



**HAL**  
open science

## **Annexe F. Annexes du Groupe Biodiversité**

Vincent V. Badeau, Daniel Berthault, Cecile Blanc, Christophe Bouget, Isabelle Chuine, Jacques Courdille, Denis Couvet, Philippe-Jacques Dubois, Jean-Luc Dupouey, Cécile Edelist, et al.

► **To cite this version:**

Vincent V. Badeau, Daniel Berthault, Cecile Blanc, Christophe Bouget, Isabelle Chuine, et al.. Annexe F. Annexes du Groupe Biodiversité. 2009. hal-02817791

**HAL Id: hal-02817791**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02817791v1>**

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



EVALUATION DU COÛT DES IMPACTS DU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE ET DE L'ADAPTATION EN FRANCE  
Rapport de la deuxième phase

Partie V - Annexes des rapports  
thématiques

## D.3 Groupe Biodiversité

Les membres du groupe biodiversité sont, par ordre alphabétique d'organismes puis de noms :

CEMAGREF	Christophe Bouget	Entomologiste
CNRS	Isabelle Chuine	CEFE, Département Fonctionnement des Ecosystèmes, Biodiversité, Flux et Changements Globaux (BioFlux), évolution de la flore sous l'effet du changement climatique
CNRS	Emmanuel Gritti	Equipe BioFlux
CNRS	Wilfried Thuiller	Laboratoire d'écologie alpine (LECA), CNRS, Université J. Fourier Grenoble
Fondation de recherche pour la biodiversité	Pierre Zagatti	Chargé de mission à la FRB (INRA)
IFREMER	Philippe Gouletquer	Responsable scientifique Biodiversité marine, Direction de la prospective et stratégie scientifique
IFREMER	Philippe Gros	Responsable ressources halieutiques, Direction de la prospective et stratégie scientifique
INRA	Vincent Badeau	UMR 1137 INRA-UHP Ecologie & Ecophysiologie Forestières, Equipe Phytoécologie
INRA	Bernard Chevassus-au-Louis	Inspecteur général de l'agriculture (Vice-président du groupe)
INRA	Jean-Luc Dupouey	UMR 1137 INRA-UHP Ecologie & Ecophysiologie Forestières, Equipe Phytoécologie
LPO	Philippe-Jacques Dubois	Rédacteur d'un ouvrage sur CC et biodiversité, rapport ministériel sur avifaune indicatrice du CC
LPO	Michel Métais	Directeur général LPO
MAAP	Maryline Loquet	Chargée de mission, bureau de la stratégie environnementale et du changement climatique, DGPAAT (pilote du groupe agriculture-forêt)
MEEDDM	Pierre Meignien	Chargé de mission biodiversité, CGDD
MEEDDM	Cécile Blanc	Chargée de mission affaires communautaires et biodiversité, DEB
MEEDDM	Jacques Courdille	Chargé de mission agriculture – biodiversité (membre du Groupe agriculture), DEB
MEEDDM	Daniel Berthault	Chargé de mission eau (pilote du Groupe eau), DEB
MEEDDM	Luc Mauchamp	Chargé de mission forêt (membre du Groupe forêt), DEB
MEEDDM	Vanessa Nuzzo	Chargée de mission Études et expertises (Rapporteur), DEB
MEEDDM	Marie-Christine Salmona	Chargée de mission aménagement et territoires (membre du Groupe territoire), DEB

MEEDDM	Emmanuel Thiry	Chargé de mission zones humides, DEB
MEEDDM	Laëtitia Tuffery	Stagiaire, économiste de l'environnement, Université Paris-Sorbonne
MEEDDM	Michel Galliot	ONERC (membre du Groupe plénier), DGEC
MEEDDM	Bertrand Reysset	ONERC (membre du Groupe énergie), DGEC
MNHN	Denis Couvet	Directeur CRBPO
MNHN	Cécile Edelist	CRBPO
MNHN	Jacques Trouvilliez	Directeur du Service du Patrimoine Naturel
ONEMA	Nirmala Séon-Massin	Chargée de mission Changement climatique et biodiversité
Université Perpignan	Bernard Salvat	Professeur émérite Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE), UMR 5244 EPHE-CNRS-UPVD, Centre de Biologie et d'Ecologie Tropicale et Méditerranéenne, IFRECOR, ICRI

Le groupe a bénéficié des contributions de Lisa Russo et Caroline Berthon (SOGREAH), Géraldine Lasalle (CEMAGREF), Jean-François Soussana (INRA), Jade Isidore (CELRL) et de plusieurs personnes du MNHN. Elles en sont toutes remerciées.

## Annexe F Annexes du Groupe Biodiversité

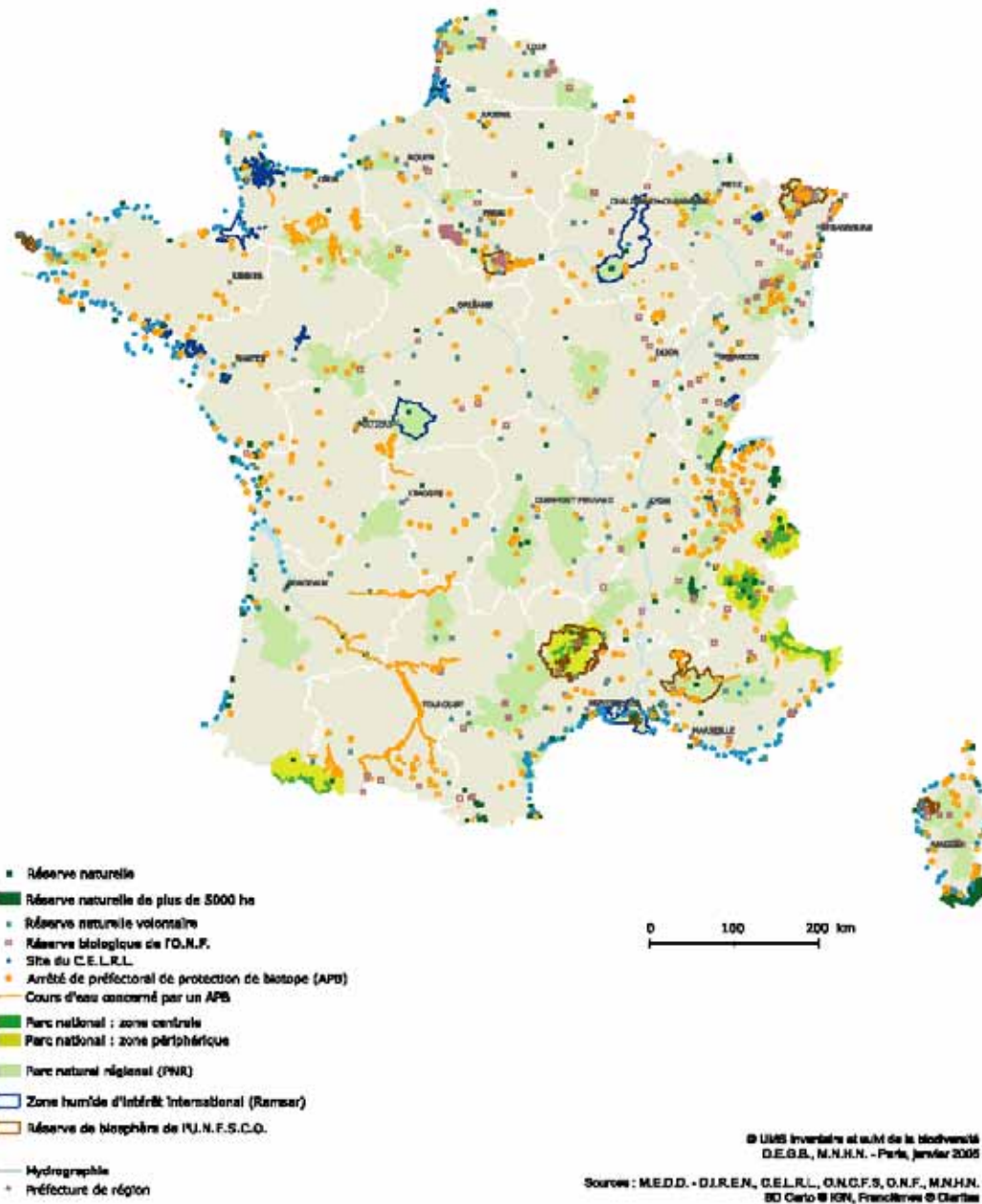
### F.1 Cartes : zones biogéographiques et espaces naturels protégés en France métropolitaine, zone économique exclusive marine française

#### Domaines biogéographiques en France métropolitaine

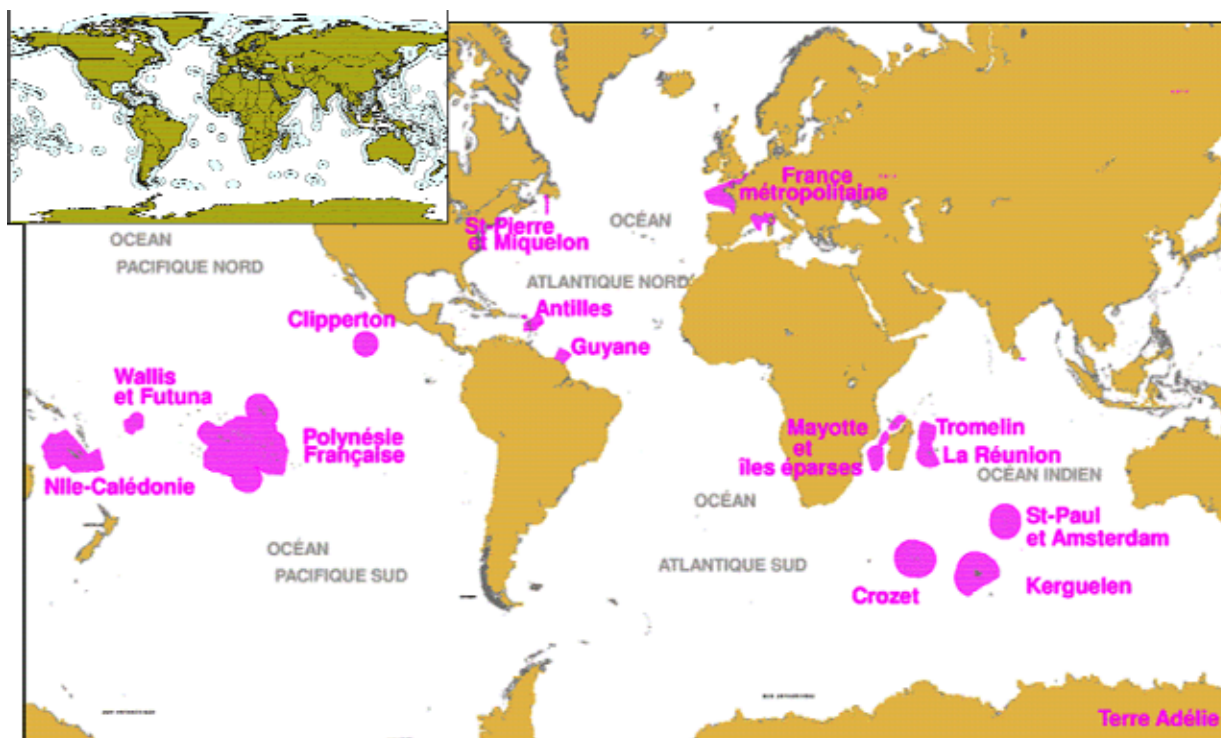


Carte 1 - Domaines biogéographiques en France métropolitaine

## Espaces naturels protégés



Carte 2 - Espaces naturels protégés de France métropolitaine (MEDD, DIREN, CELRL, ONCFS, ONF, MNHN, 2005)



Carte 3 - Zone économique exclusive (ZEE) française (SHOM)

Cartouche en haut à gauche (FAO) : ensemble mondial des ZEE.

Grâce à l'Outre-mer, la France exerce sa responsabilité sur une ZEE<sup>2</sup> de 11 millions de km<sup>2</sup> (en Atlantique, dans l'Océan Indien, dans le Pacifique sud et en Antarctique, cf. Carte 3). Près de la moitié de cette superficie revient à la Polynésie française, contre seulement 3% à la France métropolitaine (350 000 km<sup>2</sup>, Corse comprise).

<sup>2</sup> La Convention sur le Droit de la Mer fixe à 12 milles marins la largeur de la mer territoriale, espace de souveraineté, et à 200 milles celle de la Zone Économique Exclusive (ZEE), dans laquelle l'exploitation des ressources naturelles de la colonne d'eau, des fonds et du sous-sol est soumise aux droits souverains de l'État côtier. Au delà, le droit est défini par exclusion : est de la « haute mer » ce qui ne relève ni de la mer territoriale, ni de la ZEE – c'est le domaine où la règle est celle de la loi du pavillon. Le fond et le sous-sol de la haute mer sont patrimoine commun de l'humanité (les concessions d'exploitation sont octroyées par l'Autorité internationale des fonds marins).

## F.2 Impacts du changement climatique sur la biodiversité : outils de la connaissance

Connaître les impacts du changement climatique (et plus largement, du changement global) sur la biodiversité, suppose un recueil de nombreuses données, leur mise en forme, l'extraction et la valorisation de ces données pour répondre à des questions précises. Cette annexe vise à illustrer à travers des exemples les différents outils utilisés pour améliorer cette connaissance<sup>3</sup>. Elle s'attache aussi à fournir des éléments d'analyse sur les incertitudes liées à ces outils, en particulier concernant la modélisation.

### F.2.1 Observations et suivis de terrain

Les observations permettent de tirer des enseignements sur la réponse des espèces et des écosystèmes aux changements globaux. Elles permettent par exemple de focaliser sur les groupes d'espèces les plus menacés, les plus concernés par tel ou tel impact. Les techniques d'étude varient depuis la collecte d'informations éparses à l'analyse fine des données de stations biologiques recueillies sur le long terme, en passant par des séries d'observations basées sur des protocoles standards. Les longues séries temporelles sont toutefois rares.

Les observations alimentent les approches purement corrélatives et les approches fonctionnelles. Dans le cas des approches corrélatives, il est toujours délicat de certifier une relation causale entre le modèle d'étude (ex. changement d'aire de répartition) et le paramètre d'intérêt (ex. augmentation de température). Toutefois, les observations peuvent révéler des relations trophiques complexes difficilement modélisables. Dans le cas où une relation robuste est montrée entre, par exemple, un changement d'aire de répartition et un facteur climatique, cette relation peut être utilisée pour inférer ce qui pourrait se passer dans le futur et proposer des grandes tendances d'évolution pour une période proche. Ces tendances sont parfois utilisées pour décrire l'évolution d'autres espèces proches sur le plan génétique ou fonctionnel.

Dans le cas des approches fonctionnelles, des seuils de résistance peuvent être dérivés des observations de terrain. Par exemple, les observations de dépérissement et de mortalité peuvent être analysées en regard d'intensité des stress hydriques de façon à déterminer des « seuils écophysologiques ».

D'une façon générale, les analyses *in situ* ne permettent pas toujours de s'affranchir de la multitude de facteurs influençant un site d'étude, ou de l'aire de répartition d'une espèce. On peut citer les perturbations naturelles (chablis, avalanche) ou intentionnelles (incendie, destruction) ainsi que les modifications de l'usage des terres qui influent souvent de manière directe et immédiate sur une espèce ou un écosystème.

---

<sup>3</sup> A savoir les observations et suivis de terrain, la mobilisation d'observatoires et de systèmes d'information, le renseignement d'indicateurs, les expérimentations de terrain et la modélisation.



#### Encadré 1 - Méthodes de suivi des effets du changement climatique sur différents milieux

Les récifs coralliens sont suivis qualitativement et quantitativement dans certaines localités où ne s'exerce aucune influence anthropique (ex. pentes externes des atolls de Polynésie française). Un suivi depuis deux décennies documente les effets induits (fréquence et intensité) par le changement climatique.

Le réseau Gloria vise à suivre les effets du changement climatique en haute montagne (ex. Alpes, Andes), se départissant ainsi au mieux des effets anthropiques.

Le milieu marin côtier et hauturier dispose de plusieurs dispositifs de suivi pilotés par les stations marines (souvent pour les milieux côtiers), des réseaux de surveillance nationaux, et au travers du recensement des produits de l'exploitation de l'océan (statistiques des pêches, système d'information halieutique notamment). Ainsi, le dispositif « *Continuous plankton recorder* » renseigne-t-il depuis plus de 75 ans sur la répartition, l'abondance et la structure des communautés planctoniques. Néanmoins, le 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC fait état du faible nombre de séries disponibles en biologie marine comparé à la quantité d'information disponible en biologie terrestre. Cette situation résulte des difficultés techniques propres à l'acquisition des données en écologie marine, ainsi qu'à leur coût (réalisation de campagnes scientifiques à bord de navires océanographiques équipés d'engins et d'une instrumentation spécialisés, étendue du domaine d'investigation).

Les forêts font l'objet de dispositifs assez complets, bien qu'encore trop peu articulés, depuis les sites instrumentalisés de F-ORE-T, l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) sur le Fonctionnement des Écosystèmes Forestiers géré par le GIP ECOFOR, aux inventaires périodiques réalisés par l'Inventaire forestier national (IFN), en passant par les placettes du réseau RENECOFOR de l'Office national des forêts (ONF), ou encore les observations du département de la santé des forêts (DSF) du Ministère en charge de l'agriculture. Ce dispositif produit régulièrement des synthèses de l'évolution de la biodiversité forestière et des peuplements, de manière intégrée dans un suivi continu des forêts au niveau européen.

### F.2.2 Systèmes d'information et observatoires

En raison de leur maillage territorial et de leur durabilité, les observatoires et les systèmes d'information permettent également la mise en évidence de tendances temporelles ou de divergences spatiales.

On peut citer, au plan national, les suivis de l'avifaune (programme STOC Suivi temporel des oiseaux communs), les suivis phénologiques de la flore et la faune, les suivis de l'entomofaune (Observatoire des Papillons de jardin). Ils permettent via des analyses statistiques d'isoler l'effet du changement climatique avec un intervalle de confiance satisfaisant. Ce type de suivis mérite d'être développé aux côtés (i) des stations biologiques plus à même de réaliser des relevés précis de nombreux paramètres sur de longs pas de temps, et (ii) d'observatoires non participatifs étendus à une échelle plus fine et sur d'autres groupes taxinomiques que les dispositifs mentionnés ci-dessus. Au plan régional, d'autres suivis de ce type sont effectués sur diverses catégories d'organismes vivants par des laboratoires de recherche et des associations. Ces suivis sont permis tant par des actions de science participative que par la mobilisation de réseaux d'experts chevronnés.

De plus, on relève l'intérêt de fonder la connaissance des effets du changement climatique sur les observatoires dédiés à leur suivi et évaluation (ex. ONERC, observatoire des saisons, Cf. Encadré 4 et Encadré 5), et sur des observatoires non dédiés couvrant un large champ de données et d'utilisations (ex. SINP, Vigie Nature, Cf. Encadré 2 et Encadré 3).

*Encadré 2 : Le Système d'information sur la nature et les paysages*

Le SINP est une démarche destinée à coordonner les producteurs de données dans les domaines de la nature et des paysages. Son organisation repose d'une part sur un comité national regroupant des représentants des producteurs nationaux (scientifiques, collectivités territoriales, ONG, Etat) définissant les grandes orientations et, d'autre part, sur des comités régionaux organisés par les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) en association avec les régions afin de définir les orientations régionales. Au plan scientifique, une « coordination scientifique » rassemble les responsables scientifiques en deux collèges : le collège nature animé par le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) et le collège paysage animé par le laboratoire Dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS) du CNRS. Une organisation particulière du volet mer du SINP permet de prendre en compte les spécificités de ce sujet en s'appuyant particulièrement sur l'Agence des aires marines protégées et l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer).

Le SINP s'appuie sur un catalogue des données, des référentiels scientifiques et géographiques communs, des méthodes de production et de contrôle validées scientifiquement ainsi que des conditions d'utilisation homogénéisées et conformes à la réglementation. Cette organisation permet d'apporter un appui aux producteurs de données, notamment dans la fourniture de référentiels géographiques communs et l'élaboration d'outils informatiques mutualisés de collecte et d'analyse des données.

Un portail d'information pour les acteurs du SINP a été mis en place à l'adresse <http://www.naturefrance.fr/>.

*Encadré 3 : Vigie nature*

Vigie nature est un réseau intégré d'observatoires, l'objectif étant de suivre un nombre significatif de groupes d'espèces communes. Actuellement, quatre observatoires sont opérationnels : Oiseaux Communs (1000 sites, depuis 1989), chauve-souris (30 départements, depuis 2006), papillons de jours (plus de 100 sites, depuis 2006), papillons des jardins (plus de 5000 jardins, depuis 2006), ou OPJ. D'autres sont à l'étude, notamment sur les plantes, amphibiens, escargots, orthoptères et coléoptères.

L'expérience de l'OPJ a été particulièrement fructueuse en termes de participation. Les nombreuses données apportent des informations précises sur l'ensemble du territoire national. Les régions les plus industrielles semblent les plus pauvres en diversité, de même que, de manière plus étonnante, le Languedoc.

*Encadré 4 : L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'outre mer*

L'une des missions de l'ONERC est de collecter et diffuser les informations, études et recherches sur les risques liés au réchauffement climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes.

L'observatoire recense les activités existant dans les différents organismes opérationnels et de recherche. Il peut proposer des évolutions de ces activités pour mieux répondre aux besoins de connaissance des impacts du réchauffement climatique en France, en vue d'une meilleure information des décideurs à tous les niveaux. L'observatoire fonctionne en liaison avec les organismes où se trouvent les compétences scientifiques (CNRS, Météo France, IRD...) au moyen d'un réseau de concentration et de diffusion des informations, couvrant la Métropole et l'Outre-mer. L'ONERC organise la collecte des informations et les rassemble dans sa banque de données.

Pour plus d'informations : <http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html>

*Encadré 5 : L'Observatoire des saisons*

Dans le contexte actuel de changement climatique, la phénologie revêt une importance croissante dans de nombreux domaines de recherche fondamentale et appliquée. C'est dans ce cadre qu'a vu le jour l'Observatoire des saisons, réseau amateur d'observations des rythmes saisonniers à l'échelle nationale qui favorise :

- une participation citoyenne à la recherche grâce à trois sites Internet mis à la disposition des citoyens. Chacun de ces sites met à disposition du public des protocoles très simples pour effectuer des observations sur le cycle de vie de plantes et d'animaux rencontrés fréquemment sur le territoire. Ces observations alimentent au fur et à mesure une vaste base de données.
- une sensibilisation du public à l'environnement et au changement climatique, à travers l'observation par le participant de son environnement local et des organismes qui y vivent. L'ODJ permet, même pour un public citoyen, de prendre conscience du monde vivant qui l'entoure et des modifications qu'entraîne le changement climatique sur celui-ci.

Pour plus d'informations : [www.obs-saisons.fr](http://www.obs-saisons.fr)

### **F.2.3 Indicateurs d'impacts du changement climatique sur la biodiversité**

Au niveau européen, le processus « Streamlining European 2010 Biodiversity Indicators » (SEBI 2010) a permis de mettre au point un jeu d'indicateurs simple et facile d'utilisation (EEA, 2009), parmi lequel a été défini un indicateur d'impact du changement climatique sur les populations d'oiseaux (Figure 2). Dans une évaluation portant sur 122 espèces d'oiseaux européens largement distribués, 92 ont été observés comme étant négativement affectés par le changement climatique (réchauffement), contre 30 positivement.

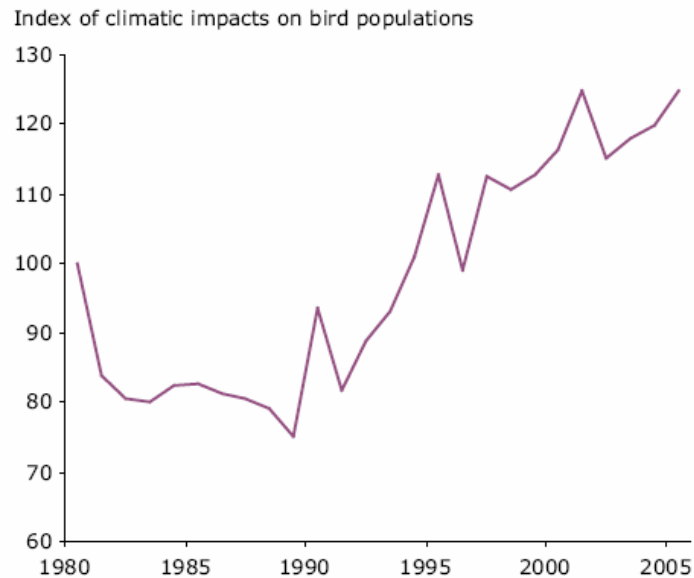


Figure 2 - Indicateur d'impact climatique pour les oiseaux européens (Gregory et al., 2009)

L'indicateur montre que l'impact du changement climatique sur des populations d'oiseaux largement distribuées a augmenté fortement durant les vingt dernières années.

Au niveau français, un indicateur a été mis au point par les ornithologues du Muséum National d'Histoire Naturelle, à partir des données collectées par le programme de suivi temporel des oiseaux communs (STOC) qui donne également une bonne idée de l'impact du changement climatique sur 15 espèces (dont 14 passereaux) aux affinités septentrionales (Jiguet *et al.*, 2006 ; 2007)<sup>4</sup>. Cet indicateur reflète l'évolution par espèce des effectifs d'oiseaux communs nicheurs.

Une analyse des taux de croissance de 71 espèces sur 17 ans en France a confirmé que les espèces spécialistes sont en déclin, et a montré un lien entre le déclin et une mesure de la niche climatique que ces espèces occupent en Europe. En effet, les espèces qui nichent à des températures maximales moins élevées sont plus en déclin. Pour simplifier, les espèces septentrionales sont plus en déclin que les autres en France. Cette analyse s'est basée sur l'estimation du maximum thermique des espèces en Europe, à partir des données de température moyenne des mois de mars à août sur toutes les cases de l'atlas européen des oiseaux nicheurs où une espèce niche en Europe. En considérant les 5% des cases aux températures moyennes les plus élevées, on obtient le maximum thermique d'une espèce en Europe, à savoir les températures maximales sous lesquelles une espèce niche en Europe.

Si l'on considère ensuite les 15 espèces qui présentent le maximum thermique le plus faible, qui nichent en France et qui sont suivies par le STOC, on peut construire un indicateur qui synthétisera le devenir de ces espèces sensibles au réchauffement climatique. Cet indicateur est présenté sur la Figure 3, et atteste une diminution très importante de ces espèces, de l'ordre de 40%, ce qui est bien au-delà de ce que l'on constate pour les espèces spécialistes (que l'on retrouve en grande partie dans ce groupe d'espèces septentrionales).

<sup>4</sup> Les 15 espèces « septentrionales » prises en compte sont les suivantes : pipit farlouse, pouillot fitis, mésange boréale, bouvreuil pivoine, roitelet huppé, accenteur mouchet, pouillot siffleur, mésange huppée, tarier des prés, bruant jaune, fauvette des jardins, pipit des arbres, corbeau freux, mésange nonnette et pigeon colombin.

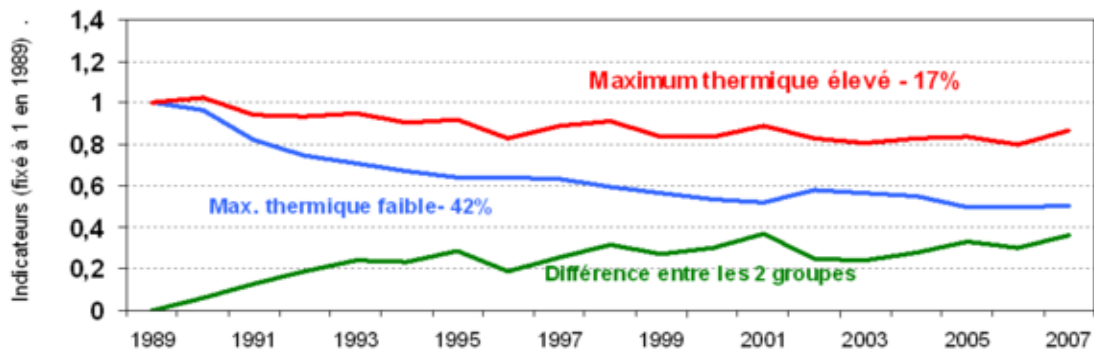


Figure 3 - Indicateur d'impact du changement climatique sur les oiseaux communs nicheurs sur la France métropolitaine et sur la période 1989-2007 (CRBPO-MNHN)

Dans le domaine marin, l'analyse des séries temporelles du Continuous plankton recorder (CPR) (Figure 4) a mis en évidence des changements significatifs dans l'abondance, la répartition, la structure des communautés et la dynamique des populations du plancton, principalement dus à l'augmentation de la température de surface et aux variations de l'hydrodynamisme. L'analyse taxinomique du plancton échantillonné par le CPR a aussi révélé des changements de nature phénologique, à savoir des désynchronisations entre cycles de développement dus à des décalages temporels qui diffèrent selon les taxons. L'amplitude et la vitesse des déplacements de l'aire de répartition des populations zooplanctoniques en réponse au changement climatique sont parmi les plus grandes conséquences observées chez les animaux, qu'ils soient marins ou terrestres.

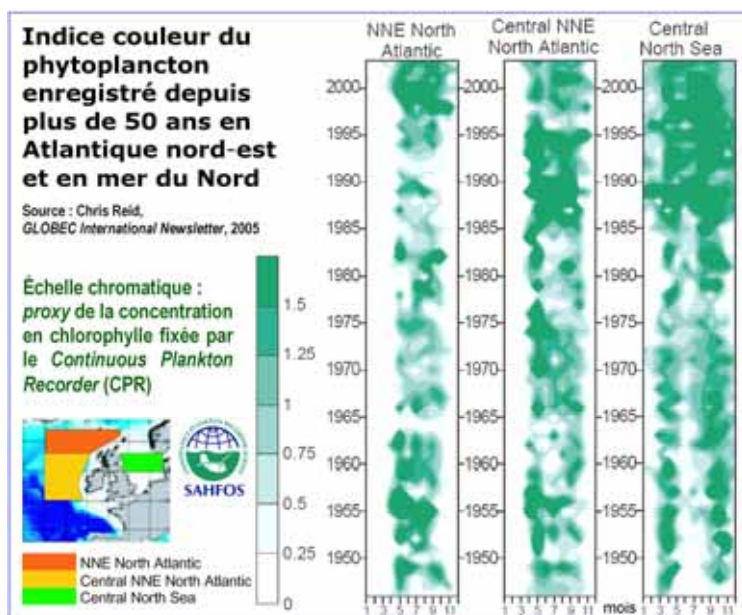


Figure 4 - Évolution mensuelle pluridécennale de l'indice couleur du CPR (proxy de la biomasse phytoplanctonique) (Reid et al., 1998, mis à jour)

En mer du Nord (cartouche, à droite), la concentration en chlorophylle augmente à partir du milieu des années 1980, et la période de production primaire s'étend (les booms de printemps et de fin d'été fusionnent). C'est l'une des manifestations locales d'un changement de régime climatique déterminé par une modification à grande échelle des forçages hydro-météorologiques (température, intensité et direction des vents, circulation des masses d'eau).

#### F.2.4 Expérimentations de terrain

Les expérimentations de terrain permettent de recréer, en conditions contrôlées, une partie des changements globaux attendus dans les prochaines années sur un écosystème ou une communauté d'espèces et d'en mesurer sa réponse ou résilience. On peut citer les expérimentations en milieu naturel où par exemple des écosystèmes naturels sont soumis à un réchauffement par système FATI (*Free Air Temperature Increase*) à l'aide de lampes infrarouge pour simuler des scénarios de changement de température sur la végétation, ou bien encore à une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> par système FACE (*Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment*) pour mesurer son effet sur la croissance des cultures ou des forêts<sup>5</sup>. De manière plus intégrée, les Ecotrons<sup>6</sup> permettent de recréer des écosystèmes naturels dans un environnement totalement contrôlé. Les quantités de nutriments, d'eau, de concentrations de gaz atmosphériques sont contrôlées et permettent de mesurer les effets interactifs entre ces différents composants sur la maintenance de la dynamique d'un écosystème.

Le degré de complexité et la difficulté de multiplier ces sites ultra-équipés en font des systèmes de référence impossibles à généraliser à l'ensemble de la biodiversité. À l'opposé des observations, le fait de contrôler toutes les arrivées sur le système permettent uniquement de mesurer les réponses du système aux variables d'intérêts mais ne permettent pas de savoir si *in situ* les réponses seront les mêmes. Les expérimentations sont souvent des systèmes très simplifiés qui n'existent pas forcément à l'état naturel en tant que tel, mais sont des représentations succinctes de systèmes de référence.

Les expérimentations sont toutefois indispensables pour valider des hypothèses sur le fonctionnement des espèces et écosystèmes et sont des sources d'information importantes pour paramétrer et éprouver les outils de modélisation.

<sup>5</sup> [www.carboeurope.org](http://www.carboeurope.org)

<sup>6</sup> <http://ecotron.fr/>

## F.2.5 Modélisations

La modélisation consiste à créer une représentation simplifiée d'un système. Virtuellement, il existe donc autant de modèles que de questions. Pour étudier les effets possibles des changements globaux sur la biodiversité, trois types de modèles peuvent être discernés selon leur conceptualisation<sup>7</sup> :

- a. modèles de niche ou d'habitat ;
- b. modèles de dynamique de la végétation ;
- c. modèles individus-centré.

### a. Modèles de niche ou d'habitat

Ce premier type de modèle, de loin le plus utilisé dans le contexte du changement global, travaille à l'échelle de l'espèce ou du groupe d'espèces. Il relie de manière statistique la distribution actuelle d'une espèce donnée à des variables de milieu (climat, sol, végétation, utilisation des terres, etc.) permettant de déduire la niche écologique\* de l'espèce, c'est-à-dire les conditions de milieu permettant à l'espèce de maintenir une population. La représentation géographique de cette niche peut ensuite être projetée dans le futur en fonction des différents scénarios de changements globaux envisagés et des espèces étudiées. Le choix des descripteurs du milieu est donc un aspect crucial dans la conception des modèles de niche, ainsi que le modèle statistique employé et de ses hypothèses de base.

L'intérêt premier de cette approche est le fait de pouvoir travailler sur un nombre illimité d'espèces animales ou végétales, si leur distribution est connue (ex. Biomod, Stash).

Le principal problème concerne leur concept corrélatif qui suggère que les espèces ne s'adapteront pas au changement et que leurs distributions actuelles reflètent parfaitement leurs exigences. Toutes les variables environnementales potentiellement explicatives n'ont pas forcément un lien de cause à effet avec la présence de l'espèce étudiée. La sélection des variables dans les modèles est donc une étape clé. Le second problème est que ces modèles sont calibrés à partir d'un jeu de données environnementales « actuel ». Si le changement climatique transforme les relations existant entre ces paramètres, les modèles de niches calibrés sur des périodes historiques ne sont plus valides pour le futur. On sait par exemple que, outre ses effets sur le climat, le CO<sub>2</sub> agit de façon directe sur la photosynthèse et la transpiration. Il est possible qu'au cours du siècle à venir cet effet « anti-transpirant » améliore le bilan hydrique des peuplements forestiers dans un contexte général de dégradation de ce bilan (augmentation des températures et diminution des précipitations). De telles rétroactions ne peuvent pas être prises en compte dans les modèles de niche.

D'autres modèles à base plus mécaniste existent. Par certains aspects, ils peuvent être également qualifiés de « modèles de niche » mais ils sont, en théorie, plus robustes que les modèles de niche purement statistiques. Ils permettent de modéliser la niche d'une espèce grâce à la connaissance fondamentale de quelques processus qui lui permettent de survivre et de se reproduire (ex. Phenofit, Biosim), ou d'estimer une croissance, une productivité, une mortalité (ex. Castanea) dans un milieu donné. Pour reprendre l'exemple ci-dessus, ces modèles peuvent intégrer les effets directs du CO<sub>2</sub> puisqu'ils intègrent les fonctions mathématiques décrivant la photosynthèse. Ces modèles peuvent donc être utilisés en dehors de leur période temporelle de calibrage et se révèlent d'une utilité croissante. Malheureusement, ces modèles requièrent un niveau de connaissance très important sur la biologie des espèces. Ils sont peu applicables à un grand nombre d'espèces et ne prennent en compte qu'un nombre limité de processus physiologiques.

---

<sup>7</sup> À l'heure actuelle, tous ces modèles ou types de modèles, sont complémentaires. La confrontation de leurs résultats permettra de définir les zones de consensus et donc de limiter les incertitudes liées à leur conceptualisation.



#### b. Modèles de dynamique de la végétation

Les modèles globaux de dynamiques de végétation (ex. LPJ-GUESS, Caraib, Orchidée) travaillent à l'échelle de groupes d'espèces (« Types fonctionnels de plantes » ou TPF) et des écosystèmes.

Initialement développés pour estimer les échanges de matière (eaux, carbone...) et d'énergie entre la végétation et l'atmosphère, ils sont capables de simuler la quantité et le type de biomasse végétale présente dans un écosystème en fonction des conditions climatiques, de l'âge de la formation et des perturbations éventuelles engendrées par l'homme (gestion forestière, incendies) au travers de descriptions explicites des différents processus écophysologiques (photosynthèse, respiration, transpiration, allocation...) qui régissent les écosystèmes végétaux. Ces modèles sont partie intégrante des modèles de la dynamique climatique afin de rendre compte des effets rétroactifs que peut avoir la végétation sur le système climatique. Ils sont d'un intérêt fondamental pour l'étude des effets des changements globaux sur la productivité, le maintien et la dynamique des écosystèmes mais d'un intérêt moindre pour simuler la réponse de la biodiversité aux changements globaux, et ne fonctionnent que sur la végétation.

#### c. Modèles individus-centré

Il existe une multitude de modèles individus-centrés (ex. Zelig, TreeMig) qui travaillent à l'échelle de la parcelle ou du paysage. Initialement développés pour simuler la dynamique d'une espèce ou d'un écosystème particulier dans une zone bien définie et bien étudiée, ils ont l'intérêt d'être très précis et particulièrement robustes. Ce sont les outils de choix pour simuler la dynamique populationnelle d'espèces rares et protégées. Ils sont beaucoup plus limités pour la généralisation et la modélisation d'un grand nombre d'espèces compte tenu de la quantité d'information qu'ils nécessitent.



#### Encadré 6 - Quelques incertitudes liées à ces modèles

Pour les modèles de niche statistique, la première source d'incertitude provient des données utilisées pour la calibration : les données de présences/absence des espèces tout d'abord ; les données climatiques actuelles et les autres facteurs abiotiques ; les facteurs biotiques.

Il est également nécessaire d'insister sur l'absence totale d'informations concernant les facteurs biotiques : interactions entre les espèces ; avec la flore microbienne des sols ; avec les organismes pathogènes ; avec les usages anciens des terroirs ; avec les polluants atmosphériques, etc. Ces facteurs ne peuvent actuellement pas être pris en compte dans les modèles de tout type. D'une façon générale, il est très difficile de séparer les seuls effets liés au climat de l'ensemble des effets liés aux changements globaux.

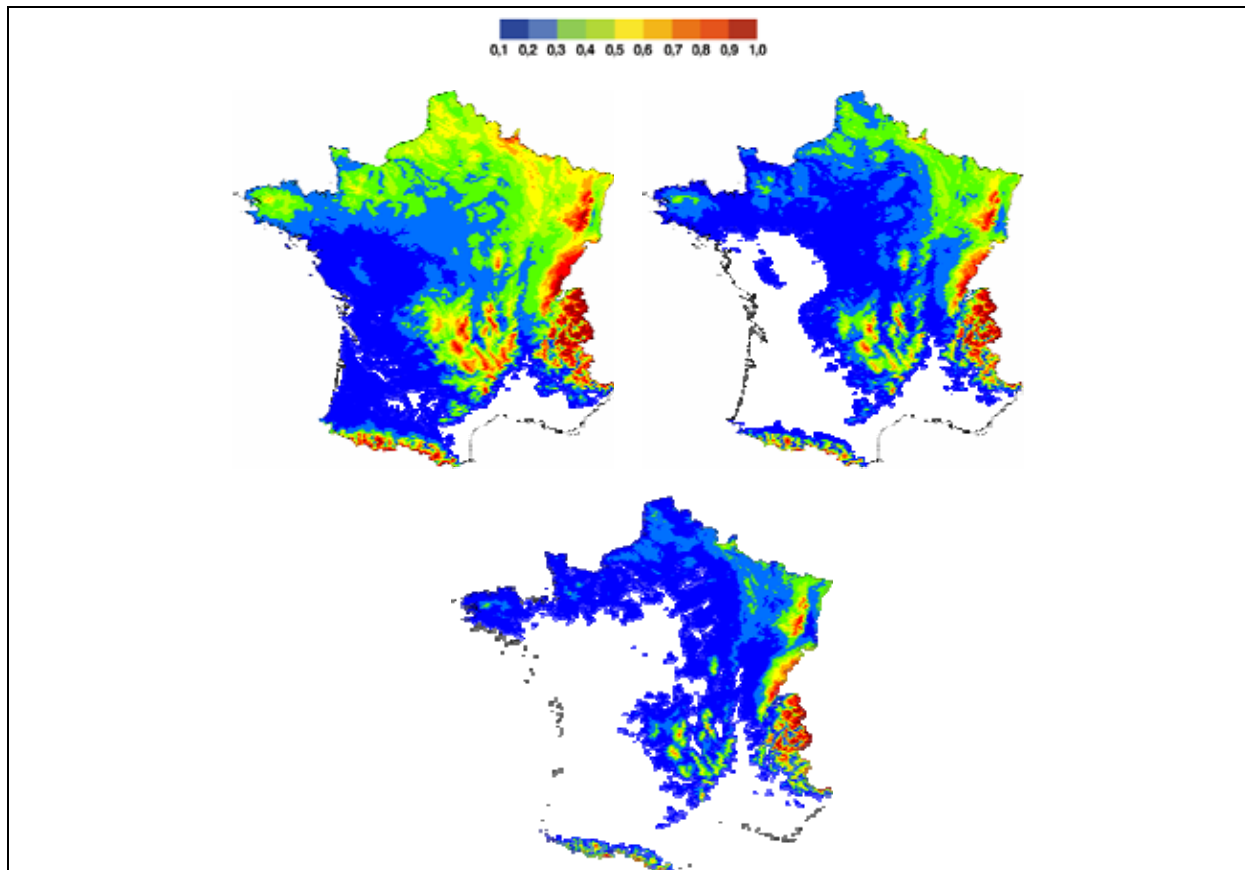
Une autre incertitude, concernant tous les modèles listés précédemment, repose sur la notion de dispersion. Aucun d'entre eux ne prend en compte explicitement les capacités de dispersion des espèces, due principalement à la difficulté de modéliser correctement le processus de dispersion. La plupart des modèles existants donne une vue soit optimiste (dispersion illimitée) soit pessimiste (pas de dispersion). Les modèles mécanistes sont *a priori*, et d'un point de vue conceptuel, plus robustes que les modèles de niche purement statistiques. Cependant, ils requièrent une connaissance approfondie des processus physiologiques et écophysiologiques propres à chaque espèce. Des avancées notables ont été réalisées depuis plusieurs années mais ces connaissances fondamentales ont été obtenues sur un nombre limité de grandes espèces ligneuses sociales intéressantes d'un point de vue économique (pin maritime, hêtre, chênes). De telles connaissances ne sont pas ou peu disponibles pour les essences dites secondaires, et encore moins pour toutes les espèces herbacées et muscinales composant la flore accompagnatrice et qui représentent, de loin, le plus gros réservoir de biodiversité végétale des forêts. Dans le domaine forestier, les incertitudes sur le fonctionnement des espèces s'ajoutent donc aux incertitudes sur le climat futur.

À ceci s'ajoutent les incertitudes liées aux modèles climatiques, aux scénarios d'émission, aux méthodes de désagrégation des projections climatiques.

Enfin, la plupart des modèles existants peuvent reproduire le « comportement » d'une espèce dans un climat « moyen ». Les changements graduels sont donc modélisables. Cependant, des changements brutaux sont à craindre, du type tempête, inondation, sécheresse extrême, mais ne peuvent pas, ou encore très difficilement, être modélisés. Pour les essences forestières en particulier, de nombreuses études ont montré que des stress subis une année donnée peuvent avoir des conséquences sur la physiologie des arbres (croissance, état sanitaire, etc.) pendant plusieurs années, voire plusieurs décennies. La persistance de ces « arrières effets » est très variable selon les espèces et les processus physiologiques conduisant à la mortalité sont encore mal connus.

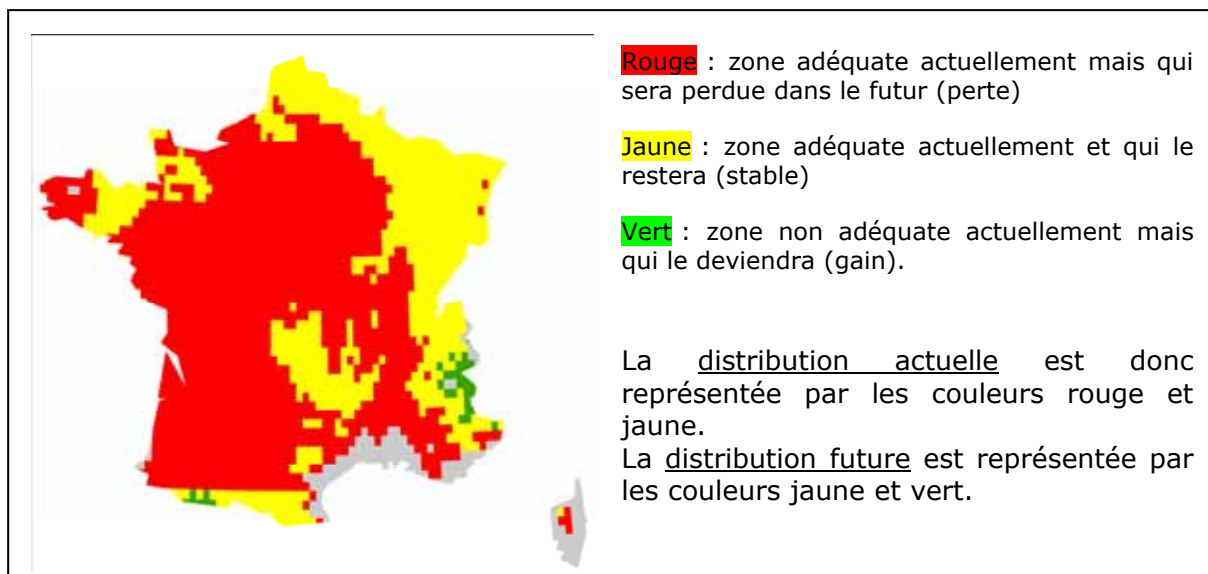
### F.3 Future aire de répartition du hêtre : comparaison entre modèles

Cette annexe montre, à partir du cas du hêtre (*Fagus sylvatica*), la convergence des résultats obtenus malgré l'utilisation de modèles différents (présentés précédemment). Effectivement, ces résultats mettent en avant de fortes dissimilarités entre les prévisions à l'échelle locale et régionale en fonction du type de modèle de végétation utilisé. Mais ces résultats convergent tous vers une forte décroissance des performances des écosystèmes forestiers de type hêtraie sur la quasi totalité du territoire français.



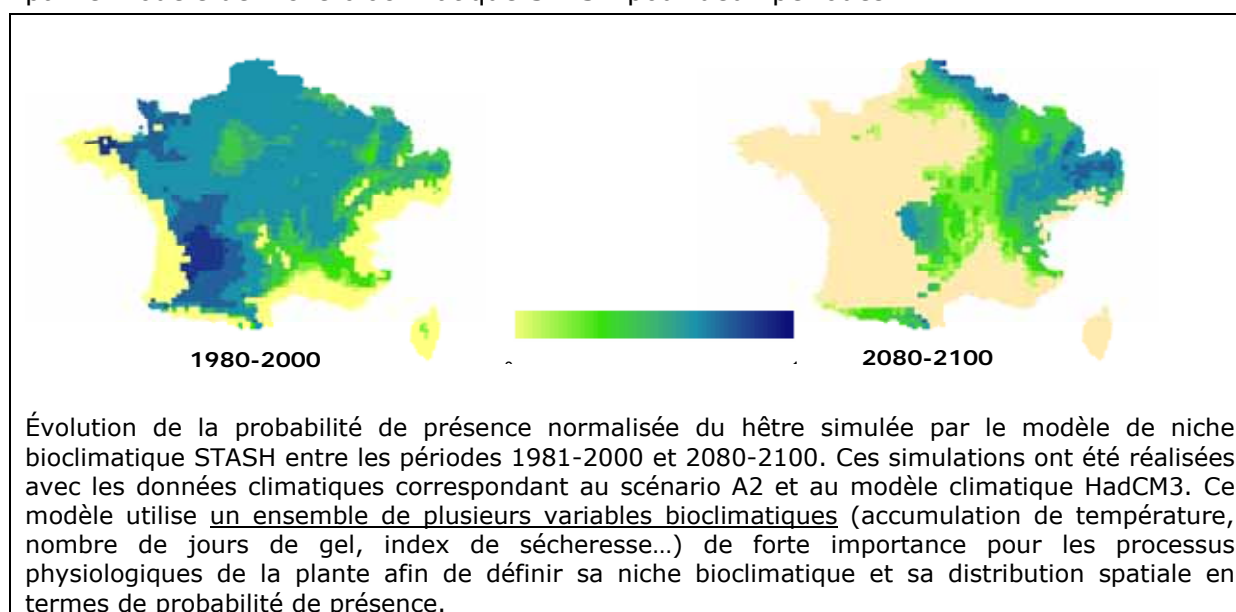
Carte 4 - Probabilité de présence du hêtre : simulation pour A2 de l'aire de répartition actuelle et extrapolations centrées sur les années 2050 et 2100 (projet CARBOFOR) (Badeau et al., 2009)

La niche climatique actuelle du hêtre est essentiellement déterminée par le bilan hydrique des mois de juin et juillet. Pour la période actuelle, le modèle simule une forte présence de l'espèce dans les zones de montagne, la moitié nord de la France (couleur verte à rouge) (voir Carte 4). L'espèce est moins présente dans le quart nord-ouest et totalement absente de la zone méditerranéenne. La niche climatique du hêtre pourrait régresser très fortement à partir de la région sud-ouest.



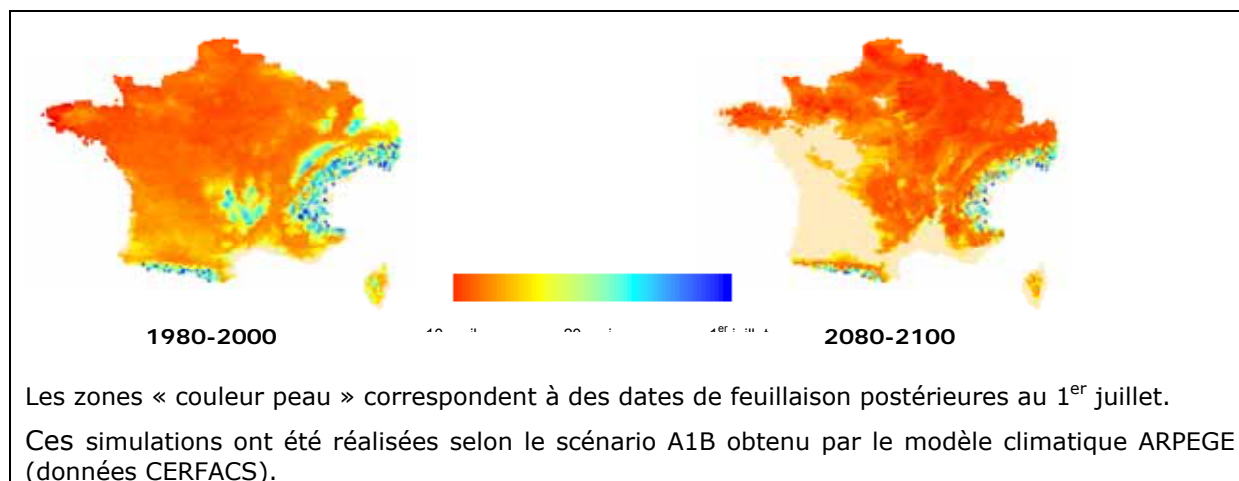
Carte 6 - Hêtre : Projection A2 pour 2080 par le modèle Biomod (Thuiller, 2009)

La Carte 7 présente l'évolution de la probabilité de présence normalisée du hêtre simulée par le modèle de niche bioclimatique STASH pour deux périodes.



Carte 7 - Simulation de la probabilité de présence normalisée du hêtre pour les périodes 1980-2000 et 2080-2100 (scénario A2, HadCM3) par le modèle STASH (Gritti, 2009)

La Carte 8 présente l'évolution de la date d'apparition des feuilles du hêtre prédite par le modèle Phenofit entre les périodes 1981-2000 et 2080-2100.

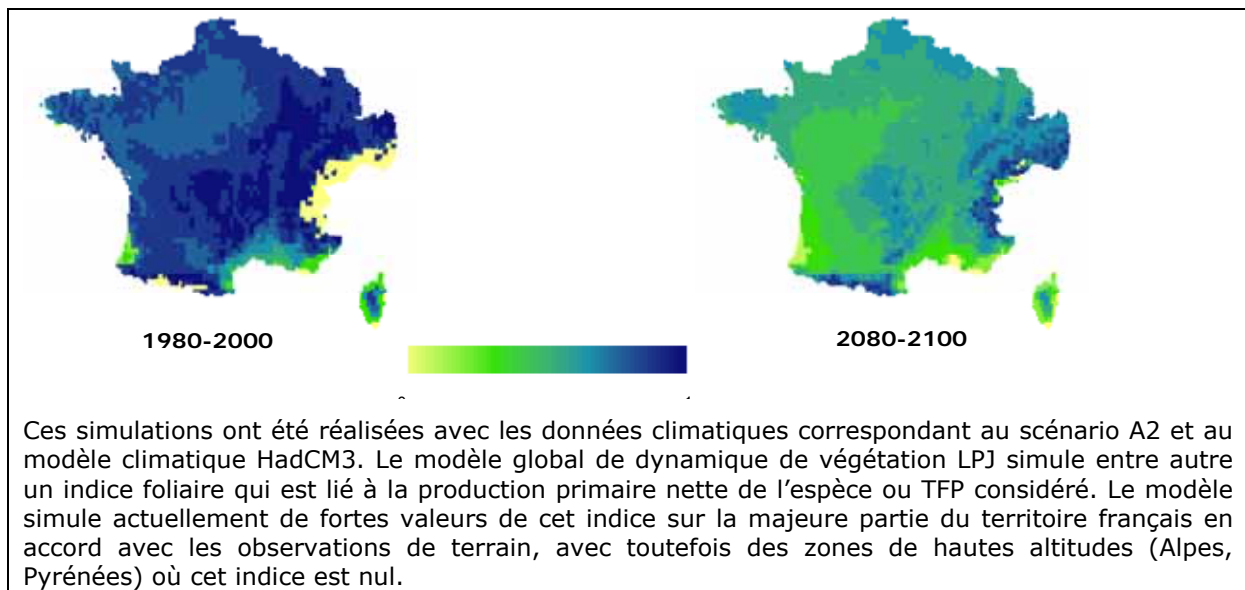


Carte 8 - Simulation de la date de feuillaison du hêtre pour les périodes 1980-2000 et 2080-2100 (scénario A1B, ARPEGE) par le modèle Phenofit (Gritti, Chuine, 2009)

Cette Carte 8 montre que dans certaines régions (sud, sud-ouest) le niveau de réchauffement atteint en 2100 dans le sud et le sud-ouest retarde fortement voire compromet la levée de dormance et par conséquent la feuillaison. Cette dernière deviendra très tardive voire trop tardive pour permettre à l'espèce de se maintenir (reproduction et croissance compromise)<sup>8</sup>.

La Carte 9 présente l'évolution de l'indice foliaire normalisé du type fonctionnel de plantes (TFP) « Arbres décidus tempérés », auquel appartient le hêtre (au même titre que les feuillus tempérés, la végétation ligneuse méditerranéenne...), prédite par le modèle LPJ entre deux périodes.

<sup>8</sup> Ceci peut sembler paradoxal étant donné que les tendances actuelles montrent une précocité de ce type d'événements à cause du changement climatique. Ce résultat montre l'importance de travailler avec des modèles basés sur des processus et non des approches corrélatives. En effet, la date de feuillaison dépend de deux processus qui se succèdent au cours de l'année, à savoir la levée de dormance du bourgeon – nécessitant une exposition plus ou moins longue à des températures froides – et la croissance cellulaire – nécessitant quant à elle des températures plus élevées. Le changement climatique a donc un impact inverse sur ces deux phases et seuls des modèles tenant compte de cette complexité biologique peuvent fournir des projections fiables. 32



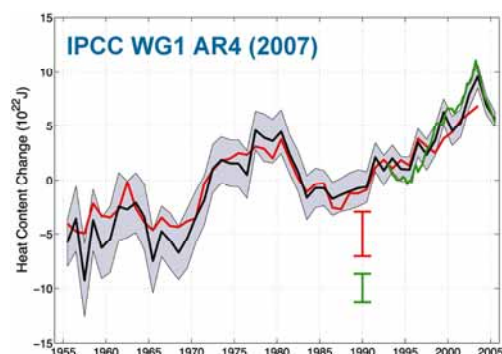
*Carte 9 - Simulation de l'indice foliaire normalisé du groupe fonctionnel « Arbres décidus tempérés » tel le hêtre, pour les périodes 1980-2000 et 2080-2100 (scénario A2, HadCM3) par le modèle LPJ (Gritti, 2009)*

Le modèle LPJ ne prévoit pas à l'avenir de disparition totale des arbres tempérés décidus à l'horizon 2100 en France (Carte 9), mais néanmoins une forte décroissance de l'indice foliaire normalisé et de la productivité sur la quasi-totalité du territoire, notamment dans le sud-ouest, avec cependant une croissance aux plus hautes altitudes.

## F.4 Exemples d'impacts directs sur les écosystèmes marins

### F.4.1 Cadre physique

L'analyse des mesures réalisées depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle atteste l'augmentation du contenu thermique de l'océan mondial. La tendance est révélée tant à l'échelle globale qu'à l'échelle des bassins océaniques (Figure 5).



Pendant la période 1961-2003, la quantité de chaleur de la couche 0-3000 m de l'océan a augmenté de  $1,42 \pm 2,4 \times 10^{22}$  Joules, soit un accroissement moyen de température de  $0,037^\circ\text{C}$  de l'ensemble de l'Océan (volume total).

Le Pacifique s'est réchauffé en même temps que l'Atlantique, l'océan Indien à partir des années 1960.

Figure 5 : Réchauffement de l'océan mondial, 1955-2005 (couche 0-700 m) (GIEC, 2007)

En Atlantique nord-est, les eaux superficielles se sont réchauffées d'environ  $1^\circ\text{C}$  depuis la décennie 1970, avec des différences spatiales de l'accroissement des températures de surface (de  $1$  à  $2^\circ\text{C}$  en mer du Nord, de  $0,4$  à  $0,8^\circ\text{C}$  au large du plateau continental européen, cf. Figure 6).

Accroissements de température calculés entre les valeurs moyennes des périodes 2003-2007 d'une part, et 1978-1982 d'autre part. À cette échelle est observé un signal qui résulte à la fois du réchauffement global et des variations climatiques régionales, l'amplitude des secondes l'emportant encore sur celle du premier à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle.

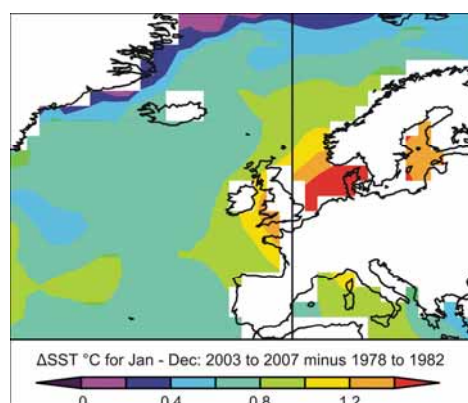


Figure 6 - Augmentation de la température de surface de l'Atlantique nord-est (Tasker M.L., 2008)

### F.4.2 Impacts directs du changement climatique sur le milieu marin

#### a) la physiologie des organismes

Progresser dans la prévision des impacts du changement climatique sur la biodiversité marine requiert la prise en compte simultanée des principaux facteurs à l'œuvre dans le monde réel, en particulier la co-occurrence du réchauffement et de l'acidification progressifs de l'océan. La sensibilité au climat des ectothermes marins (invertébrés et poissons) intègre les effets conjugués de l'accroissement de température, de l'excès de  $\text{CO}_2$  et du déficit en oxygène, qui concourent à altérer leurs performances physiologiques (Figure 7).

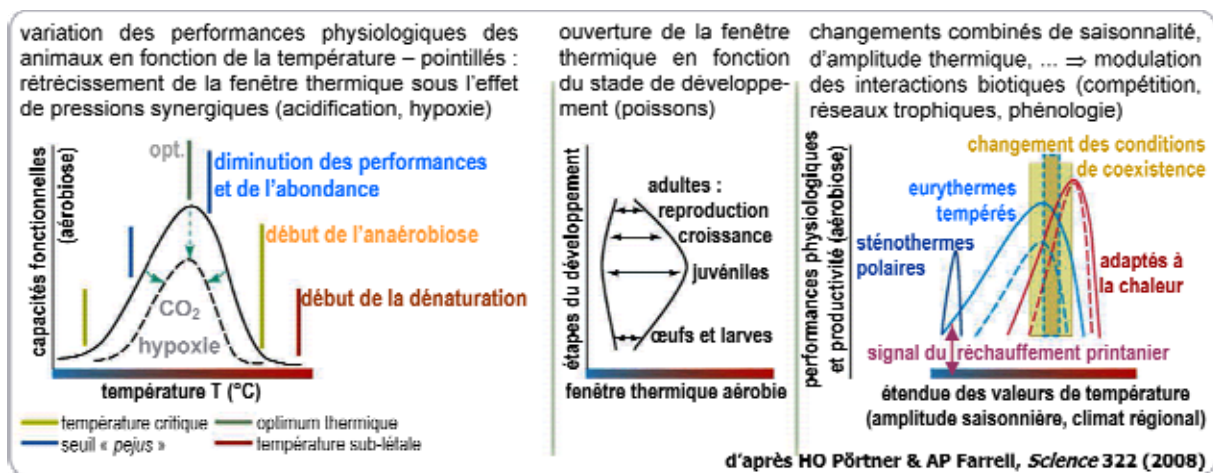


Figure 7 - Synergie (température  $\times$  ( $CO_2$ )  $\times$  ( $O_2$ )) ; effets sur les capacités fonctionnelles des ectothermes marins (Pörtner H.-O., Farrell A. P., 2008)

À gauche, fenêtre de tolérance thermique des ectothermes aquatiques, centrée sur l'optimum des performances fonctionnelles en conditions aérobies (les animaux vivent dans un intervalle de température limité par un ensemble de seuils de viabilité de processus moléculaires, cellulaires et systémiques). Le changement climatique conduit au franchissement de différents seuils, et entraîne une dégradation des performances de croissance, de reproduction, etc. Au delà de la température critique commence la survie en anaérobiose, temporairement utilisée par les invertébrés des habitats intertidaux soumis à des conditions très variables. En pointillés : les effets conjugués de l'augmentation de  $p(CO_2)$  et de l'hypoxie diminuent les performances et rétrécissent la largeur de la fenêtre.

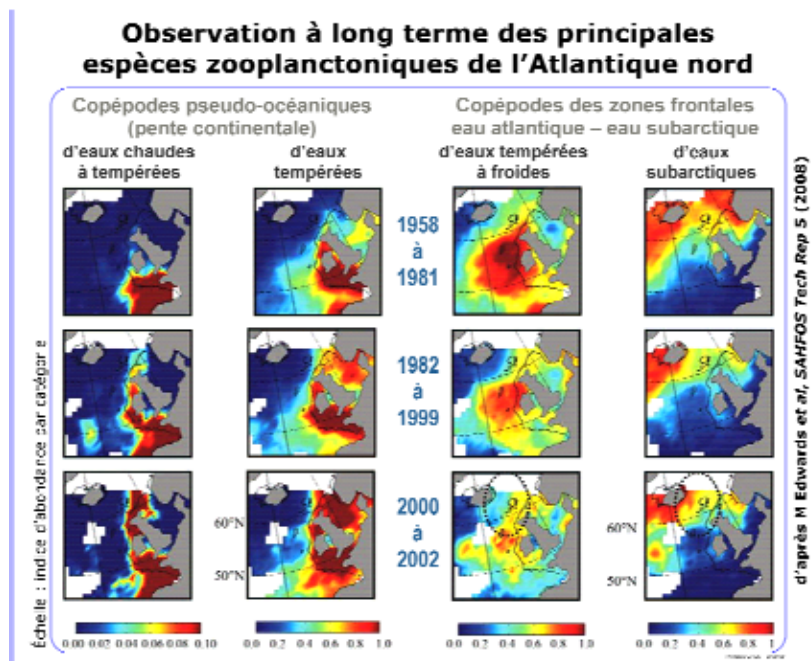
Au centre : variation de l'ouverture de la fenêtre au cours du développement individuel.

À droite : exemple théorique d'organismes de thermotolérances différentes, et dont les aires de répartition se chevauchent. Le réchauffement désynchronise les processus saisonniers (phénologie). En rétrécissant les fenêtres de thermotolérance (pointillés), l'acidification et l'hypoxie accentuent le changement des conditions de coexistence au sein de l'écosystème.

## b) la distribution géographique d'espèces

- *Le zooplancton* : l'amplitude et la vitesse des déplacements de l'aire de répartition des populations zooplanctoniques en réponse au changement climatique sont parmi les plus grandes conséquences observées chez les animaux, qu'ils soient marins ou terrestres. Les données (Figure 8). En Atlantique nord-est, les Copépodes affines d'eaux chaudes ont progressé en 50 ans de plus de 1100km vers le nord, tandis que l'aire de répartition des Copépodes arctiques s'est contractée. Ces décalages sont considérés comme une conséquence du réchauffement régional (de l'ordre de  $1^\circ C$ ), mais ils pourraient aussi être en partie expliqués par le renforcement de la circulation sud-nord des masses d'eau le long de l'accor\* du plateau continental ouest-européen.





Déplacement de plus de 10° vers le nord en 30 ans chez certaines espèces (ca. 260 km/décennie). L'aire de répartition s'accroît en direction du nord (espèces pseudo-océaniques d'eaux tempérées à chaudes), ou se rétrécit (espèces d'eaux tempérées à froides, dont l'abondance diminue). La limite sud de l'aire de répartition des espèces subarctiques progresse vers le nord. L'accroissement du plateau continental (sonde des 200 m) est figurée par une ligne noire.

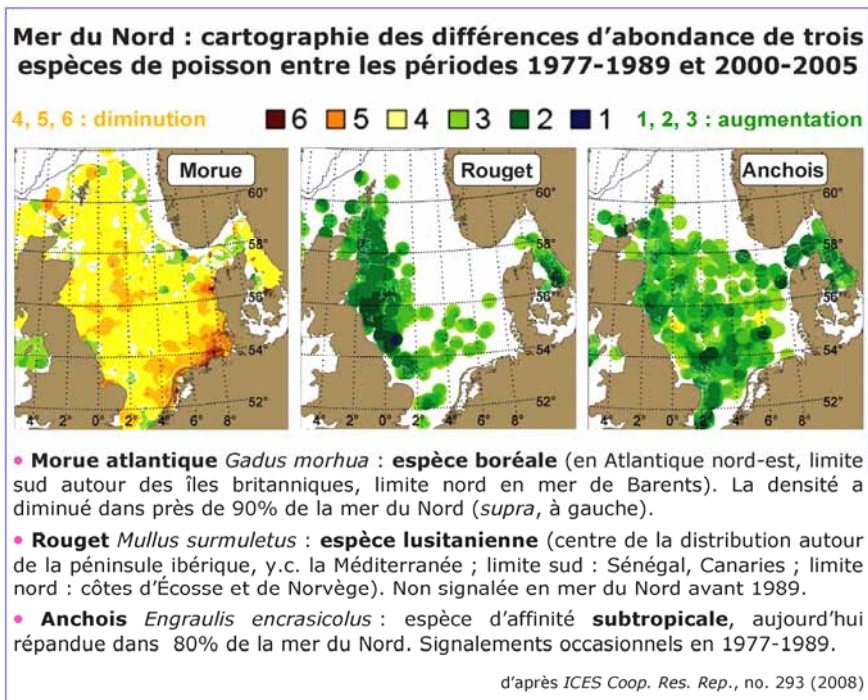
Figure 8 - Déplacement latitudinal des Copépodes en Atlantique nord-est (Beaugrand et al., 2002, mis à jour).

- *Le benthos* : les frontières biogéographiques des autres organismes marins se déplacent elles aussi, par ex. chez les deux tiers des espèces de la macrofaune benthique de mer du Nord. Outre l'effet direct de la température, le benthos\* des mers épicontinentales\* subit les modifications de l'hydrodynamisme (transport des stades larvaires planctoniques, modification des sédiments superficiels), de l'influence du régime des précipitations sur le volume et la qualité de l'eau des apports fluviaux (salinité, turbidité, nutriments). L'analyse des données met en évidence le fort impact sur le benthos des événements climatiques extrêmes (spécialement les hivers « anormalement froids »).

- *Les poissons* : on a remarqué depuis plusieurs décennies l'effet des fluctuations climatiques sur les populations de poissons (par ex. la progression de la morue atlantique le long des côtes groenlandaises au cours des années 1920). Plus récemment a été mise en évidence en mer du Nord une modification (en latitude et/ou profondeur, entre 1977 et 2001) de l'aire de répartition de plusieurs espèces de poissons – aussi bien exploitées que non exploitées. Globalement, ces réponses au réchauffement tendent à être plus marquées chez les espèces à plus fort taux de renouvellement (espèces de petite taille et à maturation précoce).

Le CIEM (Conseil international pour l'exploration de la mer) a publié en 2008 une synthèse des effets du changement climatique sur la distribution et l'abondance des espèces marines en Atlantique nord-est. Cette synthèse inclut une méta-analyse des données disponibles pour les poissons de l'ensemble de la zone maritime OSPAR (délimitée par les méridiens 51°E, 44°W, et par le parallèle 36°N), réalisée suivant la démarche exposée par Rosenzweig *et al.* (2008). La répartition géographique de 46 espèces parmi 67 a été modifiée comme attendu, contrairement aux prévisions pour 10 espèces, et 11 espèces n'ont montré aucun changement (pour l'abondance, les résultats sont respectivement 32, 13 et 19 espèces sur un total de 64). Trois exemples extraits de cette étude apparaissent à la Figure 9.





La figure illustre la diminution d'abondance (coloration jaune-orangé à rouge) dans la partie méridionale de l'aire de répartition de la morue, et l'accroissement (coloration vert à bleu foncé) dans la partie septentrionale de l'aire de répartition du rouget et de l'anchois. Les cartes montrent les différences locales entre densités observées en 2000-2005 d'une part, et les densités correspondantes de la période de référence 1977-1989.

Figure 9 - Variation d'abondance de trois espèces de poissons en mer du Nord (ICES, 2008)

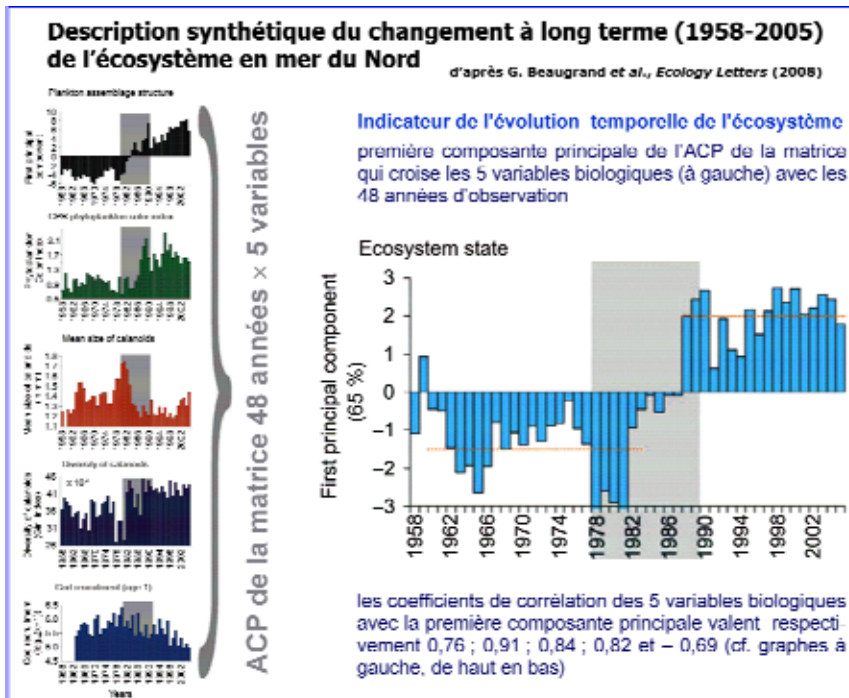
Globalement, la méta-analyse étendue à 288 taxons (zooplancton, benthos, poissons, oiseaux de mer) de la zone maritime OSPAR établit que chez 223 d'entre eux (77%), les changements (de distribution spatiale, d'abondance et de phénologie) confortent l'hypothèse d'un effet du changement climatique. Rappelons que les façades métropolitaines françaises – sauf la façade méditerranéenne – sont incluses dans la Convention OSPAR.

### c) la structure des communautés

En domaine marin, on connaît plusieurs exemples de changement de régime (*regime shift*). Il s'agit d'un changement d'état abrupt de l'écosystème (la soudaineté étant relative au temps caractéristique de renouvellement des prédateurs supérieurs), dont le déterminisme est le plus souvent climatique, associé à d'autres causes anthropiques. En mer du Nord, un tel basculement s'est produit au cours des années 1982-88 (Figure 10) suite à une modification des forçages météo-océaniques (en 40 ans, de 1958 à 1997, la vitesse moyenne annuelle du vent a augmenté de 10%, et, au cours de la décennie 1988-1997, les vents de sud deviennent moins intenses et sont remplacés par des vents d'ouest à sud-ouest), ainsi qu'à un accroissement du flux advectif\* d'eau océanique (chaude) entrant en mer du Nord.

D'autres changements de régime de plus ou moins grande emprise spatio-temporelle ont été identifiés dans plusieurs écosystèmes marins. À l'échelle d'un bassin océanique et sur un période de plusieurs décennies, on peut citer l'exemple des anomalies de la variabilité de descripteurs biologiques observés dans le Pacifique nord (biomasse du zooplancton, captures de saumons sur la côte ouest des USA), qui mettent en évidence un basculement à la fin des années 1970, en cohérence avec le changement des forçages météo-océaniques révélés par l'indice PDO (*Pacific decadal oscillation*, oscillation couplée océan-atmosphère). À moindre échelle, citons le changement de régime de l'écosystème récifal de la Jamaïque au début des années 1980. En 1 à 2 ans, un pathogène a provoqué la quasi-disparition des oursins diadème (chute d'abondance de 99%). Délivrées de la pression du broutage, les algues brunes ont proliféré jusqu'à envahir les coraux pendant une vingtaine d'années. La résilience de l'écosystème avait été préalablement affaiblie

par des modifications des pratiques agricoles sur les bassins versants (avec rejets de fertilisants), et par la diminution d'abondance des poissons herbivores due à la pêche.



À gauche, de haut en bas : indice planctonique, indice couleur du CPR (proxy de la concentration en chlorophylle a), taille moyenne des Copépodes calanoïdes femelles, diversité des Copépodes calanoïdes (indice de Gini), recrutement de la morue *Gadus morhua*, (logarithme décimal du nombre de morues âgées de 1 an). Quatre premiers descripteurs : données du CPR, 1958-2005. 5<sup>ème</sup> descripteur : données CIEM, 1963-2005.

À droite : indice synthétique du changement d'état de l'écosystème (première composante principale de l'analyse de la matrice années x variables biologiques).

Figure 10 - Changement de régime de l'écosystème (mer du Nord, années 1980) (Beaugrand et al., 2008)

d) la phénologie

L'analyse taxinomique du plancton de mer du Nord a révélé des changements de nature phénologique, en comparant, pour les années 1958 et 2002, les mois du maximum d'abondance de 66 taxons. Il n'apparaît pas de « patron commun », mais des désynchronisations entre cycles de développement dus à des décalages temporels qui diffèrent selon les taxons. En 2002 par exemple, le « pic » des larves d'Échinodermes apparaît près de 50 jours plus tôt, tendance générale chez les organismes méroplanctoniques\*. De même, le pic des Dinoflagellés est en avance de 24 à 27 jours selon les genres. C'est chez les Diatomées que la variabilité des changements est la plus forte, les booms étant plus précoces, plus tardifs ou sans changement selon les espèces.

## F.5 Présentation de différentes méthodes de monétarisation

Elles sont ici présentées selon une typologie classique.

### F.5.1 Les méthodes basées sur les coûts

#### a) Méthode des coûts de remplacement

Cette méthode consiste à évaluer le coût induit par le remplacement d'un actif environnemental détruit. Des variantes peuvent s'intéresser au coût de restauration ou de relocalisation.

Il s'agit ici d'estimer les dépenses nécessaires pour restaurer la biodiversité, (notamment les services écosystémiques), détruite qualitativement et quantitativement.

Remarque : il faut noter ici que l'on cherche aujourd'hui en Europe d'abord à restaurer, puis à remplacer, et enfin à compenser.

#### b) Méthode des coûts évités

Il s'agit ici d'évaluer les coûts que l'on devrait supporter en l'absence du bien environnemental étudié. En effet les services rendus par ce bien pourraient être artificiellement remplacés mais moyennant un certain coût. Ex : les Catskill Mountains sont des collines proches de New York où la ville se fournit en eau. La qualité de l'eau s'étant détériorée, la ville a alors estimé le prix de la construction d'une station de purification à huit milliards de dollars. Il a finalement été choisi de restaurer les milieux naturels pour une somme dix fois moindre, ce qui a permis de rétablir la qualité de l'eau.

#### c) La méthode des coûts de la maladie

La dégradation d'un bien environnemental peut conduire à une morbidité et une mortalité accrue ainsi qu'à une augmentation des dépenses de santé. Le chiffrage de ces coûts, notamment par la définition de relations dose-réponse, permet d'estimer un coût de la dégradation du bien étudié. Cette méthode est peu utilisée dans le cas de la biodiversité ; son utilisation est en revanche plus courante pour donner une valeur à la qualité de l'air.

### F.5.2 Les méthodes basées sur les préférences individuelles

#### a) Les préférences révélées

- ***La méthode des dépenses de protection***

La valeur d'un bien environnemental peut être déduite des dépenses que les agents engagent pour prévenir, neutraliser ou atténuer les conséquences de la dégradation de ce bien. Ex : la valeur d'une eau de qualité peut être évaluée par les dépenses engagées par les consommateurs pour purifier leur eau (pastilles, filtres...).

- ***Méthode du changement de productivité***

Lorsqu'un bien environnemental est dégradé, sa fonction de production peut être atteinte. La perte de valeur du bien peut alors être mesurée à l'aune du changement de productivité induit par sa dégradation. La variation de valeur de récifs coralliens due à différents facteurs a ainsi pu être déterminée à partir de la baisse de l'intensité de pêche.

- ***Méthode des coûts de déplacement***

Une manière simple d'attribuer une valeur à un bien environnemental consiste ici à évaluer les coûts de transports engagés pour profiter de ce bien, ainsi que le coût du temps correspondant nécessaire pour y accéder. Une étude a ainsi permis de valoriser les forêts du Costa-Rica en étudiant le déplacement de touristes américains vers cet Etat.

- ***Méthode des prix hédoniques***

Cette méthode repose sur le fait que la valeur de certains biens, en particulier immobiliers, reflète en partie la qualité de son environnement. En comparant le prix de biens semblables en tout point, excepté en ce qui concerne leur environnement, on peut extraire la composante de prix du bien due à l'environnement et ainsi proposer une valeur de cet environnement. Cette méthode est fréquemment employée pour évaluer la perte de valeur de bien immobilier en lien avec les nuisances environnantes, ou a contrario le gain de valeur que représente un environnement mieux sécurisé, ou plus agréable.

b) Les préférences déclarées

- ***Méthode d'évaluation contingente***

Comme son nom l'indique, il s'agit ici d'évaluer la valeur d'un bien environnemental par le biais d'un marché contingent, c'est à dire qu'après leur avoir décrit les caractéristiques du bien à évaluer, on interroge les agents sur la somme qu'ils seraient prêts à payer pour le préserver ou a contrario, celle qu'ils seraient prêts à recevoir pour compenser une dégradation de celui-ci. Avec cette méthode, plusieurs études ont évalué le consentement à payer des riverains pour préserver des zones humides à plusieurs centaines d'euros par hectare.

- ***Méthode d'expérience de choix***

D'après la théorie de Lancaster, l'utilité d'un bien est égale à la somme des utilités procurées par ses différents attributs. Dans le cadre d'enquêtes, on fait donc choisir à des agents différentes alternatives possibles avec à chaque fois des combinaisons des divers attributs associés à des niveaux différents. Dans chaque ensemble de choix, deux alternatives sont proposées plus la situation de référence, le statu quo. L'analyse statistique permet ensuite d'attribuer une valeur à chaque niveau d'attribut du bien envisagé, et donc, en sommant, du bien dans sa globalité. Ex : l'évaluation de certaines zones humides a été conduite selon cette méthode.

## F.6 Démarche du Centre d'Analyse Stratégique pour l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques

Pour conduire son évaluation de la valeur économique de la biodiversité, le rapport du Centre d'Analyse Stratégique a pris les options suivantes, résumées par la Figure 17 de la Partie 2 et la Figure 11 du présent rapport.

1. La première option a été de privilégier la compilation d'estimations aussi fiables que possible **de la totalité des pertes pouvant résulter de la destruction d'un écosystème** et devant être supportées (ou compensées) par la société. Il conviendra donc d'évaluer de même, dans un aménagement éventuel, la valeur écologique du nouvel écosystème mis en place pour faire un bilan de l'ampleur des pertes réelles.

2. En considérant les données disponibles, mais également l'absence d'objectifs opérationnels<sup>9</sup> et de variables de contrôle<sup>10</sup> pouvant fonder une approche coût/efficacité, **le CAS a décidé de construire ses valeurs de référence sur une analyse coût/avantage**. Il s'est néanmoins interrogé sur l'efficacité éventuelle de ce référentiel, c'est-à-dire sur sa capacité d'incitation à reconsidérer des changements d'usage du territoire, en particulier la destruction des zones à couvert végétal permanent (forêts, prairies).

3. Compte tenu de la complexité de la notion de biodiversité, il a été proposé de **distinguer deux composantes** :

- **l'une, qualifiée de « remarquable »**, correspondant à des entités (des gènes, des espèces, des habitats, des paysages) que la société a identifiées comme ayant une valeur intrinsèque et fondée principalement sur d'autres valeurs qu'économiques ;
- **l'autre, qualifiée de « générale »** (ou « ordinaire »), n'ayant pas de valeur intrinsèque identifiée comme telle mais qui, par l'abondance et les multiples interactions entre ses entités, contribuent fortement au fonctionnement des écosystèmes et à la production des services dont bénéficient nos sociétés.

On soulignera que **la caractérisation des entités « remarquables » n'est pas purement biologique** : elle combine en effet des critères écologiques (la rareté), sociologiques (le caractère « patrimonial »), économiques (la prédominance des valeurs de non-usage sur les valeurs d'usage) et, éventuellement, juridiques (inscription sur une liste officielle de protection).

4. Quatrième option, liée à la précédente, le rapport du CAS propose, même s'il a fait l'analyse des évaluations économiques possibles de la **biodiversité remarquable, de n'utiliser ces évaluations que de manière subsidiaire dans les débats autour de la préservation de ces entités**. Autrement dit, le rapport considère qu'il n'est aujourd'hui ni crédible – en termes de fiabilité et de pertinence des estimations –, ni opportun – en termes d'insertion dans des débats mobilisant de nombreuses valeurs –, de proposer des valeurs de référence pour la biodiversité remarquable.

---

<sup>9</sup> L'objectif « d'arrêter la perte de biodiversité d'ici à 2010 » a été considéré comme insuffisamment précis pour pouvoir être utilisé.

<sup>10</sup> C'est-à-dire des variables agissant sur l'érosion de la biodiversité, à l'image des émissions de CO<sub>2</sub> pour le climat.

5. En ce qui concerne la **biodiversité générale**, le rapport propose de **ne pas chercher à l'évaluer directement mais de le faire à partir des services des écosystèmes dont profite la société**. L'hypothèse sous-jacente, argumentée dans le rapport, est celle d'une relation de proportionnalité entre les fluctuations de la biodiversité et l'ampleur de ces services. Cette option s'appuie en particulier sur le fait que, contrairement à la biodiversité remarquable, cette biodiversité générale est aujourd'hui perçue de manière imprécise par les citoyens et que ce déficit de perception limite la pertinence des méthodes d'estimation directe fondées sur la déclaration de préférences.

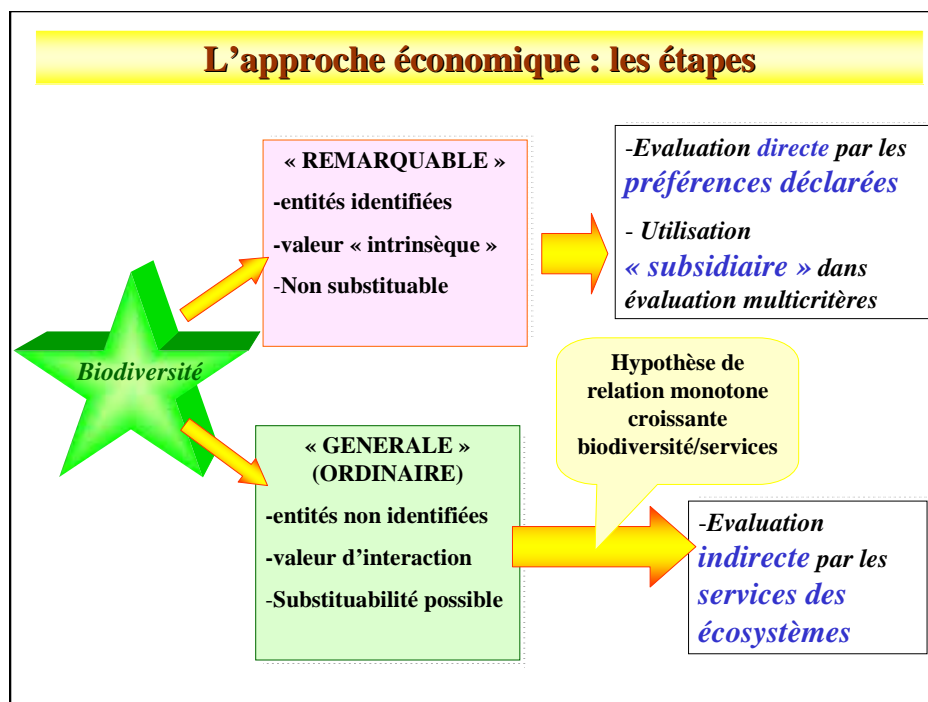


Figure 11 - La démarche d'analyse économique de la biodiversité retenue par le CAS (CAS, 2009)

6. Pour évaluer ces services, le rapport s'est appuyé sur la classification proposée par le Millenium Ecosystem Assessment (évaluation des écosystèmes pour le millénaire). Cette classification distingue quatre ensembles, les « services d'auto-entretien », non directement utilisés par l'homme mais qui conditionnent le bon fonctionnement des écosystèmes (recyclage des nutriments, production primaire), les « services d'approvisionnement » (ou « de prélèvement »), qui conduisent à des biens appropriables (aliments, matériaux et fibres, eau douce, bioénergies), les « services de régulation » c'est-à-dire la capacité à moduler dans un sens favorable à l'homme des phénomènes comme le climat, l'occurrence et l'ampleur des maladies ou différents aspects du cycle de l'eau (crues, étiages, qualité physico-chimique) et, enfin, des « services culturels », à savoir l'utilisation des écosystèmes à des fins récréatives, esthétiques et spirituelles.

7. Le rapport a proposé, notamment pour éviter les doubles comptes éventuels, de ne pas évaluer les services d'auto-entretien, en considérant qu'ils conditionnent de fait la permanence des trois autres ensembles de services : ils seront donc, comme la biodiversité, évalués à travers les services qu'ils génèrent et entretiennent.

8. En lien avec le premier point, le rapport a décidé de prendre en compte non seulement des services « dynamiques », c'est-à-dire en termes de flux (fixation du carbone, production d'eau, fréquentation touristique, etc.) mais aussi des services « statiques » (stabilité des sols, conservation d'un stock de carbone). Il a considéré en effet que la valeur de la perte potentielle de ces services en cas de destruction de



l'écosystème (augmentation de l'érosion, libération plus ou moins rapide de CO<sub>2</sub>) devait être retranchée du bilan socio-économique d'une opération qui entraînerait cette destruction, ce qui revient à porter cette perte évitée au crédit de ces écosystèmes.

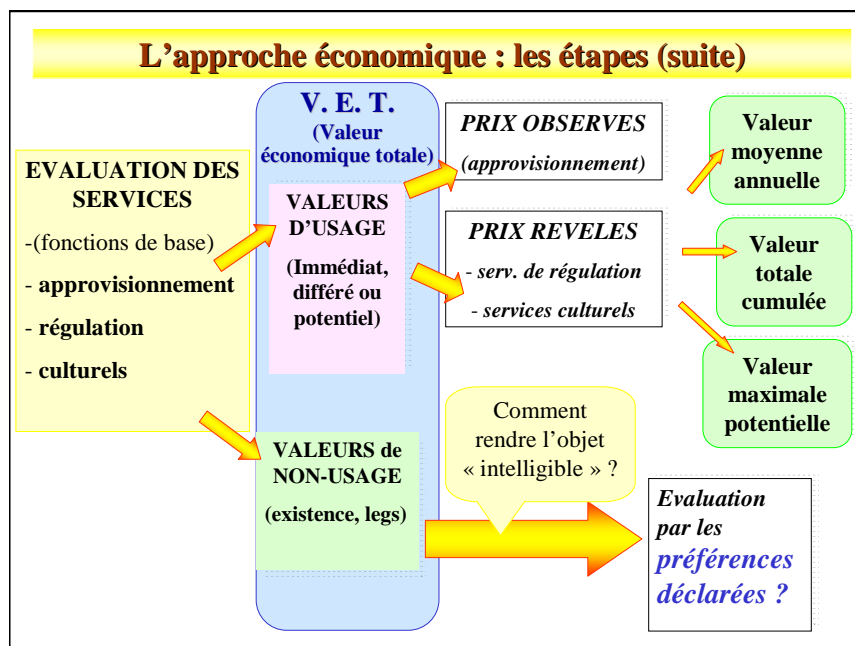


Figure 12 - L'approche par les services écosystémiques

9. Parmi les différentes composantes de la notion de valeur économique totale, **le rapport a privilégié les valeurs d'usage** (au sens large, c'est-à-dire en intégrant les usages potentiels à plus ou moins long terme). Il a considéré en effet que, comme pour la biodiversité remarquable, la robustesse des méthodes d'estimation des valeurs de non-usage était plus faible et leur légitimité davantage contestée. Corrélativement, **le rapport a privilégié pour l'estimation de ces valeurs d'usage des méthodes considérées comme robustes** (prix révélés, dépenses effectivement engagées, coûts de restauration ou de remplacement).

10. Compte tenu des problèmes complexes de transfert de valeurs, **le rapport s'est limité aux services pour lesquels on disposait de références françaises (ou issues de pays écologiquement et socioéconomiquement voisins)** et qui, en outre, fournissaient un référentiel relativement homogène (ou dont l'hétérogénéité pouvait être aisément expliquée). Il en résulte que **certains services** (par exemple les effets sur la santé ou la protection contre les catastrophes naturelles), **pour lesquels les références étaient limitées, incohérentes ou très exotiques, n'ont pas été évalués, même s'il est légitime de supposer que leur valeur pourrait être élevée – voire très élevée.**

11. Pour prendre en compte le long terme, le rapport a reconnu **qu'il n'était pas opportun d'utiliser un taux d'actualisation différent de celui utilisé pour d'autres aspects du calcul socioéconomique** (4% aujourd'hui). En revanche, il propose de retenir jusqu'en 2050 une **augmentation moyenne des prix relatifs** des services écosystémiques d'environ 1% (voire plus dans les situations de pertes irremplaçables) par rapport aux biens manufacturés. Ceci conduit à multiplier par 40 la valeur du service annuel pour obtenir une **valeur totale cumulée actualisée.**

12. Pour affiner à court terme ce travail, le rapport recommande en particulier :

- de **spatialiser les valeurs moyennes** à une échelle au moins départementale,

pour tenir compte des spécificités tant écologiques que socioéconomiques ;

- de **définir** pour ces données spatialisées non seulement la valeur actuelle mais ce qu'il a appelé la « **valeur maximale plausible** » à **moyen terme** (30-50 ans), en intégrant en particulier les variations prévisibles du taux d'usage des différents services écosystémiques.

En conclusion, il ne faut pas cacher les nombreuses « restrictions » opérées par ce rapport pour passer du concept de biodiversité à la monétarisation de ses services, restrictions que présente la Figure 11 de la partie 2 et que l'on peut résumer de la manière suivante : la démarche du CAS ne propose pas des valeurs de référence pour l'ensemble de la biodiversité mais pour **les seules valeurs d'usage de services écosystémiques liés à la biodiversité générale et aujourd'hui monétarisables d'une manière qui semble robuste.**



## F.7 Triptyque atténuation, adaptation et biodiversité : trois formats d'analyse des interactions

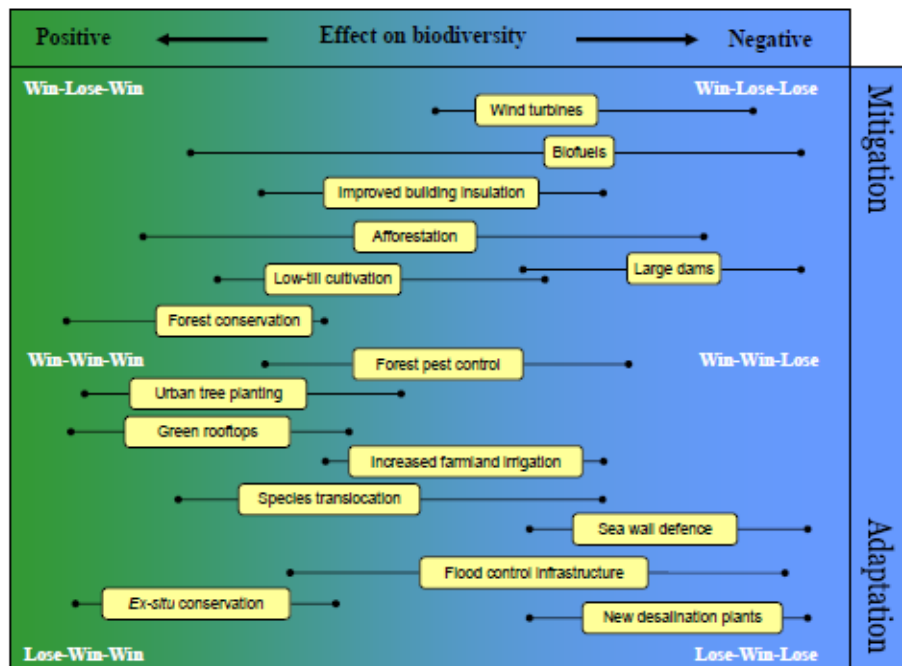


Figure 13 - Relations connues et potentielles entre mesures d'atténuation, d'adaptation et leurs impacts sur la biodiversité (MACIS, 2008)

La position des carrés sur l'axe « Biodiversité » est basée sur une revue de la littérature.

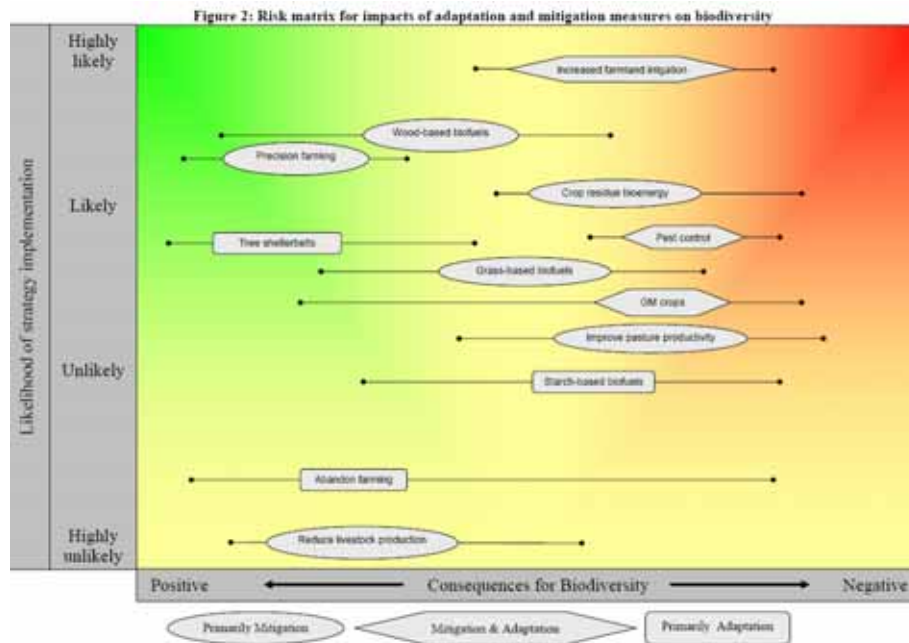


Figure 14 - Matrice de risque pour les impacts sur la biodiversité des mesures d'adaptation et d'atténuation (MACIS, 2008)

Livestock & Poultry Mitigation or Adaptation Strategy			Habitats affected								Taxa affected							
	Impact under worst practice	Impact under best practice	Marine	Coastal	Inland surface waters	Mires, bogs and fens	Grasslands and tall forb habitats	Heathland, scrub and tundra	Woodland and other wooded areas	Unvegetated or sparsely vegetated habitats	Agricultural, horticultural and domestic habitats	Mammals	Birds	Amphibians/ Reptiles	Fish	Invertebrates	Plants	Soil biota
Livestock breeding	↔	↔																

Figure 15 - Impacts des mesures d'adaptation sur la biodiversité (habitats, taxons) (MACIS, 2008)

**Degrés d'impact :**

- ↑ Très bénéfique pour la biodiversité
- ↗ Modérément bénéfique pour la biodiversité
- ↔ Pas d'effet connu sur la biodiversité
- ↘ Modérément défavorable à la biodiversité
- ↓ Très défavorable à la biodiversité
- ? Impact incertain en raison du manque de données

## F.8 Traitement international, communautaire et national du thème Changement climatique & biodiversité

Au niveau international, différentes enceintes traitent des questions croisées de changement climatique et de biodiversité :

- La **Convention cadre des nations Unies sur le changement climatique** reconnaît dans ses objectifs l'importance de permettre aux écosystèmes de s'adapter naturellement au changement climatique, mais aborde la biodiversité et les écosystèmes uniquement en tant que puits de carbone (déforestation évitée, changement d'affectation des sols).
- Plusieurs décisions ont été adoptées ces dernières années dans le cadre de la **Convention sur la diversité biologique (CDB)**, portant notamment sur l'intégration de la biodiversité dans les politiques de réponse au changement climatique, l'intégration du changement climatique dans les programmes de travail de la Convention, l'exploitation des synergies au niveau international et national, la fertilisation des océans et les tourbières. Des tentatives de rapprochement voient le jour entre ces deux conventions internationales, notamment à travers le groupe de liaison mixte des Conventions de Rio créé en 2001, forum informel qui vise à l'échange d'informations, l'exploration des synergies et une meilleure coordination. En 2008, un groupe d'experts a de plus été établi dans le cadre de la CDB afin de fournir des informations relatives aux interactions biodiversité-changement climatique à la Convention Climat.
- La **Convention de Berne** a également établi un groupe d'experts permanent pour étudier les impacts du changement climatique sur la biodiversité et les mesures à prendre pour faciliter son adaptation. Son travail a notamment débouché sur l'adoption en 2008 d'une recommandation sur la vulnérabilité des espèces et milieux au changement climatique et les stratégies d'adaptation, qui reste cependant peu contraignante.
- De nombreuses **autres conventions liées à la biodiversité** abordent la question du changement climatique sur les aspects qui les concernent : la Convention Ramsar sur les zones humides, la Convention sur les espèces migratrices (CMS) et ses accords et mémorandum tels que l'AEWA...
- Le **G8** a défendu en 2008 la promotion d'une approche favorisant les co-bénéfices entre réduction des gaz à effet de serre et conservation et utilisation durable de la biodiversité. Le G8 Environnement élargi de 2009 a adopté la "*Carta di Siracusa*" sur la Biodiversité, dont une partie est dédiée au changement climatique.
- Dans le cadre de la **Convention alpine**, le Plan d'action changement climatique dans les Alpes a été adopté en mars 2009 et prévoit des mesures d'adaptation aux effets du changement climatique et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Une partie est consacrée à la biodiversité, notamment à la mise en place de continuités écologiques.

Au niveau communautaire :

- Le **Plan d'action Biodiversité** aborde la problématique biodiversité-changement climatique sous différents angles mais reste très général.
- Le **Livre blanc sur l'adaptation au changement climatique** mentionne notamment « qu'utiliser la capacité de la nature d'absorber ou de contrôler les incidences dans les zones urbaines et rurales peut être une méthode d'adaptation plus efficace que de se concentrer uniquement sur les infrastructures physiques »,

et l'importance pour l'adaptation d'une « infrastructure verte », réseau interconnecté d'espaces naturels. Une partie consacrée au renforcement de la résilience de la biodiversité, des écosystèmes et des ressources en eau prône une approche intégrée entre politiques de protection de la biodiversité et de lutte contre le changement climatique. Cependant, la seule proposition concrète concerne la rédaction d'ici 2010 de lignes directrices sur la prise en considération des impacts du changement climatique sur la gestion des sites Natura 2000.

- Un **groupe d'experts** a été créé fin 2008 dans le but de rédiger une note stratégique d'ici fin 2009, dont l'objectif est de lier les politiques de biodiversité et de changement climatique afin d'atteindre nos objectifs de conservation dans un contexte climatique changeant et de promouvoir les co-bénéfices.
- Plusieurs **études** ont également été lancées : MACIS (Minimisation of and Adaptation to Climate Change Impacts on Biodiversity) ; ALARM (Assessing Large Scale Environmental Risks on Biodiversity) ; étude « Biodiversité et changement climatique en relation au réseau Natura 2000 ».

Finalement, au niveau national :

- La **Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique** (novembre 2006) présente la préservation du patrimoine naturel comme une des quatre grandes finalités de l'adaptation et traite de la biodiversité par une approche transversale.
- La **Stratégie nationale pour la biodiversité** vise, entre autres, à l'amélioration de la trame écologique dont un des buts est de permettre le déplacement des aires de répartition des espèces sauvages et des habitats naturels dans le contexte du changement climatique. De plus, différents plans d'action sectoriels de la stratégie intègrent des actions liées au changement climatique.

Ce panorama montre bien la forte émergence du sujet dans les discussions internationales, communautaires et nationales. On note cependant des angles d'approche différents selon l'enceinte concernée. Les différents aspects de la problématique peuvent ainsi être classés en trois catégories :

1. Adaptation de la biodiversité face aux impacts du changement climatique (approche sectorielle) ;
2. Préservation de la biodiversité des impacts négatifs potentiels des mesures d'adaptation prises dans d'autres secteurs, ainsi que des mesures d'atténuation du changement climatique ;
3. Rôle de la biodiversité dans la lutte contre le changement climatique (atténuation et adaptation) et exploitations des co-bénéfices.

Cependant, si l'on note une reconnaissance indéniable de l'importance de protéger la biodiversité dans le cadre du changement climatique et de la nécessité d'une approche intégrée, les propositions opérationnelles permettant une réelle prise en compte restent encore limitées et le dialogue entre les différentes enceintes sectorielles difficile.

## F.9 Recensement des mesures d'adaptation au changement climatique favorables à la biodiversité

Ce tableau est construit sur la base de l'étude synthétique menée par Heller et Zavaleta (2009), complétée par des contributions des membres du groupe Biodiversité.

Il représente un premier recensement qui, faute de temps, n'a pu être finement discuté au sein du groupe d'experts. Les mesures listées ci-dessous doivent donc être vues comme des éléments indicatifs, nécessitant une analyse plus approfondie.

Tableau 2 – Premier recensement de mesures d'adaptation favorables à la biodiversité (adapté de Heller et Zavaleta, 2009)

Catégories de mesures	Stratégies/Mesures	Commentaires
<b>Catégorie 1 : Adaptation des activités et stratégies de conservation existantes</b>	Renforcer les efforts de réduction des pressions sur la biodiversité autres que le changement climatique (espèces envahissantes, fragmentation, pollution, surexploitation) afin d'augmenter la résilience des écosystèmes	<p><i>Dilemme forestier 1 : exploitation supplémentaire pour l'atténuation du CC versus préserver les écosystèmes pour la biodiversité (et le stockage du carbone).</i></p> <p><i>Dilemme forestier 2 : récolter plus tôt les bois pour conserver un usage économique (atténuation du CC par substitution aux matériaux énergivores), malgré le CC versus allongement des cycles pour renforcer l'intégrité des écosystèmes (adaptation).</i></p> <p><i>Une gestion (enfin ?) efficace de l'équilibre sylvo-cynégétique est indispensable.</i></p>
	Promouvoir la gestion adaptative : assurer une surveillance continue, les options de gestion conservant les potentialités de choix futur et la révision des actions d'adaptation lorsque les nouvelles informations ou recherches sont disponibles	<p><i>Souligner la nécessité :</i></p> <p><i>1- des actions sans regret</i></p> <p><i>2- d'éviter les impasses et mesures irréversibles</i></p> <p><i>3- de conduire l'adaptation des us de la société en fonction de l'évolution des capacités des écosystèmes à produire les services environnementaux (ex : tourisme d'hiver et enneigement, consommation de bois et production des forêts, tourisme vert et fragilité croissante des écosystèmes...)</i></p>
	Conserver et augmenter la variation locale dans les sites et habitats ; maintenir la diversité dans les paysages	<i>Conforter l'éventail de types de sols et de variations topographiques du microclimat couverts par un habitat donné</i>

	S'assurer que les politiques de prévention et de lutte contre les espèces envahissantes soient adaptées dans un contexte de climat changeant	<p>1- <i>urgence de redéfinir les concepts d'espèces exogènes, envahissantes, envahissantes</i></p> <p>2- <i>faut-il encore parler de lutte dans le nouveau contexte changeant ou plutôt de maîtrise ?</i></p> <p>3- <i>Mieux évaluer le rôle des continuités écologiques dans la diffusion de ces espèces indésirables (le rôle anthropique semble beaucoup plus déterminant) pour arbitrer entre continuité facilitant les migrations (trame verte et bleue) et les obstacles aux envahissantes (discontinuités)</i></p> <p>4. <i>Maîtriser les vecteurs et points d'introduction en milieu marin (ex. eaux et sédiments de ballasts) ; veiller à l'intégration du CC dans le cadre des négociations internationales comme pour l'application des textes réglementaires issus de l'OMI.</i></p>
	Améliorer les techniques de restauration, procéder davantage à la restauration d'écosystèmes (zones humides, rivières...)	<i>Apprendre à utiliser les événements naturels pour accélérer et orienter les migrations et substitutions d'espèces ou d'écosystèmes (après incendie, inondation, avalanche...)</i>
	Promouvoir les Réseaux Mixtes Technologiques (RMT)	<i>Exemples de thèmes : stations forestières, variabilité génétique des arbres forestiers, modélisation et sylviculture.</i>
<b>Espaces protégés</b>	Garantir le maintien de l'intégrité des limites actuelles des espaces protégés existants	<i>Un travail juridique est nécessaire pour assurer la légitimité de ce maintien : faire évoluer d'une logique de biodiversité remarquable ciblée à celui d'espaces de nature exceptionnellement préservée, susceptible par conséquent d'accueillir la biodiversité remarquable la plus fragile ?</i>
	Accroître la surface en espaces protégés	<p><i>Augmenter la taille des espaces protégés versus créer de nombreux petits espaces protégés (engagements Grenelle 2% du territoire métropolitain en protection forte, création de 3 Parcs nationaux, 20000 ha zones humides...)</i></p> <p><i>Compléter le programme de Réserves biologiques forestières intégrales permettant de suivre les impacts du changement climatique en forêt hors gestion sur ces territoires.</i></p> <p><i>Engagement international de 10% des espaces marins sous aire marine protégée (AMP), 5 grands parcs marins, et engagements Grenelle de la Mer.</i></p>
	Définir les espaces à protéger en priorité	<p><i>Zones de forte hétérogénéité/endémisme (actuelles ou futures) ; écosystèmes/biomes prioritaires (montagnes, forêts primaires, zones humides, espaces verts urbains...)</i></p> <p><i>Engagement Grenelle : stratégie aires protégées</i></p> <p><i>Localisation et critères de désignation : cœur d'aire versus marges, population relictuelle versus zones sources, écotypes versus population à large base génétique... (Cf Stratégie Aires Protégées)</i></p> <p><i>Désignation d'espaces d'accueil futur des migrations de la biodiversité ?</i></p> <p><i>Question majeure du littoral : quelle stratégie en réponse à la montée des eaux (métropole et OM) ?</i></p>

	Définir les meilleurs critères de localisation des nouveaux espaces protégés dans un contexte de CC et définir le statut d'espace protégé le mieux adapté	<p><i>Aux limites septentrionales des aires de répartition des espèces ; au centre des aires de répartition des espèces/espaces à protéger ; de manière à ce que le noyau comprenne les principales transitions végétatives ; espaces protégés orientés longitudinalement</i></p> <p><i>Nécessité de développer la dimension génétique (infra-spécifique) de la Stratégie de création des aires protégées (SAP)</i></p> <p><i>Intégrer ces éléments dans l'élaboration de la Stratégie nationale de création des Aires Marines protégées (A-AMP)</i></p>
	Protéger un éventail complet de variations bioclimatiques	<p><i>Question des nouvelles combinaisons (par ex climat méditerranéen x sols non façonnés par l'histoire de cette zone) ?</i></p> <p><i>Question des nouveaux habitats méditerranéens ?</i></p> <p><i>Evolution des listes d'habitats ?</i></p>
	Créer et gérer des zones tampons autour des espaces protégés	
	Intégrer le changement climatique dans les documents de planification et de gestion des espaces protégés	<i>Dont prise en compte dans les mesures de gestion de l'accueil des nouvelles espèces qui arrivent dans l'espace protégé</i>
<b>Connectivité</b>	Accroître la connectivité par la mise en place de réseaux écologiques (Trame verte et bleue) afin de faciliter la mobilité des espèces et des habitats	<p><i>Engagement Grenelle Cf. espèces envahissantes...</i></p> <p><i>Remarque : la TVB intègre peu le CC ; c'est un outil essentiellement statique</i></p>
	Définir les meilleurs dispositifs à mettre en place pour assurer la connectivité et étudier leur efficacité	<p><i>Désignation de corridors, création de « stepping stones », levée des barrières à la dispersion, reforestation, localisation des aires protégées proches les unes des autres</i></p> <p><i>Mieux prendre en compte les discontinuités écologiques (ex : calcaire / acide, passage de cols d'altitude, versants...) dans la définition des continuités</i></p> <p><i>Inter-connectivité des réseaux d'aires marines protégées (Convention sur la diversité biologique)</i></p> <p><i>Engagement Grenelle de la Mer sur la création d'une Trame bleu marine.</i></p> <p><i>Tester en vraie grandeur la place de la forêt dans la Trame verte aux fins de connectivité générale et de vieillissement localisé.</i></p>
<b>Espèces</b>	S'assurer que chaque espèce (ou sous-espèce ou écotype) soit présente dans plus d'un espace protégé, en lien avec les pays voisins	<i>Pour le grand tétaras, par ex : sous-espèce pyrénéenne différente de sous-espèce vosgienne...</i>

	Intégrer les paramètres liés au CC dans la gestion des espèces menacées	<i>Intégration du CC dans les plans d'action/restauration d'espèces ; gérer les populations de manière à réduire les fluctuations temporelles de leur taille</i>  <i>Evaluer l'impact du CC sur la vulnérabilité : plutôt atténuation (espèces euméditerranéennes) ou plutôt renforcement de la menace (espèces sub-boréales) ?</i>
	Protéger les espèces menacées <i>ex situ</i> (élevage en captivité, banques de graines, cryoconservation...)	
	Translocation d'espèces menacées du fait du changement climatique	
	Développer une collaboration spécifique avec les pays susceptibles d'accueillir la biodiversité disparaissant de France	
<b>Catégorie 2 : Intégration de nouveaux principes dans les politiques de conservation</b>	Tester les nouvelles approches par des projets pilote	
	Expérimenter sur les refuges ; protéger les refuges actuels et futurs selon les prédictions	
	Protéger des groupes fonctionnels, espèces clés et métapopulations	
	Préserver la diversité génétique dans les populations	<i>Elargir la diversité génétique et spécifique dans la restauration et la foresterie</i>  <i>Revisiter les pratiques actuelles d'introductions massives dans le milieu naturel de génotypes mal-identifiés et non indigènes : pêche de loisirs, gibier, plants et graines forestières, lutte biologique, revégétalisation, prairie artificielle... pour supprimer une perturbation génétique supplémentaire.</i>
	Concevoir les espaces protégés pour des changements complexes dans le temps : fluctuation et pas seulement changements tendanciels unidirectionnels ; <i>chocs et extrêmes et pas seulement tendance de fond.</i>	
Etablir une flexibilité d'usage autour des espaces protégés permettant une évolution au fur et à mesure des changements	<i>Etablir une flexibilité d'usage des zones aux alentours des espaces protégés ; ajuster les limites des parcs pour englober les mouvements anticipés d'habitats critiques</i>	
Maintenir les dynamiques positives de perturbation des écosystèmes (incendies, pâturage...) ; gérer les effets du CC sur ces perturbations		
Manipuler les microclimats en modifiant la végétation	<i>Changement de la hauteur de la végétation ou de la structure de la canopée en milieu boisé, gestion des niveaux d'eau en zones humides</i>	
Anticiper les surprises et effets de palier tels que des extinctions ou invasions majeures		
Développer des plans de crise en amont et les mettre en œuvre lors des événements critiques	<i>Aléa météorologique majeur, incendie, crise sanitaire, invasion d'espèce, dépérissement massif...</i>	
Rétablir des espèces dans des aires où elles ont disparu pour des raisons non liées au CC (pollution, destruction de l'habitat, etc.) une fois la cause d'extinction éradiquée		



<b>Catégorie 3 : Amélioration des connaissances</b>	Identifier les besoins et augmenter les investissements dans la recherche liée au changement climatique	<i>Créer des bases de données environnementales (espèces, habitats, écosystèmes, milieux, sols, etc.) interconnectées et accessibles gratuitement au plus grand nombre (et en particulier à la recherche) sur Internet.</i> <i>Rendre gratuites et facilement accessibles TOUTES les données météorologiques et climatiques de la France à la communauté scientifique.</i> <i>Augmenter les moyens humains des laboratoires de recherche pour la prospective.</i>
	Réfléchir à une stratégie de collecte de données permettant une exploitation des résultats plus pertinente aux niveaux national et international	<i>Réfléchir aux stratégies régionales pour les DOM COM.</i> <i>S'impliquer plus activement dans les réflexions stratégiques au niveau UE</i>
	Améliorer l'interface entre la recherche et la gestion, développer la recherche-action	<i>Créer des postes dédiés dans les établissements de recherche</i> <i>Exemple de thème : forêt, biodiversité et changement climatique</i>
	Intensifier les collaborations interdisciplinaires (écologie/génétique/agronomie/géologie/géographie/sciences humaines) et intersectorielles (agriculture / forêt, forêt / eau, urbanisme...)	
<b>Etudes</b>	Etudier les réponses des espèces et populations au changement climatique (génétique, physiologique, comportementale, démographique...) et évaluer la vulnérabilité de la biodiversité et des écosystèmes associés. Développer les approches écosystémiques (interactions).	<i>Lancer des études sur le long terme ; pas uniquement sur la ligne de front ; étudier les séries chronologiques sur les dynamiques des espèces ; étudier les métapopulations.</i> <i>Identifier des indicateurs chimiques traceurs du climat de croissance des espèces (ex : isotopes dans le bois, composition des feuillages) permettant d'isoler les effets du changement climatique des autres facteurs.</i>
	Documenter la répartition actuelle et historique des espèces	<i>Etablir des cartes précises de répartition actuelle des espèces et les rendre accessibles gratuitement au plus grand nombre sur Internet.</i> <i>Etudier la dispersion des espèces selon l'utilisation des sols, les flux de gènes, les taux de migration, les flux historiques.</i> <i>Campagnes de prospection ; valorisation par utilisation des SIG.</i>
	Prédire l'évolution de la répartition géographique des habitats et des espèces	<i>Utiliser de modèles d'habitat et des modèles d'aire de répartition d'espèces avec différents scénarios climatiques?</i>
	Développer des connaissances sur les nouveaux habitats/espèces qui vont arriver naturellement en France du fait du CC	
	Mieux caractériser les micro-régulations climatiques, responsables des micro-habitats	<i>Caractérisation du « climat forestier », impact de s embâcles sur les caractéristiques des eaux, rôle fin des boisements hors forêt sur les sols, l'air, les vents, effet tampon climatique des zones humides, des forêts</i>

	Etudier les potentialités d'adaptation génétique des espèces au CC	<i>Documenter la variabilité génétique des caractères-clés d'adaptation au climat. Développer des modèles d'évolution génétique de ces caractères dans les populations. Documenter les adaptations génétiques en cours liées au CC.</i>
	Etudier et surveiller les écotones, les zones refuges et les gradients	
	Etudier les processus de changement à des échelles spatiales et temporelles multiples ; lancer des études intégrant des causes de changement multiples	
	Renforcer les connaissances et observations de la biodiversité en zone urbaine : potentiel, promotion, comportement, développement...	<i>Les zones urbaines sont des amplificateurs de CC (cf. Paris) : température (gel), précipitations, vents, stress hydrique ; ils constituent à ce titre des observatoires privilégiés du comportement de la biodiversité face à des conditions amenées à se généraliser dans le futur climatique</i>
<b>Modélisation</b>	Bien définir les limites des modèles afin de clarifier leur rôle dans la prise de décision	
	Résoudre les problèmes de compatibilité d'échelle pour permettre un recoupement entre modèles, aires de gestion et observations empiriques	
	Développer des modèles prédictifs du devenir des espèces, habitats et écosystèmes plus complets, plus performants et plus réalistes	<i>Augmenter l'effort de recherche en modélisation de la biodiversité (à toutes les échelles : populations / espèces / habitats / écosystèmes).</i>
	Développer des modèles adaptés aux terres d'outre-mer	<i>Très peu de modèles climatiques satisfaisants pour l'outre-mer, renforçant la difficulté à intégrer ces terres dans une dynamique politique globale</i>
	Valider les résultats des modèles avec des données de terrain	
	Prédire les effets du CC sur les écosystèmes, les communautés et les populations, en adoptant une perspective régionale/continentale	
	Développer des outils de simulation de gestion de crise pour aider à la décision et tester des scénarii de réponse à la crise	
<b>Suivi /observation</b>	Maintenir, améliorer ou mettre en place des programmes et outils de suivi de la biodiversité, valablement interrogeables sur la question du changement climatique et de ses impacts	<i>Développement de systèmes performants de suivi continu de la biodiversité, cohérent nationalement et avec le niveau international. Développement de grilles pertinentes de lecture des résultats avec le prisme du changement climatique. Rendre ces données publiques et accessibles sur Internet</i>
	Identifier des indicateurs pour surveiller les impacts du CC sur la biodiversité, évaluer la vulnérabilité et l'efficacité des mesures d'adaptation	<i>Identification d'espèces sentinelles</i>

	Utiliser les espaces protégés comme socles d'observation et territoires de référence pour étudier les effets du CC	
	Observer et mesurer l'impact du changement climatique et des mesures d'adaptation sur le stock et le stockage de carbone et de méthane par les écosystèmes, dans la perspective des stratégies d'atténuation du CC	<i>Certaines mesures d'adaptation sont susceptibles d'aggraver le CC si elles contribuent au relargage de stocks importants de carbone ou de méthane.</i>
<b>Catégorie 4 : Gouvernance</b>	Améliorer la coordination entre les différentes institutions, agences et organisations	<i>Proche collaboration au niveau national entre les personnes s'occupant de CC et celles s'occupant de biodiversité pour exploiter au maximum les synergies (engagement CDB)  Proche collaboration entre les instances pilotant l'adaptation de l'économie des écosystèmes productifs avec celles en charge de la biodiversité : agriculture, foresterie, pêche... Trouver les mesures gagnant-gagnant (engagement Grenelle pour la forêt).</i>
	Initier le dialogue parmi les différentes parties prenantes, les impliquer en amont des décisions	<i>Promotion de la gouvernance à cinq dans les instances (engagements du Grenelle de l'environnement et du Grenelle de la mer)</i>
	Assurer la bonne circulation des informations concernant les connaissances et mesures d'adaptation (expériences, réussites, obstacles...) aux décideurs et parties prenantes	<i>Constitution d'une base de données des bonnes pratiques, constitution d'une plateforme permettant un échange d'informations, formations et matériels de base aux agents concernés par les interactions biodiversité-changement climatique.</i>
	Faire en sorte que les personnes ayant le pouvoir de décision s'approprient le sujet	
	Mettre en place des mécanismes permettant une gouvernance adaptative	<i>Expertiser le droit national pour lever les blocages à ce type de gestion.  Etudier et formaliser les conditions de gouvernance et de participation démocratique garantissant une bonne conduite de la gestion adaptative.</i>
	Concevoir des plans d'actions dotés d'une échéance et à effets mesurables	
	Etablir des collaborations inter-nations	<i>Notamment avec pays limitrophes pour ce qui concerne les espèces qui disparaissent naturellement d'un territoire pour migrer chez le voisin. Notamment pour le milieu marin, dont certaines politiques relèvent exclusivement du droit communautaire (ex. PCP).</i>
	Ne pas se limiter à un seul type d'intervention, cumuler des approches différentes	<i>L'optimisation du tout étant différente de la somme de l'optimisation des constituants, systématiser les analyses holistiques des problèmes et des enjeux</i>
<b>Catégorie 5 : Approche holistique / Vision globale intégrant les autres</b>	Intégrer les questions de biodiversité dans les différentes politiques sectorielles concernant le changement climatique et réciproquement	
	Adopter une perspective régionale/continentale et de long terme dans la planification et la gestion	<i>Procéder à des évaluations d'impact au niveau régional ou du bassin hydrographique</i>

<b>politiques sectorielles</b>	Assurer une gestion de la matrice (zone hors espace protégé) permettant d'augmenter la résilience de la biodiversité face au CC	<i>Mesures agro-environnementales, réduction de la fragmentation... Etablir un découpage stratégique de l'utilisation des sols permettant de minimiser les impacts du CC Trame verte et bleue (engagement Grenelle)</i>
	Eviter les impacts négatifs sur la biodiversité des mesures d'adaptation/atténuation prises par les autres secteurs et exploiter au maximum les co-bénéfices	<i>Cf. supra : production forestière, optimisation carbone... Voir notamment l'impact de l'hydroélectricité sur la biodiversité aquatique (label EVE du WWF ?)</i>
	Assurer une compatibilité entre les stratégies d'adaptation et d'atténuation du changement climatique	
	Gérer les conflits homme - faune/flore sauvage au fur et à mesure du changement	
	Allouer suffisamment d'espace pour permettre le développement naturel des rivières et côtes ; gérer spécifiquement la question du déplacement du trait de côte (métropole, outre-mer)	<i>La reconnexion du lit majeur et des plaines alluviales permet à la fois la protection de la biodiversité et la protection des populations contre les crues.</i>
<b>Implication de la société civile</b>	Promouvoir des politiques de conservation qui impliquent les usagers locaux	
	Sensibiliser le public sur les interactions biodiversité-changement climatique	<i>Développer les Actions Sciences Citoyennes et Biodiversité. Créer des programmes d'éducation, qui sensibilisent aux problèmes engendrés par le CC ; utiliser les réseaux sociaux. Investir massivement dans les programmes de formation initiale et continue.</i>
	Prise en compte des aspects sociaux afin de maximiser l'acceptation et l'efficacité de nos politiques de conservation	<i>Quantifier le rapport susceptibilité environnementale / capacité adaptative de la société afin de d'évaluer les chances de réussite des interventions de conservation ; adopter des mesures adaptées culturellement.</i>
	Promouvoir par l'exemplarité les solutions vertueuses, systématiquement et massivement mises en œuvre sur les espaces gérés par l'Etat : biodiversité urbaine, forêts publiques, espaces dédiés au transport ferroviaire, littoral, aires protégées, cours d'eau publics, domaine maritime...	<i>Développer le volet « Biodiversité et changement climatique » de la stratégie « Etat exemplaire » et en identifier formellement le pilotage de sa mise en application.</i>