il est notamment mis en œuvre par le Syndicat de la Camargue gardoise (voir p.24). Le 2 mars 2010, Bernard Gérard, directeur adjoint du conservatoire du littoral, déclarait par exemple dans l'édition numérique du quotidien Les Échos : « *Il faut accepter et gérer le repli stratégique face à la mer* ». Au-delà de la seule action de gestion, une telle évolution modifiant en profondeur les perceptions de la société par rapport au voisinage de la mer a d'importantes implications sociologiques : sa mise en œuvre ne peut être entreprise sans un effort conséquent, en amont, pour sensibiliser les populations riveraines et les associer à la décision.

Il faut ici distinguer deux types de repli stratégique. Le premier, qui consisterait à opérer un véritable recul d'activités ou d'habitations humaines derrière une nouvelle ligne de protection, ne sera envisageable, à court et moyen terme, que dans des cas exceptionnels (peu d'impacts sociétaux ou particulièrement exposés au risque de submersion), sans autre alternative de protection. Dans une logique d'anticipation, le premier axe de travail pour limiter la survenue de ce cas de figure réside bien, comme l'a rappelé l'épisode Xynthia, dans la sensibilisation des élus vis-à-vis de l'attribution des permis de construire.

Mais le repli peut aussi consister à encadrer le retour de la mer dans des zones inhabitées préalablement gagnées par l'homme : c'est ce qu'on appelle la **dépoldérisation** programmée. Celle-ci peut être partielle, par l'aménagement de tuyaux ou d'écluses dans les digues, ou totale, par démantèlement de digue ou création de brèches. Souvent employées en Europe du Nord-ouest et surtout en Grande-Bretagne depuis une trentaine d'années, ces opérations cumulent en général des objectifs environnementaux, juridiques et touristiques, mais aussi défensifs : les marais salés ainsi obtenus jouent un rôle bien connu d'amortissement de la houle.

En France, l'idée ne suscite encore qu'un intérêt limité lorsqu'elle n'est pas perçue comme aggravant la vulnérabilité. Lancé dans le cadre du programme LITEAU, le projet BARCASUB a mené un diagnostic du potentiel de la dépoldérisation face au risque de submersion, en s'intéressant simultanément au rôle de la dépoldérisation comme forme de protection douce face à la mer, à son acceptabilité sociale et à son intérêt économique. L'étude, menée par l'UMR PRODIG, appuyée par quatre laboratoires de recherche et quatre gestionnaires (conseil général, conservatoire du littoral, conseil régional, syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon) s'est concentrée sur cinq sites de marais du bassin d'Arcachon, endigués,

dépourvus d'endiguement ayant subi une dépoldérisation accidentelle. Résolument interdisciplinaire, elle s'appuie sur des relevés topographiques et bathymétriques, un suivi sédimentaire et floristique des secteurs dépoldérisés, une modélisation prospective de la submersion, une enquête économique sous l'angle du consentement à payer et enfin une **étude sociologique** auprès de la population et des acteurs locaux.

Les premiers résultats obtenus du point de vue sociologique auprès de 539 enquêtés présents entre mai et juillet 2010 dans les polders étudiés (Lydie Goeldner-Gianella et F. Bertrand, Fréjus 2010) montrent que, s'ils sont souvent conscients du danger que constitue la submersion à l'échelle du bassin d'Arcachon,

A Malprat dans le bassin d'Arcachon (octobre 2008), un marais reconstitué à l'arrière d'une digue complètement érodée.



Crédit photo : L. Goeldner

les habitants du fond du bassin sont peu inquiets pour leur commune et pour l'avenir et ne perçoivent en général pas de risque pour leur logement – on retrouve le manque de « culture du risque » déjà évoqué. Les 2/3 des personnes interrogées se déclarent « favorables au retour de la mer ». Ce sont plus souvent de jeunes adultes, des gens venant dans les polders pour observer la nature, des résidents du bassin mais pas des communes proches et des gens venus d'ailleurs. Plus conscientes du risque présent et à venir, ces personnes se disent souvent prêtes à ne pas protéger la rive « à tout prix ». À l'inverse, un quart des sondés se disent opposés à la dépoldérisation ; ce sont souvent des personnes de plus de 46 ans, résidant à proximité des polders étudiés,

qu'ils parcourent régulièrement, pour la promenade mais aussi la chasse et la pêche. Entretenant un lien fort avec la mer, elles se déclarent peu conscientes du risque mais favorables à une protection globale des polders et des maisons.

En dépit de cette large acceptation du retour de la mer dans les polders, l'opinion des sondés quant aux différents modes de gestion au regard de chaque enjeu donne une préférence au renforcement des digues, comme le montre la figure 8.

Une autre étude en cours, financée par le programme GICC, s'intéresse plus globalement à la **perception du risque d'érosion littorale** lié au changement climatique dans plusieurs localités bretonnes, caractérisées par de forts enjeux en termes de dom-

Figure 8. Préférence dans les modes de gestion des digues en fonction de 4 enjeux – défensif, paysager, écologique et touristique. (Enquête sociologique, projet BARCASUB, Fréjus 2010).

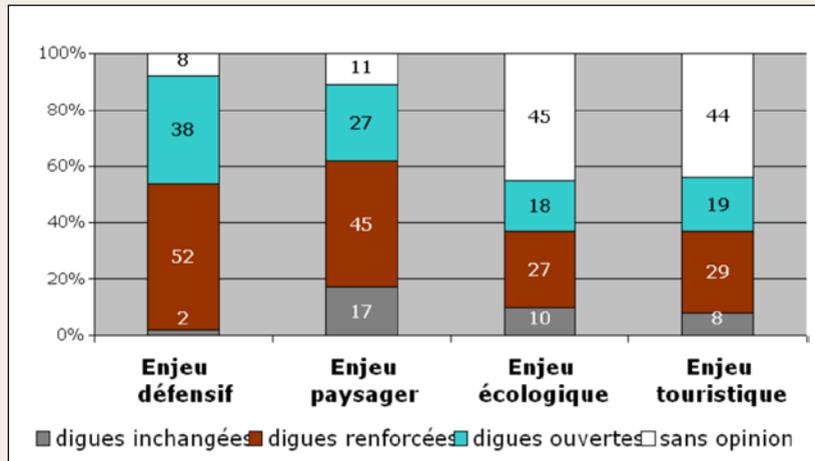
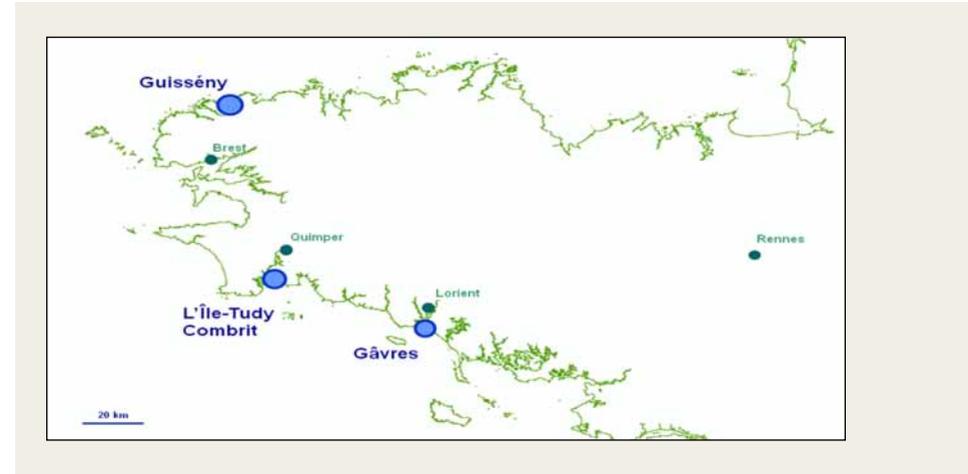


Figure 9. Site d'étude du projet ADAPTALIT



mages potentiels et une tendance à l'érosion-submersion : les communes de Gâvres, Morbihan, de Guissény, Finistère Nord, et de l'île Tudy, Finistère Sud (voir figure 9). Dans une optique résolument interdisciplinaire, ce projet baptisé ADAPTALIT (Capacités d'adaptation des sociétés littorales aux phénomènes d'érosion - submersion des côtes en prise avec les changements climatiques) associe des équipes de scientifiques chargés de documenter la connaissance des aléas locaux (topographie, cinématique du trait de côte, évolution du bâti) et des sociologues travaillant selon plusieurs méthodes complémentaires auprès de la population locale.

Les premiers résultats montrent que l'érosion est un phénomène bien connu et compris des habitants, qui la perçoivent comme une source d'inquiétude liée à

la réduction des plages, au recul des terres habitables et à l'isolement. Elle fait l'objet d'une vigilance partagée, en particulier à Gâvres où des digues ont été construites dans les années 50.

En revanche, le rôle du changement climatique dans l'aggravation observée de l'érosion côtière n'est pas clairement identifié à l'heure actuelle. Les habitants l'attribuent davantage aux activités humaines : les extractions par les Allemands pendant la seconde guerre mondiale puis lors de l'effort de reconstruction des villes, la mise en place plus tard d'aménagement pour les plaisanciers.

Ces études ne constituent qu'un début : l'adaptation des sociétés à la montée des eaux constitue à n'en pas douter un champ de recherche majeur en sociologie et en prospective pour les années à venir.

3.5 – Quel coût pour le changement climatique et l'adaptation ?

La volonté d'évaluer les services rendus par les écosystèmes s'est affirmée progressivement au cours des dernières décennies. Aux « rôles et intérêts patrimoniaux » prêtés aux milieux naturels dans les années 50 a succédé, dans les années 1970, la **notion de fonction écologique**, issue de la mise en évidence du fonctionnement des écosystèmes par les écologues écosystémiques. Les notions d'usages et de valeur des écosystèmes sont apparues dans les années 1980, avec les contributions de sociologues. Enfin, dès les années 1990, les économistes ont introduit l'**idée de services rendus par les écosystèmes et de bénéfices retirés par la société**.

Le Centre d'Analyse Stratégique a ainsi consacré un ré-

cent rapport à une « Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes » (CAS, avril 2009). Il rappelle notamment : « *La biodiversité et les écosystèmes au sein desquels elle s'exprime fournissent un grand nombre des biens et services qui soutiennent la vie humaine* ». En ligne avec les conclusions du *Millenium Ecosystem Assessment* de 2005, il distingue quatre types de services procurés par les écosystèmes : services de prélèvement (nourriture, eau, ressources), services de régulation (du climat, des maladies), services culturels (pédagogie, tourisme, pêche sportive), services d'auto-entretien, qui conditionnent le bon fonctionnement des écosystèmes (recyclage des nutriments, production primaire). Les

Polder accidentellement rendu à la mer à Graveyron, dans le Bassin d'Arcachon (mars 2011).



Crédit photo : L. Gouéliner



Crédit photo : Pietrzak Massu

performances des écosystèmes côtiers varient selon le type considéré (herbier, mangrove, récif corallien, vasière...), son « état de santé », sa localisation et ses interactions avec d'autres systèmes. Les effets des processus se font sentir localement ou à distance, immédiatement ou dans la durée.

Parmi les facteurs ayant une influence directe et sans équivoque sur les processus écosystémiques, la variabilité et les modifications climatiques viennent en premier et compliquent évidemment l'équation. La prise de décision demande maintenant d'analyser en termes économiques les coûts directs

ou indirects sur ces différents services (destruction, repli, conséquences sur les activités économiques ou la pêche), mais aussi les coûts de l'adaptation – mesures préventives, susceptibles de minorer les premiers.

Le chiffrage économique des coûts des impacts du changement climatique et de l'adaptation reste à l'heure actuelle une science difficile². Outil d'analyse indispensable aux gestionnaires, il constitue un axe de travail majeur pour les pouvoirs publics français, qui ont par exemple confié au Centre d'Analyse Stratégique en 2009 une nouvelle mission consacrée aux coûts

2. Le calcul du coût de l'adaptation doit prendre en compte la réduction des impacts potentiels du changement climatique, le coût de l'adaptation est donc, en partie du moins, « compensé ».

pour les secteurs économiques de la perte de biodiversité due au changement climatique, sur la base des scénarios A2 et B2 du GIEC. Cette préoccupation s'appuie sur un effort de recherche croissant, comme en témoignent notamment les derniers Appels à Propositions de Recherche des programmes LI-TEAU et GICC.

Une synthèse des données disponibles est fournie par un rapport intitulé « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France », produit entre 2007 et 2009 par un groupe de travail interministériel. Accessible sur le site de l'Onerc, ce document ne présente

pas d'entrée ciblée sur le littoral, mais aborde de manière sectorielle les impacts sur divers domaines, de l'agriculture à la santé, du tourisme à la foresterie. Les données d'observation, statistiques et analyses rassemblées à cette occasion, si elles restent perfectibles, fournissent une base précieuse pour la sensibilisation des décideurs.

À titre d'exemple, le tableau 2 présente quelques estimations des impacts économiques de la submersion marine sur les **infrastructures de transport** françaises, basées sur un inventaire des routes et chemins de fer situés à basse altitude.

Tableau 2. Estimation des impacts économiques de la submersion marine sur les infrastructures de transport françaises (Source : Rapport interministériel « Coûts des impacts du Changement climatique », 2008).

	Sous les niveaux marins centennaux - de 1 m	Entre les niveaux marins centennaux - 1 m et niveaux marins centennaux	Entre les niveaux marins centennaux - 1 m et niveaux marins centennaux + 1 m
Routes nationales dans la tranche concernée (km)	79	69	50
Autoroutes dans la tranche concernée (km)	160	141	54
<i>Si submersion permanente, perte du patrimoine Valeur monétaire moyenne M0 (2008) : 10 millions d'euros / km</i>			
Routes nationales	790 M0	690 M0	500 M0
Autoroutes (concédées et non concédées)	1 600 M0	1410 M0	540 M0
<i>Si submersion temporaire : réparation du patrimoine Valeur unitaire moyenne M0 (2008 : 0,25 à 0,50 Millions d'euros / km / épisode de submersion</i>			
Routes nationales	4,75 à 9,5 M0	17,25 à 34,5 M0	12,5 à 25 M0
Autoroutes (concédées et non concédées)	40 à 80 M0	35,25 à 70,5 M0	13,5 à 27 M0

Projet SURCOTE : une méthodologie prometteuse pour le zonage des zones submersibles.

Retenu dans le cadre de l'appel à projet LITEAU 2010, le programme de recherche SURCOTE (Subir, Réagir et s'adapter aux changements globaux : l'exemple de la côte des Havres du Cotentin) s'appuie sur une approche locale pour développer une méthodologie transposable à l'échelle nationale de gestion des changements globaux sur le littoral. Porté par une équipe pluridisciplinaire alliant sédimentologues, biologistes, géographes et juristes, ce projet s'appuie notamment sur un outil prometteur pour l'obtention d'une cartographie fine de la vulnérabilité des zones littorales face au risque de submersion : c'est le projet Clarc – contrôle par laser aéroporté des risques environnementaux côtiers. Cette technologie, qui permet de réaliser des relevés topographiques de haute densité (4 points par mètre carré) avec une précision de +/- 10 cm, peut couvrir jusqu'à 100 km² en une sortie aérienne. Une précieuse source de données pour documenter, par exemple, l'évolution du trait de côte et des habitats littoraux (platiers rocheux, dunes, vasières et marais...).

Si les coûts liés à la submersion marine occupent à l'heure actuelle une place importante dans les problématiques économiques liées au changement climatique, des enjeux essentiels sont également impactés par les effets de ce dernier sur les écosystèmes. C'est le cas en particulier de la pêche, pour laquelle un travail d'anticipation très important reste à faire. On peut cependant mentionner ici l'initiative du Centre scientifique de Monaco, qui a mené une étude sur les conséquences socio-économiques de l'acidification pour les pays méditerranéens (Nathalie Hilmi, Denis Allemand, CSM, Fréjus 2010). À la suite de Constanza *et al.* (1997), cette approche affirme que, si l'acidification peut réduire les revenus de la pêche, une stratégie de conservation

est envisageable à terme à condition de mettre en place des actions de gestion proactive.

Afin de produire des recommandations adaptées à l'échelle du bassin méditerranéen, le centre s'est appuyé sur une approche macro-économique du secteur de la pêche et de l'aquaculture, déclinée par pays et confrontée aux projections en termes d'acidification et aux connaissances actuelles sur la sensibilité à ce phénomène des différentes espèces. Moules, huîtres, oursins, coraux, crabes et araignées de mer sont identifiés à ce stade comme figurant parmi les plus menacés.

Il apparaît bien sûr que les impacts économiques de l'acidification seront différents d'un pays à l'autre, selon la

structure de leurs pêcheries et les espèces produites. Ainsi, la France sera globalement plus impactée que la Grèce, par exemple, du fait de sa structure de production. En revanche, l'huître creuse, bien implantée sur le littoral atlantique français, apparaît moins menacée par l'acidification que les huîtres plates d'Italie ou de Croatie.

De manière générale, l'étude recommande logiquement de favoriser l'aquaculture des espèces les plus tolérantes, d'ajuster les pratiques de pêche dans une logique d'adaptation et de diversifier les productions.

Pour aller plus loin dans cette démarche, il apparaît cependant nécessaire de disposer de connaissances plus avancées sur l'évolution locale des paramètres physico-chimiques de la Méditerranée et d'identifier plus précisément les espèces ou variétés les plus tolérantes à leurs différents stades de développement. ■



Crédit photo : Pierrzak Massu

4

Quelle politique scientifique pour appuyer les gestionnaires ?

Quelles pistes de recherche ?

Les contributions scientifiques en trois sessions thématiques ont permis d'apporter des réponses aux attentes exprimées par les gestionnaires du littoral en matière de climatologie, de biodiversité et d'aménagement du territoire. De nombreux points restent cependant encore à traiter, en attendant les précisions apportées par les résultats finaux de certains projets encore en cours. Les débats de Fréjus ont donc fait émerger un ensemble de pistes en vue d'une recommandation de politique scientifique. Ces pistes concernent :

- la descente d'échelle et la régionalisation des modèles
- la prévision décennale du climat
- le couplage entre modèles physiques et biologiques des océans
- le suivi des changements en cours, les indicateurs d'évolution
- la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des espèces marines
- la résilience des écosystèmes au cumul de perturbations
- la gestion du trait de côte
- la problématique des villes littorales
- l'analyse économique des impacts et de l'adaptation, comme outil d'aide à la décision

L'effort sans précédent mené actuellement sur le front de la climatologie doit tout d'abord être poursuivi et renforcé. La capacité à disposer de projections climatiques fiables et régionalisées reste une condition première de la gestion et de l'adaptation face au changement climatique. Si le caractère irréductible de l'incertitude est désormais intégré par tous, la **descente d'échelle** reste un axe de progression prioritaire. Les perspectives ouvertes sur la question de la **prévision décennale** suscitent également une forte attente. La perspective de la mise à disposition de scénarios et projections climatiques régionalisées pour les gestionnaires, via le portail du projet GICC DRIAS. *Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements*, a suscité un vif intérêt.

Par ailleurs, le difficile **couplage entre les modèles** physiques d'évolution océanique et les modèles biologiques – dynamique des populations, aires de répartition – doit être approfondi, au regard du grand intérêt de ces recherches du point de vue écologique mais aussi économique. L'anticipation des modifications à venir des organisations spatiales des poissons constitue, par exemple, un enjeu vital pour l'adaptation de la filière Pêche.

Plus globalement, la compréhension des impacts du changement climatique sur les milieux naturels marins et littoraux, exige en parallèle un suivi fin des modifications déjà observées. Nombre de gestionnaires se déclarent prêts à contribuer à ce suivi, mais déplorent l'absence de protocoles de suivi validés par les scientifiques. Le développement **d'indicateurs du changement climatique** pourrait faciliter ces démarches. Ce suivi pourrait être organisé **au sein d'observatoires régionaux**, coordonnés au niveau national, réunissant scientifiques et gestionnaires.

Un autre axe identifié comme prioritaire concerne l'acquisition de connaissances sur la **vulnérabilité des espèces** marines et littorales aux différents effets du changement climatique : modification des milieux, acidification, réchauffement. Ces données permettraient d'orienter les actions de protection, et d'adopter les bonnes décisions pour la pêche et l'aquaculture.

La protection des sociétés humaines face à l'élévation du niveau de la mer constitue l'autre grand champ de recherche. Si les questions liées à l'ingénierie côtière semblent pouvoir obtenir des réponses techniques précises à un horizon assez proche, la problématique plus large de la **gestion du trait de côte** sera le lieu d'arbitrages complexes entre fixation et repli stratégique, protection des enjeux économiques et limitation des impacts environnementaux.

Ces interrogations nécessiteront une collaboration accrue entre scientifiques et gestionnaires, et devraient se traduire par un fort développement des programmes de **recherches interdisciplinaires**, associant des équipes issues de l'ingénierie, des sciences physiques, des sciences de la vie et de la sociologie, à l'image de plusieurs projets lancés récemment par les programmes LITEAU (comme SURCOTE sur la côte des Havres en Normandie, BARCASUB sur la dépoldérisation dans le bassin d'Arcachon, et CAMADAPT en Camargue) et GICC (comme SAOPOLO qui vise à adapter les ouvrages de protection marine à la montée du niveau de la mer ou ADAPTALITT Capacités d'adaptation des sociétés littorales aux phénomènes d'érosion - submersion des côtes en prise avec les changements climatiques).

Les sciences sociales joueront un rôle de premier plan dans l'accompagnement des questions liées au repli stratégique,

à leur appropriation par les citoyens et les collectivités et à la diffusion d'une véritable culture du risque dans la société. Le cas **des villes littorales** devra faire l'objet de recherches spécifiques.

Enfin, le volet de **l'analyse économique du changement climatique** reste un axe de travail très prospectif. Il n'est pas moins essentiel, tant il conditionne la capacité de prise de décision des gestionnaires – y compris pour ce qui est du financement des actions de recherche. Les travaux initiés dans cette direction doivent être poursuivis et renforcés.

Là encore, la mise en œuvre de collaborations transdisciplinaires, associant économie, écologie et prospective, semble indispensable.

Les pistes de recherche dégagées ici alimenteront ainsi les réflexions conduites dans le cadre des deux programmes LITEAU et GICC. ■



Quelques références bibliographiques pour aller plus loin

IPCC, 2007. Synthesis report. <http://www.ipcc.ch>

Beaugrand G., F. Ibañez, J.A. Lindley, & P.C. Reid (2002a). Diversity of calanoid copepods in the North Atlantic and adjacent seas: species associations and biogeography. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 232: 179-195.

Beaugrand G., P.C. Reid, F. Ibañez, J.A. Lindley & M. Edwards (2002b). Reorganization of North Atlantic marine Copepod biodiversity and climate. *Science*, 296: 1692-1694.

Beaugrand G., C. Luczak & M. Edwards, (2009). Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean. *Global Change Biology*, 15(7): 1790-1803.

Ben Rais Lasram F., F. Guilhaumon, C. Albouy, S. Somot, W. Thuiller, & D. Mouillot, (2010). The Mediterranean Sea as a 'cul-de-sac' for endemic fishes facing climate change. *Global Change Biology*, 16(12): 3233-3245.

Bindoff N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley & A. Unnikrishnan, (2007). *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

CAS Centre d'Analyse Stratégique, (2009). Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes.

Cazenave A., & W. Llovel, (2010). Contemporary sea level rise. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 2: 145-173.

Cheung W.W.L., V.W.Y. Lam, & D. Pauly, Eds. (2008b). Modelling present and climate-shifted distribution of marine fishes and invertebrates. University of British Columbia, Fisheries Centre Research Reports 16(3): 72 p.

Cheung W.W.L., V.W.Y. Lam, J.L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, & D. Pauly, (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3): 235-251.

Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253 - 260 (15 May 1997)

Diaz R.J. & R. Rosenberg (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321: 926-929.

Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A. and Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Ann Rev Marine Sci* 1, 169-192.

Edwards M., G. Beaugrand, A.W.G. John, D.G. Johns, P. Licandro, A. McQuatters-Gollop, & P.C. Reid, (2009). *Ecological Status Report: results from the CPR survey 2007/2008*, SAHFOS Tech. Rep. 6: 1-12. <http://www.sahfos.ac.uk/research.aspx>

Edwards M., G. Beaugrand, G.C. Hays, J. Koslow, & A.J. Richardson, (2010). Multi-decadal oceanic ecological datasets and their application in marine policy and management. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(10): 602-610.

Hays G.C., A.J. Richardson & C. Robinson, (2005). Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6): 337-344.

Hilmi, N., Allemand, D., Jeffree, R. A. and Orr, J. C. (2009). Future economic impacts of Ocean acidification on Mediterranean seafood: First assessment summary. In *Proceedings of the ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment - MEDCOAST 09*, (ed. E. Özhan), SPA Hotel Belarus, Sochi, Russia., pp. 597-608.

Keeling R.F., A. Körtzinger, & N. Gruber (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar., Sci.* 2: 199-229.

Leterme S.C., M. Edwards, L. Seuront, M.J. Attrill, P.C. Reid & A.W.G. John, (2005). Decadal basin-scale changes in diatoms, dinoflagellates and phytoplankton colour across the North Atlantic. *Limnol. Oceanogr.*, 50(4): 1244-1253.

Levitus S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, & A. V. Mishonov (2009). Global ocean heat content 1955-2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07608. http://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/

MEEDTL (2010). La gestion du trait de côte. Ministère en charge de l'Écologie - Direction de l'eau de la Biodiversité DEB. Ed. Quae.

MEDDTL ONERC, (2008). Rapport interministériel Coûts des impacts du Changement climatique

Plan National d'Adaptation au Changement Climatique PNACC, site du Ministère en charge du développement durable MEDDTL, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Table-ronde-finale-de-la.html>

Polovina J.J., E.A. Howell, & M. Abecassis (2008). Ocean's least productive waters are expanding. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L03618. <http://www.melanie-abecassis.eu/recherche.html>

Reid P.C., M. Edwards, H.G. Hunt & A.J. Warner (1998). Phytoplankton change in the North Atlantic. *Nature*, 391: 546.

Le site web de GICC : <http://www.gip-ecofof.org/gicc>
Le site web de LITEAU : <http://www.liteau.ecologie.gouv.fr/>

ISBN 978-2-914770-03-3

Éditeur : Ecofor

Maquette et création graphique :
Inzemoon (06 75 24 19 30)

Achévé d'imprimer en mai 2011
par Printcorp à Saint-Brieuc

IMPRIMÉ EN FRANCE

