



HAL
open science

Rapport du Groupe Biodiversité : partie III

Vincent Badeau, D. Berthault, Christopher Berthon, C. Blanc, Christophe Bouget, B. Chevassus Au Louis, I. Chuine, J. Courdille, Denis Couvet, P.J. Dubois, et al.

► **To cite this version:**

Vincent Badeau, D. Berthault, Christopher Berthon, C. Blanc, Christophe Bouget, et al.. Rapport du Groupe Biodiversité : partie III. [Rapport de recherche] irstea. 2009, pp.93-173. hal-02593252

HAL Id: hal-02593252

<https://hal.inrae.fr/hal-02593252v1>

Submitted on 15 May 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 II – Rapports des groupes
transversaux**

Table des matières

I	Rapport du Groupe Eau.....	3
I.1	Introduction	4
I.2	La ressource en eau : état des connaissances et impacts observés	6
I.3	Impacts du changement climatique futur sur la ressource en eau	31
I.4	L'adaptation au changement climatique appliquée au cas de l'eau	52
II	Rapport du Groupe Risques naturels et assurance.....	60
II.1	Introduction	61
II.2	Présentation succincte des risques étudiés (climat actuel)	65
II.3	Préalable méthodologique : l'évaluation de la vulnérabilité	68
II.4	Le risque de retrait-gonflement des sols argileux	69
II.5	Le risque d'inondation	74
II.6	Le risque côtier	79
II.7	Le risque gravitaire : impact du changement climatique	83
II.8	Analyse et discussion des résultats	85
II.9	Besoins spécifiques et pistes identifiées pour poursuivre l'analyse.....	91
III	Rapport du Groupe Biodiversité.....	93
III.1	Introduction.....	94
III.2	Chapitre I - Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité .	103
III.3	Chapitre II- Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité	114
III.4	Chapitre III- Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité.....	132
III.5	Chapitre IV- Éléments d'évaluation économique des impacts.....	138
III.6	Chapitre V - Effets croisés entre adaptation au changement climatique de différents secteurs, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité	149
III.7	Chapitre VI- Stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la biodiversité.....	155
III.8	Conclusion générale	172
IV	Rapport du Groupe Territoires.....	174
IV.1	Introduction	175
IV.2	Les objectifs - la problématique territoriale dans l'adaptation au changement climatique	177
IV.3	Éléments de compréhension de la vulnérabilité des territoires au changement climatique	181
IV.4	Gestion de la transition vers une politique territoriale de l'adaptation	198
IV.5	Conclusion	213

III Rapport du Groupe Biodiversité

« C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain n'écoute pas. »

Victor Hugo

Président : Jean-François LERAT

Vice-président : Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS

Rapporteur : Vanessa NUZZO

Auteurs : Badeau Vincent, Berthault Daniel, Berthon Caroline, Blanc Cécile, Bouget Christophe, Chevassus-au-Louis Bernard, Chuine Isabelle, Courdille Jacques, Couvet Denis, Dubois Philippe-Jacques, Dupouey Jean-Luc, Edelist Cécile, Galliot Michel, Gouletquer Philippe, Gritti Emmanuel, Gros Philippe, Lerat Jean-François, Loquet Maryline, Mauchamp Luc, Meignien Pierre, Métais Michel, Nuzzo Vanessa, Reysset Bertrand, Russo Lisa, Salmona Marie-Christine, Salvat Bernard, Séon-Massin Nirmala, Thiry Emmanuel, Thuiller Wilfried, Trouvilliez Jacques, Tuffery Laëtitia, Zagatti Pierre.

Remarque préalable : « * » signifie une référence au glossaire (Annexe C.1).

III.1 Introduction

III.1.1 Mandat du groupe et champ de l'expertise

Le groupe « Biodiversité » a été constitué en janvier 2009, c'est-à-dire en début de phase 2 du Groupe interministériel Impacts du changement climatique en France. Il s'est réuni six fois.

Le mandat du groupe « Biodiversité » lui confère un double rôle, tant transversal que thématique (ayant sa dynamique propre) par rapport aux autres groupes. Les objectifs du groupe consistent, à partir des données existantes, à produire des éléments de synthèse ou d'illustration sur :

- les impacts présents et futurs du changement climatique sur la biodiversité en France et leurs conséquences en termes de services écosystémiques* ;
- les impacts sur la biodiversité des mesures d'adaptation proposées au regard des autres thématiques (énergie, transports, territoire, agriculture, forêt, santé, tourisme, etc.) ;
- les mesures proposées d'adaptation au changement climatique pour la biodiversité.

Le champ de l'expertise est vaste, puisqu'il comprend⁴² :

- la France métropolitaine et outre-mer ;
- la biodiversité terrestre, aquatique et marine ;
- la biodiversité remarquable (espèces et espaces protégées comme Natura 2000) ;
- les services écosystémiques ;
- les pays voisins lorsque cela est pertinent (migrations transfrontalières)

III.1.2 Composition du groupe Biodiversité (non détaillée)

Le groupe « Biodiversité » est composé d'une vingtaine de personnes (sa composition est détaillée en Annexe D.3) expertes de la biodiversité et du changement climatique, principalement membres de l'administration et scientifiques. La Direction générale énergie climat (DGEC) a mandaté la Direction de l'eau et de la biodiversité (DGALN / DEB) pour le pilotage général des travaux.

La présidence du groupe est assurée par Jean-François LERAT, ingénieur général du GREF, membre du CGAAER.

La vice-présidence est assurée par Bernard CHEVASSUS-au-Louis, inspecteur général de l'agriculture, membre du CGAAER.

Le rapporteur du groupe est Vanessa NUZZO, chargée de mission à la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du MEEDDM.

⁴² En raison des spécificités de la thématique « biodiversité », le champ d'investigation est plus vaste que le champ choisi par le groupe interministériel : prise en compte de l'outre-mer et des pays voisins lorsque pertinent.

Un groupe de « grands relecteurs » a permis une lecture critique du projet de rapport et une validation par la DEB :

- Jean-Claude VIAL : adjoint à la Directrice de l'eau et de la biodiversité du MEEDDM.
- Jean-Jacques LAFITTE : ingénieur général du GREF, membre du CGEDD.

III.1.3 Résumé exécutif

III.1.3.1 Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité

1. Il est délicat de séparer ce qui constitue une réaction au changement climatique de ce qui est dû aux changements d'usages des ressources ou de comportements de nos concitoyens. Les fortes interactions entre le changement climatique et d'autres volets des changements globaux (démographie, migrations, modifications des usages du territoire) incitent à analyser l'ensemble des facteurs qui influencent la biodiversité.
2. Néanmoins, on observe d'ores et déjà des signes de modification de la biodiversité attribuables aux changements graduels induits par le changement climatique. Ils concernent les différents niveaux d'organisation de la biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique) en France métropolitaine et outre-mer, tant sur le domaine terrestre, dulçaquicole que marin. En particulier, les limites entre les zones climatiques se déplacent actuellement sur le territoire métropolitain et entraînent le déplacement des cortèges et espèces qui leur sont inféodés.
3. Les événements extrêmes, dont la fréquence et l'intensité sont susceptibles d'être accrues, ont également des effets sur la biodiversité, de nature à perturber les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements graduels.
4. La question de l'évolution de la biodiversité sous l'emprise du changement climatique concerne souvent la réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (température, pluviométrie...) ou des paramètres chimiques associés (composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques...).
5. Sur ce point, les connaissances du comportement des différentes espèces sont extrêmement fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », la notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. En particulier, pour les espèces mobiles, le rôle que pourra jouer leur adaptation sur place par rapport à leur déplacement potentiel reste une question ouverte.
6. Les changements directs déjà observés relèvent de modifications de :
 - la physiologie des individus ;
 - leur comportement (ex. sédentarisation versus migration) ;
 - la diversité et l'abondance d'espèces ;
 - leur distribution géographique (ex. déplacement en altitude et vers le nord d'espèces terrestres) ;
 - la structure des communautés (ex. espèces généralistes prenant parfois le dessus sur des spécialistes) ;
 - la phénologie* (ex. asynchronie* entre les cycles des proies et des prédateurs) ;
 - la surface occupée par des milieux naturels.

Ces modifications sont variables en ampleur et rapidité.

7. Les évolutions au sein même des espèces (modifications des traits de vie, des comportements ; diminution de la diversité génétique) sont moins documentées, mais des observations sont néanmoins disponibles.

8. Il paraît important d'élargir la problématique en montrant que les effets indirects du changement climatique sont sans doute au moins aussi importants que les effets directs, d'une part via la modulation d'autres pressions ayant des effets négatifs sur la biodiversité et, d'autre part, du fait des conséquences sur la biodiversité de l'adaptation de différents secteurs d'activités au changement climatique.
9. L'analyse des effets du changement climatique implique donc *a minima* de mieux identifier ces effets indirects et, dans une logique de prévention, de tout faire pour minimiser rapidement ces pressions actuelles et futures, afin de permettre à la biodiversité d'affronter « sans handicap » le changement climatique.

III.1.3.2 Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité

10. Le Groupe interministériel a choisi de se focaliser sur les scénarios climatiques A2 et B2 du GIEC, aux horizons temporels 2030, 2050 et 2100. Néanmoins, il semble qu'on s'achemine vers le pire des scénarios, selon laquelle la vitesse des changements futurs dépasse celle des références connues dans l'histoire passée.
11. La connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des scénarios d'évolution tendancielle entachée d'incertitude. Il convient de les considérer comme des éléments de prospective* et non comme des prédictions*.
12. De fortes incertitudes sont attachées aux résultats des modélisations : incertitudes liées aux modèles d'impacts calibrés sur les données actuelles, au climat futur (modèles climatiques, scénarios d'émission et méthodes de désagrégation), aux interactions entre la biodiversité future et le climat futur.
13. Néanmoins, les résultats des différents modèles d'impacts disponibles aujourd'hui convergent sur le sens des évolutions à venir.
14. On anticipe non pas une simple modification des limites des grandes zones biogéographiques et des changements d'aires de répartition d'espèces, mais aussi une dissociation des communautés d'espèces animales et végétales (*i.e.* les espèces associées et co-adaptées dans un écosystème se retrouveront séparées) et leur recomposition (*i.e.* de nouvelles associations d'espèces ayant parfois antérieurement des aires de répartition disjointes apparaîtront).
15. Le taux de renouvellement pour les différents groupes d'espèces sera probablement important sur l'ensemble du territoire français y-compris dans les aires protégées.
16. En un lieu donné, du fait des différences de capacité de colonisation des espèces, on peut s'attendre à une latence entre la disparition des cortèges actuels et l'arrivée de nouveaux, se traduisant par des « effets de trous » (d'où une forte diminution de la biodiversité) ou au contraire « d'encombrement », plus ou moins transitoires.
17. Certaines populations isolées le seront davantage, ce qui pourrait induire la perte définitive d'écotypes* (sous-populations originales). De tels phénomènes sont déjà documentés (ex. peuplements piscicoles des lacs alpins, flore alpine).
18. La notion d'espèce envahissante* est conservée dans son acceptation d'espèce exotique* introduite artificiellement. Est ici exclue de cette notion l'extension « naturelle » d'une aire de répartition, sans intervention humaine directe (ex. espèces thermophiles*).

III.1.3.3 Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité

19. La description objective des réactions des écosystèmes et de leurs composantes doit être distinguée de la question, plus subjective, du caractère « adaptatif » ou non de ces réactions (viabilité à long terme).

20. Il est donc nécessaire de relier les évolutions observées des écosystèmes à un « système de valeur » explicite qui définira les critères de référence du caractère adaptatif ou non de ces évolutions. Il apparaît que ce système est le plus souvent anthropocentrique.
21. Dans une vision anthropocentrique, une des principales conséquences de la perte de biodiversité sera la diminution éventuelle des services écosystémiques et, corrélativement, du bien-être humain. Trois types de services sont retenus : services d’approvisionnement, de régulation et à caractère social.

III.1.3.4 Éléments d’évaluation économique des impacts

22. Il est aujourd’hui admis que les services écosystémiques sont en grande partie des services de régulation (ex. stockage de carbone, régulation de la qualité de l’eau) et que ceux-ci ne sont que très partiellement intégrés dans une logique marchande.
23. La quantification économique des impacts futurs du changement climatique est délicate pour des variations de grande ampleur de la biodiversité. Par contre, il est possible de faire des prévisions à économie constante pour des variations marginales des services écosystémiques.
24. Le groupe « Biodiversité » a choisi une démarche générale d’évaluation économique fondée sur les services écosystémiques de la biodiversité générale, qu’il a appliquée aux services rendus par les écosystèmes coralliens et forestiers, pour lesquels on dispose de données fiables.
25. Cette approche ne considère donc pas les multiples valeurs associées aux apparitions et disparitions d’espèces ou autres composantes de la biodiversité remarquable*.
26. Des pertes économiques significatives liées à la diminution voire la disparition de services de régulation sont à attendre en particulier dans la seconde moitié du 21ème siècle.
27. Les récifs coralliens ne sont aucunement menacés par l’élévation du niveau de la mer, mais vont subir des blanchissements* de plus en plus fréquents du fait de l’augmentation de température de l’eau. En outre, leur capacité de calcification pourrait diminuer en raison de l’acidification* de l’eau. Ces phénomènes mettent en péril ces écosystèmes fragiles et les services qu’ils rendent.
28. On montre finalement que l’évolution quantitative des espaces occupés par des écosystèmes à haute production de services sera un facteur plus déterminant de perte (ou de gain) de tels services que la fluctuation par hectare de ces mêmes services sur les surfaces restantes.
29. Il s’agira de tirer des recommandations en termes de politiques territoriales pour conserver et améliorer ce potentiel d’offre de services (ex. par le maintien voire la reconquête des surfaces à couvert végétal permanent).

III.1.3.5 Effets croisés entre adaptation au changement climatique, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité

30. On étudie les effets croisés entre la biodiversité et différents secteurs d’activités, eux-mêmes touchés par le changement climatique, afin de préciser dans quelle mesure les stratégies d’adaptation – tant spontanées* que planifiées* – de ces secteurs peuvent avoir des conséquences, notamment négatives, sur la biodiversité.
31. Cette analyse transversale amène à considérer les représentations de la biodiversité que peuvent avoir les différents acteurs concernés.
32. On constate aujourd’hui que les politiques publiques intègrent peu la biodiversité, malgré les impacts du changement climatique – combinés aux autres pressions existantes – d’une part ; et la sensibilité accrue au rôle de la biodiversité générale* d’autre part.
33. L’hypothèse de travail à économie constante s’avère contraignante et peu réaliste : le groupe « Biodiversité » recommande de prendre en compte de façon plus détaillée

- entre autres - les impacts indirects du changement climatique, la politique française d'atténuation*, les évolutions probables de l'occupation du sol.
- 34. Dans plusieurs domaines comme l'agriculture et la foresterie, les interdépendances avec la biodiversité sont jugées particulièrement fortes.
- 35. La notion de services écosystémiques permet d'éclairer ces interdépendances.
- 36. S'achemine-t-on vers une multifonctionnalité des territoires ou bien au contraire vers une plus grande spécialisation ? Quels sont les facteurs déterminant l'option future dominante (ex. volonté politique) ?
- 37. L'adaptation spontanée de certains secteurs (ex. urbanisme, énergie, transport) n'a-t-elle pas potentiellement plus d'impacts sur la biodiversité que l'adaptation planifiée ? Cet aspect mérite d'être analysé en profondeur.
- 38. Il est nécessaire d'accompagner - voire d'orienter - les évolutions en cours de la politique de protection de la biodiversité au vu de ces éléments et, parallèlement, de renforcer l'intégration de l'enjeu de conservation de la biodiversité dans les politiques sectorielles.
- 39. Privilégier la gouvernance territoriale peut permettre de faire la synthèse des différents enjeux aux échelles spatiales pertinentes.
- 40. Il conviendra également d'analyser l'ensemble des mesures d'adaptation et d'atténuation, afin de promouvoir celles qui exploitent le maximum de synergies et de minimiser les conflits entre stratégies d'adaptation / stratégies d'atténuation / protection de la biodiversité.

III.1.3.6 Stratégies d'adaptation favorables à la biodiversité

- 41. L'objectif est de procéder à un premier recensement des stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la conservation de la biodiversité, puis d'identifier les mesures « sans regret »* (bénéfiques à la biodiversité même hors contexte du changement climatique), les plus opérationnelles possibles.
- 42. Ces mesures doivent s'inscrire dans la perspective de l'application du principe de précaution* (face à des risques graves et irréversibles), ce qui signifie en particulier que les actions mises en œuvre doivent être accompagnées de moyens d'acquisition de connaissances complémentaires.
- 43. Cette question couplée - adaptation au changement climatique et biodiversité - fait l'objet de plus en plus de discussions dans les multiples lieux de prise de décision, qu'ils soient internationaux, communautaires, nationaux ou locaux. Il convient donc de renforcer la cohérence globale de la gouvernance au sein de cet emboîtement d'échelles et de reconnaître et coordonner les responsabilités aux différents niveaux d'intervention.
- 44. On distingue plusieurs catégories de mesures d'adaptation planifiée pour la biodiversité, mutuellement complémentaires :
 - l'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles (ex. dispositifs d'observation et de suivi, modélisation) ;
 - l'intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques publiques de conservation et de gestion de la biodiversité ;
 - l'intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques ;
 - la promotion d'une gouvernance intégrée ;
 - la sensibilisation et la mobilisation de l'ensemble des acteurs.
- 45. Ces mesures s'inscrivent dans un large continuum allant du maintien de certains éléments de la biodiversité sur place jusqu'à l'accompagnement des changements en cours et anticipés. Des options de gestion contrastées en découlent, plus ou moins dirigistes.
- 46. La piste de la gestion adaptative semble prometteuse et « sans regret » : il s'agit de privilégier les itinéraires de gestion pouvant être modifiés au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances.

47. Sachant que la meilleure connaissance scientifique disponible des impacts du changement climatique sur la biodiversité sera toujours entachée d'incertitude, les politiques d'adaptation privilégieront la gestion adaptative, l'analyse de risque et l'application du principe de précaution.
48. Une autre recommandation porte sur le renforcement de la « résilience fonctionnelle »* des écosystèmes et de la connectivité* (développement d'infrastructures vertes, réseaux d'aires marines protégées), aux échelles adaptées. L'enjeu réside dans l'utilisation de la capacité d'adaptation des espèces et des écosystèmes en place plutôt que dans leur modification et leur remplacement anticipé.
49. Le changement climatique ne doit pas occulter l'enjeu tout aussi prioritaire de réduction des nombreuses autres pressions exercées sur la biodiversité. C'est là un domaine d'investigation pour des mesures sans regret visant conjointement à l'adaptation au changement climatique et à la réduction des pressions.
50. Le développement d'une gouvernance intégrée (insérée dans chaque politique sectorielle) est nécessaire.
51. La sensibilisation et la formation des acteurs doivent être renforcées et évaluées.
52. Toutes ces pistes doivent faire l'objet d'une discussion collective, concertée, avec l'ensemble des acteurs.
53. Le groupe « Biodiversité » a choisi de ne pas aborder le chiffrage du coût des mesures d'adaptation, l'importance des incertitudes sur les connaissances et les hypothèses laissant présager des résultats inexploitable.

III.1.4 Concepts-clés sur la biodiversité

La Convention sur la diversité biologique (1992) fournit la définition communément admise de diversité biologique comme étant la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». Cette définition introduit deux notions importantes :

La biodiversité prend en compte de façon simplifiée trois niveaux d'organisation du vivant : génétique, au sein des espèces ; spécifique, entre espèces ; écologique, entre les associations d'espèces caractérisant les écosystèmes. On pourrait introduire de nombreux autres niveaux, comme celui des populations d'une espèce – qui sont souvent adaptées à des conditions particulières – ou celui des paysages – assemblage spatial d'écosystèmes. La biodiversité est donc un objet multidimensionnel, dont chaque niveau est caractérisé par des phénomènes biologiques spécifiques. En corollaire, soulignons le caractère extrêmement partiel de la connaissance de ces différents niveaux : même en se limitant aux êtres « organisés » (constitués de nombreuses cellules différenciées), on avance souvent le chiffre de 5 à 10% comme proportion des espèces aujourd'hui décrites⁴³.

La biodiversité n'est pas une collection d'entités indépendantes mais un ensemble d'interactions entre ces entités. La notion de « complexes écologiques » traduit cette vision d'un système dont les propriétés dépendent moins des caractéristiques propres à chaque entité que des multiples échanges (de matière, d'énergie, d'information) qui s'établissent entre elles. La biodiversité est donc un système complexe. En corollaire, se limiter à des entités particulières ne permettra pas de comprendre et, a fortiori, de gérer la biodiversité.

À différentes échelles de temps, la structure de la biodiversité évolue, qu'il s'agisse de déplacements, de variations d'abondance des espèces ou d'adaptation aux changements de l'environnement. La notion d'équilibre, souvent associée implicitement à l'absence d'interventions humaines, est donc le plus souvent une notion théorique non pertinente pour analyser les situations concrètes. La biodiversité est un système dynamique et sa conservation passe d'abord par celle de ses capacités d'évolution. Ceci amène aujourd'hui à considérer avec prudence les stratégies de conservation du type « arche de Noé » (conservation d'un nombre nécessairement restreint d'entités dans des milieux « protégés »).

Enfin, il est nécessaire de considérer non seulement la diversité au sens strict (nombre d'entités distinctes) mais également de prendre en compte l'abondance absolue de ces entités pour décrire effectivement la biodiversité. En effet, même si le nombre d'entités n'est pas affecté, au moins dans un premier temps, par un changement quelconque, une diminution de leur abondance absolue se traduira le plus souvent par des modifications du fonctionnement des écosystèmes.

III.1.4.1 État de la biodiversité en France

Présente dans quatre régions biogéographiques au niveau métropolitain (cf. carte en Annexe F.1) et dans huit régions biogéographiques outre-mer, la France possède un

⁴³ S'y ajoutent les êtres unicellulaires, encore moins connus mais qui constituent, en terme de quantité de matière vivante mais sans doute aussi de diversité, la très grande majorité des êtres vivants.

patrimoine biologique exceptionnel et extrêmement varié, tant en matière d'espèces que de milieux naturels. En métropole, on recense actuellement 135 espèces de mammifères, 38 espèces de reptiles et autant d'amphibiens, 34 600 espèces d'insectes et plus de 6000 plantes vasculaires⁴⁴. On recense 561 espèces d'oiseaux au total en France, dont 287 nicheuses régulières et 16 nicheuses occasionnelles⁴⁵. Le territoire hexagonal est couvert à plus de 42% par des espaces naturels, dont 12,6% sont protégés (cf. carte en Annexe F.1). L'insularité et l'endémisme bouleversent les relations d'ordre et confèrent à la France outre-mer des nombres très élevés (et donc une responsabilité importante) d'espèces connues à ce jour (par ex. 60 fois plus d'oiseaux et jusqu'à 100 fois plus de poissons d'eau douce dans ces zones qu'en métropole). Néanmoins, plusieurs menaces occasionnent une perte importante de biodiversité, telles que :

- la surexploitation des ressources naturelles renouvelables ;
- la dégradation des habitats par la pollution physico-chimique ;
- la réduction de la taille et la fragmentation des habitats favorables à la biodiversité ;
- les invasions biologiques ;
- le changement climatique.

L'Europe s'est engagée à stopper la perte de biodiversité d'ici à 2010, objectif repris par la Stratégie nationale de la biodiversité (SNB)⁴⁶. Cette dernière fournit le cadre général des politiques de conservation de la biodiversité en France.

III.1.4.2 Tendances progressives versus aléas ponctuels

Les impacts du climat sur la biodiversité relèvent de deux grandes catégories : les tendances à long terme d'une part (ex. élévation progressive de la température annuelle moyenne de l'air), les aléas ponctuels d'autre part, dont les événements extrêmes (ex. sécheresse, tempête). Dans le premier cas, les modifications sont graduelles et dépendent à la fois de la capacité d'adaptation des individus ou des écosystèmes, mais aussi de leur possibilité (et capacité) de dispersion. Dans le second cas, les phénomènes de crise peuvent annihiler ou au contraire augmenter l'impact de changements graduels. Ainsi des printemps plus chauds et plus précoces ne sont pas synonymes d'un meilleur succès de reproduction des oiseaux si d'intenses phases pluvieuses perturbent la saison à certains moments clés du cycle biologique. Ces deux phénomènes complexifient la lecture de la réaction potentielle ou observée de la biodiversité, les aléas pouvant être d'une ampleur telle qu'ils peuvent bouleverser les processus d'adaptation de la biodiversité aux changements de long terme.

III.1.4.3 Changement climatique et changements globaux

Le changement climatique interagit avec l'ensemble des autres modifications d'origine anthropique de la biosphère : on parle alors de « changements globaux ». Outre le changement climatique, ceux-ci regroupent – entre autres – le changement d'occupation des sols (urbanisation, agriculture intensive, déforestation...), le changement des pratiques, la multiplication des espèces envahissantes, la surexploitation des ressources naturelles renouvelables, la mondialisation des échanges.

⁴⁴ MEDD, IFEN, 2004

⁴⁵ Dubois, com. pers

⁴⁶ MEDD, 2004

III.1.4.4 Adaptation de la biodiversité / Mesures d'adaptation pour la biodiversité

Lorsqu'on parle d'adaptation* de la biodiversité, il s'agit de phénomènes biologiques ayant lieu face à des événements extérieurs, en particulier influencés par le changement climatique. Par contre, lorsqu'il s'agit d'actions humaines, sera utilisé le terme de mesures d'adaptation, que cette adaptation soit spontanée* ou planifiée*.

III.1.4.5 Typologie des impacts du changement climatique sur la biodiversité : vers une problématique systémique

La question de l'évolution de la biodiversité sous l'effet du changement climatique est souvent posée sous l'angle d'une réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (ex. température, pluviométrie) ou des paramètres chimiques qui y sont directement associés (ex. composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques). Il est important d'élargir cette problématique, en montrant que les effets indirects du changement climatique, via la modulation d'autres facteurs agissant sur la biodiversité, sont sans doute plus importants que les effets directs. La Figure 9 représente le modèle formel proposé par le groupe Biodiversité, en distinguant quatre types d'effets (détaillés dans la partie III.2).

Encadré 6 - Typologie des différents impacts du changement climatique sur la biodiversité

1. Les effets directs (de type I) relèvent de l'action de modifications climatiques sur les caractéristiques d'espèces, écosystèmes et fonctionnalités écologiques. Ils sont les moins difficiles à déceler et décrire, conditionnellement à l'identification de leurs interactions avec les autres catégories d'effets et avec les autres types de changements.
2. Les effets indirects de type II sont les effets du changement climatique sur les principales pressions identifiées aujourd'hui comme étant à l'origine de l'érosion de la biodiversité (pollutions, etc., ici représentées sans hiérarchie particulière).
3. Les effets indirects de type III sont les conséquences sur la biodiversité de la réaction des différents secteurs d'activité, qu'il s'agisse d'atténuation*, d'adaptation spontanée* ou planifiée*. Ce point est particulièrement important à souligner pour inciter les différents groupes de travail sectoriels à identifier non seulement les possibilités et les coûts d'adaptation de leur secteur mais aussi de telles externalités.
4. Les effets de type IV sont, par rétro-action, les impacts de la biodiversité sur le changement climatique, tant en matière d'atténuation* (ex. captage des gaz à effet de serre par certains écosystèmes) que d'adaptation*.

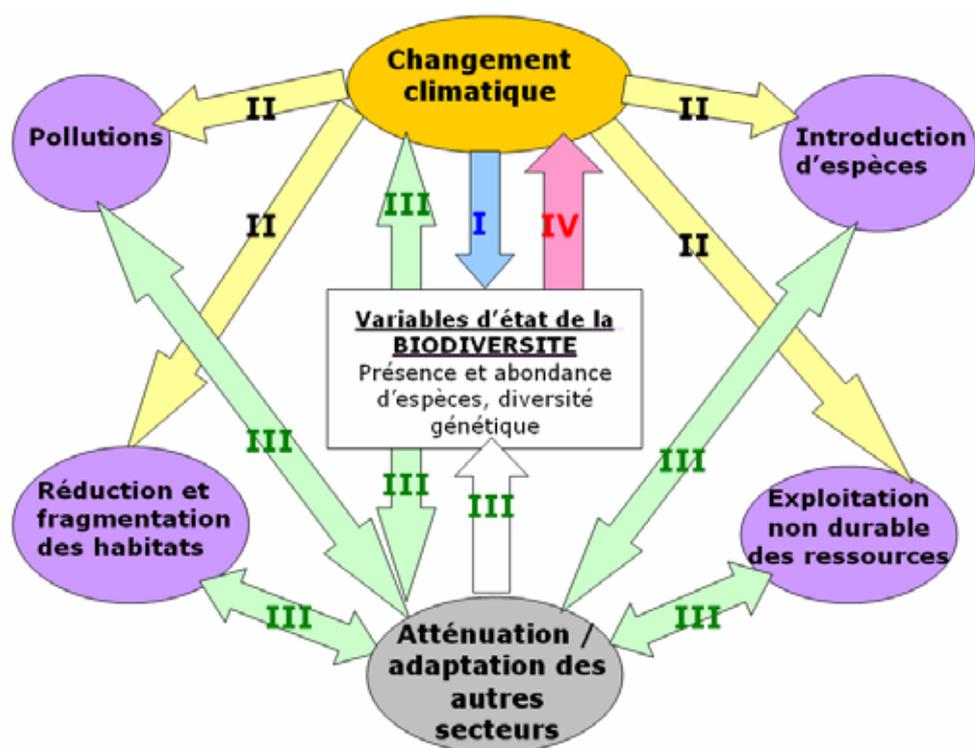


Figure 9 - Modes d'action du changement climatique sur la biodiversité (Chevassus-au-Louis, 2009. Com. pers.)

III.2 Chapitre I - Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité

Dans le cadre du Groupe interministériel, il s'agit de dresser une synthèse de l'état des connaissances des impacts actuels et à venir du changement climatique sur la biodiversité, sous-entendu impacts *directs* sur la biodiversité.

Le groupe Biodiversité a ainsi cherché à mettre en regard, à dire d'expert et à partir de la bibliographie, les différents aléas climatiques (liste complète en Annexe C.3) et leurs impacts directs (effets de type I cités ci-dessus) sur différents compartiments de la biodiversité. À la description de ces impacts peuvent être affectés divers critères de pondération, à savoir : la plausibilité d'occurrence de l'impact, son ampleur lorsqu'il s'exerce effectivement et l'importance à lui accorder (plus subjectif).

Bien qu'il ne soit pas possible dans les délais impartis de fournir une vision exhaustive de l'ensemble des impacts en France, un fait est avéré : le changement climatique produit déjà des effets sur la biodiversité, à tous les niveaux d'organisation (génétique, spécifique, écosystémique), dans tous les milieux (terrestres, aquatiques, marins).

Le groupe Biodiversité s'inscrit dans une perspective systémique. Cette analyse implique *a minima* de mieux identifier les effets indirects et, dans une logique de prévention, de tout faire pour minimiser rapidement l'ensemble des pressions afin de permettre à la biodiversité d'affronter « sans handicap » le changement climatique.

Ce premier chapitre vise donc à préciser les différents types d'impacts directs et indirects du changement climatique sur la biodiversité, puis à donner quelques exemples concrets d'effets directs déjà observés sur la biodiversité.

III.2.1 Impacts directs du changement climatique sur la biodiversité (type I)

Les changements directs déjà observés relèvent de modifications de (liste non exhaustive) :

Encadré 7 - Changements directs constatés sur la biodiversité

- la physiologie des individus ;
- leur comportement (ex. sédentarisation versus migration) ;
- la diversité et l'abondance d'espèces ;
- leur distribution géographique (ex. déplacement en altitude et vers le nord d'espèces terrestres) ;
- la structure des communautés (ex. espèces généralistes prenant parfois le dessus sur des spécialistes) ;
- la phénologie* (ex. asynchronie* entre les cycles des proies et des prédateurs) ;
- la surface occupée par des milieux naturels.

Ces modifications sont d'ampleur et de rapidité diverses.

La phénologie* étudie la répartition dans le temps des phénomènes périodiques caractéristiques du cycle vital des organismes. Cela va de la floraison des plantes à l'arrivée des oiseaux migrateurs.

La modification des aires de répartition des espèces est observée chez de nombreux groupes, tant terrestres que marins et pas seulement ceux qui à première vue semblent les plus mobiles. Ce changement d'aire de répartition joue sur l'ensemble des espèces, entraînant en général un glissement des aires vers le nord ainsi qu'en altitude (ou en profondeur dans le domaine marin). Cependant, extrapoler à un glissement d'ensemble des communautés écologiques est trop simpliste, car les variations d'aires dépendent de nombreux facteurs (espèce généraliste/spécialiste...) et il est difficile de décrire l'évolution des peuplements. On assiste plutôt à leur recombinaison par apparition ou disparition d'espèces et modification d'abondance des populations.

III.2.2 Impacts du changement climatique sur les autres pressions pesant sur la biodiversité (type II)

Si l'on s'interroge sur l'effet du changement climatique sur les quatre principales pressions (surexploitation des écosystèmes terrestres et marins, pollution, fragmentation des milieux et espèces envahissantes) qui pèsent sur la biodiversité (Figure 9), on est amené à constater qu'ils conduiront souvent à renforcer ou à augmenter les impacts de ces dernières.

La canicule de 2003 a permis d'étudier les effets de ce type d'accident climatique. Pour ne donner que quelques exemples :

Encadré 8 - Quelques conséquences des événements extrêmes : cas de la canicule

- L'augmentation de la température de l'air provoque d'une part un stress hydrique pour les plantes et d'autre part un accroissement des incendies, perturbation bien étudiée dans le bassin méditerranéen. De naturelle, elle est devenue anthropique et de plus en plus fréquente. Un changement de cortège végétal, au profit des espèces buissonnantes pyrophytiques* est en cours ;
- L'augmentation de l'ampleur ou de la durée des étiages des cours d'eau augmente la concentration et donc l'effet, des substances toxiques ;
- La présence de matières organiques dans l'eau diminue, pour une température donnée, la concentration en oxygène et peut donc conduire à éliminer des espèces pourtant considérées comme tolérantes à ces températures ;
- Le réchauffement favorise l'arrivée de nouvelles espèces ou augmente la probabilité d'acclimatation des espèces introduites, notamment d'agents pathogènes. Ainsi, certains dépérissements des coraux sont dus à la fois à des apports de champignons pathogènes liés à l'augmentation de la turbulence atmosphérique et à des effets directs de la température qui créent un stress pour les micro-organismes qui constituent le corail, diminuant par exemple leur capacité de résistance aux agents pathogènes (champignons ou bactéries).

Le changement climatique contribue à faire disparaître ou à morceler certains habitats (zones humides, prairies d'altitude, reliques glaciaires), ce morcellement augmentant la probabilité d'extinction des espèces. Il diminue également l'abondance de certaines espèces exploitées ou restreint leur aire de répartition, conduisant ainsi, à pression d'exploitation inchangée, à des risques de surexploitation.

III.2.3 Impacts sur la biodiversité de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique de différents secteurs d'activités (type III)

Les « externalités négatives »* dues aux réactions des divers secteurs d'activité face au changement climatique (politiques d'atténuation*, adaptation spontanée* et planifiée*) peuvent être nombreuses. On peut évoquer :

- le recours à l'irrigation des cultures⁴⁷ (par le prélèvement en période d'étiage) et à la création de retenues agricoles, avec leurs effets sur les cours d'eau et sur les nappes superficielles, essentielles par exemple pour l'alimentation des peuplements forestiers comme pour le maintien des zones estuariennes et la productivité des zones côtières ;
- l'augmentation du fret maritime et son effet sur les introductions d'espèces, via l'augmentation de la « pression de propagules » lors des déballastages ;
- la densification urbaine, objectif louable en termes d'économies d'énergie, mais qui peut se révéler antagoniste d'un objectif de préservation de la biodiversité dans les zones urbaines et périurbaines en créant des ruptures, des coupures limitant les déplacements d'espèces ;

⁴⁷ Un développement de l'irrigation n'est pas évident : certaines zones marqueront d'eau, tandis que d'autres connaîtront une élévation de température se traduisant par une augmentation de la pluviométrie.

- les risques, pour certains éléments de biodiversité forestière, dus à l'augmentation des prélèvements de biomasse en forêt, notamment de bois énergie pour substitution aux énergies fossiles⁴⁸.

III.2.4 Impacts de la biodiversité sur le changement climatique (type IV)

La biodiversité peut tout d'abord être considérée comme un facteur d'atténuation*⁴⁹.

Au niveau global, la régulation du climat par différents écosystèmes se fait grâce à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et grâce à la séquestration de carbone (Tableau 12). Les travaux du GIEC ont montré que 40% du CO₂ émis restent dans l'atmosphère, 25% sont absorbés par les océans et 35% par les écosystèmes terrestres. La capacité de stockage de carbone des océans, forêts, prairies, tourbières et sols s'avère donc essentielle. Si les écosystèmes sont la plupart du temps des puits nets de dioxyde de carbone et d'ozone, ils sont en revanche des émetteurs nets de méthane et d'oxyde nitreux (N₂O).

Au niveau local, la régulation du climat se fait principalement par l'augmentation ou la diminution des températures locales via la régulation grâce à l'évapotranspiration, l'effet albédo, etc.

Tableau 12 - Service de régulation du climat global (MEEDDM, 2009a)

Grands écosystèmes	Différentes formes prises par le service		
	Séquestration de carbone dans la biomasse	Séquestration de carbone dans sol, fonds marins, sédiments	Emissions de gaz à effet de serre
Ecosystème littoral	0 (peu de végétaux)	X (ZH riches en matière organique)	X (CH ₄ zones humides)
Ecosystème forestier	X	X	0
Ecosystème forestier pionnier	X	X	0
Ecosystème montagneux	X	X	0
Ecosystème agricole	0 (stockage compensé par récolte)	X ou 0 (selon pratiques agricoles)	X (si trop fertilisants, ruminants)
Ecosystème urbain	0	0	X
Mers et océans	X	X	0
Surfaces d'eau stagnantes (plans d'eau, étangs, lacs)	X	X	X (CH ₄ zones humides)
Zones humides (ZH)	X	X (ZH riches en matière organique)	X (CH ₄ zones humides)

⁴⁸ Bouget *et al.*, 2009 ; Gosselin, 2009

⁴⁹ Le rôle des écosystèmes dans l'atténuation du changement climatique, popularisé par le rapport Stern sur les coûts de l'inaction, fait l'objet actuellement de négociations dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, à travers le thème des changements d'utilisation des sols et celui de la forêt, notamment concernant le mécanisme REDD+ (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement).

Ainsi, des travaux récents menés sur des prairies permanentes dans le cadre des programmes européens « GreenGrass » et « Carbo-Europe » montrent que ces prairies sont d'autant plus aptes à stocker le CO₂ qu'elles ont une diversité floristique, favorisée par une gestion plus extensive. À l'inverse, une gestion intensive de ces prairies en réduit le rôle de puits de carbone⁵⁰.

Les zones humides jouent un rôle dans l'émission / le stockage de gaz à effet de serre (en particulier le dioxyde de carbone et le méthane). Une récente publication⁵¹ recense les zones humides en fonction de leur « bilan carbone » : mangroves ; estuaires et marais tidaux ; zones humides d'eau douce intérieures - prairies humides - ; herbiers marins ; permafrost, toundras, tourbières ; lacs et réservoirs d'eau ; récifs coralliens.

La biodiversité peut également jouer un rôle important dans l'adaptation* au changement climatique⁵², à savoir dans la limitation de ses effets négatifs et l'accroissement de ses effets positifs. En voici quelques cas concrets :

Encadré 9 - Adaptation et zones humides

Elles fournissent aussi les premières lignes de défense du littoral et de l'arrière pays, à mesure que se font sentir les effets du changement climatique (fréquence accrue des tempêtes, structure des précipitations modifiée, élévation du niveau et de la température de surface des mers).

Encadré 10 - Adaptation et forêt

Le rôle des forêts dans les stratégies d'adaptation est de plus en plus reconnu (Eliasch, 2008), par exemple dans la défense contre les vents, la réduction de l'érosion et la régulation de l'eau.

Le service de Restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts a été mis en place sur 11 départements alpins et pyrénéens à fort relief (MAP, 2005). Les forêts publiques ayant pour fonction principale la protection du milieu physique représentent aujourd'hui 6% de la surface totale boisée des forêts publiques. Ces forêts jouent un rôle important de protection des infrastructures et des habitants contre les risques naturels : mouvements de terrain, avalanches, séismes, incendies de forêts, coulées de boue, etc.

⁵⁰ Soussana *et al.*, 2004, 2007 ; Seguin *et al.*, 2007

⁵¹ Comité français UICN, Danone, 2008

⁵² UNEP-WCMC, 2009

Encadré 11 - Adaptation et espaces verts et bleus en milieux urbains

Le développement d'espaces verts et espaces bleus en milieu urbain permet de rafraîchir ces zones, de réguler les crues de rivières et les inondations en ville, ou encore, par l'implantation d'arbres, de réduire les polluants dans l'atmosphère (Grimm *et al.*, 2008).

Le programme AMICA initié sur l'agglomération Lyonnaise vise à identifier de « bonnes » mesures d'adaptation, qui combineront baisse des émissions et baisse de la vulnérabilité locale, dans un but de renforcer le volet adaptation du plan climat du Grand Lyon. Exemples de mesures-clés identifiées : toitures végétalisées ; plantation d'arbres en fonction des zones de chaleur les plus importantes sur le Grand Lyon.

III.2.5 Impacts déjà observés sur la biodiversité terrestre

L'Annexe F.2 détaille les différents outils disponibles pour connaître, suivre et évaluer les impacts en milieu terrestre, aquatique que marin : observations de terrain, mise au point d'indicateurs d'état, expérimentations de terrain ou en laboratoire, modélisations...

On rappelle qu'il s'agit ici de fournir quelques exemples concrets et non un panorama exhaustif des impacts sur l'ensemble de la biodiversité.

III.2.5.1 Modification de la physiologie des individus

Bien que l'évolution génétique soit un processus naturel normal, des altérations morphologiques exceptionnellement rapides ont été observées chez les insectes sur des périodes brèves (de l'ordre d'une décennie). Il s'agit d'altérations liées à la capacité de vol⁵³, aux stratégies de survie, à l'induction de la diapause (dormance), au développement physiologique et à la résistance au froid chez des espèces qui modifient leur aire de répartition.

III.2.5.2 Modification de la diversité d'espèces en un lieu donné

La richesse en espèces végétales des sommets suisses s'est accrue au cours du siècle dernier de 10 à 20 espèces selon les sommets⁵⁴.

III.2.5.3 Modification de la distribution géographique

On constate dorénavant un déplacement des aires de distribution vers les latitudes et altitudes plus élevées, déplacement particulièrement bien documenté chez les oiseaux et les papillons :

- expansion altitudinale d'espèces de plaine,
- expansion latitudinale d'espèces méridionales,
- rétractation altitudinale d'espèces orophiles* (comme le papillon apollon ou certaines espèces nivicoles*)...

⁵³ Hill, Thomas et Blakeley, 1999

⁵⁴ Walther *et al.*, 2005

Si les aires de distribution des oiseaux communs se sont déplacées en moyenne vers le nord de 100 km en 20 ans en France (statistique basée sur le comptage de plusieurs millions d'oiseaux, représentant les 100 espèces les plus communes), ce n'est que la moitié de ce qui était attendu en réponse au réchauffement constaté, en supposant que ces espèces n'ont pas modifié leurs exigences climatiques.

Le moustique *Aedes albopictus*, vecteur du Chikungunya est apparu en région méditerranéenne française et se trouve dans toute la péninsule italienne. Les tiques vecteurs de la maladie de Lyme progressent vers le nord de l'Europe et en altitude.

Le front d'expansion de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) actuellement présente au sud du Bassin Parisien, montre une progression à la fois latitudinale et altitudinale (Figure 10), parallèlement à une augmentation moyenne de la température hivernale de 1,1°C dans la même zone. De plus, cette progression s'est notablement accélérée au fil des années (passage d'un rythme moyen de déplacement de 2,7km/an entre 1972 et 1992 à 5,5km/an durant les 10 dernières années).

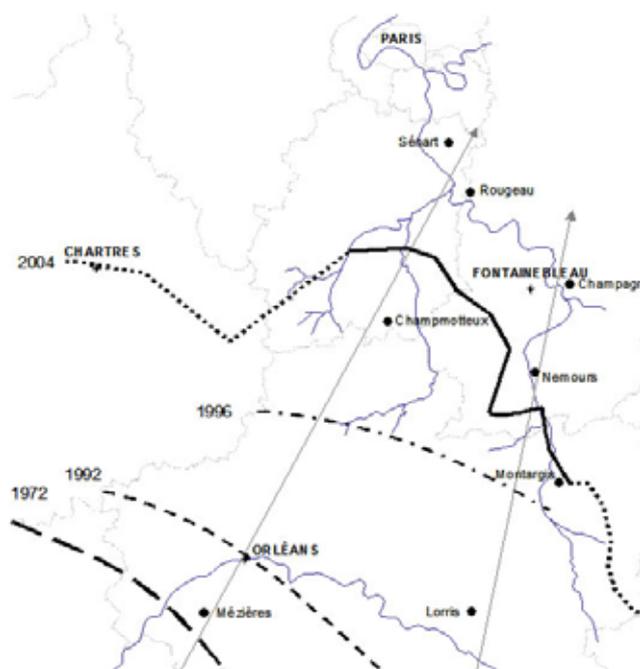


Figure 10 - Évolution du front d'expansion de la chenille processionnaire du pin dans le Bassin Parisien entre 1972 et 2004 (INRA-Orléans)

Toutefois, face à la modification observée des biocénoses, il est parfois délicat de séparer ce qui est une réaction au changement climatique de ce qui est dû aux changements d'usages ou de comportements de nos concitoyens.

Encadré 12 - Changements de l'aire de répartition du Monarque africain : quelles conséquences du changement climatique ?

Un exemple concret est donné par la progression vers le nord du monarque africain (*Danaus chrisippus*). Ce papillon tropical a progressivement colonisé l'Espagne pour arriver en France dans les années 1990 où il se rencontre désormais sur la côte méditerranéenne et en Corse (d'après Office Pour les Insectes et leur Environnement). Nul doute que le changement climatique a joué un rôle déterminant dans le succès de cette implantation, mais il apparaît également que les chenilles de cette espèce ne se nourrissent que d'Asclépiadacées tropicales absentes d'Europe. Effet de mode ou sélection de variétés plus résistantes, ces plantes (*Asclepias curassavica* notamment) sont apparues aux catalogues des horticulteurs dans les années 1990 également et ont aujourd'hui beaucoup de succès auprès des jardiniers du littoral méditerranéen.

III.2.5.4 Modification de la structure des communautés

Le déclin général constaté des espèces spécialistes pourrait être dû en partie au changement climatique, car ces espèces ont plus de difficulté à se déplacer, étant plus exigeantes vis-à-vis de leur habitat.

III.2.5.5 Modification de la phénologie*

Avec le changement climatique, la répartition et le cycle vital des espèces se modifient, chaque espèce à son rythme (Figure 11).

La période de reproduction des oiseaux se modifie. En Angleterre, sur 65 espèces d'oiseaux étudiées, 20 ont avancé leur date de ponte de 8,8 jours et seule une espèce a retardé son calendrier de reproduction (période d'étude 1971-1995)⁵⁵. Chez les espèces migratrices, les terrains de nidification peuvent devenir accessibles plus tôt dans la saison. Ainsi dans le nord-est du Groenland, la date de fonte des neiges est plus précoce de 14,6 jours depuis 1995, entraînant des dates de pontes plus précoces. En forêt, plusieurs perturbations du développement physiologique des arbres liées au décalage phénologique induit par le réchauffement général des températures peuvent être citées : débourrement plus précoce des arbres qui deviennent alors plus sensibles aux gels tardifs, difficulté de levée de dormance des graines liée à l'absence de période de froid suffisantes, perturbation observées dans le développement des bourgeons.

⁵⁵ Crick, Sparks, 1999

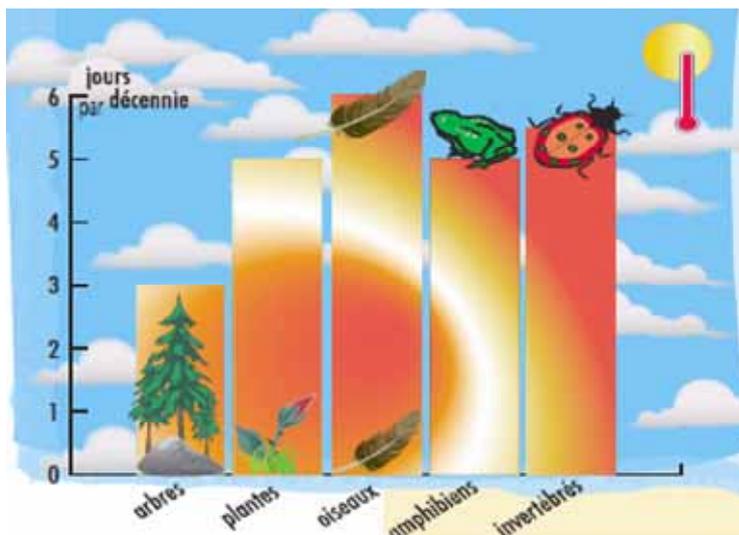


Figure 11 - Variations de la phénologie des groupes d'espèces (ATEN, 2006 : 12)

Les cycles vitaux sont plus ou moins avancés en fonction des groupes d'espèces. Aux extrêmes, les oiseaux connaissent une avancée moyenne de 6 jours par décennie, seulement 3 jours pour les arbres.

Ces décalages provoquent des bouleversements dans le fonctionnement des chaînes alimentaires. Ces difficultés d'adaptation pourraient se traduire par des extinctions et une réorganisation du fonctionnement des communautés.

Il est à noter que les nombreux phénomènes recensés ces dernières années et hâtivement attribués au seul changement climatique se révèlent bien souvent être d'origine plus complexe, souvent étrangère au changement climatique qui, intervenant en révélateur, s'en voit bien souvent attribuer la cause première !

Encadré 13 - Changement climatique et révélation de dysfonctionnements au sein des écosystèmes forestiers

C'est le cas des nombreux dépérissements observés sur des stations forestières sensibles au stress hydrique et qui concernent très majoritairement des peuplements implantés en limite de leur résistance écologique aux facteurs du milieu. En ce sens, on peut considérer que l'impact essentiel du changement climatique sur les forêts à ce stade est lié à ce rôle de révélateur des dysfonctionnements des sylvicultures peu précautionneuses de l'adéquation peuplement / station.

III.2.6 Impacts déjà observés sur la biodiversité aquatique

III.2.6.1 Impacts sur les milieux aquatiques d'eau douce

L'augmentation des espèces d'eau chaude au sein de communautés de poissons peut être attribuée au changement climatique, ainsi que des changements dans la structure de taille des communautés, les espèces comme les individus les plus petits étant favorisés⁵⁶. En particulier, dans le bassin du Rhône, on observe au sein des communautés

⁵⁶ Daufresne et Boët, 2007

(poissons comme invertébrés) le remplacement progressif d'espèces d'eau froide ayant des exigences élevées en oxygène (chevesne, les Insectes Plécoptères Chloroperla et Protonemura...) par des espèces thermophiles (barbeau, vandoise...) ⁵⁷. Lors de la vague de chaleur de 2003, la diminution de la teneur en oxygène dans les couches inférieures des masses d'eau a entraîné le déclin des mollusques de la Saône et un lent retour à la normale a été observé ensuite ⁵⁸. Cependant, une espèce défavorisée dans un bassin peut au contraire s'étendre dans un autre : ainsi le chevesne se multiplie en Basse-Normandie et dans le Rhin.

Dans les lacs, des modifications de la stratification thermique sont déjà observées, ainsi qu'un réchauffement progressif de l'eau, y compris les couches les plus profondes (+0,1°C par an pour le lac Léman) et une avancée de la période de mise en place de la stratification (-1 mois en 30 ans pour le lac Léman). Ceci a entraîné un décalage correspondant à la période de boom du phytoplancton et ainsi du maximum du zooplancton herbivore (Daphnies). Les espèces de poissons montrent quant à elles des réactions variables, notamment quant à leur période de reproduction. Ainsi, le corégone, pourtant une espèce d'eau froide, rencontre une conjoncture plus favorable au stade larvaire qui pourrait expliquer pour partie l'augmentation récente du stock de cette espèce (augmentation des captures d'un facteur 6 en 30 ans) ⁵⁹.

III.2.6.2 Impacts sur les milieux aquatiques d'eau de transition

Dans les eaux de transition, la baisse des débits conjuguée à l'élévation du niveau marin conduit globalement à une marinisation des estuaires. Par exemple, l'estuaire de la Gironde a vu la température augmenter de 1°C et les débits diminuer de 260m³/s depuis 27 ans, avec pour conséquence l'augmentation des espèces marines (anchois, syngnathe, maigre, sprat et crevette grise) aux dépens d'espèces amphihalines* comme l'éperlan et le flet.

En plus des changements de distribution et dans la structure des communautés, l'évolution du climat peut également entraîner des modifications des traits d'histoire de vie et de la structure démographique des populations. Par exemple, le Saumon atlantique en France a vu depuis le milieu du XIX^{ème} siècle son aire de répartition et l'abondance de ses populations diminuer (disparition des saumons dans la plupart des grands bassins fluviaux). Plus récemment, des modifications de certains traits d'histoire de vie ont été observées : nombre d'hivers passés en mer, âge de smoltification*, survie marine. Ces modifications peuvent être attribuées à la conjonction des pressions anthropiques et du changement climatique.

III.2.7 Impacts déjà observés sur la biodiversité marine

On retrouve en mer des types d'impacts du changement climatique comparables à ceux qui s'exercent sur la biodiversité terrestre. Ainsi, les maxima d'abondance du plancton de la mer du Nord font apparaître des désynchronisations entre cycles de développement dus à des décalages temporels qui varient selon les espèces. Dans les mers européennes, le réchauffement des eaux a provoqué des changements d'aires de répartition et d'abondance locale de nombreux organismes (invertébrés planctoniques et benthiques, poissons). L'huître creuse japonaise, dont l'aire de répartition traditionnelle est en sud-

⁵⁷ Daufresne *et al.*, 2004

⁵⁸ Mouthon et Daufresnes, 2006

⁵⁹ Gerdeaux, 2007

Loire, est devenue envahissante, colonisant les côtes de Bretagne et de Normandie comme les habitats en Mer du nord jusqu'en Norvège. La morue *Gadus morhua* est une espèce boréale largement répandue dans l'Atlantique nord. En mer du Nord, elle est en limite sud de son aire de répartition. À la fin des années 1980, « l'écosystème mer du Nord » a changé sous l'effet de facteurs climatiques, tandis que l'exploitation de la morue s'est intensifiée. La conjugaison de ces deux pressions a entraîné l'effondrement d'abondance de la morue de mer du Nord au début des années 2000. A contrario, des espèces lusitaniennes (rouget) ou subtropicales (anchois), peu ou pas observées en mer du Nord il y a 30 ans, y sont désormais installées. L'Annexe F.4 fournit d'autres exemples d'impacts sur le milieu marin.

L'outre-mer français abrite 10% des récifs coralliens de la planète. Ce sont, avec les forêts tropicales, les écosystèmes les plus diversifiés au monde. Les effets observés du changement climatique sont les suivants :

III.2.7.1 élévation du niveau des océans

En dehors d'une érosion constatée partout dans le monde et de l'ordre de la vingtaine de centimètres au cours du siècle passé, aucun effet de l'élévation du niveau de la mer sur les récifs et les mangroves n'a été constaté à ce jour. Cette même élévation du niveau des océans a des effets sur d'autres types de milieux que les récifs coralliens.

III.2.7.2 élévation de la température de surface des océans

Les trois dernières décennies sont parmi les plus chaudes depuis plus d'un siècle, ce qui s'est traduit en de multiples endroits par des températures estivales de l'eau de mer anormalement élevées. Ces températures, proches de la limite que peuvent supporter les coraux constructeurs de récifs, causent leur blanchissement* (rupture de la symbiose avec les microalgues qu'ils hébergent dans leurs tissus) suivi de mortalité si le stress se prolonge. De tels événements se sont multipliés ces dernières années à grande échelle : dans le Pacifique en 1991, 1998 et plus récemment en 2005 dans les Caraïbes. Les conséquences ont été des mortalités importantes de coraux et de récifs, suivies de modalités de récupération variables selon les zones affectées.

III.2.7.3 augmentation de la fréquence et/ou intensité des tempêtes et cyclones

L'augmentation de fréquence des cyclones au cours des trois dernières décennies dans les Caraïbes et dans l'Océan Indien a été néfaste au bon état de santé des écosystèmes coralliens. Ces cyclones rabetent la pente externe des récifs et causent de fortes pertes de biodiversité. Dans le Pacifique central, en Polynésie, on ne peut pas faire ce constat : les cyclones destructeurs sont rares ; ils ne se produisent qu'en périodes El Niño fortement marquées. Les périodes cycloniques ont été 1878, 1901-1903 et 1982-83 et les récifs récupèrent entre temps des dégradations qu'ils subissent⁶⁰.

⁶⁰ Les récifs récupèrent complètement et sans séquelle. Le cyclone provoque une casse mécanique et laisse le substrat calcaire sur lequel s'implantent des algues et de jeunes larves de coraux. Peu à peu, en 10-15 ans, un récif complètement abrasé se retrouve florissant, à condition qu'entre temps ne surgisse pas un autre cyclone. Le problème du changement climatique réside dans l'augmentation de fréquence des cyclones.

III.2.7.4 acidification* des eaux océaniques

Plusieurs travaux font état d'une diminution de la calcification des coraux depuis un siècle. L'analyse du récent déclin du taux de calcification de coraux massifs de la Grande Barrière (Australie) illustre la pluri-causalité de ce phénomène. L'acidification est l'un des plus grands risques que courent non seulement les coraux, mais aussi les mollusques pour le développement de leurs coquilles ou encore tous les organismes à squelette calcaire.

III.3 Chapitre II- Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique produit déjà des effets sur la biodiversité, partout dans le monde. Quelles seront les incidences à venir selon les différents scénarios climatiques ?

Le Groupe interministériel a choisi de se focaliser sur les scénarios climatiques A2 et B2 du GIEC. Toutefois, il convient de noter que ces deux scénarios n'englobent pas la totalité de la variation explorée dans le rapport du GIEC. Les scénarios A1FI et B1 sont les deux extrêmes opposés⁶¹ les plus couramment utilisés dans les études de biodiversité. La spécification du modèle climatique et du scénario employé⁶² est donc primordiale : les résultats présentés dans ce chapitre sont systématiquement assortis du nom du modèle, du scénario et de l'horizon utilisés.

De plus, il semble qu'on s'achemine vers le pire des scénarios climatiques du GIEC⁶³ : dans ce cas, la vitesse des changements futurs dépasse celle des références connues dans l'histoire passée.

Le Groupe s'attache à l'étude des impacts aux horizons temporels 2030, 2050, 2100 : néanmoins, l'évolution de la biodiversité dépendra largement des scénarios à très long terme (22ème et 23ème siècle).

Comme détaillé dans l'Annexe F.2 à propos des outils de connaissance des impacts futurs, de fortes incertitudes sont attachées aux résultats des modélisations :

- incertitudes liées aux modèles d'impacts calibrés sur les données actuelles ;
- au climat futur (modèles climatiques, scénarios d'émission et méthodes de désagrégation) ;
- aux interactions (positives ou négatives, encore inconnues) entre la biodiversité future et le climat futur.

De ce fait, seuls des scénarios d'évolution peuvent être proposés. Ils donnent des tendances générales de ce que pourrait être le devenir d'une espèce particulière, d'un habitat ou d'un espace plus vaste en fonction d'un certain nombre de paramètres amenés à être modifiés dans le futur. En aucun cas les résultats obtenus avec ces outils ne doivent être utilisés tels quels sans connaître les différentes incertitudes inhérentes à ce

⁶¹ A1FI est un scénario global d'utilisation massive d'énergie fossile, tandis que le B1 est un scénario global de développement durable avec utilisation maximum d'énergie renouvelable.

⁶² On relèvera tout de même qu'un modèle climatique X appliqué au scénario A1FI peut annoncer des valeurs de températures similaires à un modèle Y appliqué au scénario A2 ou B2.

⁶³ Du fait de la divergence constatée entre les émissions réelles et les émissions prévues par les différents scénarios, entraînant des hausses de température et du niveau de la mer plus importantes qu'imaginées antérieurement. Cf. <http://climatecongress.ku.dk/>

type d'approche. Par conséquent, la connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des éléments de prospective* et non de prédiction*. L'interprétation et l'utilisation des résultats (par exemple des cartes) dans l'aide à la décision devront être prudentes.

Néanmoins, on constate que les résultats issus de différents modèles d'impacts aujourd'hui disponibles convergent sur le sens des évolutions à venir (l'Annexe F.3 présente le cas du hêtre).

III.3.1 Impacts futurs sur la biodiversité terrestre

Les différents types de modèles sont présentés en Annexe F.2 : modèles de niche ou d'habitat ; modèles de dynamique de la végétation ; modèles individus-centré.

III.3.1.1 Quelques résultats d'impacts futurs issus de modèles de niche

La plupart des données disponibles ou des modèles élaborés pour caractériser la réponse de la biodiversité à ces changements s'appuie sur la connaissance des paramètres physico-chimiques de la niche écologique* des espèces, définie en particulier par des préférences thermiques (extrêmes et/ou moyennes annuelles, exigences particulières à certains stades du cycle biologique).

Le changement climatique devrait entraîner une modification substantielle de l'aire de distribution des espèces. Une partie de la biodiversité terrestre française a été modélisée par des modèles de niche pour 1062 espèces végétales, 328 oiseaux nicheurs en France, 106 reptiles ou amphibiens et 139 mammifères selon les scénarios A2 et B2, avec une simulation d'évolution à horizon 2080 (modèle climatique anglais HadCM3)⁶⁴. Un tiers des espèces végétales, des mammifères et des oiseaux (Tableau 13) pourraient voir leur aire de distribution diminuer d'au moins 20%. On prévoit que près de 62% des reptiles ou amphibiens perdront au minimum 20% de leur aire actuelle de répartition. Cette réduction devrait augmenter significativement les risques d'extinction pour de nombreuses espèces – une fraction d'autant plus élevée que celles-ci auront du mal à se déplacer.

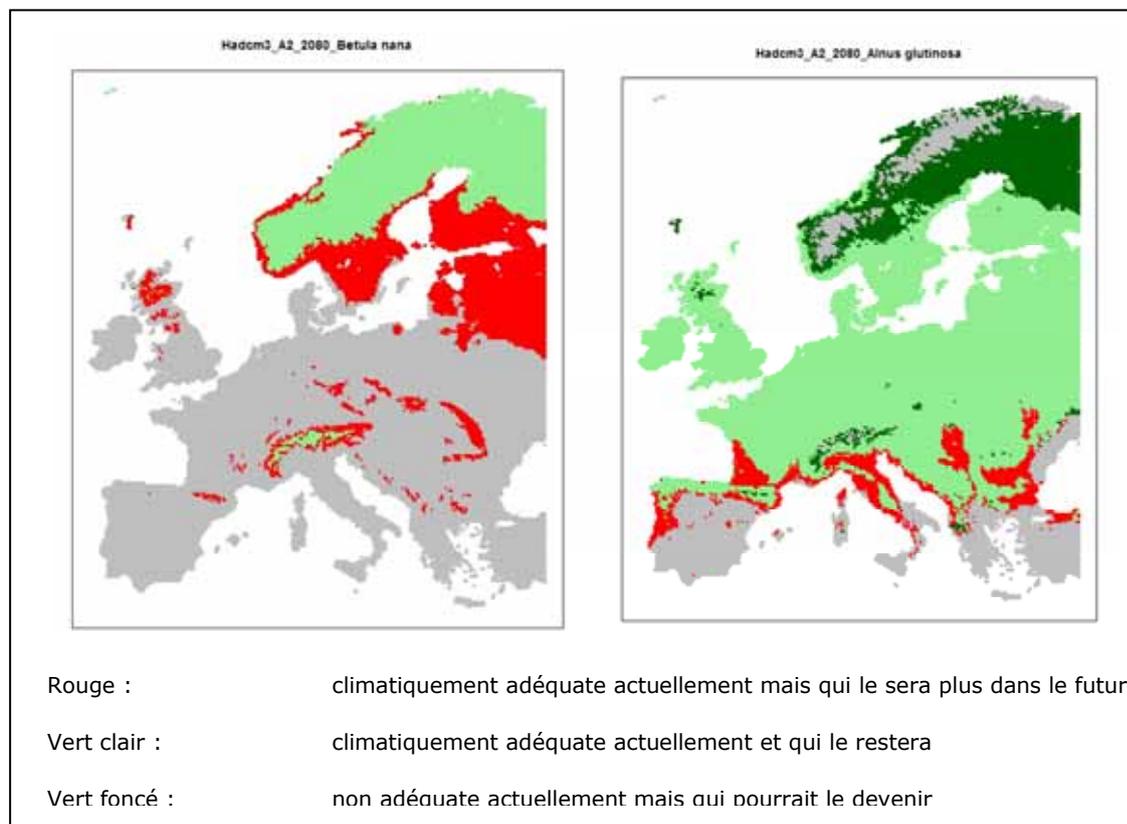
Tableau 13 - Nombre prédit d'espèces ayant perdu ou gagné 20% de leur aire de répartition actuelle (Thuiller et al., 2008)

	A2			B2		
	perte	stable	gain	perte	stable	gain
Plantes	30%	13%	57%	31%	17%	52%
Oiseaux	32%	24%	45%	33%	27%	40%
Reptiles/amphibiens	62%	21%	17%	62%	22%	16%
Mammifères	33%	19%	48%	35%	23%	42%

Colonne stable : espèces prédites gagnant ou perdant entre 0 et 20%.

⁶⁴ Thuiller et al., 2005 ; 2008

L'aire de répartition des espèces méditerranéennes pourrait fortement s'étendre vers le nord dans le futur. À l'inverse, celle des espèces boréo-alpines* et tempérées pourrait diminuer. Le cas du bouleau nain (*Betula nana*) (Carte 14), espèce boréo-alpine, est particulièrement démonstratif du risque encouru par nombre d'espèces reliques glaciaires, aux populations isolées sur les derniers espaces aux conditions extrêmes favorables : sommets montagneux, combes froides... Le phénomène s'accroît avec le réchauffement : les modèles montrent une différence significative entre les scénarios A2 et B2.



Carte 14 - Aires de répartition du bouleau nain (*Betula nana*) et de l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), projections A2 pour 2080 (Thuiller, 2008)

L'impossibilité de migrer vers des zones plus nordiques devenant favorables risque de conduire à l'extinction ou la très forte régression de populations entières, comme celles des Pyrénées et du massif central pour la France. Des outils tels que les corridors de migration seront inopérants pour les espèces présentant ces caractéristiques.

La Carte 14 illustre également l'évolution de la probabilité de rencontrer de l'aulne glutineux sur le territoire européen à l'horizon 2080. Elle cherche à délimiter les zones climatiquement compatibles avec les exigences écologiques de ces essences. L'aulne glutineux est inféodé aux ripisylves*, forêts fraîches ou marécageuses, dont il constitue une espèce clef de voûte (ex. aulnaies, aulnaies-frênaies). La régression dans les parties les plus méridionales de l'aire de répartition s'explique surtout par un déficit de pluviosité estivale entraînant l'assèchement temporaire ou permanent de multiples milieux humides. Il est intéressant de mentionner la différence de réaction simulée de l'aulne aux deux scénarios : la régression du Sud-Ouest est par exemple spectaculairement accentuée sous A2 par rapport à B2, mais le gain potentiel d'habitat favorable en Scandinavie compense théoriquement très largement les pertes dans le Sud.

Concernant les espèces forestières européennes, le changement climatique pourrait surtout affecter les marges sud de leurs aires de répartition, par un accroissement des risques de dépérissement et d'incendie, entraînant à terme une dégradation des peuplements en place, par une diminution de la biodiversité⁶⁵.

Ces changements entraîneraient de fortes modifications dans la composition des communautés dans les zones d'écotone* comme le nord de la zone méditerranéenne ou les pré-Alpes où se rencontrent à la fois des espèces méditerranéennes, montagnardes ou tempérées. On irait donc vers une homogénéisation des peuplements avec une explosion des espèces généralistes et pouvant supporter de fortes variations des conditions climatiques et une rétraction, voire une disparition des espèces spécialistes avec des exigences particulières.

Du fait du changement climatique, certaines populations isolées le seront davantage, ce qui pourrait induire la perte définitive d'écotypes* (sous-populations originales). De tels phénomènes sont déjà documentés (ex. peuplements piscicoles des lacs alpins, flore alpine).

En un lieu donné, du fait des différences de capacité de colonisation des espèces, on peut s'attendre à une latence entre la disparition des cortèges actuels et l'arrivée de nouveaux, se traduisant par des « effets de trous » (d'où une forte diminution de la biodiversité) ou au contraire « d'encombrement », plus ou moins transitoires.

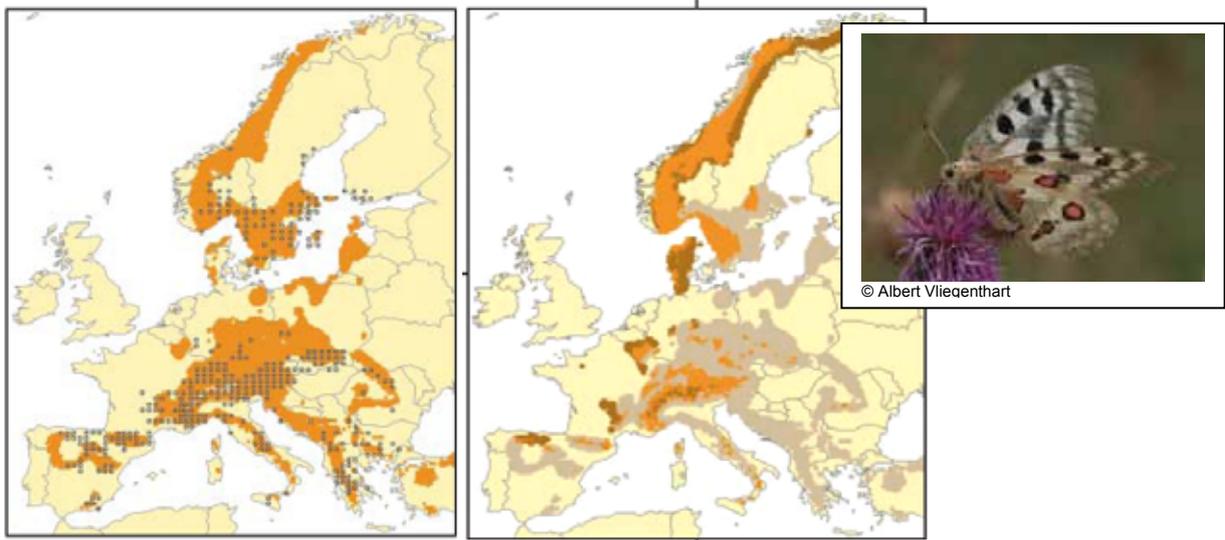
Finalement, on anticipe non pas une simple modification des limites des grandes zones biogéographiques et des changements d'aires de répartition d'espèces, mais également une dissociation des communautés d'espèces animales comme végétales (*i.e.* les espèces associées et coadaptées dans un écosystème se retrouveront séparées) et leur recomposition (*i.e.* de nouvelles associations d'espèces ayant parfois antérieurement des aires de répartition disjointes vont voir le jour).

III.3.1.2 Les systèmes multitrophiques et les interactions entre organismes

Toutes les interactions entre organismes quels qu'ils soient seront perturbées par le changement climatique. Les invertébrés terrestres, comme les insectes, ont ceci de particulier qu'ils combinent une vie très brève – notamment au stade adulte – avec un potentiel reproducteur considérable. À tout moment, une population d'insectes donnée exploite au maximum les ressources disponibles dans son milieu, à la fois en termes de nourriture et de compétition (prédateurs, parasites, espèces exploitant les mêmes ressources, gîtes disponibles). Même dans les systèmes apparemment les plus simples – ex. un phytophage* consommant une espèce végétale –, l'analyse révèle une coïncidence phénologique stricte des cycles de vie.

L'exemple de l'apollon, papillon de montagne, est illustratif de ce phénomène et, par conséquent, des limites des modélisations décrites précédemment. Effectivement, une simulation uniquement climatique conclut (Carte 15) que l'apollon devrait voir son altitude moyenne augmenter.

⁶⁵ Thuiller *et al.*, 2005



Observed species distribution (50 x 50 km² UTM grid; black

A gauche : Distribution actuelle observée (cercles noirs) et niche climatique potentielle (orange)

A droite : Niche climatique en 2080 sous le scénario A2

Carte 15 - Aire de répartition de l'apollon (*Parnassius apollo*, Lépidoptères), projection A2 pour 2080 (Settele et al., 2008 : 114-115)

Toutefois, les relations insecte- plante jouent un rôle essentiel dans la distribution géographique des espèces, interactions ne pouvant être appréhendées en termes purement climatiques mais aussi en termes d'interactions et de phénologie (encadré ci-dessous).

Encadré 14 - Relations entre la modification des aires de répartition et les changements phénologiques : cas de l'apollon

Une chenille de premier stade larvaire ne pourra consommer la plante à condition qu'elle ne présente pas d'obstacles physiques pour ses mandibules (taille, dureté de la cuticule, pilosité, etc.) et qu'elle ne soit pas toxique. C'est le cas pour le couple formé par l'apollon, papillon montagnard bien connu (dont la modélisation de changement d'aire de répartition est présentée en Carte 15) et les Crassulacées du genre *Sedum* dont il se nourrit (Deschamps-Cottin et al., 1997).

Que la chenille éclore en retard par rapport au débourrement de la plante, celle-ci devient physiquement inaccessible et a déjà synthétisé des métabolites secondaires toxiques pour l'insecte. Comment pourra-t-il réagir à un tel système face au changement climatique ? Si les deux protagonistes, insecte et plante, répondent de manière similaire, en avançant date d'éclosion et date de débournement*, le système demeurera viable tant que chaque espèce supportera physiologiquement la température.

Dans bien des cas, les organismes réagissent différemment à une augmentation de la température (d'autant que certains cycles sont régulés par la photopériode plutôt que par la température). Un réchauffement brutal comme celui attendu se traduira plutôt par une maladaptation et, à terme, par une disparition d'au moins une des espèces même si la température convient toujours à sa survie. Même les changements progressifs finissent

par se traduire par des espèces mal adaptées à leur environnement et appelées à régresser localement, voire à disparaître.

Il existe plusieurs exemples bien documentés de ces désynchronisations phénologiques, découplages temporels entre espèces et ressources (plantes/insectes, proies/prédateurs, hôtes/parasites). La complexité de ces interactions est illustrée ci-dessous par le système chêne–bombyx–mésanges en milieu méditerranéen⁶⁶.

Encadré 15 - Changement climatique et désynchronisations phénologiques : perturbations de la chaîne trophique chêne-bombyx-mésanges

En situation normale, les feuilles de chêne débourent en même temps qu'éclosent les chenilles de bombyx, précédant de peu l'éclosion des poussins de mésange. Diverses mesures de biomasse montrent que c'est au moment où elles en ont le plus besoin, juste avant l'envol des jeunes, que les mésanges trouvent le maximum de chenilles. Si la température augmente de quelques degrés, le chêne et le bombyx s'adaptent de manière comparable en commençant leurs cycles plus tôt, mais les mésanges ne compensent qu'imparfaitement le décalage et lorsque les poussins ont besoin du maximum de nourriture, la majorité des chenilles s'est déjà transformée en nymphes, inaccessibles pour les parents mésanges.

La modélisation du bilan démographique de populations soumises simultanément à l'influence de plusieurs phénomènes – parfois antagonistes – demeure difficile. Pour les insectes, par exemple, en particulier les ravageurs d'importance agronomique et forestière, le niveau des populations fondatrices à la sortie de l'hiver dépendra à la fois (i) de la réduction du nombre de jours de gelées, qui lève les seuils thermiques létaux et diminue la mortalité hivernale des stades hivernants et (ii) de l'augmentation de l'humidité hivernale qui accroît la susceptibilité et donc la mortalité de ces stades hivernants aux virus et champignons entomopathogènes.

Finalement, les modèles actuels n'intègrent pas ces interactions complexes entre espèces. De surcroît, on ignore tout des capacités d'adaptation, des processus régulateurs des cycles de vie et même des exigences écologiques de la plupart des espèces.

III.3.2 Impacts futurs sur la biodiversité aquatique et marine

Sont présentés ici plusieurs exemples d'impacts sur des espèces d'eau douce, d'eau de transition, de mer, ainsi que sur les récifs coralliens et les milieux littoraux.

III.3.2.1 Impacts futurs sur les poissons d'eau douce de France

35 espèces communes de poisson de rivière ayant un intérêt écologique, patrimonial et économique ont été modélisées pour évaluer l'influence du changement climatique sur leur distribution à l'horizon 2080 selon le scénario A1FI (le plus extrême, modèle HadCM3) (Figure 12).

⁶⁶ Thomas *et al.*, 2001

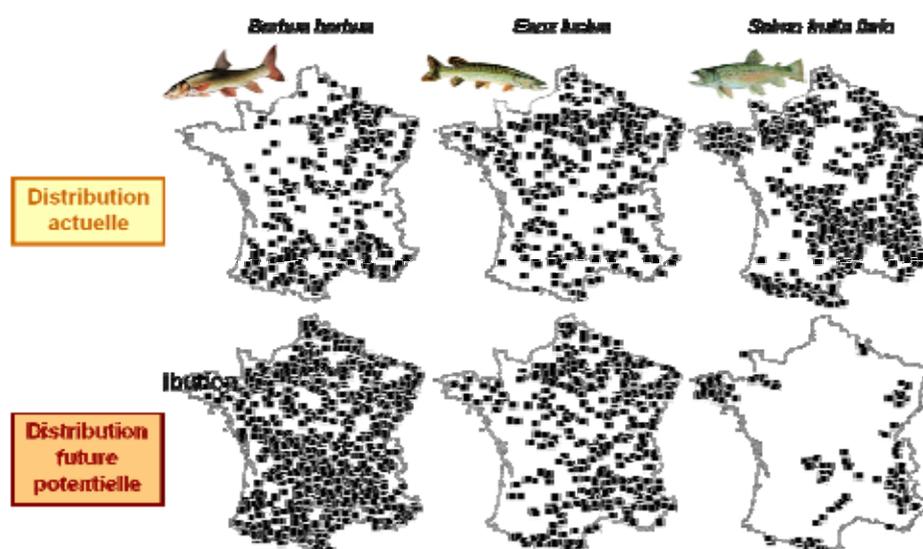
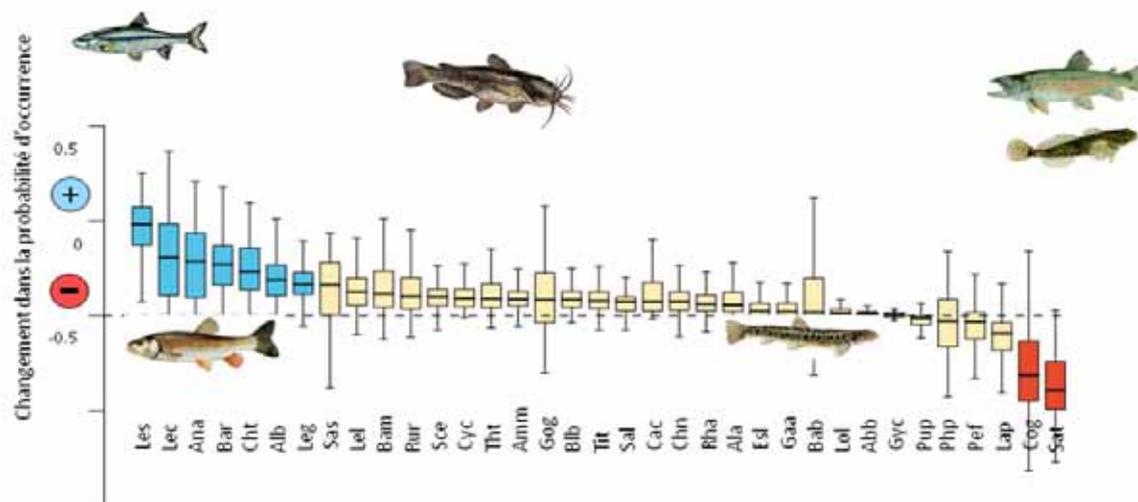


Figure 12 - Modélisation des changements de distribution de quelques espèces de poissons d'eau douce en France à l'horizon 2080 selon A1FI (Buisson et al., 2008)

Les résultats indiquent des réponses contrastées selon les espèces, avec une prolifération des espèces communes et généralistes (*Barbus barbus*) au détriment d'espèces plus emblématiques et spécialisées (*Salmo trutta fario*).

III.3.2.2 Impacts futurs sur les poissons migrateurs amphihalins

Les poissons amphihalins* ont comme particularité d'utiliser à la fois les eaux douces et les eaux marines pour accomplir leur cycle vital. Les migrations entre ces différents biomes* sont réalisées à des saisons et à des stades de vie précis. Sur les 28 000 espèces de poissons identifiées dans le monde, ce groupe représente une petite minorité, avec seulement 250 espèces. Au-delà de leur intérêt écologique, ces poissons ont aussi une très forte valeur patrimoniale et économique dans de nombreuses régions du globe. Pour l'Europe et plus particulièrement la France, un modèle prévisionnel d'évolution de la distribution a été construit pour chacune des espèces migratrices identifiées sur le continent européen. Les conditions climatiques de la période investiguée (2070-2099)

ont été calculées et introduites dans les modèles pour projeter la distribution « 2100 » des espèces selon le scénario A2 (modèle HadCM3). Trois grands types de scénarios d'évolution des distributions ont été identifiés (Figure 13)⁶⁷.

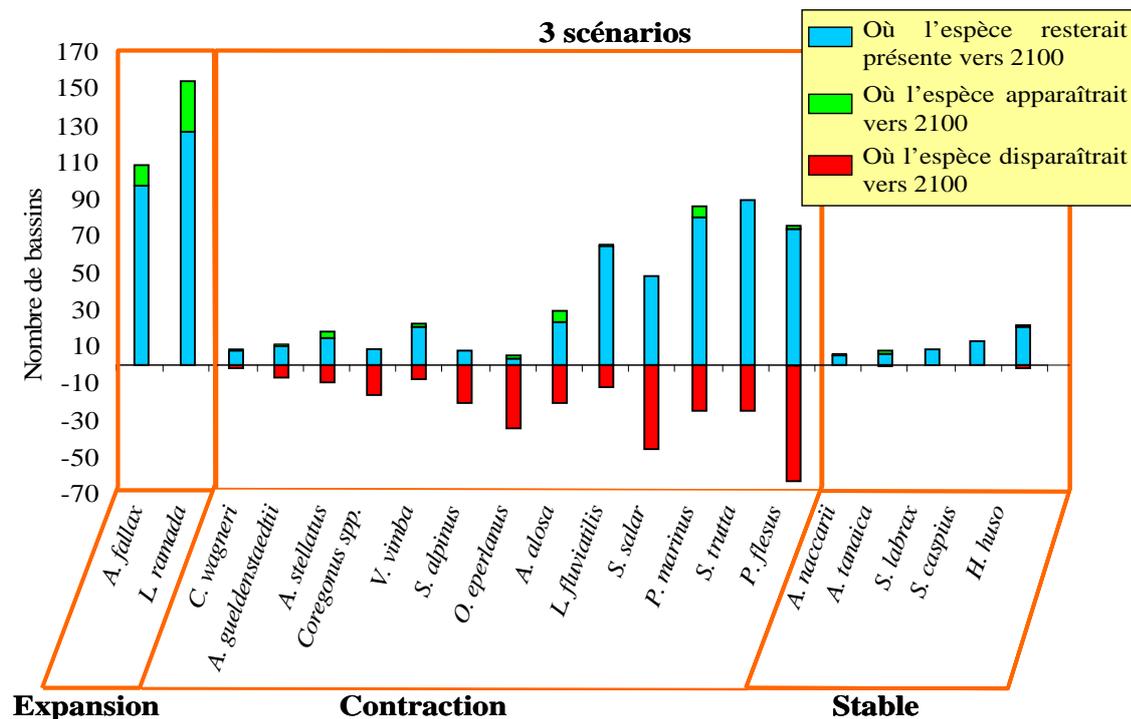


Figure 13 - Trois types de scénarios d'évolution des distributions des espèces de poissons migrateurs amphihalins (Lassalle et al., 2008)

Les résultats indiquent une forte sensibilité des poissons migrateurs amphihalins aux perturbations climatiques de leur environnement. Deux espèces pourraient étendre leur aire de distribution en ne perdant aucun bassin favorable et en gagnant principalement vers les îles britanniques et autour de la mer baltique. Il s'agit du mullet porc (*Liza ramada*) et de l'aloise feinte (*Alosa fallax*). Cependant, l'aire de distribution de plus de 60% des espèces étudiées se contracterait. Des bassins favorables seraient perdus aux limites sud de répartition sans que ces pertes soient compensées par des gains de bassins favorables au nord d'un point de vue climatique. Enfin, l'aire de distribution de cinq espèces, principalement localisées dans la région ponto-caspienne, demeurerait inchangée face au réchauffement envisagé.

Ces conclusions doivent être lues (1) en gardant à l'esprit les incertitudes inhérentes aux approches prévisionnelles à large échelle et (2) en référence à l'échelle spatiale à laquelle les analyses ont été réalisées. En effet, il s'agit ici de dégager de grands scénarios d'évolution et non pas de fournir une synthèse bassin par bassin.

III.3.2.3 Impacts futurs sur les poissons et invertébrés marins exploités

Élaborer des scénarios de la modification des distributions géographiques des espèces marines requiert une connaissance de ce qu'ont été jusqu'à présent les principaux

⁶⁷ Lassalle et al., 2008

caractères biotiques et abiotiques de leurs habitats. Le plus généralement, c'est pour répondre aux besoins de la gestion des populations exploitées par la pêche que ces informations ont été progressivement acquises depuis plusieurs décennies. Ainsi, en utilisant entre autres les données de FishBase et de SeaLifeBase, il est possible d'inférer – à l'échelle de l'océan mondial – certaines évolutions biogéographiques de ce groupe d'espèces-cibles comme le montre la Figure 14.

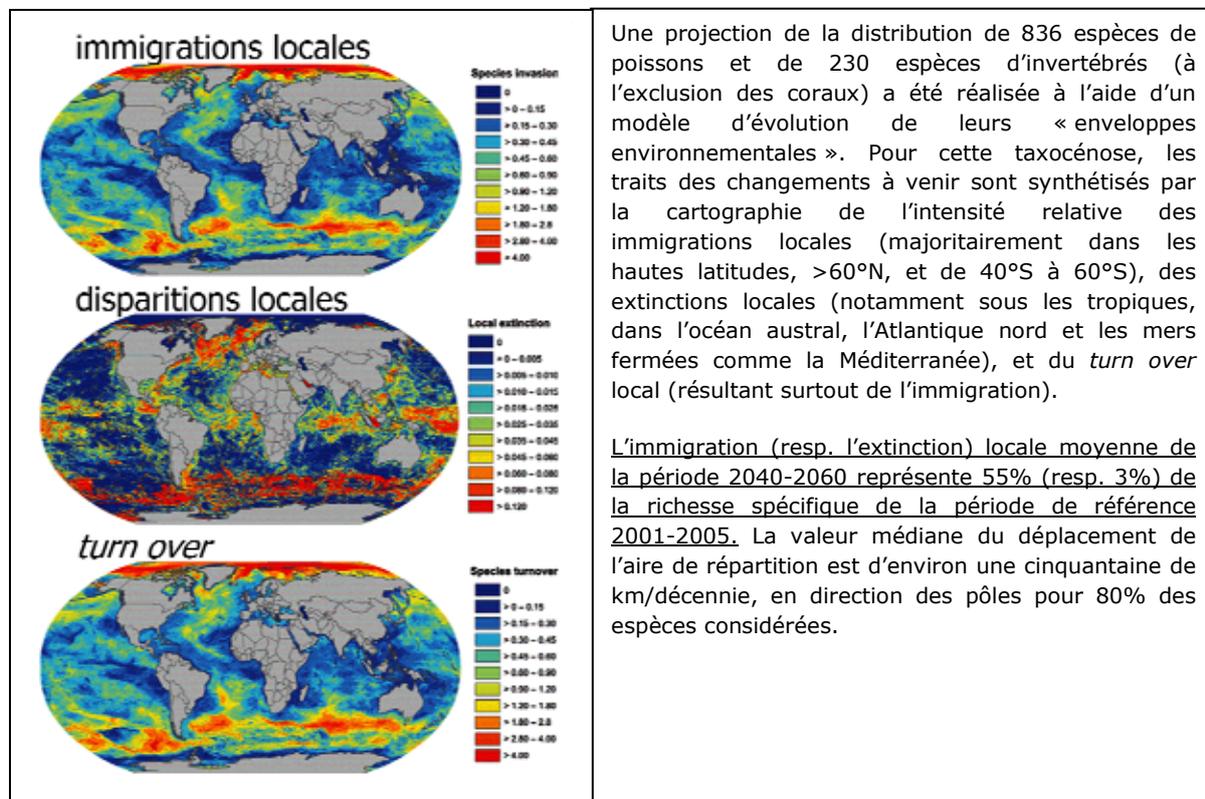


Figure 14 - Impact du réchauffement de l'océan (scénario A1B) sur la répartition de 1066 poissons et invertébrés marins à l'horizon 2050 (Cheung et al., 2009)

Conditionnellement aux hypothèses simplificatrices de la démarche de Cheung et al. (2009) (connaissance lacunaire des dynamiques migratoires, non prise en compte des interactions biologiques, du potentiel plastique et/ou évolutif des espèces, de l'acidification de l'océan, des synergies climat × pressions anthropiques), les résultats – comparés à ceux obtenus en domaine continental – suggèrent un moindre taux global d'extinction et un déplacement supérieur d'un ordre de grandeur. Par ailleurs, l'analyse des interactions « environnement-pathogènes-espèces exploitées » suggère des modifications d'équilibre pouvant impacter les rendements de production notamment chez les invertébrés benthiques.

III.3.2.4 Impacts futurs sur les récifs coralliens

A. Elévation du niveau des océans

On s'attend à ce que l'élévation du niveau de la mer soit profitable aux récifs coralliens qui gagneront en surface avec la recolonisation des platiers abrasés et le retrait de la ligne de rivage. Ils croîtront en hauteur au fur et à mesure de la montée des eaux mais avec un certain retard. Entre les récifs coralliens et la mangrove se situent généralement des zones lagunaires à herbiers qui se déplaceront vers la terre, de même que les

mangroves qui reculeront, perdant une surface en front de lagon et gagnant en amont, si la topographie le permet. En bref, les fronts des récifs resteront à la place qu'ils occupent actuellement et l'ensemble du système lagon-herbier-mangrove avancera vers les terres.

B. Elévation de la température de surface des océans

Les prédictions indiquent une plus grande fréquence des phénomènes de blanchissements* suivis de mortalités coralliennes. Si cette fréquence est élevée, les récifs ne pourront pas récupérer et quatre conséquences sont prévues :

1. disparition des espèces les plus sensibles au stress thermique au profit d'espèces plus robustes ;
2. changement dans la composition des communautés coralliennes ;
3. mortalité des récifs où le couvert corallien sera remplacé par un couvert algal ;
4. disparition à terme du récif par ailleurs soumis à des actions de destruction mécanique et de bio-érosion*.

Mais, soulignons le, ces étapes ne seront atteintes que progressivement et uniquement dans les zones où les élévations de températures estivales seront fréquentes d'une année sur l'autre. En revanche, les communautés coralliennes se développeront aux marges de leur aire de répartition là où leur limite actuelle est due à la température actuelle des eaux océaniques.

C. Augmentation de la fréquence et/ou intensité des tempêtes et cyclones

Il est peu probable que ce seul facteur puisse avoir des effets sur la biodiversité des récifs. Mais tous les facteurs agissant en synergie, les récifs déjà atteints par des blanchissements-mortalités n'auront pas la résilience suffisante pour se maintenir dans leur état antérieur. Aussi la destruction mécanique des récifs, par une fréquence plus élevée des cyclones et par synergies avec d'autres facteurs, mettront en péril les récifs.

D. Acidification des eaux océaniques

Certaines prédictions indiquent une chute très importante de la calcification de tous les organismes benthiques* et planctoniques* à test calcaire. Une calcification insuffisante fragilisera les coraux et les récifs, les mettant en très fâcheuse posture relativement aux autres facteurs du changement climatique. Il a été avancé toutefois que l'augmentation de température pourrait partiellement compenser cette diminution du potentiel de calcification.

III.3.2.5 Impacts futurs sur les espaces littoraux

Un niveau de la mer plus élevé, une fréquence accrue et la force plus grande des tempêtes et la modification de vents dominants pourraient altérer les écosystèmes côtiers, en accélérant l'érosion et en étendant les submersions sur les côtes. Le projet européen BRANCH (2007) a montré que les vasières et les marais salés du nord-ouest de l'Europe allaient vraisemblablement être de plus en plus menacés par la montée du niveau de la mer. En France, « les marais salés sont actuellement en expansion sur tous les sites normands, mais cette progression pourrait être freinée par la montée du niveau des mers ». « Les modèles de BRANCH démontrent que les vasières, dunes, prairies humides et plans d'eau douce sont les habitats côtiers les plus vulnérables au

changement climatique. Les dunes de sable s'érodent sur tous les sites étudiés. Elles contribuent pourtant à protéger les prairies humides et les eaux douces de la salinisation et des inondations marines et l'augmentation du niveau des mers peut aggraver cette érosion ». La combinaison de l'élévation du niveau de la mer, de l'expansion des marais salés et de l'accumulation des sédiments dans les estuaires pourrait réduire la superficie des vasières, ce qui aurait des conséquences très importantes pour les invertébrés, dont les espèces exploitées commercialement et pour les espèces limicoles côtières.

Encadré 16 - Évolution des côtes littorales : une perte significative de surface pour les sites du Conservatoire

Le Conservatoire du littoral a réalisé une étude sur l'évolution du trait des côtes et de l'état de submersion à l'horizon 2100 et leurs conséquences sur les sites du Conservatoire (Clus-Auby et al., 2004). Cette étude fait apparaître qu'en 2100, les sites acquis par le Conservatoire auront diminué d'une surface égale à 647 ha, soit 1,2% de la surface des sites renseignés : l'impact à attendre du fait du recul du trait de côte par érosion est faible en moyenne, même s'il est significatif pour certains sites particuliers. D'autre part, en 2100, 1 350 ha du patrimoine actuel du Conservatoire pourraient être épisodiquement submergés, soit 3% de sa surface. L'élévation du niveau de la mer attendue au cours du XXIème siècle devrait avoir un impact relativement modeste sur les terrains du Conservatoire du littoral. Celui-ci aura cependant à tenir compte de cette nouvelle conjoncture en adaptant ses modes de gestion, notamment dans les polders aux digues fragiles et en mauvais état et en modifiant éventuellement sa stratégie d'acquisition.

III.3.3 Notion d'espèces envahissantes dans le contexte du changement climatique

Les introductions d'espèces⁶⁸ figurent parmi les cinq pressions principales pesant sur la biodiversité (Cf. Figure 9). Lorsqu'une espèce est introduite, volontairement ou non, dans une nouvelle région biogéographique et qu'elle s'y développe jusqu'à avoir un impact négatif sur le milieu, on parle alors d'espèce envahissante*. Certaines espèces créent de véritables désordres écologiques. Par exemple la jussie, plante aquatique originaire du continent américain, se développe dans les cours d'eau et étangs jusqu'à couvrir la surface et empêcher la lumière de pénétrer la lame d'eau, créant ainsi un « désert biologique ». D'autres espèces ont des répercussions très importantes sur la santé humaine (allergies à l'ambrosie en Rhône-Alpes par exemple).

Ces invasions biologiques exotiques (1) liées à l'accroissement des déplacements et échanges entre différentes zones ne doivent pas être confondues avec les migrations (2), apparitions de nouvelles espèces liées à la modification des conditions écologiques qui contraignent ces espèces à une dispersion pour survivre et dès lors à des déplacements d'aires. De telles extensions « naturelles », sans intervention humaine directe, d'une aire de répartition auront lieu par exemple pour les espèces thermophiles*. Dans ce rapport, le terme « espèces envahissantes » sera réservé au premier cas, à savoir d'espèces exotiques* introduites artificiellement⁶⁹.

Dans le cas du changement climatique, la perturbation originelle est bien d'ordre humain mais le déplacement est limité par les capacités intrinsèques de l'espèce à migrer. Ainsi,

⁶⁸ Il est à noter que les pressions généralement utilisées dans les modélisations sont : le changement climatique, le changement d'utilisation des terres/destruction des habitats, le gaz atmosphérique (CO₂, azote) et les invasions biologiques.

⁶⁹ Les travaux de référence en la matière sont le programme DAISIE « Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe » : <http://www.europe-aliens.org/>

sans intervention humaine et bien que le climat soit favorable, beaucoup d'espèces terrestres du sud du bassin méditerranéen sont susceptibles de ne pas gagner les rives nord, la mer constituant une barrière biogéographique. On peut s'attendre à un phénomène de « trous », toutes les nouvelles niches écologiques, abandonnées pour certaines par les espèces disparues, n'étant pas immédiatement occupées par des espèces arrivantes aux caractéristiques plus ou moins vicariantes*. À noter en revanche que ces barrières contribuent pour partie à la spéciation* et donc à la diversité de la vie.

III.3.4 Impacts futurs sur les espèces et les espaces protégés

Quels sont les impacts du changement climatique sur les espèces et les espaces faisant l'objet de protection (biodiversité remarquable*) ? Qu'advient-il par exemple des espèces animales et végétales protégées, menacées au sens des listes rouges, spécifiques des sites Natura 2000 ou bien dites « déterminantes Trame verte et bleue » ? Si la question intéresse les décideurs politiques et le monde de la gestion et de la conservation de la biodiversité, les éléments de réponse sont encore fragmentaires, notamment pour le milieu marin dont les réseaux d'aires marines protégées sont dans leur phase initiale d'élaboration. Là encore, le Groupe Biodiversité se propose de donner des exemples.

On peut, à dire d'experts, cibler quelques impacts directs du changement climatique sur des espèces faisant l'objet de plans de restauration (aujourd'hui appelés « Plans nationaux d'action »).

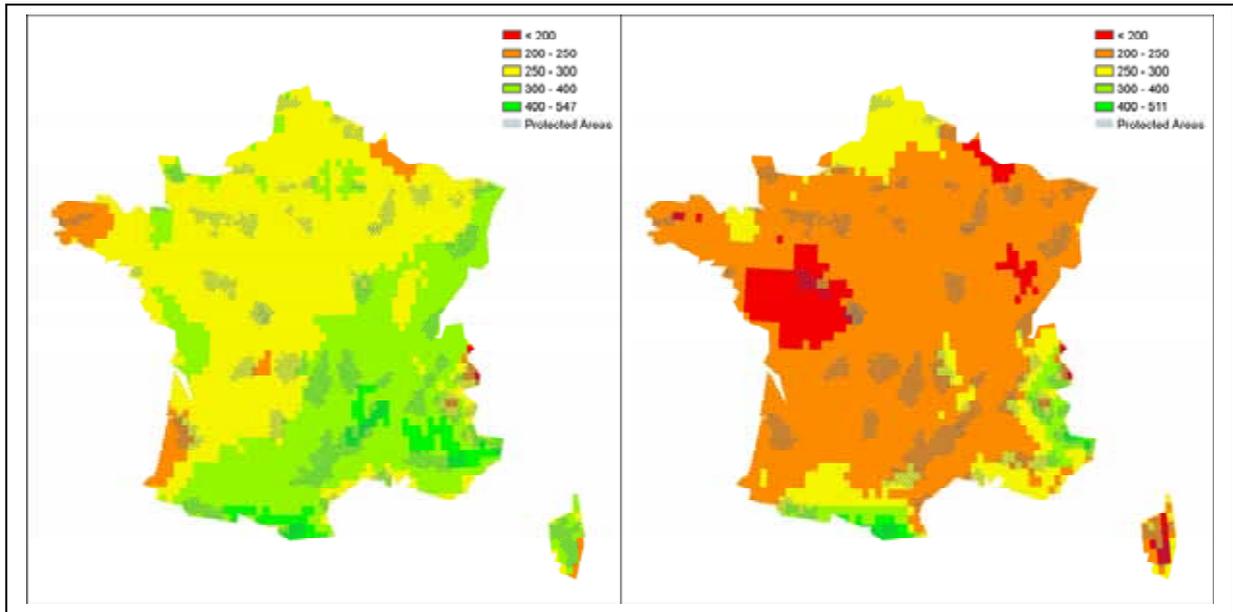
Encadré 17 - Exemples d'impacts du changement climatique sur les espèces protégées

L'assèchement des mares, lacs ou cours d'eau représentera une menace supplémentaire pour le milieu aquatique, dont la loutre tire l'essentiel de ses ressources. Ceci limitera les possibilités de déplacement de l'animal.

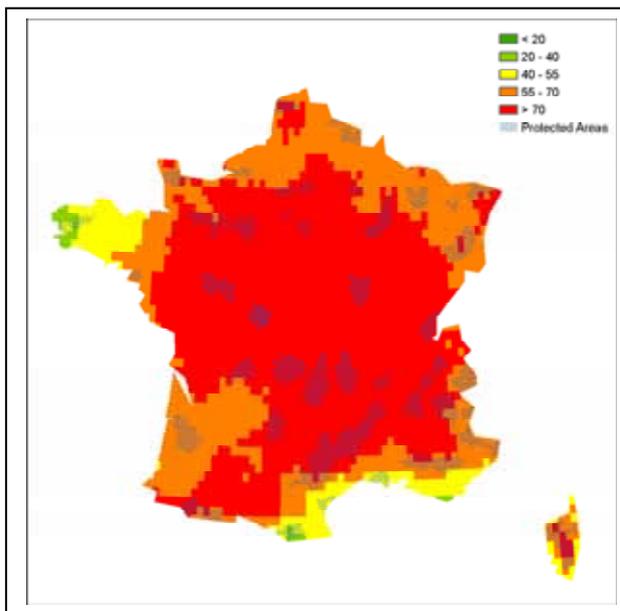
L'augmentation de la fréquence des crues créera un ennoiment des nids du butor étoilé, si la crue est subie au printemps. L'absence d'eau au printemps dans les roselières d'étangs continentaux ou les autres types de marais menacera la reproduction.

Concernant le bouquetin, la situation est plus contrastée. De plus fortes précipitations neigeuses génèreront des difficultés de déplacements et donc des dépenses d'énergie plus importantes, augmentant les risques de mortalité hivernale. Mais la limitation de la période d'enneigement aura tendance à augmenter la survie hivernale.

Une projection des richesses spécifiques actuelles et futures d'aire de répartition pour plusieurs groupes taxonomiques, sur toute la France métropolitaine, a été réalisée dans le cadre du Groupe Biodiversité (Carte 16 et Carte 17). On présente ici les résultats pour les plantes et pour le pire des scénarios climatiques (A1F1). Il s'agit des estimations des richesses actuelles, futures et taux de remplacement (turnover) potentiels, ce qui signifie que même les richesses actuelles surestiment certainement la réalité. On fait apparaître également sur les cartes les zones protégées repérables avec la résolution spatiale du modèle (16x16 km), donc ayant une surface de plus de 256km² (parcs nationaux et parcs naturels régionaux uniquement).



Carte 16 - Projection A1FI des richesses spécifiques actuelles et futures de l'aire de répartition de l'ensemble des plantes en France (Thuiller, 2009. Com. pers.)



Un taux de renouvellement de 100% dans une cellule de 16x16km signifie que toutes les espèces qui s'y trouvent actuellement devraient disparaître (de cette cellule) et qu'elles devraient être remplacées par un même nombre d'espèces venues des cellules voisines.

Carte 17 - Taux de renouvellement pour l'ensemble des plantes (scénario A1FI) (Thuiller, 2009. Com. pers.)

Ces modèles révèlent une tendance à l'homogénéisation du territoire français. Le fort taux prévu de remplacement des plantes conduirait à une perte de diversité de l'ordre de 15%. Les régions de l'ouest – avec leurs zones humides – et les moyennes montagnes perdent une partie de leur diversité liée aux prairies naturelles et aux forêts. Il y a là un enjeu particulier pour les parcs naturels régionaux qui constituent l'essentiel des espaces protégés dans ces zones (Cf. carte des espaces naturels protégés en Annexe F.1). Seules les montagnes les plus hautes conservent une diversité significative. Mais on peut espérer, dans les zones les plus basses, que le littoral, les autres reliefs et le réseau hydrographique constituent, comme c'est le cas actuellement, des zones de diversité plus

ponctuelle. Se pose la question du rôle de régulation des massifs forestiers et des bocages qui ne semblent plus créer d'hétérogénéité.

Les espaces protégés auront un rôle de refuge peut-être temporaire mais qui peut être utile au final. La notion de gestion de niches peut trouver tout son intérêt face à des évolutions massives du genre remplacement des prairies naturelles par des cultures. Les parcs nationaux devraient « sortir leur épingle du jeu » car ils sont situés en haute montagne et sur le littoral.

III.3.5 Conséquences sur les services rendus par les écosystèmes

La partie III.2 a décrit les quatre types d'impact du changement climatique sur la biodiversité. Or du fait du lien existant entre écosystèmes, fonctions écologiques*⁷⁰, services écologiques*⁷¹ et bien-être humain (Figure 15), ces impacts auront des conséquences sur la production de services rendus par les écosystèmes.

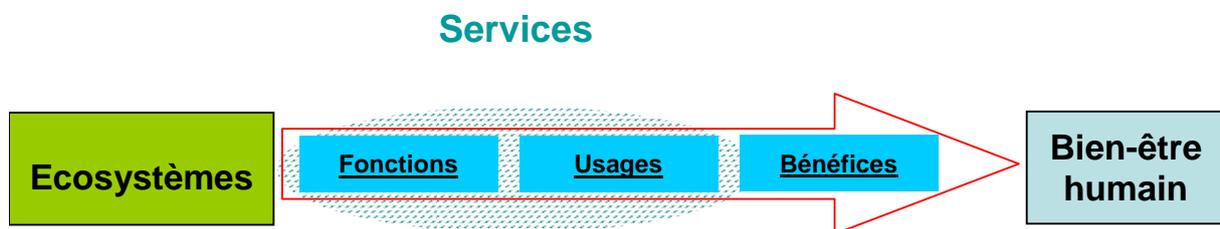


Figure 15 - Distinction entre écosystèmes, fonctions écologiques, services écologiques et bien-être humain (MEEDDM, 2009)

Le Millenium Ecosystem Assessment⁷², qui a réuni de 2001 à 2005 plus de 1360 experts de tous pays, a permis de souligner l'importance du rôle des services écosystémiques et l'ampleur des atteintes qu'ils subissent : ainsi, 60% des services rendus par les écosystèmes sont actuellement dégradés. Ces services sont classés par le MEA global en quatre catégories : les services de support (ex. production primaire), les services d'approvisionnement (ex. nourriture, eau, bois), les services de régulation (ex. régulation du climat, cycle de l'eau) et les services culturels (ex. pêche de loisir). Le MEA France⁷³ reprend l'approche du MEA global en adaptant sa classification. Ainsi les services écosystémiques incluent trois catégories de services :

⁷⁰ Les *fonctions écologiques* qui génèrent les *services* sont définies comme les processus biologiques de fonctionnement et de maintien des écosystèmes.

⁷¹ Les termes *services écologiques* et *services écosystémiques* sont pris ici pour synonymes : ce sont les processus dont l'homme peut tirer profit, favorables au maintien des activités humaines.

⁷² MEA, 2005

⁷³ MEEDDM, 2009

Encadré 18 - Typologie des différentes catégories de services écosystémiques selon le MEA France

- les services d'approvisionnement (production de biens) tels que : support de production agricole, aquaculture, prélèvement d'eau à usage domestique, etc. ;
- les services de régulation (production de services) tels que : prévention des crues et des inondations, régulation de l'érosion et des coulées de boues, recyclage des déchets organiques, régulation des espèces nuisibles et envahissantes, régulation du climat global et local, etc. ;
- les services à caractère social (production de services) tels que : le paysage, la valeur de la biodiversité et le patrimoine, la chasse, la thalassothérapie, etc.

Comment le changement climatique impacte-t-il les services écosystémiques ? De façon positive ou négative ? Dans quelles proportions ? Voici quelques exemples d'impacts connus du changement climatique sur les trois types de services mentionnés ci-dessus :

Encadré 19 - Exemples d'impacts du changement climatique sur les trois catégories de services écosystémiques

Un groupe d'experts du Comité des pêches de la FAO a souligné qu'une demande croissante de produits alimentaires aquatiques devra être satisfaite dans les 2 à 3 prochaines décennies, tout en conservant les propriétés de récupération des écosystèmes. Quatre composantes de la sécurité alimentaire seront affectées par le changement climatique :

- 1) la disponibilité des ressources aquatiques (modification des aires de répartition des espèces, acidification des océans) ;
- 2) la stabilité de la production, perturbée par les changements d'intensité, de fréquence, de saisonnalité des régimes climatiques ;
- 3) l'accès aux ressources, affecté par une exacerbation vraisemblable des antagonismes entre usages, particulièrement ceux tributaires de l'eau ;
- 4) l'utilisation des produits, face à une modification de la nature de l'offre, due entre autres à la réduction des captures non directement utilisées pour l'alimentation humaine.

Le stockage du carbone est assuré par les microorganismes du sol. Dans la diversité microbienne du sol, c'est l'importance relative des champignons par rapport aux bactéries qui importe pour la séquestration du carbone, toutes choses égales par ailleurs. Les actions de gestion et les changements globaux influenceront sur la séquestration du carbone via leurs effets sur le ratio champignons/ bactéries. Ainsi, l'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique devrait stimuler les activités microbiennes et se traduire par une plus grande séquestration de carbone organique dans les sols (Le Roux *et al.*, 2008).

L'élévation du niveau des océans va perturber le rôle protecteur que les récifs coralliens jouent pour les zones littorales, zones où sont concentrées les constructions et activités humaines. Ce phénomène sera particulièrement sensible dans les îles basses coralliennes (atolls) dont l'altitude n'est que de 3 à 6 mètres, laissant craindre des submersions de plus en plus fréquentes lors de périodes de mauvais temps, avant d'être submergées si la montée des eaux est de l'ordre de 50 centimètres ou plus.

Le déclin des oiseaux insectivores, pourrait entraîner un déclin du service de contrôle biologique des insectes nuisibles bénéfique à l'agriculture, la foresterie, etc.

Les incendies de plus en plus fréquents en zone méditerranéenne, en altérant les paysages forestiers ont un impact sur la fréquentation touristique.

Conséquences en termes de services rendus par les écosystèmes forestiers :

La forêt fait partie des priorités d'études de l'impact du changement climatique, en raison de plusieurs caractéristiques. C'est l'un des écosystèmes les plus proches d'un état naturel : la forêt est le stade final des successions végétales sur la quasi-totalité des zones terrestres de France. Les forêts recèlent de larges surfaces qui n'ont jamais été mises en labour⁷⁴ (30-40% probablement de la surface forestière actuelle). Elles rendent de nombreux services écosystémiques et économiques : fourniture de bois-matériau et de produits forestiers non ligneux, substitution de bois-énergie aux carburants fossiles, protection contre l'érosion des sols et la pollution des nappes, séquestration de carbone, zone de chasse et de loisir...

⁷⁴ Or il a été démontré que la mise en culture modifie drastiquement et à très long terme la biodiversité.

Le potentiel de production de bois et de maintien des services liés à la forêt pourrait être affecté par divers mécanismes :

- changements de la productivité des peuplements forestiers : en un lieu donné, ce changement peut résulter soit des variations de la croissance de chaque espèce sous l'effet du changement climatique, soit du changement de la composition en essences ligneuses lié aux déplacements des aires des espèces, comme vu précédemment ;
- changement du rythme et de l'intensité des perturbations de nature biotique (maladie, attaque d'insectes, de champignons...) et abiotiques (tempête, sécheresse extrême, incendie...).
- Il ne faut pas négliger la possibilité d'un changement rapide de la disponibilité en bois des forêts françaises en cas de demande massive et mal maîtrisée de bois-énergie.

Le lecteur est invité à se reporter au rapport du groupe Forêt pour des précisions sur les impacts du changement climatique sur la production de bois.

Quelles sont les bases de connaissance pour anticiper les conséquences du changement climatique en termes de productivité ? Les modèles de niches individuelles d'espèces montrent, pour les quelques espèces étudiées, un déplacement global vers le Nord et vers des altitudes plus élevées. Pour les ligneux d'intérêt forestier⁷⁵, il est intéressant de faire des scénarios plus précis.

Encadré 20 - Distinction de deux types de niches pour les essences forestières

1) la zone de présence/absence absolue de l'espèce, quelle que soit sa productivité potentielle, qui est celle modélisée dans les modèles précédents, mais qui n'intéresse pas vraiment le forestier. En effet, dans une large périphérie de cette zone de présence/absence, l'espèce ne peut être présente que dans des sites très favorables, discontinus et de surface totale limitée (versants nord à bilan hydrique favorable pour le hêtre dans le Sud de la France par exemple). Sa productivité y devient quasiment nulle ;

2) la zone où l'espèce acquiert un statut d'espèce forestière, c'est-à-dire là où elle peut atteindre des densités de couverts, des hauteurs et des diamètres minimaux : il s'agit d'une zone de réelle utilisation forestière.

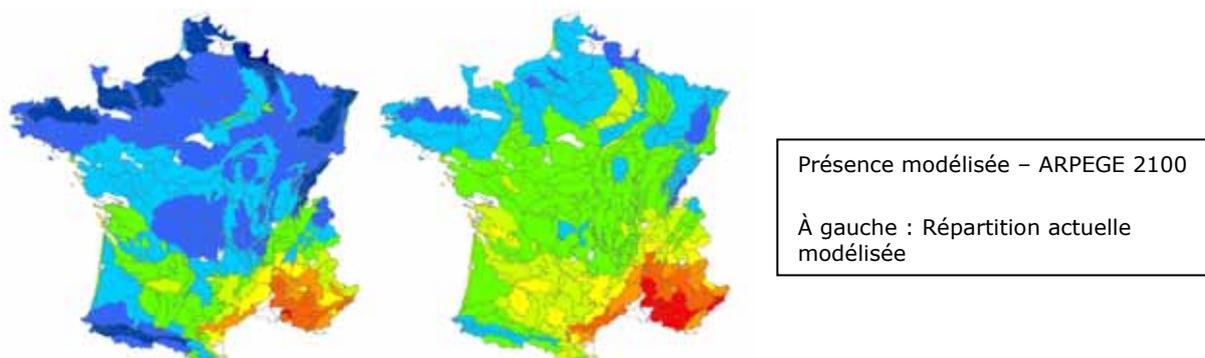
Seules quelques essences principales ont été modélisées jusqu'à maintenant (ex. hêtre : Annexe F.3). Afin d'avoir une vue d'ensemble des évolutions à venir, on a aussi modélisé l'évolution des grands types d'habitats forestiers, en particulier méditerranéens et montagnards. Il apparaît une forte progression des zones subméditerranéennes, qui vont largement s'étendre au nord de la Loire et une forte régression des habitats montagnards. Ils sont appelés à disparaître largement des zones de plaine, où ils constituaient des zones de biodiversité remarquable (voir

⁷⁵ Environ 65 espèces de plus de 10 mètres de hauteur en France.

Tableau 14 et Carte 18).

Tableau 14 - Evolution des surfaces des grands domaines bioclimatiques forestiers de France, en pourcentage de la surface totale du territoire national (Roman-Amat, 2007)

	Actuel	2100 scénario B2	2100 scénario A2
Méditerranéen	9,1%	28,1%	47,9%
Domaine océanique Sud Ouest	17,2%	45,9%	30,8%
Domaine océanique Ouest	35,6%	17,4%	16,4%
Montagnard	15,6%	5,4%	3,7%
Domaine continental Est	22,4%	3,2%	1,2%



Carte 18 - Évolution de la composante méditerranéenne de la végétation forestière française entre 2000 et 2100 (scénario B2) (Badeau, 2009. Com. Pers.)

La réalisation de modèles de productivité est complexe et encore à des stades d'avancement très inégaux selon les espèces. Une première approche a donc consisté à faire des modèles de niche basés sur la cartographie des zones actuelles de présence/absence de l'espèce, mais en se limitant aux forêts et en excluant toutes les présences non forestières observées. On obtient des aires actuelles et potentielles beaucoup plus petites que dans les modèles de niche « totale ».

Le développement prévu vers le nord des zones méditerranéennes suggère, à terme, une baisse globale de la productivité des écosystèmes forestiers. Mais ce n'est pas toujours ce qu'indiquent les modèles mécanistes, à base écophysiologique*, de fonctionnement des peuplements forestiers. Le projet CARBOFOR (2009) en particulier a permis de montrer que la productivité primaire nette des écosystèmes forestiers français montre des tendances, au cours du XXI^{ème} siècle, différenciées selon le type d'essence, les scénarios d'évolution des pluies, les caractéristiques des sols, la zone géographique et le type de station sur laquelle on se trouve.

III.4 Chapitre III- Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité

Les chapitres précédents ont montré d'une part les effets déjà constatés du changement climatique et leur conjonction avec les autres pressions qui s'exercent sur la biodiversité et d'autre part une intensification attendue de ces effets et sans doute l'occurrence d'effets inédits compte tenu de l'ampleur probable du changement climatique.

La complexité des réseaux du vivant ne rend pas aisée l'appréhension de ces phénomènes pourtant bien réels. Ce chapitre vise à donner quelques clés de compréhension des phénomènes en cours, via les mécanismes naturels d'adaptation.

La plupart des études qui documentent une réponse au changement climatique décrivent effectivement une réaction, qui mesure de manière objective un changement d'une variable - de comportement, de répartition, d'effectifs... - sans toujours pouvoir affirmer que cette réaction est liée en totalité à la cause étudiée (ici le changement climatique). Les changements attribués à l'effet du climat sur la biodiversité étant souvent liés à d'autres facteurs, faire la part des causes n'est pas chose facile, d'autant que ces facteurs agissent en interaction.

La notion d'adaptation porte, quant à elle, un jugement anthropocentrique sur le fait que cette réaction apparaît effectivement comme une « amélioration » par rapport à la situation antérieure. Cette notion d'adaptation peut avoir une définition purement biologique dans le cas des individus ou des espèces, mais elle peut difficilement être définie, pour l'ensemble de la biodiversité, sans référence aux activités humaines qui en dépendent.

Le chapitre termine sur une vision certes anthropocentrique mais fort utile pour mesurer l'ampleur de l'impact sur les biens et services rendus par la biodiversité à notre société.

III.4.1 Comment la biodiversité réagit-elle à un changement ?

Face aux diverses pressions liées à des modifications de l'environnement ou liées par exemple à l'apparition dans le milieu d'une nouvelle espèce, trois niveaux de réaction sont à distinguer, notamment par leur ampleur potentielle et leur temps de réaction (

Figure 16). Ces réactions débouchent soit sur un équilibre dynamique, soit sur la disparition de l'élément qui n'a pas pu s'adapter.

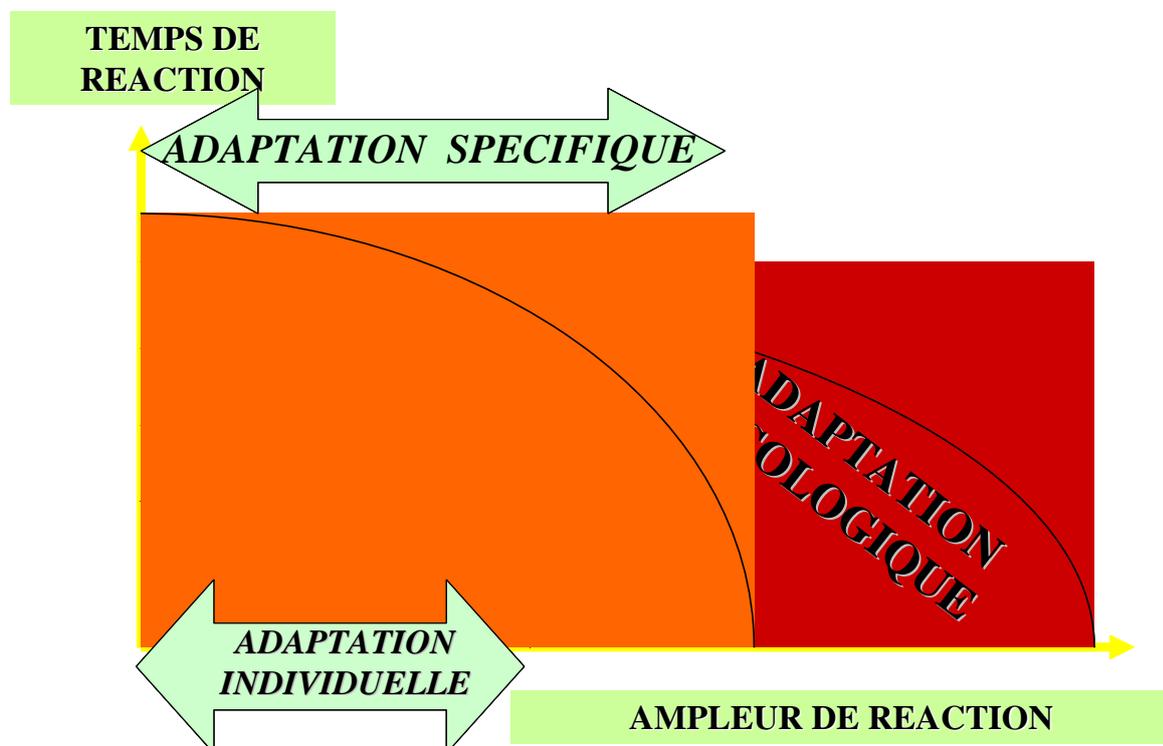


Figure 16 - Représentation schématique des différentes possibilités de réaction de la biodiversité aux changements de l'environnement (Chevassus-au-Louis, 2009. Com. pers.)

Le premier niveau est celui de la réaction des individus. Ces réactions peuvent être physiologiques, et, dans le cas des animaux, comportementales.

Encadré 21 - La réaction des individus au changement climatique

Les espèces végétales terrestres bloquent les échanges gazeux dans la journée par fermeture des stomates lorsque la température devient trop élevée pour éviter de trop consommer... et donc de dépérir. De même, les poissons augmentent leurs mouvements operculaires pour mieux capter l'oxygène de l'eau si celui-ci se fait rare mais on comprend bien que ces réactions ont leur limite. Au plan comportemental, les individus peuvent modifier leur cycle d'activité (ex. passage d'une activité diurne à une activité nocturne) ou migrer vers des habitats *a priori* plus favorables. Sur des pas de temps plus longs, des modifications de la phénologie sont observées : dates de floraison (ex. pour les arbres fruitiers), périodes de reproduction (ex. date de ponte des oiseaux).

Il faut souligner que nos connaissances sur le comportement des différentes espèces sont fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », cette notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. Autre inconnue, le rôle de l'expérience précoce et, pour certaines espèces, de la transmission « culturelle » des savoirs acquis, dans la modulation des capacités physiologiques et comportementales des individus, n'a été que peu exploré et peut donner lieu à des opinions très variées sur sa contribution à l'amélioration du potentiel d'adaptation des individus.

Le second niveau concerne la réaction des populations et des espèces par le mécanisme de sélection darwinienne*. Par ce phénomène, les populations s'adaptent à de nouvelles conditions de vie. Plus le changement est graduel, c'est-à-dire à la fois lent et régulier, plus la sélection a le temps d'opérer. Les facteurs clés sont la diversité génétique (le capital évolutif de départ) et la durée de génération des populations ainsi que la vitesse de changement des paramètres du milieu (ces deux éléments donnant le ratio temporel).

L'équilibre dans l'allocation des ressources est un élément clé. Ainsi, à la suite des hivers de plus en plus doux, des espèces d'oiseaux migratrices sont devenues de plus en plus sédentaires, des ressources alimentaires devenant disponibles durant l'hiver et la physiologie de ces espèces leur permettant de résister au froid (ex. cigogne blanche, pouillot véloce).

Par rapport aux capacités de réaction individuelle, ce mécanisme présente, face à l'enjeu d'adaptation au changement climatique, une première propriété plutôt avantageuse et une seconde plutôt handicapante :

- il est susceptible d'aboutir à des réactions de beaucoup plus grande ampleur. Les expériences de sélection artificielle montrent qu'il est possible d'obtenir après un grand nombre de générations des individus ayant des caractéristiques physiologiques dépassant les bornes des variations qui pouvaient être observées dans la population initiale ;

Encadré 22 - Réaction des populations et espèces au changement climatique par sélection darwinienne : Cas de la fauvette à tête noire

Les populations d'Europe centrale de fauvettes à tête noire qui hivernaient auparavant principalement sur le pourtour du bassin méditerranéen, ont – en quelques générations – modifié leur comportement migratoire et hivernent à présent en Europe du Nord-Ouest (îles Britanniques notamment) (Dubois, com. pers.). Les conditions hivernales sur place permettent leur survie et le trajet de retour sur les lieux de reproduction est plus court que pour les oiseaux hivernants en Méditerranée. Les oiseaux « britanniques » arrivent donc plus tôt que les autres, occupent les meilleurs sites et connaissent un meilleur taux de reproduction. Une étude a montré que le trajet Europe centrale-îles Britanniques était à présent inscrit génétiquement chez les oiseaux hivernant en Europe de l'Ouest.

- il présente par contre une inertie beaucoup plus grande et très variable d'une espèce à l'autre : des unicellulaires, dont les générations se succèdent en quelques heures, aux arbres et aux grands mammifères, qui ne bouclent que quelques générations par siècle, la sélection darwinienne* pourra jouer un rôle soit majeur, soit négligeable selon le pas de temps dans lequel la réaction est attendue.

Le troisième niveau, que l'on qualifiera de réaction des écosystèmes, concerne la modification de la composition des biocénoses*, ensemble des êtres vivants partageant un même espace, c'est-à-dire les modifications d'abondance des espèces, voire la disparition/apparition de certaines d'entre elles, entraînant également une recomposition fonctionnelle des écosystèmes. S'y ajoute le fait que les espèces ne réagissent pas uniquement à l'influence directe du changement climatique, mais aussi à la réaction d'autres espèces à ce changement, en particulier lorsque ces dernières constituent des ressources alimentaires. Un tel phénomène est donc difficilement appréhendable par des expérimentations en laboratoire.

Pour situer la dynamique de ces successions écologiques par rapport aux deux mécanismes précédents, on peut considérer qu'elle pourra être d'ampleur au moins égale à ce que peut permettre la sélection darwinienne* tout en étant, pour beaucoup d'espèces, plus rapide. Par ex., si la température de l'eau des rivières de plaine augmente, le remplacement des truites par des cyprinidés (carpe, gardons) se fera sans doute plus vite que l'apparition de truites adaptées à des températures élevées.

Quelques conclusions :

- Il faut souligner que ces trois modalités ne sont pas indépendantes mais doivent être considérées dans une vision systémique : au sein d'un écosystème, les individus de la même espèce ou d'espèces différentes sont en interaction permanente et les réactions des uns constituent un « système de contraintes » pour les réactions des autres. Ainsi, si une espèce d'arbres forestiers possède une capacité de réaction individuelle forte pour grandir plus vite sous l'effet d'une augmentation de la température, de la pluviométrie ou des apports d'azote atmosphérique et capter ainsi davantage l'énergie solaire, elle « obligera » les autres espèces à s'adapter à un milieu plus sombre ou favorisera le développement d'espèces ou d'individus au sein des autres espèces ayant ces capacités. De plus, les écosystèmes ne sont pas isolés et interagissent fortement entre eux : la réaction face au même changement se traduira différemment pour deux écosystèmes à l'environnement différent.
- Les écosystèmes « transforment les contraintes » : un facteur de pression sur une espèce, par exemple l'effet de la température sur la période de prolifération des

chenilles, se traduira par un autre facteur de pression sur d'autres espèces, comme la nécessité d'une éclosion plus précoce des poussins d'oiseaux insectivores.

- Donc l'évolution d'un écosystème constitue un phénomène « émergent », c'est-à-dire qu'elle peut difficilement être prévue à partir de la simple connaissance des capacités de réaction de ses différentes composantes et qu'elle présente donc un fort degré d'incertitude. En corollaire, il n'est pas surprenant de constater que les évolutions des écosystèmes, en particulier la modification de l'aire de répartition des espèces, apparaissent parfois « inférieures » à celles que prédisent des modèles fondés sur les seuls préférendums des différentes espèces. Par exemple, les écosystèmes simplifiés que constituent les monocultures agricoles (constituées souvent en outre de variétés génétiquement homogènes), sont en quelque sorte des « individus-écosystèmes » : dans ce cas, des modèles basés sur la connaissance de la réaction des individus présentent un certain degré de pertinence.
- Dans le cas de changements rapides, il convient de ne pas surestimer la capacité de la sélection darwinienne à adapter les écosystèmes : les espèces ayant des capacités de réaction « insuffisantes » seront certainement supplantées par d'autres. Ainsi, avec la modification de la durée d'enneigement, le caractère adaptatif de changement de plumage ou de pelage perd quelque peu de son intérêt car les individus passés au blanc en période hivernale sont alors des proies plus aisément repérables. Même si ces espèces perdent peu à peu leur blancheur de pelage, ces changements ne sont pas toujours assez rapides.

III.4.2 Les réactions sont-elles « adaptatives » ?

Il est important de distinguer l'examen des réactions des écosystèmes et de leurs composantes, de la question du caractère « adaptatif » de ces réactions. En effet, certaines réactions ne semblent pas constituer des stratégies viables à long terme.

Encadré 23 - Les réactions d'adaptation sont-elles adaptatives ?

L'adaptation du hêtre en condition xérique le conduira à produire moins de biomasse*, car la période cumulée de croissance sera plus faible. L'espèce pourra se maintenir dans certaines conditions, mais sans être une essence forestière dominante. Il risque donc d'être éliminé par des espèces plus adaptées à de faibles pluviométries. De même, l'augmentation de la précocité sexuelle de certaines espèces de poissons marins exploités, qui se traduit par une réduction de la taille « adulte », constitue une réponse darwinienne à la capture sélective des gros animaux. Mais elle expose les animaux à une prédation accrue par des espèces de grande taille ou plus exactement, elle élargit le champ des espèces susceptibles d'être prédatrices. Il en est de même pour les changements de mode de vie, par exemple le passage d'une activité diurne à une activité nocturne, qui expose les animaux à d'autres prédateurs ou le changement d'habitats, qui conduit à interagir avec d'autres agents pathogènes ou à s'adapter à d'autres ressources alimentaires. Autre exemple bien connu, les changements de comportement des individus parasités augmentent souvent leur vulnérabilité, ce qui favorise le bouclage des cycles parasitaires mais diminue à l'évidence leur valeur sélective.

Il apparaît nécessaire de distinguer deux questions. La première est celle de l'adaptation des individus et des espèces. La question est d'estimer si les nouvelles caractéristiques induites par les facteurs de pression conservent ou améliorent la valeur sélective*, en termes de survie ou de succès reproducteur, ces deux paramètres conditionnant

l'abondance d'une génération donnée par rapport à la précédente⁷⁶. On peut considérer qu'il s'agit là d'une problématique purement biologique qui, si les paramètres pertinents sont mesurés, permet d'apporter une réponse « objective » à la question du caractère adaptatif des changements observés. La seconde est celle de l'adaptation des écosystèmes, via les successions écologiques*. Dans ce cas, on assiste à la mise en place de nouvelles biocénoses*. La question de savoir si elles sont mieux « adaptées » que les précédentes peut difficilement être tranchée par rapport à un référentiel purement biologique, sauf à considérer qu'il s'agit d'une question non pertinente, c'est-à-dire que la nouvelle biocénose est par définition mieux adaptée puisqu'elle a remplacé la précédente⁷⁷.

III.4.3 Quel « système de valeur » pour juger du caractère adaptatif ?

On peut certes introduire des paramètres comme la vulnérabilité ou la résilience* pour jauger la résistance d'un écosystème à une perturbation. Mais attribuer une valeur positive à ces paramètres suppose de considérer que l'écosystème qui pourrait remplacer l'écosystème en place lui est qualitativement inférieur et donc qu'une évolution vers ce nouvel écosystème ne serait pas « adaptative ».

C'est pourquoi, sauf dans le cas extrême de disparition de toute vie, il est nécessaire, pour porter un jugement, de relier l'évolution des écosystèmes à un « système de valeur » explicite, qui définira les critères de référence du caractère adaptatif ou non des évolutions observées.

Encadré 24 - Stratégie d'adaptation et rapport de l'Homme à la Nature

À ce propos, la manière dont sera mise en œuvre la politique d'adaptation au changement climatique dépend fondamentalement du positionnement philosophique qu'adoptera notre société vis-à-vis de la Nature. C'est sur la base de motivations éthiques ou déontologiques que l'action sera décidée et que telle ou telle option sera retenue ou écartée. Ces valeurs de référence relatives à la relation Homme-Nature, trop souvent tues ou considérées comme implicites, devront être clairement explicitées (Blandin, 2009) pour donner sens à une politique globale d'adaptation, nécessairement pleine d'incertitude, vis-à-vis de la société et des générations futures.

Parmi ces systèmes, on peut en première analyse distinguer deux références extrêmes :

- les systèmes « biocentriques », qui accordent une valeur égale aux différentes espèces vivantes. Dans ce cas, la réaction sera jugée adaptative si elle conduit à préserver l'existence d'un maximum d'espèces, ou d'un maximum de groupes taxonomiques, ou dotés de pondérations liées à la rareté, l'éloignement évolutif, etc. ;
- les systèmes « anthropocentriques », qui mettent l'accent sur les interactions entre l'Homme et les écosystèmes et sur la notion de service écosystémique*. On considérera la réaction comme adaptative si elle contribue à préserver, voire à améliorer à court terme – à long terme si l'on intègre la solidarité

⁷⁶ Il s'agit de comparer la valeur sélective dans le nouvel environnement et après réaction, à celle qu'avaient les individus dans la situation initiale et non à celles qu'ils auraient dans le nouvel environnement si aucune réaction n'était intervenue, auquel cas l'on pourrait certainement conclure systématiquement à une adaptation.

⁷⁷ En effet, le fait qu'un écosystème d'un milieu aride comporte moins d'espèces et présente globalement une biomasse plus faible qu'un écosystème de forêt tropicale humide ne permet pas à l'évidence de le qualifier de « moins adapté ».

intergénérationnelle –, les différents services écologiques contribuant au seul bien-être de notre espèce.

Le but ici n'est pas de débattre de ces différentes conceptions mais de souligner qu'une analyse de l'effet du changement climatique sur la biodiversité devra expliciter le système de valeur auquel elle fait référence. Il est par exemple évident qu'une approche par les coûts économiques des « pertes » de biodiversité suppose implicitement une philosophie anthropocentrique (voir partie III.5).

III.5 Chapitre IV- Éléments d'évaluation économique des impacts

Dans le mandat du Groupe interministériel figure l'évaluation des coûts induits par le changement climatique. Le rapport de la phase 1 indique que cette quantification n'est pas nécessairement monétaire, les coûts pouvant être exprimés selon diverses métriques.

Partant des éléments de définition de l'objet complexe « biodiversité », le groupe Biodiversité développe dans ce chapitre une démarche générale qui lui est propre, fondée sur plusieurs choix successifs permettant l'application judicieuse des méthodes d'évaluation économique d'actifs environnementaux. Le groupe applique ensuite cette démarche à deux cas concrets (services rendus par les écosystèmes coralliens et forestiers métropolitains) pour lesquels des données fiables sont disponibles.

On rappelle qu'en matière d'évaluation de la valeur économique d'actifs environnementaux⁷⁸, l'analyse économique a développé la notion de valeur économique totale (VET), constituée de deux grands ensembles :

- les « valeurs d'usage », liées à la consommation effective de ces actifs ou de pratiques (comme le tourisme) n'entraînant pas leur consommation ;
- les « valeurs de non-usage », valeur que l'on accorde à la simple existence de ces actifs, au fait que d'autres puissent en bénéficier (valeur altruiste) ou à la possibilité de les transmettre aux générations futures (valeur de legs).

III.5.1 Évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques

Dans le cas spécifique de la biodiversité et des services écosystémiques, le Centre d'Analyse Stratégique (CAS) a fait un état de l'art sur l'évaluation économique de ces actifs et a proposé de premières valeurs de référence pouvant être utilisées notamment dans les études socioéconomiques relatives aux projets d'infrastructure. Le CAS a pris un certain nombre d'options méthodologiques visant à réduire la complexité du problème. Ces options sont détaillées à l'Annexe F.6 et ici résumées par la Figure 17.

⁷⁸ Actifs environnementaux qui, le plus souvent, ne donnent pas lieu à des échanges marchands. Diverses autres méthodes (détaillées en Annexe) permettent de pallier l'absence de marché réel et d'établir ou au moins d'approcher un « prix » pour ces actifs.

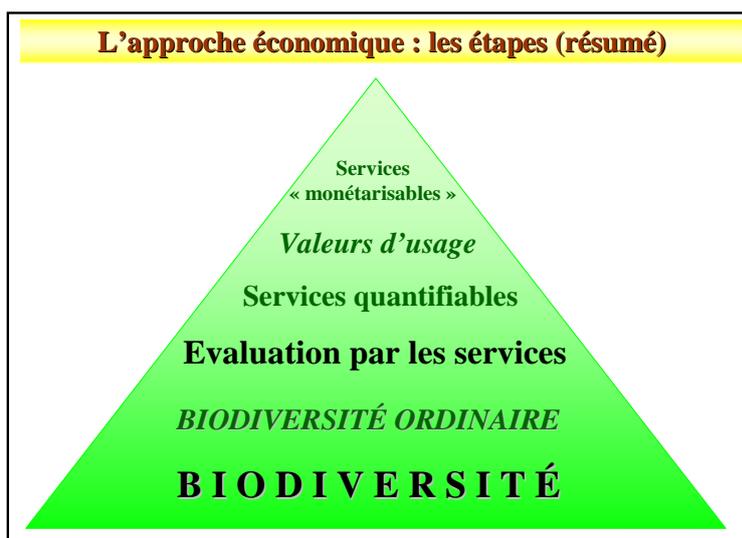


Figure 17 - Résumé des différentes restrictions du champ dans l'approche économique appliquée à la biodiversité (CAS, 2009)

Le CAS s'est concentré sur l'évaluation des services écologiques* liés à la biodiversité générale* actuelle, en considérant que les entités (populations, espèces, habitats, paysages) remarquables de la biodiversité étaient et devaient être gérées en prenant en compte de nombreuses autres valeurs (culturelles, éthiques, esthétiques, etc.) que la valeur économique. Il s'est en outre restreint aux seules valeurs d'usage actuelles (en négligeant donc les valeurs de non-usage) de ces services sur le territoire national, sans fournir d'estimations à des échelles plus fines ou des projections à moyen ou long terme (à part l'actualisation). Enfin, il n'a pu mener à bien l'évaluation de services comme la protection de la santé ou certaines fonctions de protection contre les risques naturels, pour lesquels les données étaient insuffisantes.

En conséquence, 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. De ce fait, on peut considérer que les estimations proposées sont des estimations *a minima* qui peuvent sans conteste, pallier dès maintenant l'option d'attribuer par défaut une valeur nulle à la biodiversité dans le calcul socioéconomique. Des travaux complémentaires, prenant en compte d'autres services et susceptibles de majorer significativement ces valeurs apparaissent donc indispensables.

III.5.2 Proposition de démarche d'évaluation économique des impacts du changement climatique sur la biodiversité

Pour aborder l'effet du changement climatique sur la biodiversité et les services écosystémiques, le groupe Biodiversité retient, pour une première approche, les options suivantes :

1. Se centrer sur les effets directs (de type I) définis en partie III.2, à savoir les effets directs de l'augmentation des gaz à effet de serre et des variables climatiques (température, précipitations) sur les écosystèmes, mais prendre en compte également, au moins de manière qualitative, les effets indirects (de type II et III), en particulier ceux résultant des stratégies « d'adaptation » d'autres secteurs au changement climatique. Malheureusement, même s'il est légitime de penser que les effets indirects auront des

impacts au moins aussi importants, il semble difficile de développer dans l'immédiat des modèles opérationnels intégrant ces différents effets et, surtout, leurs interactions.

2. Retenir l'approche proposée par le CAS d'une monétarisation des services écosystémiques liés à la biodiversité générale. Cela signifie en particulier qu'à ce stade, les pertes de biodiversité remarquable (disparition locale ou générale d'espèces rares et emblématiques, d'habitats reliques, etc.) ne seront pas monétarisées. Il est certes envisageable de proposer des approches d'évaluation contingente pour ces pertes prévisibles de biodiversité remarquable, en estimant les consentements à payer (CAP) pour différents niveaux de perte de biodiversité et à différents horizons temporels mais les limites de ces approches, en particulier leur non-additivité⁷⁹ et leur sensibilité à l'information, risquent de conduire à des estimations très fragiles et « anormalement » faibles⁸⁰. Une autre approche sans doute plus satisfaisante pour cette biodiversité remarquable pourrait consister à évaluer les coûts de création de nouvelles aires protégées, de gestion renforcée de ces espaces ou des politiques renforcées de préservation des espèces menacées par le changement climatique (par exemple le transfert d'espèces ou d'habitats hors des zones actuellement dédiées à leur protection).

3. Considérer que les pertes de services d'approvisionnement (aliments, eau, etc.) sont évaluées par les différents groupes sectoriels concernés (agriculture, eau, forêt...) pour les biens marchands et faire l'hypothèse que, dans le cas de la France, les biens non-marchands sont relativement secondaires pour ces services. De même, pour les services culturels, les estimations disponibles concernent surtout les valeurs récréatives, estimées le plus souvent par les coûts de transport. Il a donc été considéré qu'il n'était pas du ressort du Groupe Biodiversité d'estimer les pertes économiques éventuelles. On évoquera donc ici surtout les aspects non directement marchands (fréquentation touristique des forêts et autres usages « gratuits »).

4. Cette première étude va donc se concentrer sur les services de régulation pour lesquels (1) on dispose de modèles physiques ou biologiques prédictifs et (2) pouvant être couplés avec des modèles économiques. Il faut donc souligner que des évolutions importantes, en particulier le déplacement des espèces (en particulier des bioagresseurs) et ses effets sur la santé humaine – mais aussi sur celle des animaux et des plantes – apparaissent difficilement évaluables dans l'état actuel des connaissances.

5. Deux écosystèmes emblématiques et pour lesquels on dispose de données relativement fournies ont été retenus, 1) les massifs coralliens des départements et collectivités d'outre-mer et 2) les forêts métropolitaines. Pour chaque d'eux, on distinguera systématiquement deux aspects :

- l'évolution possible des surfaces de ces écosystèmes : cette évolution semble la plus susceptible d'influer sur les services rendus par ces écosystèmes ;
- l'évolution des différents services par unité de surface de ces écosystèmes.

III.5.3 Cas des écosystèmes coralliens

Les récifs construits par les coraux couvrent une superficie d'environ 280 000km² à la surface de la planète mais l'écosystème corallien (récifs construits et lagons sableux)

⁷⁹ Le CAP pour un ensemble d'espèces est très inférieur à la somme des CAP obtenus pour chacune d'elle et les CAP sont assez voisins pour sauver un seul couple ou un grand nombre d'individus. Voir le rapport du CAS pour une discussion détaillée.

⁸⁰ Quelle que soit la question posée sur un élément de biodiversité (espèce, groupe d'espèces, habitats), le CAP dépasse rarement 100 € par ménage et par an.

couvrent quelques 600 000km² (Tableau 15 dans lequel les surfaces se réfèrent à l'écosystème). Les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes les plus rares et les plus diversifiés. La France héberge dans ses départements et autres collectivités d'outre-mer (DOM et COM) environ 10% des récifs et lagons et est le seul pays à posséder des récifs coralliens dans les trois grands océans.

Tableau 15 - Collectivités d'outre-mer avec récifs coralliens (Salvat, 2009. Com. pers.).

	Martinique	Guadeloupe	Réunion	Iles Eparses	Mayotte	Calédonie	Wallis & Futuna	Polynésie	Clipperton	TOTAL O-M
Surfaces terrestres (km ²)	1128	1900	2512	35	374	18575	142	3726	2	28394
Surfaces ZEE (x 1000 km ²)	47	91	323	692	62	1364	266	4804	434	8082,6
Nombre total d'îles	1	6 + îlots	1	5	1 + îlots	7 + îlots	3	118	1	143
Population (x 1000 hab)	399	460	777	0	187	231	13	260	0	2327
PNB 2005 (US \$)	15410	9940	15905	ND	2950	14380	4030	19350	ND	SO
Fréquentation touristique (x 1000/an)	639	665	430	0	41	100	0	220	0	2095
Surface de récifs (km ²)	214	865	12	494	1500	40000	220	15047	12	58364

ND : Non Disponible ; SO = Sans Objet.

Cette situation, d'autant plus particulière que la diversité des récifs français est remarquable, confère une responsabilité certaine à la France, qui s'est engagée à conserver ces écosystèmes remarquables aux niveaux national (IFRECOR) et international (ICRI). De nombreuses pressions s'exercent en effet déjà aujourd'hui sur les récifs coralliens⁸¹, dont de nombreuses personnes dans le monde dépendent soit pour leur alimentation, soit pour leur activité économique, en sus de la protection des côtes qu'assurent les récifs et mangroves. Le changement climatique pourrait non seulement aggraver ces menaces, mais également affecter directement ces écosystèmes et leur survie. Le coût que pourrait entraîner ce phénomène planétaire apparaît potentiellement très élevé. Cette partie s'attache à proposer une méthodologie de chiffrage du coût des impacts du changement climatique sur les récifs coralliens. Si cette démarche permet d'accéder à des ordres de grandeur de coûts potentiels, il convient de lire les résultats avec toute la prudence nécessaire, étant donné notamment que l'évolution physique des récifs n'est pas évidente à appréhender et qu'on ne possède que peu de résultats d'évaluations économiques disponibles à ce jour sur des récifs français. Le transfert de résultats d'évaluations monétaires déjà menées est toutefois utilisé.

III.5.3.1 Données disponibles sur la valeur actuelle des services pour la France

Il est proposé de se limiter ici à l'étude des services de régulation qu'offrent les écosystèmes récifaux. En particulier seront analysées la protection côtière, la fixation de carbone et l'épuration de l'eau.

⁸¹ La dégradation des récifs actuellement observée est due essentiellement aux activités anthropiques, alors que les conséquences du changement climatique sont mineures, à l'exception de phénomènes extrêmes comme l'été 1998 - blanchissement et mortalité des coraux dus à des températures anormalement élevées de l'océan - ou des cyclones particulièrement violents.

De nombreuses évaluations, assises sur des méthodologies parfois différentes, donnent des estimations de la valeur des services liés aux écosystèmes récifaux. Cependant, nombre d'entre elles concernent des récifs coralliens non situés en zone française. Les récifs français sont assez bien connus quant à leur structure, composition et état de santé (avec des suivis parfois sur plusieurs décennies) mais très peu d'estimations de valeur économique existent. En Polynésie française, où c'est néanmoins le cas, les valeurs établies ne concernent qu'une île (Moorea) alors que cette collectivité en possède 118 de catégories très différentes : îles hautes et atolls, avec ou sans touristes et 31 îles basses coralliennes inhabitées.

Les surfaces récifales françaises étant connues, pour obtenir la valeur actuelle des services offerts, l'idée est – avant d'avoir de plus amples résultats dans le cadre du projet IFRECOR⁸², qui ne portera que sur quelques collectivités –, de transférer les résultats d'autres études en respectant les spécificités des différents récifs coralliens, notamment le type de récif et la situation géographique.

La valeur des récifs coralliens : cas de la Polynésie française et extrapolation à l'ensemble du territoire français

En extrapolant à l'ensemble de la Polynésie française⁸³ les valeurs données par l'étude de Charles (2006) sur les récifs et lagons de l'île de Moorea, on peut évaluer la valeur des services offerts par les écosystèmes récifaux coralliens français de cette zone. On pose certaines hypothèses simplificatrices qui autorisent une estimation approchée. Ainsi, on suppose que la valeur calculée (à coût marginal constant) pour la réalisation d'un service écosystémique sur un hectare du complexe récifo-lagonnaire de l'île de Moorea peut être extrapolée à l'ensemble de la Polynésie. Dans ces conditions, le coût total en cas de disparition de l'ensemble de l'écosystème récifal polynésien correspond au produit de la surface totale de récifs construits qui assurent la protection des côtes (416 700 hectares) par la valeur à l'hectare (1 220\$/ha⁸⁴). Le coût total est ainsi estimé à environ 510 millions de \$/an pour la protection côtière et, avec le même raisonnement, à environ 40 millions de \$/an pour le stockage de 1,8tCO₂/(ha x an)⁸⁵.

En appliquant la démarche à l'ensemble des récifs coralliens construits français (14 280 km²) avec les valeurs estimées par Costanza⁸⁶ pour les écosystèmes coralliens⁸⁷, on estime à 6,3 milliards de \$/an le coût de la protection côtière et 140 millions de \$/an celui de l'épuration de l'eau (dégradation de la matière organique et filtration des matières en suspension).

Au plan méthodologique, notons que seules deux sources de valeurs ont été utilisées et une seule valeur pour chaque service évalué. Le choix s'est fait en examinant la similitude entre les récifs français et ceux considérés dans les études suscitées. La dispersion des valeurs issues de la littérature conduit à suggérer des intervalles pour chaque service : entre 100 et 10 000\$/(ha x an) (selon la densité de population et

⁸² L'évaluation socio-économique des écosystèmes coralliens français correspond à l'un des cinq thèmes d'intérêt transversal dans le plan d'action 2006-2010 de l'initiative française sur les récifs coralliens. Ainsi une étude a été lancée en 2008 sur des récifs coralliens en Martinique et Guadeloupe.

⁸³ Cette étude n'est pas généralisable à l'ensemble des récifs coralliens français

⁸⁴ Charles, 2006

⁸⁵ Il conviendrait, pour l'ensemble des résultats chiffrés, de convertir les dollars de l'époque en euros actuels.

⁸⁶ Costanza *et al.*, 1997

⁸⁷ Rappelons ici que cette étude donne des valeurs moyennes mondiales.

d'aménagements) pour la protection côtière et entre 75 et 100\$/(ha x an) pour l'épuration de l'eau.

III.5.3.2 Evolution possible des surfaces

Il est assez délicat de prévoir l'évolution des surfaces des récifs due au changement climatique à un horizon d'un siècle.

L'élévation du niveau de la mer leur permettra de gagner en surface en colonisant des platiers actuellement émergents. Cependant, l'augmentation des températures et l'acidification de l'eau des océans, que le changement climatique est présumé provoquer, devraient conduire à une réduction de la taille des récifs, voire à une disparition dans certains cas. Toutefois, aux marges latitudinales de leur aire de répartition, les récifs pourraient gagner en surface, avec le réchauffement des eaux⁸⁸, sauf si l'acidification des eaux est générale⁸⁹.

En supposant une relation linéaire entre la valeur des services écosystémiques et la taille des récifs coralliens, on peut aisément estimer le coût de leur disparition. *A priori*, ces services perdus ne devraient pas être remplacés, ce qui donne donc un coût absolu du changement climatique. Un cas extrême, qui verrait la disparition de la totalité des récifs coralliens, conduirait ainsi à une perte monétaire nette s'élevant *a minima* à $6,3 + 0,14 + 0,04$ soit environ 6,5 milliards de \$/an pour les seuls services de régulation étudiés ici. Cette valeur correspond à la somme des valeurs actuelles des services de protection côtière et d'épuration de l'eau de l'ensemble des récifs français, à laquelle s'ajoute le service de stockage de carbone pour les récifs polynésiens, services pour lesquels on a suffisamment de données pour faire une estimation. C'est donc très probablement une valeur inférieure à celle que donnerait la valorisation de tous les services offerts par les écosystèmes récifaux français. Néanmoins, le plus probable est une dégradation continue de l'ensemble des récifs qui conduise à une réduction de la surface totale et à une dégradation des services offerts.

III.5.3.3 Evolution possible des services

Le changement climatique, comme les nombreuses autres pressions qui menacent aujourd'hui les récifs coralliens, dégradera vraisemblablement les services offerts par cet écosystème. En particulier la hausse de la température des océans devrait conduire à un blanchissement* des coraux, suivi de leur mortalité. Par ailleurs, une augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂ et donc du CO₂ océanique, pourrait réduire le taux de calcification des coraux et d'autres organismes récifaux à test calcaire et diminuer la capacité du récif à croître en hauteur et à s'adapter à l'élévation du niveau de la mer. Enfin, ces effets conjugués pourraient conduire à un appauvrissement de la biodiversité des écosystèmes récifaux et à une aggravation des infestations de parasites et des maladies.

On trouve dans la littérature des relations entre l'état des récifs et le niveau de service rendu. En extrapolant à l'évolution attendue de l'état des récifs français due au changement climatique, on pourrait ainsi déterminer l'évolution potentielle des services si l'on parvenait à estimer l'état des récifs à la fin du siècle. En faisant l'hypothèse d'une linéarité entre le changement de niveau de service et le coût monétaire, une estimation

⁸⁸ La température optimale pour les coraux sclératiniaires* est comprise entre 22 et 28°C

⁸⁹ Ce développement devrait néanmoins être limité en raison de conditions d'énergie lumineuses insuffisantes en période hivernale pour les algues symbiotiques qu'hébergent les coraux constructeurs de récifs.

du coût du changement climatique lié à la dégradation des services serait également possible. À noter que cet exercice a de nombreuses limites et qu'il ne prend en compte que les impacts directs sur les services de régulation offerts par les écosystèmes récifaux coralliens et présentement analysés.

III.5.4 Cas des écosystèmes forestiers métropolitains

III.5.4.1 Données disponibles sur la valeur actuelle des services pour la France

Une analyse détaillée des différents services de la forêt française métropolitaine (Tableau 16)⁹⁰ montre que l'essentiel des services d'approvisionnement est représenté par la production de bois (y compris l'autoconsommation). Les produits de cueillette divers (champignons, fruits, fleurs...) ne représente en moyenne qu'environ 10 à 15% de la valeur du bois produit. La chasse a par contre été considérée comme un service récréatif et évaluée à ce titre. Les services de régulation représentent une valeur économique majeure, même si plusieurs d'entre eux (effets sur la santé, fonctions de protection...) ne peuvent être évalués précisément. En effet, si l'on se limite aux seuls services de fixation et de stockage du carbone et de production d'eau potable, on atteint une valeur⁹¹ d'au moins 600€/ (ha x an), soit près de 8 fois la valeur moyenne de la seule production de bois. Les services culturels peuvent représenter une composante importante des valeurs d'usage. La fréquentation touristique a été évaluée en moyenne à 200€/ (ha x an) mais peut atteindre 1 000€, voire plus, pour les forêts périurbaines. S'y ajoute la chasse qui, si l'on l'évalue à travers l'ensemble des dépenses engagées par les chasseurs, atteint une valeur moyenne proche de celle de la production de bois sur pied.

Tableau 16 - Valeurs de référence proposées pour les différents services écosystémiques de la forêt française (en €/hectare et /an) (CAS, 2009)

Services	Valeur proposée (par hectare et par an)	Remarques
Services d'approvisionnement - bois	75 (75 à 160€) ⁹²	Selon méthode d'estimation (bois sur pied ou après exploitation)
- autres produits forestiers (hors gibier)	10 à 15€	
Services de régulation - fixation du carbone - stockage du carbone - autres gaz atmosphériques	115€ 414€ (207 à 414€) Non évaluée	360€ en 2030 650 à 1 300€ en 2030 Manque de bilans quantitatifs fiables
Services de régulation (suite) - eau (quantité annuelle)	0€	Hypothèse d'absence d'effet majeur des forêts sur le bilan hydrologique annuel Manque d'études pertinentes
- eau (régulation des débits)	Non évaluée	
- eau (qualité)	90€	

⁹⁰ CAS, 2009

⁹¹ La valeur de la tonne de CO₂ retenue est la valeur tutélaire retenue par le récent rapport Quinet du Centre d'Analyse Stratégique (2008), c'est-à-dire 32 €₂₀₀₈. À noter que ce rapport propose une augmentation progressive de cette valeur, pour atteindre 100 €₂₀₀₈ en 2030.

⁹² Voir le rapport Forêt pour une évaluation plus précise du coût des impacts du changement climatique sur la production de bois.

⁹³ Une valeur *a minima* de 25,4 millions d'€ par an pour l'ensemble de la forêt métropolitaine - correspondant au budget alloué par l'Etat aux opérations de restauration des terrains de montagne - est proposée dans le rapport du groupe Forêt

⁹⁴ Une enquête axée sur le consentement à payer fait néanmoins état d'une valeur moyenne de 22,8 euros par hectare pour la préservation de la biodiversité forestière (voir rapport Forêt)

- protection (érosion, crues) - biodiversité - autres services de régulation (santé, etc.)	Non évaluée ⁹³ Non évaluée directement ⁹⁴ Non évaluée	Manque d'études pertinentes Evaluée via les autres services Manque d'études pertinentes
Services culturels - promenades (hors cueillette et chasse) - chasse - autres services culturels	200€ (0 à 1 000€) 55-69€ Non évaluée	Selon fréquentation Externalités négatives à déduire Manque d'études pertinentes
TOTAL* (min-max)**	968€ 500 à plus de 2 000€	

* en prenant la valeur indiquée ou la moyenne de la fourchette indiquée.

** en additionnant simplement les valeurs minimales et maximales

Ce rapport du CAS (2009) souligne que les écosystèmes forestiers sont nettement plus productifs, en termes de services écosystémiques, que les prairies permanentes et, surtout, que les zones de cultures annuelles (sans parler bien sûr des zones urbanisées). La perte de surfaces forestières – et, plus généralement, de surfaces à couvert végétal permanent – au profit d'autres usages se traduirait donc par une perte notable de services écosystémiques.

III.5.4.2 Evolution possible des surfaces

Si l'on considère l'évolution spontanée des peuplements forestiers, la partie la plus méridionale de la forêt métropolitaine est et restera en zone euméditerranéenne, c'est-à-dire une zone ayant vocation à être naturellement boisée. Les zones non boisées du territoire sont liées à des défrichements plus ou moins anciens et ne se maintiennent que grâce aux activités humaines qui s'y sont développées, ou éventuellement par des blocages évolutifs (sols érodés en zone d'incendie répétés, tourbières...)⁹⁵.

Par contre, des modifications notables de la part relative des grands domaines bioclimatiques forestiers vont se produire d'ici à 2100. La part cumulée des domaines méditerranéen et océanique Sud-Ouest, actuellement de 26%, pourrait dépasser 70% à cette échéance. En conséquence, on peut admettre que, même si des évolutions de sa composition en espèces pourront être observées⁹⁶, la forêt conservera globalement un potentiel spontané d'extension dont la régulation quantitative et qualitative sera exercée par l'évolution des activités humaines. Parmi ces activités, citons en particulier :

- les pratiques sylvicoles, qui pourront hâter la disparition d'une espèce pouvant subsister mais ayant perdu son intérêt économique (cas du hêtre), ou, à l'inverse, accélérer la colonisation par de nouvelles espèces plus adaptées (cas du remplacement éventuel du pin maritime dans les Landes) ;
- la poursuite ou la réduction des élevages de ruminants à l'herbe dans les zones de moyenne montagne, sous l'effet de facteurs comme la réduction prévisible de la productivité des prairies, la diminution de la consommation de viandes rouges ou l'évolution de la compétitivité des productions françaises face aux importations ;
- un recul éventuel des forêts intrinsèquement multifonctionnelles mais « cultivées » afin de fournir du bois, recul lié à l'augmentation de la fréquence et surtout de l'intensité des tempêtes et à la dégradation de la capacité de ces forêts à assurer une production soutenue dans les nouvelles conditions climatiques, au

⁹⁵ On le constate dans les zones de friches, soumises à une colonisation plus ou moins rapide par des ligneux pionniers, ou dans la « zone de combat » qui sépare en montagne la limite des forêts et celle des prairies d'altitude. Cette zone est souvent maintenue plus bas que sa limite naturelle par les activités d'élevage.

⁹⁶ Voir en particulier la disparition vraisemblable du hêtre, au moins en tant qu'espèce structurante des massifs, dans les forêts du sud de la Loire, ou bien la remontée vers le nord du chêne vert.

bénéfice de la mise en place de lignicultures à cycle plus rapide (cultures alimentaires ou énergétiques notamment).

On peut donc conclure que les politiques qui seront menées vis-à-vis des élevages de ruminants à l'herbe, des productions énergétiques ou des pratiques sylvicoles favorisant la biodiversité pourront jouer un rôle majeur – et sans doute très supérieur au rôle direct du changement climatique – dans l'évolution des surfaces forestières.

Deux dynamiques « naturelles » sont cependant à mentionner :

1- le recul des forêts dunaires, en raison du recul des côtes et de l'augmentation de la fréquence ou de l'intensité des tempêtes. Il conviendrait dans ce cas de prévoir des « espaces de repli » pour ces forêts ;

2- la disparition possible d'une partie des forêts méditerranéennes, du fait de l'augmentation de la fréquence des incendies. Cette tendance sera modulée par l'ampleur des politiques de protection qui seront mises en œuvre.

III.5.4.3 Evolution possible des services

Les écosystèmes forestiers cumulent trois particularités face au changement climatique :

1- la durée de vie d'un arbre est du même ordre de temps que le changement climatique lui-même : les rythmes du changement et de l'adaptation se confondent ;

2- les forêts sont concernées autant par la question de l'atténuation (stockage et substitution) du changement climatique que de l'adaptation à ses conséquences et la gestion des deux aspects interagissent bien évidemment ;

3- les forêts constituent majoritairement en France des écosystèmes économiquement productifs (le cas de l'outre-mer, en particulier de la Guyane, est différent). Au-delà de l'enjeu de la conservation de la biodiversité, se pose la question de la conservation d'une production économique, les deux aspects n'étant pas forcément positivement corrélés.

La conjugaison de ces trois éléments fait du pilotage des écosystèmes forestiers dans le changement climatique un exercice particulièrement difficile à appréhender.

Pour l'exercice d'évaluation économique, on se limite ici aux services non-marchands, en renvoyant aux autres groupes sectoriels (forêts, tourisme) pour les biens marchands.

Fixation* et stockage* du carbone

Le carbone, dont on retiendra pour l'exercice le cours de 115€/tonne⁹⁷, est concerné essentiellement sous cinq aspects :

1- Le carbone forestier représente la grande majorité du stock terrestre national, estimé à 2,4 milliards de tonnes de carbone (150t environ par hectare, en considérant les stocks aériens et souterrains). Le rapport du CAS a proposé d'évaluer ce stock et son augmentation annuelle à 529€/(ha x an)⁹⁸, soit 8,4 milliards d'euros/an pour l'ensemble

⁹⁷ Valeur tutélaire proposée par le Centre d'analyse stratégique en 2008, correspondant à 32€ la tonne de CO₂.

⁹⁸ Cette valeur comprend le flux annuel de stockage (soit environ 1 tonne de carbone /ha) et la rémunération du capital stocké à long terme, évalué à 90tC/ha, avec une rémunération annuelle de 4% de ce stock.

des forêts métropolitaines. La sécheresse de 2003, qui devrait survenir en fin de siècle avec une occurrence *a minima* décennale a conduit à une production nulle des écosystèmes. Ceci signifie que le prélèvement de bois dans ces conditions se traduirait par un déstockage de carbone que l'on peut évaluer à 60 millions de tonnes-équivalent CO₂ (60Mm³ prélevés non remplacés par la production biologique, 1m³ équivalant à 1 tonne de CO₂), soit 1,9 milliards d'euros (à 32€/tCO₂). De manière plus générale, la production primaire nette devrait baisser pour les feuillus de plaine de 10 à 15% d'ici 2090, alors que les espèces à feuilles persistantes comme le chêne vert devraient augmenter légèrement leur production potentielle de 3%. Une forte inconnue est liée à la disponibilité en eau, qui pourrait amoindrir fortement cette production potentielle. Il faut donc envisager de revoir progressivement à la baisse la valeur de fixation annuelle de carbone par la forêt, actuellement estimée à 1,2tC/(ha x an), soit 138€//(ha x an). Par contre, si la couverture forestière persiste, le stock souterrain de carbone devrait se maintenir mais ce point est à préciser. Il faut souligner que cette augmentation actuelle du stock de carbone forestier est en partie liée à une exploitation partielle (environ 60%) de la production annuelle des forêts. Les politiques d'exploitation forestière et l'usage qui sera fait du bois (chauffage, biocarburant, chimie verte ou bois matériau) moduleront donc fortement la fixation nette de CO₂ par les forêts.

Encadré 25 - Évolution des forêts méditerranéennes et stockage de carbone

En termes économiques, un calcul grossier peut être fait en se basant sur la différence de productivité actuelle entre les forêts méditerranéennes (3,4m³/(ha x an)) et celles du reste de la France (environ 7,5m³/(ha x an)). Si l'on estime que ces forêts de type méditerranéennes, qui occupent actuellement 9,1% du territoire métropolitain, en occuperont en 2100 entre 19% (selon B2) et 37% (selon A2), la perte de productivité se situerait entre 6 et 16%, soit une perte économique, en termes de flux de carbone stocké, comprise entre 304 et 589 millions d'euros. Ces valeurs sont peut-être optimistes car il est possible que dans la phase de transition, les forêts nouvellement soumises à un régime climatique de type méditerranéen soit même moins productives que les forêts méditerranéennes.

2- Si l'on ajoute à ce déstockage le risque accru d'incendie dans les zones évoluant vers des sécheresses estivales prolongées, qui plus est sur des forêts moins aisément valorisables économiquement et donc potentiellement délaissées, le bilan est fortement aggravé : les grands feux sont en effet susceptibles de relarguer des quantités considérables de carbone dans l'atmosphère, issu de la biomasse mais également des sols (on estime le stock dans le sol à au moins l'équivalent du stock aérien). En 2003, les incendies ont contribué pour un tiers des émissions nationales de CO₂ - de 410 millions de tonnes en 2003 (hors UTCF) - ce qui représenterait donc 4,4 milliards d'euros.

3- Les incendies répétés aggravent le risque de lessivage des sols nus, comme on peut l'observer sous climat méditerranéen ou tropical, avec une perte considérable de productivité pour les écosystèmes forestiers qui se réinstallent, voire un blocage au stade sous-arboré (maquis, garrigue).

4- Enfin, certains sols forestiers voient aujourd'hui leur évolution bloquée ou fortement ralentie par certaines conditions climatiques difficiles (sols gelés en profondeur, sols engorgés). Ils accumulent alors de grandes quantités de carbone dans des milieux comme les tourbières, les permafrosts, etc. C'est pour la France métropolitaine particulièrement le cas en montagne. Les nouvelles conditions météorologiques devraient réchauffer ces sols en été, avec une pluviométrie essentiellement hivernale, ce qui devrait conduire au relargage du carbone* stocké sous forme de carbone organique mais aussi de méthane. S'il est très difficile d'évaluer ce phénomène, il paraît probable qu'il

aggraverait certainement encore le solde négatif induit par les trois phénomènes précédemment décrits.

5- Plusieurs mesures d'atténuation ou d'adaptation des forêts au changement climatique pourront également avoir des conséquences notables sur le stock de carbone en forêt. Il s'agit : a) du raccourcissement des cycles de production, réduisant la biomasse aérienne et puisant potentiellement dans le stock du sol ; b) de la réduction du stock sur pied par réduction des densités à l'hectare et relevés de couvert ; c) de l'intensification de l'utilisation de bois en substitution à des matériaux plus énergivores ou fossiles ; à noter dans ce cas que le bilan, négatif pour la forêt, est globalement positif.

Autres services rendus par les écosystèmes forestiers

Sans pouvoir fournir de valeurs précises, il convient d'insister sur le rôle qualitatif et quantitatif des forêts par rapport au cycle de l'eau. Au plan quantitatif, les forêts influent de plusieurs manières : si elles ne semblent pas moduler, en zone tempérée, la pluviométrie locale, elles diminuent le bilan hydrologique global (quantité d'eau alimentant les nappes et les cours d'eau) du fait de leur plus forte évaporation par rapport à une prairie ou à une culture. Par contre, du fait des capacités de stockage des sols forestiers, elles tendent à lisser l'hydrogramme (écrêtage des crues, soutien des étiages), ce qui peut avoir des effets très bénéfiques. L'importance économique relative de ces deux phénomènes peut varier grandement selon les régions et, à l'avenir, avec le changement climatique. Des études régionalisées seraient donc à réaliser. Sur un plan qualitatif, le rapport du CAS estime que seul 3 à 6% de l'eau « produite » par les massifs forestiers est aujourd'hui utilisée pour la fourniture d'eau potable. En outre, le rapport n'a pas pu évaluer d'autres aspects positifs de la fourniture d'une eau de qualité, comme l'abaissement de la température moyenne des rivières (effet de couvert) ou la réduction de l'eutrophisation (réduction des apports d'azote et de phosphore), phénomènes qui peuvent favoriser la préservation de la biodiversité aquatique.

Enfin, la valeur récréative des massifs forestiers (y compris la chasse) devrait faire l'objet d'études prospectives car on peut imaginer à la fois des impacts favorables et défavorables du changement climatique sur ces activités : fréquentation accrue des forêts en période de canicule, augmentation du « tourisme nature » sur le territoire national (du fait de l'augmentation des coûts de transport) mais, à l'inverse, nécessité d'interdire la fréquentation des zones à risque élevé d'incendie et effondrement de la fréquentation des zones touchées.

Pour conclure, apprécier en valeurs chiffrées le coût de la perte des services écosystémiques correspondante n'est pas aisé et dépend fortement des hypothèses posées. Les pertes potentielles estimées sont élevées et constituent vraisemblablement des bornes inférieures des montants réels. En effet :

- seuls les services écosystémiques de la biodiversité générale sont évalués ;
- certains services de régulation, qui peuvent avoir des valeurs importantes, ne peuvent pas toujours être pris en compte ;
- les coûts sont évalués à partir de données marginales par hectare, c'est-à-dire pour une perte limitée de surface de l'écosystème étudié ne conduisant pas à une augmentation des valeurs. Appliquer ces estimations à une grande surface susceptible d'être atteinte (et donc de modifier le coût marginal) est grossier et ne constitue qu'une première étape de la démarche.

L'exercice de chiffrage du coût des impacts du changement climatique sur la biodiversité est ainsi limité mais permet de sensibiliser aux enjeux économiques du changement climatique. En aucun cas ces chiffrages ne peuvent être considérés comme la valeur de

destruction ou de remplacement des écosystèmes, tant ils sont fragmentaires et partiels. Il reste toutefois à approfondir la connaissance des impacts et, en particulier à mieux définir les courbes de réponse (en termes de diminution des services) des écosystèmes selon les scénarios de changement climatique.

III.6 Chapitre V - Effets croisés entre adaptation au changement climatique de différents secteurs, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité

Les interactions entre les différents secteurs d'activité et la biodiversité risquent d'être bouleversées du fait du changement climatique, pour plusieurs raisons :

Certains secteurs d'activités tirent parti directement d'éléments de la biodiversité : c'est le cas de l'agriculture, de la foresterie, de la pêche en eau douce, côtière ou en haute mer, ou encore du tourisme. Le changement climatique impactant la biodiversité (effets I et II présentés dans le schéma conceptuel initial en Figure 9), il est fort probable que l'économie de ces secteurs soit également touchée ;

L'adaptation⁹⁹ plus ou moins progressive, spontanée* ou planifiée*, des secteurs d'activités, risque d'impacter, négativement mais parfois aussi positivement, la biodiversité : ce sont les effets de type III. Par exemple, comment les éventuels déplacements d'infrastructures dans l'arrière-pays, du fait de la remontée du niveau de la mer, impacteront les espaces naturels qui y sont situés ?

Bien que le mandat du Groupe interministériel se focalise sur l'adaptation, il ne faut pas oublier que les politiques d'atténuation du changement climatique vont également impacter la biodiversité. On insiste à ce propos sur le triptyque Adaptation – Atténuation – Biodiversité, dont la mise en cohérence apparaît essentielle.

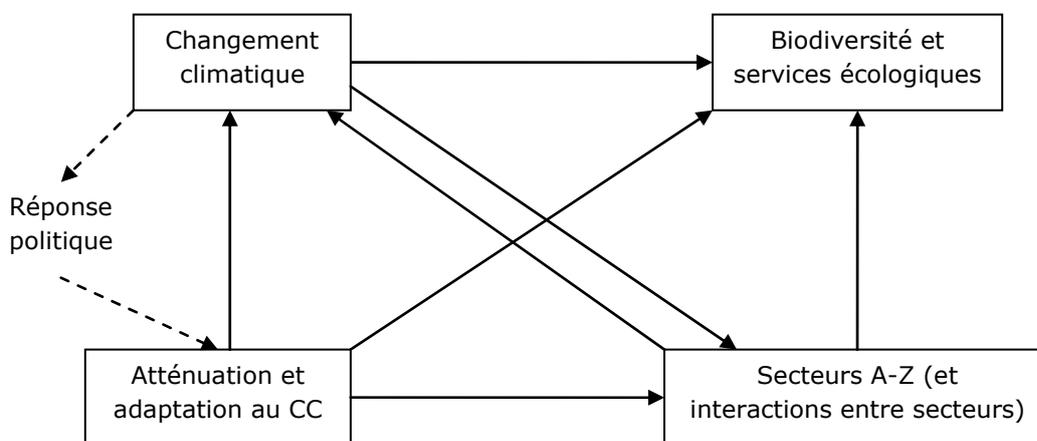


Figure 18 - Interactions entre changement climatique, secteurs et biodiversité (MACIS, 2008)

Ce chapitre vise donc à analyser ces différentes interactions (Figure 18), les secteurs d'activités examinés étant ceux choisis par le Groupe interministériel¹⁰⁰. Toutefois, le

⁹⁹ On entend ici par stratégie d'adaptation au changement climatique toute intervention humaine qui atténue les effets néfastes ou tire parti des possibilités avantageuses des modifications réelles ou attendues liées au climat.

¹⁰⁰ Les secteurs retenus dans le cadre du Groupe interministériel sont, pour rappel : agriculture, forêt, eau, santé, tourisme, énergie, infrastructures de transport et cadre bâti, risques naturels et assurances, territoires.

Groupe biodiversité souligne qu'il n'a pas été possible, du fait du délai imparti d'une part et de l'absence d'un rapport biodiversité en phase 1 de ce travail, d'analyser en profondeur et systématiquement l'ensemble des effets croisés. Il y a donc là une piste de développement importante. Le Groupe Biodiversité propose néanmoins une méthode d'évaluation des impacts probables des mesures d'adaptation et d'atténuation sur la biodiversité.

Encadré 26 - La question du changement climatique et des mesures d'adaptation dans les récents travaux européens et internationaux

- Le rapport MACIS d'octobre 2008 (Minimisation of and Adaptation to Climate change Impacts on biodiversity) est issu d'un projet de recherche européen dont l'un des objectifs est d'étudier l'impact des mesures d'adaptation et d'atténuation sur la biodiversité. Les secteurs étudiés sont l'agriculture, la sylviculture, l'énergie, l'urbanisme, les inondations, les loisirs et le tourisme, la santé humaine et la conservation de la nature. Le rapport souligne qu'il y a un continuum de l'atténuation à l'adaptation. L'atténuation est une démarche de première urgence. Les mesures d'adaptation prennent le relais mais avec un effet retour important sur la biodiversité. Il est utile d'envisager ces mesures dans le temps et l'espace. Par exemple, pour répondre à une modification des précipitations, ce n'est pas la même chose de choisir une variété de céréale adaptée au climat, que de développer de nouvelles capacités d'irrigation en prélevant l'eau dans le milieu naturel ou encore en sollicitant un barrage, investissement réalisé pour plusieurs décennies.

- Le projet COCONUT (Understanding effects Of land use Changes ON ecosystems to halt loss of biodiversity due to habitat destruction, fragmentation and degradation) est également un projet européen lié à MACIS ainsi qu'à ALARM (Assessing Large Scale Risks for Biodiversity with Tested Methods). Ce projet de recherche vise à mieux comprendre les effets des changements d'utilisation des sols et de la fragmentation des habitats naturels sur la biodiversité en Europe et fournit aux décideurs politiques des données scientifiques et des outils de modélisation.

- Le PNUE (Programme de Nations Unies pour l'Environnement) a publié une revue de la littérature scientifique sur les liens entre biodiversité et adaptation au changement climatique (UNEP-WCMC, 2009). Ce rapport souligne la nécessité d'un cadre d'analyse le plus large possible, intégrant la biodiversité dans l'ensemble des politiques d'adaptation. Il détaille les impacts croisés recensés dans la littérature récente.

Cette analyse transversale amène à considérer les représentations de la biodiversité que peuvent avoir les différents acteurs concernés.

III.6.1 Impacts du changement climatique sur les principaux secteurs utilisant les ressources issues de la biodiversité

Concernant les impacts du changement climatique sur :

- la biodiversité remarquable :

On peut considérer que l'application des politiques de conservation et de gestion de la biodiversité est un secteur d'activité économique en tant que tel, pourvoyeur d'emplois (gestion d'espèces et d'espaces, application de la réglementation, suivi et observation de terrain, etc.). Il est toutefois difficile d'évaluer en quoi le changement climatique impactera directement ce secteur.

- la biodiversité générale :

On ne détaillera pas ici cet aspect déjà abordé (parties III.2 et III.3) à travers les exemples des vendanges, l'aquaculture et la pêche maritime, la foresterie, etc. Dans plusieurs domaines comme l'agriculture et la foresterie, les interdépendances avec la biodiversité sont jugées particulièrement fortes. La notion de services écologiques permet d'éclairer utilement ces interdépendances entre biodiversité et secteurs économiques.

III.6.2 Impacts sur la biodiversité de l'adaptation de divers secteurs d'activité (type III)

Les mesures d'adaptation envisagées dans les différents secteurs peuvent être complémentaires de la préservation de la biodiversité et avoir un effet positif ou négatif. Certaines mesures n'ont pas d'effet démontré connu, mais cette neutralité apparente peut provenir d'un manque de connaissances des interactions.

Il faut envisager les cas où l'adaptation est ressentie comme vitale pour l'avenir de l'activité mais où la démarche peut entraîner la disparition d'un élément essentiel pour la biodiversité.

Encadré 27 - Impacts sur la biodiversité de l'adaptation de divers secteurs lors d'extrêmes climatiques

Les périodes de crise sont les plus dangereuses. Dans ces moments-là, les sociétés touchées veulent rétablir une situation qui leur semble normale. Ainsi, après les tempêtes Lothar et Martin de 1999, les sylviculteurs étaient pressés de reconstituer leurs forêts. Dans un certain nombre de cas, cette précipitation s'est faite aux dépens de la biodiversité. Les mesures prises – excessivement normées au moment de leur mise en œuvre, alors que des possibilités de diversification étaient prévues dans les textes – ont été plutôt défavorables à la biodiversité. Elles s'appuyaient sur des surfaces bien délimitées avec un nombre d'essences réduites pour faciliter l'utilisation et le contrôle des budgets de reconstitutions.

L'adaptation spontanée de certains secteurs n'a-t-elle pas potentiellement plus d'impacts sur la biodiversité que l'adaptation planifiée ? Elle a probablement tendance à favoriser des mesures simples et rapides. Cet aspect mériterait d'être analysé en profondeur. On prend ici l'exemple du tourisme d'hiver et du recours à la neige de culture.

Encadré 28 - « La neige de culture pèse sur l'eau et la biodiversité » (Le Hir, 2008)

Au cours des cinquante dernières années, l'épaisseur de neige a diminué de 1,5 cm par an en moyenne dans les Alpes. Ce déficit conduit les stations à avoir recours de plus en plus fréquemment à la neige de culture lors des périodes touristiques : l'enneigement artificiel représentait en 2005-2006 près de 18% de l'ensemble du domaine skiable français. Cette solution n'est pas sans risque pour les ressources en eau et la biodiversité. L'eau utilisée pour la neige de culture provient à 50% de retenues artificielles aménagées à cet effet (les « retenues collinaires »), à 30% de cours d'eau et à 20% des réseaux d'eau potable. Cela pose plusieurs problèmes :

- approvisionnement en eau pendant les saisons hivernales (durant la haute saison touristique) ;
- destruction des zones humides (tourbières, marais, étangs, etc.) dans lesquels sont aménagées ces retenues d'eau pour la production de neige de culture et qui abritent une importante richesse biologique (espèces inféodées).

La gestion de la ressource en eau pour l'avenir reposera en grande partie sur les pollutions diffuses agricoles, de plus en été l'irrigation représente environ 80% des prélèvements d'eau. Il y a donc un impact croisé entre Politique agricole commune, eau et biodiversité. Les impacts croisés dans ces domaines sont particulièrement significatifs. En effet, la priorisation des usages de l'eau peut avoir un impact important sur la biodiversité aquatique et riparienne mais aussi sur les zones humides voir sur tout l'écosystème du bassin versant (et aussi sur l'écosystème côtier le cas échéant).

Les anciennes jachères certes conçues comme un élément de régulation des marchés agricoles sont un exemple des relations croisées secteur d'activité/biodiversité/climat. Les jachères ont un intérêt pour la biodiversité des sols et comme habitat de diverses espèces de la faune et de la flore sauvage.

Le climat intervient directement sur l'activité agricole et de façon indirecte à travers les cultures ligno-cellulosiques pour les carburants. Dans un premier temps, des cultures énergétiques ont été développées sur ces espaces pour approvisionner la filière des agro-carburants en réponse à la crise énergétique. Une part limitée des surfaces de jachères a été affectée de façon explicite à la biodiversité. Suite à une crise alimentaire, la Commission européenne a décidé brusquement leur suppression.

La modification du calendrier des arrêts des tranches nucléaires aura un effet sur la biodiversité des fleuves concernés.

Pour la santé, les risques naturels, les espaces bâtis, l'énergie, les transports et le tourisme, l'obligation d'étude des incidences en amont des plans et projets et une ingénierie dédiée devraient permettre de préserver les services de régulation et culturels liés à la biodiversité et de maintenir les fonctionnalités des territoires en favorisant des mesures d'atténuation et compensatoires.

Les politiques d'adaptation des secteurs peuvent également avoir des effets positifs pour la biodiversité, notamment si elles intègrent la gestion des ressources naturelles dans leurs stratégies. C'est le cas par exemple de l'adaptation de pratiques agricoles pour économiser l'énergie tel que le non labour, ou encore de la création de champs d'épandage de crue dans le cadre de la prévention de risques d'inondations.

III.6.3 Triptyque adaptation – atténuation – biodiversité

Comme le note le rapport de la phase I du Groupe interministériel, les stratégies et mesures d'adaptation et celles d'atténuation sont susceptibles d'être en interaction, aussi bien négative que positive. Les interrelations biodiversité-changement climatique explicitées en partie III.2, notamment les effets indirects de type III et IV, montrent bien la nécessité d'intégrer la protection de la biodiversité à ce diptyque. Cela afin de se prémunir des effets négatifs potentiels de certaines mesures d'adaptation des autres secteurs ou mesures d'atténuation pourront être évitées ; d'autre part, cela permettra une lutte plus efficace contre le changement climatique de par la prise en compte du rôle positif que jouent les écosystèmes et la biodiversité dans la régulation du climat et de leur potentiel pour l'adaptation.

Il conviendra alors d'analyser l'ensemble des mesures d'adaptation ET d'atténuation, afin de promouvoir celles qui exploitent le maximum de synergies et de minimiser les conflits entre stratégies d'adaptation / stratégies d'atténuation / protection de la biodiversité. Le projet MACIS a déjà travaillé sur ce sujet et l'aborde dans son livrable 2.2-2.3 (Annexe F.7).

Il s'avèrera particulièrement important d'évaluer précisément les techniques de bio-ingénierie visant à atténuer le changement climatique et d'étudier leurs effets sur la biodiversité. Par exemple, la fertilisation des océans consiste à ajouter des micronutriments dans les océans afin de stimuler la croissance du phytoplancton et d'ainsi augmenter la quantité de CO₂ absorbée. Outre les doutes sur l'efficacité de cette technique, les connaissances scientifiques tendent à indiquer que son application à grande échelle et sur le long terme pourraient avoir des conséquences dramatiques sur les écosystèmes marins. Les Parties à la CDB ont ainsi adopté en 2008 une décision demandant de ne pas utiliser cette technique avant d'avoir une base scientifique justifiant une telle activité et le traitement de cette question est en cours dans l'enceinte de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets. Les biocarburants représentent un autre exemple de mesures d'atténuation potentiellement négatives sur la biodiversité.

III.6.4 Principaux enseignements

III.6.4.1 Usages des sols

L'usage des sols apparaît comme un élément clé de la gestion de la biodiversité.

La répétition d'événements défavorables à des espèces et des écosystèmes est susceptible d'entraîner leur disparition voire leur remplacement par d'autres éléments. On peut imaginer remplacer une forêt de hêtre par une forêt de pins puis un taillis à courte révolution voire une culture si la vocation forestière n'est plus assurée par le propriétaire. Mais de telles mesures, si elles sont uniquement placées dans un cadre strictement économique, favorisent une simplification des habitats.

Au cours des 60 dernières années, l'aménagement du territoire a conduit à la création de villes nouvelles, de stations touristiques, au remembrement et au boisement de nombreuses terres agricoles. Peut-on tirer des enseignements des démarches volontaristes et relativement centralisées conduites dans les années 1960 ? À partir des années 1980, les politiques ont eu une dimension plus contractuelle et décentralisée. La trame verte et bleue essaye de combiner les deux approches dans le cadre d'une approche systémique.

Une mosaïque d'espaces intensivement exploités et d'espaces à vocation naturaliste est-elle préférable pour la biodiversité à une utilisation multifonctionnelle essayant en tout lieu de ménager tous les usages ? Doit-on combiner les deux ? S'achemine-t-on vers une multifonctionnalité des territoires ou bien au contraire vers une plus grande spécialisation ? Quels sont les facteurs déterminant l'option future dominante (ex. volonté politique) ? La diversité des impacts croisés est très importante. Il faut souligner qu'un grand nombre d'entre eux ont une forte dimension territoriale. La capacité de notre territoire à répondre aux objectifs de chaque secteur pris isolément n'est pas assurée. Le croisement avec les enjeux de biodiversité offre probablement l'opportunité d'optimiser l'utilisation du territoire. La gestion foncière sera, pour des enjeux contradictoires, un moyen d'arbitrage pour la conservation de la biodiversité. Il est certes coûteux mais efficace. Il a montré son efficacité pour la gestion du littoral français même dans des zones de grande pression touristique. La gestion publique ciblée et les mécanismes d'échanges devront alors être envisagés.

La biodiversité globale d'un territoire est dépendante des parts affectées à la forêt, à la prairie, aux cultures et à la place des zones urbanisées et des infrastructures ainsi que de leur organisation. A cette occasion, l'hypothèse de travail à économie constante s'avère contraignante et peu réaliste. Le groupe recommande de prendre en compte de façon plus détaillée, en fonction de différents scénarii d'occupation du sol, les politiques

d'adaptation envisagées pour chacun des secteurs et les impacts indirects du changement climatique.

III.6.4.2 Gestion particulière des niches écologiques

La modélisation s'appuie beaucoup sur la notion de niche écologique. Cette approche pourrait être reprise au titre des politiques d'adaptation de certains secteurs. Ainsi la politique de l'eau a vocation à assurer le maintien des zones humides. Les espaces protégés ne pourraient-ils trouver là une nouvelle vocation en préservant des territoires susceptibles d'accueillir des espèces en migration et de servir de lieu d'observation de nouvelles combinaisons ? Cela ne vaut probablement que pour des espaces protégés de grande dimension. De même les politiques territoriales pourraient identifier des espaces à enjeu particulier du fait d'une utilisation humaine plus réduite. Natura 2000 a par exemple, à côté d'espèces et de milieux très particuliers, prévu la protection des estuaires, des grottes, des ripisylves*, des sources pétrifiantes, d'éboulis et de vallon frais. Ne conviendrait-il pas de partir de ces éléments qui conserveront une certaine spécificité quelle que soit l'évolution du climat ?

III.6.4.3 Gestion de conflits entre intérêts divergents

Les mécanismes juridiques seront-ils suffisants ? On peut en douter face aux choix très difficiles qui seront à faire. La limitation des conflits passe par une gestion intégrée des secteurs et des territoires prenant en compte la biodiversité. Pour cela il faut croiser le secteur et la dimension territoriale. Pour chacun il existe des partenaires différents qu'il faut associer à la définition des actions d'adaptation et de gestion de la biodiversité. Les outils de gouvernance doivent être modifiés pour prendre en compte ces enjeux croisés.

III.6.4.4 Besoin de connaissances, questions et limites

L'analyse des effets croisés montre l'importance des thèmes à examiner et les nombreux thèmes susceptibles d'émerger. Par exemple, le prix de rachat de l'électricité d'origine photovoltaïque est susceptible de développer les installations sur des milieux naturels peu productifs. Ces impacts indirects pourraient faire l'objet de recherche spécifique. D'autres dimensions mériteront à l'avenir d'être envisagées telles que les migrations humaines, la santé animale, etc. Enfin, il serait utile de comprendre les motivations des acteurs et de mieux cerner les adaptations spontanées.

De façon générale, le groupe Biodiversité s'interroge sur les implications de l'hypothèse de travail « à économie constante ». Signifie-t-elle que les politiques récemment actées (Grenelle de l'environnement, bilan de santé de la Politique agricole commune¹⁰¹, prochaine réforme de la Politique commune de la pêche en 2012, etc.) sont, ou au contraire ne sont pas partie intégrante de l'état de référence ? Cette hypothèse s'avère contraignante et peu réaliste. Il s'agit de disposer d'éléments de prospective permettant de contraster des scénarios puis de voir quels sont les enjeux. Le groupe recommande de prendre en compte de façon plus détaillée – entre autres – les impacts indirects du changement climatique, la politique française d'atténuation*, les évolutions probables de l'occupation du sol, l'évolution démographique. Ainsi l'augmentation de l'urbanisation constitue une tendance lourde, dont on connaît la territorialisation (ex. littoral). De quelle façon cette tendance peut elle être prise en compte ?

¹⁰¹ Mais quelles seront les évolutions de la PAC ? Est-il réaliste de les considérer sachant que l'horizon visé par le Groupe interministériel est 2100 ?

III.7 Chapitre VI- Stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la biodiversité

Les stratégies d'adaptation envisagées dans ce chapitre VI sont les mesures prises par l'homme pour traiter du problème du changement climatique dans le cadre d'une gestion réfléchie de la biodiversité : elles ont pour objectif de réduire la vulnérabilité ou d'augmenter la résilience des écosystèmes afin de répondre aux changements actuels et futurs¹⁰².

La question couplée Adaptation au changement climatique & biodiversité fait l'objet de discussions de plus en plus nombreuses dans les multiples arènes de réflexion et de prise de décision, qu'elles soient internationales, communautaires, nationales ou locales (Annexe F.8). Ceci appelle à un renforcement de la cohérence globale de la gouvernance et de la reconnaissance des responsabilités aux échelles emboîtées.

Un recensement des mesures d'adaptation a été réalisé par le groupe Biodiversité (Annexe F.9), grâce à l'expertise de ses membres et sur la base d'une récente synthèse de l'ensemble des recommandations en la matière issues de publications scientifiques durant les 22 dernières années¹⁰³. Ce panorama relativement exhaustif a permis de distinguer des grandes catégories de mesures d'adaptation pour la biodiversité (sans établir de jugement d'importance), s'alimentant les unes les autres :

Encadré 29 - Les 5 grandes catégories de mesures d'adaptation

- a) l'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles ;
- b) l'intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques existantes de conservation et de gestion de la biodiversité ;
- c) l'intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques ;
- d) la promotion d'une gouvernance intégrée ;
- e) la sensibilisation et la mobilisation de l'ensemble des acteurs.

Se situant dans le champ du principe de précaution*, le Groupe biodiversité a privilégié les mesures sans regret*, c'est-à-dire bénéfiques à la biodiversité même hors contexte du changement climatique et donc *in fine* positives même si sans efficacité finalement avérée dans ce contexte. Seule l'adaptation planifiée* est ici abordée.

¹⁰² Adger *et al.*, 2007

¹⁰³ Heller et Zavaleta, 2009

Encadré 30 - Intégration d'une analyse multicritères pour une approche opérationnelle

Pour être opérationnelles, ces mesures devront être déclinées judicieusement. On propose des critères informatifs (ex. quelles spécificités françaises, outre-mer, biodiversité terrestre, aquatique ou marine concernée, lien avec les services écologiques, mesures faisant l'objet d'engagements internationaux, communautaires ou nationaux), des critères facilitant la prise de décision (ex. degré d'incertitude sur les effets secondaires, urgence de la mise en œuvre, échelle d'intervention, dans ou en dehors d'une aire protégée, échéance des effets escomptés, acteurs concernés, besoins d'informations complémentaires, éléments d'évaluation économique des coûts et bénéfiques).

III.7.1 Amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles

L'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles est au cœur de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB). Celle-ci se doit de préciser l'état de référence de la biodiversité (année, usage du sol, éléments connus, etc.), qui servira à mesurer ses évolutions. Le développement d'un système cohérent de suivi et sa déclinaison dans les différents plans sectoriels est une priorité.

À la base de toute détection ou compréhension des phénomènes se situent le recueil de données et leur mise sous une forme exploitable en bases de données, afin de nourrir des travaux scientifiques, des observatoires, des outils de modélisation ou des indicateurs (outils détaillés en Annexe F.2 dans le cas du changement climatique)¹⁰⁴. Ces sorties présentent toutes la particularité d'être orientées vers la réponse à des questions posées ; elles sont en ce sens dédiés à un problème à traiter. La tentation est grande d'en faire de même pour les données de base¹⁰⁵ permettant d'apprécier les impacts du changement climatique sur la biodiversité, à travers la mise en place de réseaux orientés vers ces questions. Or si les outils cités peuvent sans cesse faire l'objet de transformation lorsque la question change, il n'en est pas de même des précieuses séries de données, chronologiquement marquées. Par ailleurs, le maintien en état sur le long terme d'un réseau d'observation coûte extrêmement cher. C'est pourquoi il est fondamental de concevoir les réseaux d'observation, socles fondamentaux de la connaissance, de la manière la plus neutre possible par rapport aux questions qu'ils aideront à résoudre. Autrement dit, il ne s'agit pas forcément de multiplier les observatoires dédiés, qui plus est à des échelles diverses et sans coordination des méthodologies utilisées. C'est la condition sine qua non pour qu'ils permettent de fournir des données « de base » qui pourront être valorisées sous des angles très divers ensuite et qu'ils puissent bénéficier de financement pérenne en prouvant au fil des questions posées leur utilité permanente.

Par ailleurs, on retiendra la nécessité de développer de nouveaux modèles prospectifs d'évolution de la biodiversité en lien avec les scénarios climatiques (Cf. partie III.3 et Annexes F.2, F.3 et F.9).

¹⁰⁴ On distingue trois étapes : 1) l'observation et le suivi (prise de paramètres sous des formes diverses : enregistrements, prospections, participation du public, enquêtes...) ; 2) la mise en place ou l'alimentation d'un système d'information (validation, organisation et consolidation des données recueillies en bases de données) ; 3) la création ou l'alimentation d'un observatoire (tri judicieux des données utiles, extractions et mise sous une certaine forme pour valoriser ces données). Ces trois étapes peuvent donner lieu à des extractions pour des simulations, des travaux scientifiques ou des indicateurs.

¹⁰⁵ Que ces données consistent en de simples inventaires de terrain diachroniques ou le regroupement d'observations par le grand public, ou en de complexes installations lourdement instrumentalisées.

Enfin, on attire l'attention sur le fait que les espaces protégés constituent des socles d'observation et champs d'expérimentation des stratégies d'adaptation privilégiés, du fait : a) de leur relativement faible anthropisation, facilitant ainsi la discrimination entre les conséquences du changement climatique et celles des autres pressions sur la biodiversité et donc leur suivi et évaluation ; b) des moyens (notamment humains) et des dispositifs de suivi déjà disponibles ; c) de leur répartition sur l'ensemble du territoire français (cf. carte en Annexe F.1) particulièrement sur le littoral, en montagne et en outre-mer ; d) de leur pérennité.

III.7.2 Intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques existantes de conservation et de gestion de la biodiversité

La loi fondatrice de 1976 sur la protection de la nature a défini les objectifs de protection des milieux et des espèces. Depuis lors, les outils et stratégies de politiques de conservation et de gestion en France concernent d'une part la biodiversité remarquable – avec la création et la gestion d'espaces protégés, le suivi et la gestion des espèces protégées – et d'autre part la biodiversité générale – avec notamment l'intégration de la biodiversité dans les politiques sectorielles et la sensibilisation des différents acteurs concernés et du public. Tant la Stratégie nationale pour la biodiversité que le projet de rétablissement des connectivités écologiques à travers la création de la Trame verte et de la Trame bleue confortent cette double approche.

Du fait de la fragilité et de l'état actuel de dégradation générale de la biodiversité et de nombreux écosystèmes, l'une des stratégies prioritaires pour l'adaptation au changement climatique est de renforcer les politiques de réduction des pressions sur la biodiversité autres que le changement climatique : dégradation et fragmentation des milieux, pollutions, surexploitation des ressources naturelles renouvelables, espèces envahissantes.

III.7.2.1 Espèces protégées

Les espèces protégées, qu'elles soient menacées ou non¹⁰⁶, voient leur destruction, prélèvement ou dérangement interdit. Les espèces les plus menacées font en outre l'objet de « plans nationaux d'action »¹⁰⁷ : ces plans vont devoir être complétés en fonction des connaissances accumulées sur les impacts du changement climatique. On peut donc préconiser un renforcement de ce volet de la connaissance lors de la rédaction des plans. Cette problématique peut être étendue aux parents sauvages d'espèces cultivées et aux espèces d'intérêt cynégétique.

Il faut différencier les recommandations selon le degré de mobilité des espèces.

Par exemple, la stratégie « poissons migrateurs » aujourd'hui à l'étude intégrera les enjeux du changement climatique. Une collaboration avec les pays limitrophes s'impose afin de garder une cohérence dans la gestion des migrations d'espèces du fait du changement climatique, que ce soit l'arrivée de nouvelles espèces en France (d'Espagne, Portugal, Turquie, Grèce), ou bien la disparition du territoire français de certaines autres espèces. Ce cas est particulièrement important pour éviter un acharnement à les

¹⁰⁶ Les vertébrés sont protégés dans leur ensemble – quel que soit leur statut de conservation – alors que seuls les insectes ou les plantes menacées le sont

¹⁰⁷ Anciennement appelés plans de restauration.

conserver sur le territoire français, alors qu'elles ne sont pas pour autant menacées d'extinction. Pour l'outre-mer, les collaborations interrégionales sont à renforcer.

Les problèmes les plus délicats sont posés par les espèces les moins mobiles. Laisse-t-on une libre évolution ou procède-t-on à l'organisation de déplacements vers des habitats plus favorables ou devenus favorables ? La translocation d'individus ne fait pas l'unanimité. Elle est déjà utilisée dans les cas de réintroduction d'espèces ; si cela ne pose pas de problème pour certaines espèces telles que des plantes, cela en pose pour d'autres (ours, loup...), plus souvent d'ailleurs pour des problèmes sociaux que scientifiques ou techniques. De plus, les connaissances actuelles ne permettent pas la translocation d'écosystèmes entiers, assemblage complexe d'espèces en interaction avec le milieu et les autres populations. Cette mesure, ainsi que la conservation *ex situ*, apparaît donc comme une alternative de dernier recours, car coûteuse et incertaine.

La recherche doit apporter des éléments de réponses opérationnelles aux questions des gestionnaires sur les mesures à mettre en œuvre quant à l'évolution des espèces et leur aire de répartition. À ce propos, les aspects génétiques (infra-spécifiques) sont très peu pris en compte, alors qu'ils sont une composante à part entière de la biodiversité et un élément crucial de l'adaptation des espèces au changement climatique.

III.7.2.2 Espaces protégés

Trois grands types d'espaces protégés sont distingués :

1- Les réserves intégrales où les processus dynamiques sont laissés à leur libre évolution. Les activités humaines sont limitées à l'observation et à la recherche scientifique. Le réseau le plus conséquent concerne les écosystèmes forestiers, mais au total les surfaces restent limitées. Aucune démarche d'adaptation n'est nécessaire pour ces territoires.

2- Les espaces protégés par une réglementation globale (parc national pour ses écosystèmes et ses paysages, parc marin, site classé pour son paysage et dans certains cas, réserves naturelles) ou par une maîtrise foncière visant la conservation de la nature (propriétés du Conservatoire du littoral, espaces naturels sensibles des départements). Les objectifs de conservation sont globaux même si le plan de gestion vise certains éléments particuliers. À ce titre, le changement climatique ne remet pas en cause le statut du territoire, ces espaces resteront en général des hauts lieux de biodiversité, même si leur contenu aura changé. Il restera toutefois à évaluer au fil du temps si le réseau dans son ensemble continue de couvrir les éléments visés par cette politique de conservation. La stratégie proposée est d'observer ce qui se passe à l'intérieur de ces espaces et de compléter le réseau si nécessaire. Il n'est pas recommandé d'abroger trop rapidement un espace protégé qui aurait perdu certains éléments présents lors du classement car de nouvelles espèces vont apparaître progressivement. C'est une fois un équilibre retrouvé qu'il faudra se prononcer. Entrent également dans cette catégorie les Parcs naturels régionaux (PNR). En effet, d'après le Code de l'environnement : « Les parcs naturels régionaux concourent à la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social et d'éducation et de formation du public. Ils constituent un cadre privilégié des actions menées par les collectivités publiques en faveur de la préservation des paysages et du patrimoine naturel et culturel ».

3- Les espaces protégés pour un élément déterminé de la biodiversité. Il s'agit pour l'essentiel d'espaces protégés par un arrêté préfectoral de protection de biotope d'une ou plusieurs espèces protégées ou un décret au titre de la directive européenne 79/409 (oiseaux) ou 92/43 (habitat, faune, flore). Dans ces cas, l'objet même de la protection –

visé dans le texte réglementaire – est susceptible de se déplacer, pour les espèces, ou d’être modifié pour les habitats, communautés d’espèces aux destins variables eut égard au changement climatique. L’exemple des habitats forestiers en est une bonne illustration. Ainsi, les hêtraies fortement représentées au sein du réseau Natura 2000 vont progressivement régresser. Inversement les forêts de pins méditerranéens vont s’étendre.

Encadré 31 - Le cas du réseau Natura 2000

Face à l’ampleur des modifications prévues pour les décennies à venir, quel sera le devenir du réseau de sites Natura 2000, occupant 12% du territoire métropolitain ?

Les sites Natura 2000 sont définis en fonction d’espèces et habitats d’intérêt communautaire listés aux annexes de la directive Habitat. En raison des nombreux bouleversements attendus du fait du changement climatique, il est possible que le réseau Natura 2000, ou du moins certains de ses sites, ne contiennent plus dans le futur et ce malgré les efforts de gestion, les habitats d’intérêt communautaire et leurs espèces typiques associées pour cause de migration ou d’extinction. Ainsi se pose la question des impacts du changement climatique sur les politiques de conservation et de gestion de la biodiversité et de la ré-évaluation du réseau des ZSC et des ZPS. L’attention des gestionnaires est attirée sur la nécessité d’envisager conjointement les mesures de gestion et les prévisions d’évolution afin d’éviter tout acharnement de conservation d’une population ou d’un milieu voué à la disparition.

Le réseau Natura 2000 et son évolution font actuellement l’objet de réflexions communautaires et le Livre blanc sur l’adaptation au changement climatique préconise notamment la rédaction pour 2010 de lignes directrices sur la prise en considération du changement climatique dans la gestion des sites Natura 2000.

La question se pose du devenir des espaces protégés, alors que les éléments à la base de la prise en considération disparaissent : déclassement, conservation des contours actuels, extension des contours ?

Le maintien des délimitations actuelles peut se justifier notamment parce-que les espaces protégés actuels sont *a priori* de bons candidats à l’accueil de nouvelles espèces, du fait de leur protection plus forte contre les pressions anthropiques. Un changement d’optique est alors nécessaire, pour passer de la protection d’un élément à l’espace dans son ensemble. Cela pourra poser dans certains cas des problèmes juridiques du fait de la remise en cause de la raison d’être initiale de l’espace protégé.

Une extension systématique des limites de l’espace protégé sera très difficile biologiquement – car rien ne dit que les espèces se déplaceront de quelques centaines de mètres ou kilomètres... – et politiquement à cause de l’incertitude qui en résulterait pour de nombreux partenaires. Bien qu’un outil flexible d’aire protégée, pouvant se déplacer dans le temps et l’espace, soit difficile à concevoir pour le domaine terrestre, il reste envisageable pour le marin.

Qu’en est-il de la désignation de nouvelles aires ? L’extension du réseau d’aires protégées peut être envisagée comme l’une des réponses à l’impact potentiel du changement climatique. L’augmentation du nombre et donc de la surface en espaces protégés augmente ainsi la probabilité d’héberger des espèces intéressantes et d’offrir des refuges à des espèces migrant du fait du changement climatique. La Stratégie de création des aires protégées (prévue par le Grenelle de l’environnement pour le milieu

terrestre métropolitain et complétée pour le milieu marin par la Stratégie des aires marines protégées de l'Agence des aires marines protégées¹⁰⁸ pour l'ensemble de la ZEE française et les engagements no. 13, 14 et 51 du Grenelle de la Mer en juillet 2009) peut être vue comme un élément de réponse dans le sens où elle apporte une vision stratégique globale au lieu d'une logique locale d'opportunité. Se pose la question de la répartition des espèces et habitats remarquables sur l'ensemble du territoire et de la prise en compte de certaines espèces menacées dans le futur par le changement climatique.

Plusieurs éléments restent cependant à définir pour une bonne prise en compte du changement climatique dans la désignation de nouvelles aires : a) les espaces à protéger en priorité (zones de forte hétérogénéité/endémisme, écosystèmes prioritaires, espaces d'accueil futurs...) ; b) les meilleurs critères de localisation (limites septentrionales/cœur des aires de répartition des espèces...) ; c) la dimension infra-spécifique... Cela demande des outils de protection plus souples et simples à mettre en œuvre pour permettre une plus grande flexibilité.

Concernant le développement des aires protégées en général, il est nécessaire de signaler que le changement climatique peut se traduire par une réduction des surfaces utilisables par l'agriculture et que, dans ce contexte, la concurrence « protection de zones avec contraintes sur l'agriculture » et agriculture sera forte. Quelles seront alors les priorités ?

Il est dès à présent indispensable, avec l'appui de l'atelier technique des espaces naturels (ATEN), de prendre en compte le changement climatique dans les documents et modalités de gestion des espaces protégés (à part dans les réserves intégrales). Il sera important d'analyser quel est le meilleur dosage complexe entre 1) le renforcement de la résilience « naturelle » permettant à l'écosystème de résister, 2) le génie écologique permettant des interventions pour maintenir le patrimoine souhaité, 3) l'orientation de l'aire vers l'accueil de nouveaux patrimoines « de remplacement » à enjeux forts. De manière générale, il s'agit de renforcer les initiatives déjà en cours. Ainsi, dans le domaine forestier, la création du réseau mixte technologique (RMT) forêt-climat vise à développer des outils concrets pour aider les gestionnaires à faire face au changement climatique (ex. guide de gestion de crise, guide de vulnérabilité) et à proposer des modalités d'arbitrage (quand basculer vers une stratégie de remplacement ?). Pour les espaces n'étant pas propriété d'une institution à finalité de conservation (parties de parc national ou de site classé, sites Natura 2000), le débat devra être engagé avec le propriétaire si celui-ci décide de modifier les usages du sol.

III.7.2.3 Lutte contre les espèces envahissantes

Le renforcement des politiques de prévention et de lutte contre les espèces envahissantes est particulièrement important : le changement climatique pourra fragiliser les écosystèmes et favoriser l'installation et la propagation d'espèces envahissantes sur certains territoires.

Le développement d'une stratégie européenne de lutte contre les espèces envahissantes doit permettre de combler les lacunes actuelles de la réglementation communautaire tout en optimisant les outils existants et de faire face de manière coordonnée à ces évolutions.

¹⁰⁸ L'Agence des aires marines protégées a été créée par [l'article 18 de la Loi n°2006-436 du 14 avril 2006](#) relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux. Elle a été mise en place le 1er janvier 2007.

Dans le contexte probable de nouvelles arrivées d'espèces sur le territoire par migration naturelle, espèces qui pourraient avoir une forte expansion du fait de leur arrivée dans un écosystème fragilisé et non adapté, une redéfinition de la notion d'espèces envahissantes* apparaît nécessaire (Cf. partie III.3), ainsi que l'adaptation des politiques de prévention dans le cadre des plans d'action ciblés. Des politiques spécifiques seront donc à définir.

III.7.2.4 Application des Directive cadre sur l'eau et Directive-cadre Stratégie pour le milieu marin

La directive cadre sur l'eau (DCE) et la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DC SMM) visent à restaurer ou maintenir le bon état écologique respectivement de l'ensemble des masses d'eau d'ici 2015 et du milieu marin d'ici 2020. Leur application permettra d'augmenter la résilience des écosystèmes par la réduction des pressions dues aux différentes activités sectorielles.

La DCE incite à la restauration des continuités aquatiques. De plus, outre leur intérêt pour la biodiversité générale*, les SDAGE (schémas directeur de l'aménagement et de la gestion des eaux, déclinaison en France de la DCE) prévoient la définition de réservoirs biologiques (incluant notamment des zones humides) faisant l'objet d'une protection accrue et permettant la reconstitution rapide des peuplements après un événement extrême. Malgré les possibilités de report et d'exemptions, cette directive place les écosystèmes aquatiques au cœur du processus de décision et devrait permettre de réduire fortement leur vulnérabilité face au changement climatique. Il sera néanmoins nécessaire d'adapter les conditions de référence du bon état écologique afin qu'elles prennent en compte les effets du changement climatique.

La DC SMM¹⁰⁹, plus récente (2008), aborde en filigrane la question du changement climatique, même si elle ne propose pas d'outils pour sa prise en compte effective.

III.7.2.5 Les projets de territoires et la trame verte et bleue

Les protections décrites ci-dessus restent limitées en surface et bien souvent ne communiquent pas entre elles. Les parcs naturels régionaux (plus de 15% du territoire national) et les zones d'adhésion des parcs nationaux permettent d'organiser une gestion de la biodiversité d'espaces souvent faiblement habités de grande dimension.

Il convient de développer les stratégies d'adaptation de la biodiversité dans toutes les politiques ayant un impact territorial. Il s'agit des différents outils de planification liés à l'urbanisme (DTA, SCOT, PLU, etc.) d'une part ; et des politiques sectorielles ayant le plus d'impact sur le territoire (agriculture, forêt) d'autre part. Il serait souhaitable qu'au-delà des mesures restrictives habituelles, des propositions positives soient proposées.

Depuis, les engagements du Grenelle de l'environnement prévoient la création d'une Trame verte et bleue (TVB) pour lutter contre la fragmentation des milieux et accroître la mobilité des espèces sur l'ensemble du territoire. La connectivité est d'ailleurs la mesure d'adaptation la plus citée dans les publications scientifiques¹¹⁰. La TVB est en soi une réponse au changement climatique du fait qu'elle facilite la mobilité des espèces et des habitats et permet d'améliorer les échanges au sein de métapopulations. Elle permettra

¹⁰⁹ Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008, établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin.

¹¹⁰ Heller *et al.*, 2009

un progrès important de conservation de la fonctionnalité des écosystèmes à l'échelle des territoires et au niveau national mais elle devra évoluer dans le futur pour être plus dynamique. Le changement climatique est cité pour la désignation des espèces/habitats « déterminants TVB » sur lesquels va se baser la trame. Des points d'avant-garde (déplacement d'espèces) et des limites de répartition seront déterminés. Toutefois le choix et l'efficacité des différents dispositifs permettant de rétablir la connectivité (corridors, pas japonais¹¹¹, levée de barrière à dispersion...) restent à étudier. Les discontinuités écologiques (calcaire/acide, passage de cols d'altitude, versants...) devront également être mieux prises en compte dans la définition des continuités.

Enfin, pour hausser l'emprise de la stratégie à la réalité du patrimoine écologique sous juridiction française, l'engagement no. 69 du Grenelle de la Mer prévoit l'installation d'une « trame bleu marine » qui étendra la notion de « trame verte et bleue » au littoral et à la mer, et englobera *inter alia* les zones humides, les estuaires, les mangroves et les récifs coralliens.

Cette rapide revue des outils susceptibles d'être mis au service des projets de territoire et de la TVB montre que l'on dispose d'une boîte à outils bien garnie. Toutefois, la plupart des plans de gestion des espaces et des espèces devront être revisités à la lumière du changement climatique, des résultats déjà observés et des modélisations effectuées.

Le changement climatique incite cependant à une réflexion nouvelle sur les outils de protection de la biodiversité. Ceux centrés sur la conservation de l'existant et sur la menace constatée actuellement sont très peu dynamiques. Des outils prenant pour cible l'identification des espaces qui pourront potentiellement accueillir les espèces dans le futur sont à étudier. La conservation des espèces se traduit pour les espèces peu mobiles par la protection de l'habitat auquel elles sont inféodées. Il faut faire évoluer le droit international et communautaire pour faciliter, accompagner et organiser le changement.

Une double approche est donc nécessaire, impliquant à la fois l'adaptation des outils actuels afin d'intégrer la problématique du changement climatique et la mise en place de nouveaux outils plus dynamiques ; la boîte à outil sera alors plus efficace pour répondre au défi de la conservation de la biodiversité dans un contexte changeant.

¹¹¹ Succession discontinue d'entités favorables à la biodiversité, mais permettant la mobilité des espèces.

III.7.3 Intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques : vers une gestion adaptative

Encadré 32 - Quelle attitude vis-à-vis de la biodiversité dans les stratégies d'adaptation ?

Cette question peut tout d'abord être éclairée sous l'angle historique. Les relations entre l'homme et la nature sont le fruit de nos civilisations et de la richesse de nos terroirs. Les philosophies et les religions ont longtemps nourri nos attitudes. Les explications apportées par la science sur l'évolution des espèces, sur le fonctionnement de la biosphère et des espèces y compris l'homme, modifient profondément notre compréhension de la biodiversité et nos comportements. Dans la société française, les apports celtes, gaulois, romains, chrétiens ont conduit à des attitudes diversifiées suivant les régions. Les activités agricoles et d'élevage ont fortement imprégné les paysages. L'activité industrielle s'appuyant sur les potentialités énergétiques des rivières et des forêts a, depuis le siècle des Lumières, modifié de nombreuses sociétés rurales. Le centralisme royal, napoléonien, puis républicain a gommé une partie des diversités mais sans les annihiler (la variété des fromages et des espèces cultivées en rend encore bien compte). La science et les techniques des XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles (Buffon, Lamarck, Pasteur en sont des exemples en France) ont été marquées par un lien très étroit avec la nature. Les ressources des colonies, les deux guerres mondiales et un accès privilégié aux énergies fossiles ont modifié cette relation. Tout ceci a abouti à une société duale, une France « modernisée » parfois banalisée et des sociétés rurales conservant une vie relativement autarcique. L'après guerre a été marqué par une modernisation accélérée de certains territoires et l'abandon d'autres. Il a fallu attendre 1976 pour que la France soit dotée d'une loi de protection de la nature. Celle-ci a entériné l'idée d'un partage du territoire entre les espaces protégés et des territoires « productifs ». Mais les parcs naturels régionaux ont été institués dans le même temps, espaces intermédiaires procédant d'une vision contractuelle et mouvante. Cette approche a été renforcée à l'occasion de la mise en œuvre du réseau Natura 2000 en France.

L'attitude des Français vis-à-vis de la biodiversité est faite de scepticisme et de pragmatisme vis-à-vis de la nature sauvage, parfois de passion pour des espèces et des paysages de leur environnement immédiat. Elle n'est en rien figée.

III.7.3.1 Stratégies d'adaptation / stratégies adaptatives

Pour aborder la question difficile de l'adaptation de notre société au changement climatique, deux attitudes principales s'offrent aux décideurs.

1- Considérer qu'on peut prévoir finement ce que sera le futur, puis élaborer une politique planifiant les différentes étapes permettant la transition - dans un pas de temps pertinent - entre la situation actuelle et la situation future ; il s'agit d'une stratégie d'adaptation à une situation future ;

2- Considérer que l'on ne peut avoir du futur qu'une idée insuffisamment précise pour organiser la transition déterministe entre aujourd'hui et ce futur. L'objet des politiques est alors de conduire les évolutions en les maintenant dans un champ des possibles permettant d'infléchir la trajectoire au fur et à mesure que les connaissances sur le futur se précisent : il s'agit d'une stratégie adaptative de la situation présente.

L'état d'esprit et l'organisation de l'État - et de manière générale de tout décideur - tend à favoriser la première approche. Celle-ci se justifie dès lors que les conditions futures relèvent d'un choix politique ou que la connaissance de ce futur est suffisamment précise, est relativement proche ou bien que les paramètres variant sont peu nombreux et prévisibles. À l'échéance de 2050-2100 la variété des solutions vraisemblables apparaît considérable.

La seconde solution doit être privilégiée si le futur ne peut raisonnablement faire l'objet d'une connaissance fine. Ceci est le cas lorsque le terme visé est lointain ou quand les paramètres entrant en jeu dans les évolutions sont particulièrement complexes, interagissant et mal maîtrisés, ce qui augmente exponentiellement l'incertitude.

Ce dilemme stratégique reste complètement valide lorsqu'il s'agit de traiter de la biodiversité.

Encadré 33 - Stratégie d'adaptation / stratégie adaptative : Application au cas de la biodiversité

1- L'approche d'adaptation cherchera à construire en chaque lieu la biodiversité susceptible de résister aux conditions climatiques futures, telles qu'annoncées par un scénario retenu pour sa pertinence particulière. On imaginera par exemple l'installation d'espèces ou habitats thermophiles au nord de leur zone actuelle de répartition (translocation), le déplacement étant décidé en fonction de l'ampleur retenue pour le réchauffement.

2- Une stratégie adaptative cherchera en revanche à maintenir au sein des écosystèmes les potentiels nécessaires à l'adaptation aux conditions futures, veillant à promouvoir la fonctionnalité générale et si possible les qualités jugées les plus efficaces des écosystèmes leur permettant de s'inscrire dans les tendances observées ou prédites les plus crédibles. En reprenant l'exemple précédent, il s'agira de garantir la continuité écologique pour favoriser les migrations de plantes vers le nord et en altitude, considérant que le réchauffement est très plausible, et de favoriser l'implantation et le développement des espèces migrantes dans leur nouveau territoire, mais sans préétablir un choix d'espèces ni un rythme (aujourd'hui largement inconnu).

Dès que le futur proche devient suffisamment connu et prévisible, il est tout à fait pertinent de basculer de la seconde approche vers la première, en conservant en point de mire le faisceau lointain des possibles, qui doit rester la cible prioritaire, le faisceau de probabilité étant devenu suffisamment étroit à échéance rapprochée pour que l'on puisse y fixer le futur proche à viser.

III.7.3.2 Stratégie d'adaptation versus adaptative : Exemple de conséquence pour la gestion forestière

La gestion forestière, confrontée à des enjeux allant au-delà de 40 ans¹¹² et parfois à une échéance de plus d'un siècle, illustre les caractéristiques des deux approches.

Les arbres sont des organismes au statut particulier car ils présentent un cycle du même pas de temps que le changement climatique : le chêne sessile qui a germé en 2000 sous climat actuel, connaîtra dans son enfance le climat modifié de 2050, dans sa jeunesse celui de 2100 et vivra son âge adulte au XXIII^{ème} siècle. S'il n'est pas exploité et résiste aux aléas, il connaîtra l'âge mûr du XXIV^{ème} au XXVI^{ème} siècle et mourra de sa belle mort peut-être après 2600. Prétendre gérer sur une telle durée ses conditions climatiques optimales relève au mieux de la plus grande prétention, au pire d'un aveuglement total.

¹¹² Bourgau, Lerat, 2007 ; Roman-Amat, 2008

Tableau 17 - Différences d'approche entre stratégie d'adaptation et stratégie adaptative en matière de gestion forestière (Mauchamp, 2009, Com. pers.)

Attitude	Stratégie d'adaptation	Stratégie adaptative
Conception de la vision du futur	Prédire la forêt de demain et la construire	Conforter la fonctionnalité générale, favoriser les aspects de l'évolution de la forêt se révélant les plus pertinents
Approche de la relation Homme-Nature face au CC	Approche cartésienne : l'Homme adapte la forêt au changement climatique. Il contrôle la Nature	Approche pragmatique : l'Homme facilite l'adaptation de la forêt au changement climatique. Il suit la Nature.
Prévision du futur	Nécessité d'une prévision fine du futur lointain ou plages de possibles toutes compatibles avec les mêmes choix de gestion actuelle	Prévision tendancielle suffisante à terme lointain
Prévision du comportement de la biodiversité	Postulat d'une prévision fine possible du comportement des écosystèmes	Pas d' <i>a priori</i> sur la réaction fine des écosystèmes
Logique de gestion	Maintien de la logique actuelle de l'aménagement forestier : on fixe les objectifs fins à atteindre : essence, âge d'exploitation, densité...	Changement de logique : transition vers une gestion adaptative : on fixe les objectifs généraux = maintien de l'écosystème productif et d'une production
Gestion du risque par la modulation des cycles de production	Raccourcir le cycle de la régénération à la récolte (durée entre la germination et la récolte de l'arbre) réduit l'incertitude et donc le risque de se tromper	Allonger et imbriquer les cycles (âges et essences différents, présents simultanément) renforce la plasticité de la forêt. Le risque est réduit en réduisant le terme visé, pas le cycle. En revanche, le risque pour un arbre donné augmente avec le prolongement de sa vie
Gestion de la complexité écosystémique	Simplifier l'écosystème simplifie les paramètres de l'équation	Complexifier l'écosystème amplifie l'éventail des choix
Motivation de l'action	Approche très déterministe des interventions sur les écosystèmes	Approche très accompagnatrice des interventions sur les écosystèmes

La gestion adaptative doit être privilégiée dès lors qu'on ne dispose pas d'éléments suffisamment précis et avérés pour effectuer des choix irréversibles. Elle ne conduit surtout pas à l'immobilisme d'un « attendre et voir » systématique, mais consiste essentiellement à mettre en œuvre les actions sans regret. Elle demande une grande ouverture d'esprit pour imaginer des futurs improbables aujourd'hui qui bousculent le cas échéant notre logique de pensée et nos organisations. Pour emprunter une devise aux célèbres Shadoks, la stratégie adaptative exige de se souvenir à tout instant qu'il est « beaucoup plus intéressant de regarder où on ne va pas, pour la bonne raison que là où on va, il sera toujours temps d'y regarder quand on y sera ».

III.7.3.3 Déontologie pour l'accompagnement du changement

Un ensemble de règles voire de normes, est-il susceptible d'accompagner les stratégies d'adaptation ? On ne peut se contenter d'une vision fixiste de la nature, où il s'agirait de conserver les écosystèmes en l'état. Il semble nécessaire de concilier une approche purement patrimoniale, fondée sur le maintien de la diversité globale et une approche fonctionnelle, se préoccupant du bon fonctionnement des écosystèmes. Les deux objectifs majeurs deviennent alors 1) la sauvegarde d'un maximum d'espèces ; 2) le maintien ou la restauration du bon fonctionnement des écosystèmes résultant de la recomposition permanente de la biodiversité locale. Ce second point consiste à renforcer la résilience fonctionnelle des écosystèmes.

Encadré 34 - La notion de résilience fonctionnelle

Au sens classique, la notion de résilience désigne la capacité d'un écosystème à retrouver son état initial après une perturbation. Cette vision suppose implicitement qu'après cette perturbation, les conditions du milieu soient revenues à leur situation antérieure. En outre, l'accent est généralement mis sur l'aspect structurel de l'écosystème, c'est-à-dire sa composition en termes de présence et d'abondance relative des différentes espèces.

Dans le cas du changement climatique, on ne peut adopter ce point de vue : les paramètres climatiques seront en évolution permanente et des phénomènes d'apparition/disparition d'espèces seront inévitables. Il apparaît cependant que la question du maintien des propriétés fonctionnelles des écosystèmes et des services qui en dépendent est un enjeu fort pour les sociétés humaines. Ce maintien des propriétés fonctionnelles peut se faire à travers des substitutions entre espèces jouant des rôles écologiques similaires, ou des modifications des interactions entre ces espèces.

On définira donc la résilience fonctionnelle comme la capacité d'un écosystème soumis à des évolutions de son environnement à conserver ses propriétés fonctionnelles et d'assurer les services qui en dépendent.

Peut-on définir maintenant les biodiversités qui pourraient être souhaitables en 2100 ? Maintenir la diversité biologique et la fonctionnalité des écosystèmes demande à s'assurer que la diversité locale ne se dégrade pas, selon différents critères qualifiant ces écosystèmes : diversité spécifique, taux d'endémisme, niveau trophique, spécialisation, état des fonctions et services écosystémiques... En d'autres termes, il s'agit de disposer de critères objectifs et d'indicateurs, qui puissent ensuite être discutés et appropriés dans un débat citoyen, justifiant des interventions telles que la mise en place de corridors, de migration assistée, etc. Si les pistes scientifiques ne manquent pas, il importe qu'elles puissent être débattues dans un large cercle sociétal, dépassant largement le cercle des scientifiques.

Concernant les espèces, plusieurs cas de figures se présentent :

- Espèces capables de migrer ou de s'adapter au changement de leur habitat et pour lesquelles une amélioration de la connexion de leur habitat actuel et de leur habitat futur potentiel à une latitude et/ou altitude plus élevée devrait suffire ;
- Espèces dont l'aire de distribution est trop fragmentée dans la direction de migration requise. Une aide à la migration pourrait être considérée (voir migration assistée, plus bas) ;
- Espèces confinées dans des habitats voués à disparaître. Elles présentent la difficulté la plus importante : espèces montagnardes, espèces dont la migration vers les pôles est bloquée par une barrière naturelle (ex. mer), espèces polaires. Celles-ci n'auront probablement nulle part où aller.

La distinction des échelles globale et locale est primordiale. À l'échelle globale, il s'agit de conserver la diversité spécifique, pour des raisons aussi bien éthiques qu'utilitaristes (valeur d'option). Pour les espèces dont l'habitat va disparaître, la translocation et/ou la conservation ex situ sera à envisager. Concernant les espèces menacées localement, voire condamnées, jusqu'où retarder l'inéluctable ? Il pourrait s'agir de faciliter leur implantation par la migration assistée, de sorte à ce que les apparitions en marge nord contrebalancent les extinctions en marge sud. De nombreuses espèces vont coloniser naturellement de nouveaux espaces : faciliter ces colonisations permet aussi d'assurer la continuité du fonctionnement des écosystèmes.

En ce qui concerne la migration assistée des espèces (translocation), deux enjeux sont à envisager : 1) maintien de la diversité globale, les colonisations compensant les extinctions ; 2) maintien de la fonctionnalité des écosystèmes (résilience fonctionnelle). Il serait alors indispensable de suivre un schéma de décision élaboré et propre à chaque espèce, amenant à se demander si l'espèce est menacée d'extinction avec le changement climatique, si elle est capable de disperser suffisamment pour assurer le maintien de populations de taille conséquente. Même si une espèce possède tous les critères pour une aide à la migration assistée, le choix dépend de facteurs additionnels. L'établissement de l'espèce à la localité ciblée est-elle possible ? Les caractéristiques de l'écosystème de la nouvelle localité répondent-elles au besoin de l'espèce ? En effet, beaucoup d'espèces animales et végétales dépendent étroitement d'autres espèces pour survivre. Cette solution semble intéressante dans le cas des espèces menacées, qui ont du mal à se déplacer et présentent un risque faible d'invasibilité. Elle semble aussi intéressante dans le cas d'espèces clef de voûte, mais dans ce cas, le risque d'invasibilité, plus important, est à considérer beaucoup plus soigneusement.

Le maintien de la fonctionnalité des écosystèmes doit tenir compte de la recomposition générale des communautés. Maintenir cette fonctionnalité pourrait impliquer de déplacer, au-delà d'une espèce, un ensemble d'espèces voire un écosystème. Mais est-ce possible ?

La place des espèces envahissantes doit être analysée dans un cadre nouveau¹¹³. Certaines espèces introduites accidentellement se révèlent et se révéleront plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques que les espèces locales. Est-ce une menace ou au contraire une chance ? Il est nécessaire de prendre en compte les impacts sur l'ensemble de la communauté, c'est-à-dire pas seulement les espèces avec lesquelles elles se trouvent en compétition, mais aussi les prédateurs, ou les niveaux trophiques inférieurs, qui peuvent bénéficier de sa présence. Dans le contexte du changement climatique, les espèces exotiques perdent en grande partie leur spécificité et on peut anticiper que les questions se posent de la même manière entre espèces exotiques et indigènes capables de coloniser des espaces nouveaux : participent-elles à un fonctionnement harmonieux de ces nouveaux assemblages d'espèces ?

Vers l'élaboration d'un arbre de décision ?

Faut-il toujours intervenir ? Comment et quand accompagner les changements impliqués par le changement climatique ? Ont été précédemment abordés autant de sujets qui pourraient constituer un corpus de règles encadrant les mesures d'adaptation planifiées.

¹¹³ La notion d'espèces envahissantes a été précisée auparavant (partie III.3).

Encadré 35 - De l'intérêt de l'élaboration d'un arbre de décision

Il s'agit de mettre en place des mesures sans regret et opérationnelles maximisant les chances d'adaptation et d'évolution sur place : ex. veiller à ce que la taille des populations soit suffisamment importante. Pour les espèces incontestablement en déclin en un lieu, il s'agit de favoriser les capacités de migrer. Mais pour une espèce qui arrive et dont on constate la modification de l'aire de répartition, faut-il réguler ? (Cf. espèces envahissantes). L'action doit être différenciée selon la zone géographique. En cas d'impossibilité de mobilité par continuité, la question se pose alors de la translocation.

À partir de quoi ou de quand décide-t-on de passer à la suivante ? Faut-il à tout prix maintenir tel écosystème ou au contraire ne pas faire « d'acharnement thérapeutique » ?

Il faudrait réfléchir par la suite à la construction d'un arbre de décision combinant : capacités d'adaptation sur place, capacité de migration « naturelle », régulation des espèces envahissantes, translocation éventuelle de certaines espèces à faible capacité migratoire et conservation *ex situ*. Ces différentes mesures présentent toutes des avantages et des limites. On s'attend à ce qu'il faille trouver non pas la solution mais les combinaisons les plus adéquates. Ces mesures se situent sur un continuum entre le maintien sur place et l'accompagnement du changement et des déplacements.

La construction d'un arbre de décision pourrait notamment s'appuyer sur la référence que constitue celui développé pour l'étude des incidences dans le cadre de la gestion des habitats et des sites Natura 2000.

On suggère donc la mise à l'étude d'une démarche spécifique en amont du Grenelle de l'adaptation.

III.7.4 Promotion d'une gouvernance intégrée des politiques d'adaptation favorables à la biodiversité

Il n'existe pas de définition partagée de la gouvernance. Cette dernière peut-être définie comme une forme de pilotage multipartite avec des acteurs publics et privés, reposant sur les principes de concertation, de propositions, de décisions, de suivi et d'évaluation des actions et s'opérant à toutes les échelles de territoires (biogéographiques, administratives, de projets) et dans les différentes instances scientifiques, politiques (pilotage institutionnel), de concertation et de gestion.

Son objet est d'articuler l'action territoriale et les différents niveaux de décision pour développer la coordination et la cohérence des politiques publiques et améliorer le lien entre le national et le local. La gouvernance, tant sur le territoire métropolitain, qu'en outre-mer et mer, doit donc favoriser les approches transversales et systémiques qui seules permettent d'appréhender au mieux les multiples effets directs et indirects sur la biodiversité, des politiques sectorielles, du changement climatique et des stratégies d'adaptation mises en œuvre pour y répondre.

Cela implique la mobilisation de tous les acteurs, la reconnaissance de la valeur des espaces naturels et du vivant, la prise en compte de la biodiversité dans les politiques publiques et les domaines d'activités et la production d'une connaissance opérationnelle utile à la décision. Cela implique également l'instauration d'un réel dialogue local sur les orientations à prendre en matière de gestion de la biodiversité, qui permette de poser de manière globale les choix, dans leurs dimensions économiques, sociales et environnementales, le développement de la capacité d'analyse des acteurs, de leur possibilité de poser un diagnostic sur la situation de leur territoire et ses principaux

enjeux, de définir des priorités d'action. Cela implique enfin, la mobilisation des outils de l'intervention publique, qu'il s'agisse des outils courants de l'action locale ou des moyens dédiés.

C'est au niveau local, proche du terrain, que cette politique de gouvernance est la plus à même de recevoir l'adhésion des acteurs et de créer des dynamiques de responsabilisation collective, d'éclairer les changements de pratiques et d'usage des sols, d'éviter les gestes irréversibles pour garantir la pérennité des territoires, d'assurer le maintien de la biodiversité, le fonctionnement optimal des écosystèmes et d'aboutir à un véritable schéma fonctionnel des espaces naturels. Cependant, il n'existe pas d'échelle unique pertinente pour gérer toutes les dimensions de la biodiversité et des services écosystémiques. En fonction de la biologie des espèces, de la nature des services écologiques concernés, les échelles pourront aller du très local (la parcelle agricole, par ex. pour la fertilité des sols) à la dimension planétaire (par ex. pour la fixation du carbone) en passant par les niveaux régionaux, nationaux ou européens selon les cas.

En France, traiter de la gouvernance de la biodiversité requiert d'examiner la délimitation des compétences sectorielles, des différents niveaux d'intervention entre l'Etat, les collectivités territoriales, les établissements publics, ainsi que la question des représentations. Face au « millefeuille » d'acteurs et de structures et au régime de gouvernance propre à chaque objet de biodiversité, on s'interroge sur les rôles respectifs et complémentaires de chaque outil et de chaque niveau d'intervention. Dès lors que cette gouvernance de la biodiversité doit s'étendre à l'ensemble du territoire et s'inscrire dans le long terme, il est indispensable de commencer par réaliser cette analyse fonctionnelle globale pour identifier les manques, les redondances et les regroupements possibles.

Il ne s'agit pas, alors, de créer une énième structure institutionnelle pour une gouvernance intégrée optimale de la stratégie d'adaptation de la biodiversité au changement climatique, mais de s'appuyer sur certaines déjà en place ou émergentes, qui réunissent un certain nombre de dispositions favorables pour articuler le global et le local, concilier différents objectifs, réunir les acteurs locaux dans un dispositif de pilotage et d'animation, créer des interfaces pour les politiques sectorielles, produire des lignes directrices et un programme de travail, diffuser l'information et promouvoir la connaissance opérationnelle, assurer le suivi des décisions et des actions.

Encadré 36 - Exemples de politiques ou structures pouvant servir de leviers vers une gouvernance intégrée

- le futur plan national d'adaptation au changement climatique, avec son pilotage au niveau national en lien avec le niveau européen et sa déclinaison au niveau local dans laquelle une gouvernance intégrée et le volet biodiversité pourraient être confortés ;
- les structures de pilotage de la stratégie nationale pour la biodiversité au niveau national et régional par exemple l'Agence des aires marines protégées (appui aux politiques publiques, animation du réseau des AMP, allocation de moyens aux Parcs naturels marins, mise en place de Natura 2000 en mer, participation aux négociations internationales sur la mer) ;
- la mise en œuvre de la Trame verte et bleue (TVB), avec au niveau national, le comité opérationnel TVB du Grenelle de l'environnement (qui définit collégialement les orientations nationales pour la préservation et la restauration des continuités écologiques, le contenu et les modalités de mise en œuvre de la TVB, avant de les soumettre à une large concertation) et au niveau régional, l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique impliquant tous les acteurs locaux concernés à l'échelle de la ZEE nationale (métropole et DOM-COM), installation de la trame bleu marine ;
- des structures de pilotage à des échelles biogéographiques conséquentes, tels les comités de massifs de montagne (sortes de conseil économique, social et environnemental, qui déclinent à l'échelon du massif la composition du Conseil national de la montagne et réunissent les élus locaux, chambres consulaires, organisations syndicales représentatives des secteurs et des salariés, associations de tourisme, de sports de nature, de chasse, gestionnaires des parcs nationaux ou des parcs régionaux), ou les comités de bassin (qui assurent la gouvernance de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique avec tous les acteurs et s'appuient sur les agences de l'eau pour la mise en œuvre de leurs décisions).

D'ailleurs, l'eau et l'usage des sols étant des éléments clés de la gestion de la biodiversité, pourquoi ne pas réfléchir à une « gouvernance intégrée de la stratégie d'adaptation de l'eau, de la biodiversité et des sols au changement climatique » ? Cela nécessiterait bien sûr d'améliorer certaines dispositions et de se garantir d'un système lourd et complexe, pour donner toute son effectivité à cette gouvernance intégrée.

Tableau 18 - Schéma de la gouvernance pour une stratégie d'adaptation au changement climatique (Salmona, 2009. Com. pers., Mis à jour)

Les cadres de la gouvernance pour la biodiversité <i>Pour assurer coordination et cohérence des politiques sectorielles et territoriales, recherche d'une interaction optimale entre les instances scientifiques, politiques et de concertation et les différents niveaux de décisions et échelles de territoires</i>				
Niveaux de gouvernance : de l'international au local	Instances de concertation <i>lieux de débats, de concertation, de propositions</i>	Instances politiques <i>lieux de débats, de concertation, de participation, de décision, d'évaluation</i>	Instances scientifiques <i>Lieux d'échanges, de débats, de capitalisation des savoirs</i>	Instances de gestion <i>Lieux de mise en œuvre et d'évaluation</i>
Niveau national	- Conseil économique, social et environnemental - Conseil national du développement durable - Commission nationale du débat public - Comité français de l'UICN...	Les comités de pilotage : des stratégies nationales durables, de la biodiversité, des politiques sectorielles de l'eau...	CSPNB CNP Comité national du SINP ONEMA...	Agence des Aires marines protégées (animation du réseau des AMP, appui aux politiques publiques et aux négociations internationales sur la mer ...)
Niveau bio-géographique		Les comités et conseils des politiques territoriales et sectorielles : Comités de bassins, de massifs de montagne, de forêts...	...	Agences de l'eau (signature d'accords cadres, de contrats, engageant les partenaires)
Niveau local : Région, département, communes et communautés de communes, projets territoire		Les conseils et comités : Conseils des collectivités territoriales, Conseils d'administration des parcs nationaux, Conseils syndicaux des PNR, Comités de pilotage des sites Natura 2000...	CSRPN ...	Services de l'État, des collectivités territoriales, des établissements publics...

Jusqu'à ce jour, peu d'évaluations de politiques publiques relatives à la biodiversité ont été menées de manière précise. On peut néanmoins citer l'évaluation de la mise en place du réseau d'aires protégées Natura 2000 et l'évaluation des mesures de la loi Grenelle I. La première a consisté en une analyse coût-bénéfice de la politique de préservation de sites naturels, à partir de l'étude de trois sites métropolitains. La seconde a également recherché à évaluer les coûts et les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux d'une soixantaine d'engagements du Grenelle de l'environnement. Cet exercice d'étude d'impact de la loi Grenelle a été contraint notamment par le manque de données sur les coûts et les bénéfices de politiques de environnementales. Il se poursuit par la conduite de travaux *ad hoc*. Ainsi l'étude d'impact de la loi Grenelle I sera-t-elle enrichie au fil des nouveaux résultats disponibles.

Au vu de cette expérience et à ce stade de l'exercice, le Groupe biodiversité trouve prématuré de chiffrer les coûts des mesures d'adaptations proposées pour réduire les impacts du changement climatique sur la biodiversité. Il conviendrait dans un premier temps de discuter plus en profondeur des mesures envisagées. On remarque ensuite qu'il s'agit là de mesures sans regret. Par ailleurs, il serait souhaitable d'expertiser plus en détail les mesures d'adaptations retenues par les autres groupes du Groupe

interministériel ; il semble en effet raisonnable de réorienter des politiques qui seraient de nature à augmenter fortement les pressions pesant déjà sur la biodiversité.

III.7.5 L'adaptation au changement climatique, moteur de la prise de décision ?

Jusqu'à présent, l'adaptation au changement climatique constitue-t-elle un moteur de la prise de décision ? Est-ce un outil de sensibilisation, d'argumentation, de légitimation, d'arbitrage, ou encore de créativité ? Si l'évocation principale de cette question dans le domaine de la biodiversité vise surtout à sensibiliser au problème, on commence à la voir pointer comme argument supplémentaire pour étayer telle politique (ex. trame verte et bleue) ou telle mesure (ex. création du futur parc national forêt de feuillus).

III.8 Conclusion générale

Il reste beaucoup à découvrir des relations entre la nature et le climat. Les incertitudes attachées aux scénarios climatiques et à l'ampleur des impacts sont fortes, et la diversité des situations actuelles et futures n'a pas permis de dresser un tableau exhaustif des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France. Ainsi des connaissances complémentaires pour caractériser l'évolution de la biodiversité sous l'influence des climats locaux sont elles nécessaires. Des états des lieux robustes et des suivis renforcés seront nécessaires pour décrire et analyser les changements et, conjugués aux progrès méthodologiques, de mieux les anticiper. C'est à partir de résultats convergents et d'approches différentes que l'on pourra conforter un point de vue.

L'information fournie par la recherche et les systèmes d'observation est et sera de plus en plus riche. Des signes de mutations sont déjà observés, et leurs conséquences sur les services rendus par les écosystèmes peuvent être évaluées physiquement et économiquement.

Concernant les incidences à venir, on s'attend à des perturbations considérables caractérisées par la modification des aires de répartition des espèces autochtones, l'arrivée de nouvelles espèces et la transformation des écosystèmes.

D'un point de vue systémique, suivant lequel les effets indirects du changement climatique sur la biodiversité sont très importants – via la modulation des autres pressions et les impacts de l'adaptation des secteurs d'activité –, on ne peut qu'être réservé vis-à-vis de l'hypothèse de base « à économie constante » choisie initialement. Toutefois, les effets de l'adaptation de différents secteurs ont fait l'objet d'un premier inventaire, qu'il faudra approfondir. L'évolution des usages du sol pour l'urbanisation, les pressions exercées sur le milieu marin et ses ressources, les élevages à l'herbe et les cultures énergétiques sont les principaux facteurs de fragilité.

Sont finalement envisagées plusieurs stratégies d'adaptation au changement climatique, favorables à la conservation de la biodiversité, parmi lesquelles des stratégies sans regret. Ainsi, le maintien des capacités « naturelles » d'adaptation de la biodiversité, et le renforcement de la connectivité sont des éléments clés. Le renforcement des fonctions de régulation fournis par les couverts permanents doit être entrepris sans attendre pour améliorer la résilience des écosystèmes face aux facteurs du changement climatique, en se gardant de choix précipités de restauration à la suite d'événements extrêmes. Il conviendra de préserver les territoires tels que les forêts, zones humides, prairies permanentes, récifs, mangroves, apportant les services écologiques les plus élevés. Une attention particulière est à apporter d'une part au réseau des espaces protégés terrestres et marins pour leur rôle d'espace de référence, et d'autre part à la gestion des sols pour

leur capacité d'adaptation. La mise en place de stratégies adaptatives aux différentes échelles de territoires et en plein accord avec les acteurs locaux est également conseillée.

Compte tenu de ce qui précède, la France a certainement la possibilité de renforcer les capacités d'adaptation de ses territoires. Des écosystèmes en bonne santé, la restauration et une gestion responsable de sa biodiversité sont probablement la meilleure assurance pour l'avenir de son économie face à l'évolution du climat.