



Strasbourg, le 2 novembre 2005
[tpvs21f_2005]

T-PVS (2005) 21

CONVENTION RELATIVE À LA CONSERVATION DE LA VIE SAUVAGE
ET DU MILIEU NATUREL DE L'EUROPE

**Conserver la diversité biologique européenne
dans le contexte du changement climatique**

*par Michael B Usher
Département des sciences biologiques et environnementales
Université de Stirling
Stirling FK9 4LA, Royaume-Uni*

Table des matières

	Page
1. Introduction : aperçu du changement climatique	3
2. Les aspects internationaux de la conservation de la nature	4
3. Changements prévus en Europe	4
3.1. Aperçu	4
3.2. Aire géographique des communautés de plantes	5
3.3. Aire géographique des espèces	6
3.4. Extension des communautés	7
3.5. Abondance des espèces	8
3.6. Phénologie	9
3.7. Diversité génétique	10
3.8. Comportement des espèces migratoires	11
3.9. Problèmes causés par les espèces allogènes	13
3.10. Synopsis des changements prévus	15
4. Réponses apportées par la gestion à l'intérieur et à l'extérieur des zones protégées	16
4.1. Aperçu	16
4.2. Inventorier la diversité biologique existante	16
4.3. Identifier les changements de la diversité biologique en Europe	18
4.4. Gérer les zones protégées de l'Europe	18
4.5. Gérer la diversité biologique de l'Europe dans un environnement plus large	21
4.6. Suivi et indicateurs	22
5. Conclusions et recommandations	23
6. Remerciements	25
7. Références	25

« Le changement climatique constitue l'une des plus grandes menaces pour la population mondiale. Il s'agit d'une menace non seulement pour l'environnement, mais également pour nos économies, notre mode de vie et, qui sait, notre sécurité. »

Stavros Dimas, Commissaire européen en charge de l'Environnement
L'environnement pour les Européens supplément au n°21, page 3
Septembre 2005

1. Introduction : aperçu du changement climatique

L'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère est un phénomène indéniable. Pendant la plus grande partie du deuxième millénaire, cette concentration a été d'environ 280 parties par million (ppm). C'est à l'époque de la « révolution industrielle » en Europe, il y a un peu moins de deux cents ans, que la concentration a commencé à augmenter. En près de cent cinquante ans, elle est passée de 280 à 330 ppm, soit une augmentation de 50 ppm. Une hausse analogue a été observée au cours des trente dernières années, portant ainsi la concentration à quelques 380 ppm aujourd'hui (Pearce, 2004). Les concentrations historiques et actuelles de CO₂ dans l'atmosphère sont des faits incontestables, la seule incertitude concernant le rythme d'augmentation de la concentration de CO₂ dans le futur (de telles prévisions dépendent du modèle utilisé et des hypothèses sur lesquelles il repose).

L'interprétation des conséquences de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère sur le climat de la planète n'a pas toujours fait l'unanimité. Cependant, il existe désormais un consensus scientifique quasiment général pour considérer que le CO₂, en association avec un certain nombre d'autres gaz comme le méthane (CH₄), produit un « effet de serre » qui permet à l'atmosphère de la planète d'absorber et de retenir l'énergie solaire reçue par la terre. De nombreux modèles ont été élaborés pour étudier les différents scénarios de changement. Le présent document n'a pas pour objectif d'étudier ces modèles ou les prévisions de changement qui en découlent. Son but est d'analyser ce que les changements prévus pourraient signifier pour la diversité biologique en Europe et de passer en revue les aspects pratiques et législatifs de la conservation de l'héritage naturel européen.

Dans leur immense majorité, les chercheurs admettent que la concentration croissante de CO₂ (et d'autres composés chimiques) dans l'atmosphère provoquera un changement rapide et important du climat de la planète. Les manifestations de ce changement seront nombreuses, les plus notables étant :

- l'augmentation importante de la température moyenne à la surface de la terre ;
- la modification du régime des précipitations, certaines zones devenant plus humides, d'autres plus sèches ;
- l'augmentation de la vitesse moyenne des vents ;
- le rétrécissement des calottes glaciaires de l'Arctique et de l'Antarctique ;
- l'augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes (sécheresses et tempêtes, par exemple) ;
- l'élévation du niveau de la mer ;
- l'amincissement de la couche d'ozone qui protège la Terre, entraînant une augmentation néfaste du rayonnement d'ultraviolets (UV-B) ;
- à long terme, la modification des courants marins (certains modèles indiquent par exemple que la dérive nord-atlantique pourrait s'interrompre, ce qui, paradoxalement, pourrait entraîner le refroidissement d'une grande partie de l'Europe occidentale).

Chacun de ces changements aura un impact sur l'Europe, qui se montre très préoccupée par les conséquences de la modification du climat [comme en témoignent, par exemple, les articles « Wake up to climate change » (*Environment for Europeans*, n° 17, page 7, septembre 2004) et « Grasping the climate change challenge » (*Environment of Europeans*, supplément du n° 17, page 11, septembre 2004)]. L'un des effets du changement climatique se produira sur la diversité biologique de l'Europe et sur ses milieux terrestres, d'eau douce et marins. Il est utile d'envisager le changement climatique comme s'inscrivant dans une perspective internationale : la Convention sur la diversité biologique des Nations Unies et les instruments européens que sont les Conventions de Berne et de Bonn, et les directives de l'Union européenne « oiseaux » et « habitats » (le « réseau Natura 2000 » des zones protégées à l'intérieur des pays membres de l'Union européenne et son équivalent dans les pays non-membres, connu sous le nom de « réseau Émeraude »).

Le présent document ne vise pas à fournir une étude complète du sujet. Sur l'Internet, la saisie dans le moteur de recherche Google des mots « changements climatiques » produit environ 113 000 000 résultats (à la mi-octobre 2005). Les mots « préservation de la nature » donnent 43 100 000 résultats et le seul mot de « biodiversité » près de 36 300 000 résultats. Enfin, les trois mots « changements climatiques biodiversité » produisent environ 8 870 000 résultats. Au vu d'une telle quantité d'information, toute étude exhaustive ne pourrait être que très volumineuse !

Le changement climatique peut être abordé de trois manières :

- une atténuation des forces qui induisent ce changement climatique,
- l'adaptation aux effets du changement climatique, et
- une mobilisation du public afin qu'il comprenne ce phénomène et participe à la lutte.

Le présent document se limite aux questions d'adaptation, ce qui ne signifie pas que la mobilisation des citoyens de l'Europe ou les impératifs politiques de promotion de l'atténuation soient moins importants. Les trois approches sont indispensables à la sauvegarde de la diversité biologique de l'Europe.

Dès lors, le présent document fournit un point de départ aux discussions sur les stratégies d'adaptation envisageables en vue de préserver la diversité biologique de l'Europe. Certes, des incertitudes subsistent quant à la rapidité et à l'ampleur des changements qui se produiront, mais elles ne devraient pas servir de prétexte pour ne pas prendre dès à présent les mesures qui s'imposent, soit au niveau des nations soit, ce qui serait préférable, à l'échelle internationale. Il serait toutefois utile de s'inspirer de la collaboration internationale dans l'Arctique, qui a abouti à *l'Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique* (ACIA – voir le site www.acia.uaf.edu), qui révèle tout l'intérêt que présenterait une étude à l'échelle de tout le continent européen de l'impact du changement climatique sur tous les aspects de l'environnement de l'Europe (non seulement la diversité biologique, mais aussi la société humaine, l'économie et la santé).

2. Les aspects internationaux de la conservation de la nature

L'Europe a une longue tradition législative en matière de protection de la vie sauvage. La première loi adoptée par un parlement européen est peut-être la loi de 1869 du Royaume-Uni sur la protection des oiseaux (Sheail, 1998). Depuis, d'innombrables lois ont vu le jour en Europe, axées de plus en plus sur des aspects plus larges de la conservation de la nature.

L'un des premiers instruments juridiques véritablement européen a été la « Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel » (Convention de Berne) de 1979, qui est entrée en vigueur le 1^{er} juin 1982. Sa transposition dans les législations nationales les plus diverses a déclenché une poussée d'activité au plan national. Les aspects internationaux de la conservation de la nature ont été par la suite renforcés par la Convention de Bonn sur la protection des espèces migratoires.

L'Union européenne a également pris une part active à l'élaboration de la Convention de Berne. Le premier instrument important a été la directive de 1979 sur la conservation des oiseaux sauvages visant, entre autres, à créer des zones de protection spéciale. Du point de vue taxonomique, cette directive était limitée à certaines espèces d'oiseaux. Le deuxième instrument important a été la directive de 1992 sur la conservation des habitats, qui élargissait le principe de conservation des espèces à tous les autres groupes taxonomiques (largement décrits dans les annexes I à III à la Convention de Berne) et élaborait celui de la conservation des habitats. Elle prévoyait également la création d'un réseau de zones spéciales de conservation dans l'ensemble des pays membres de l'Union européenne. Ces deux directives demandent aux Etats membres de prendre des mesures dans l'environnement au sens large, complémentaires à celles qui visent les divers sites de zones protégées, afin que les espèces et les habitats figurant dans les listes retrouvent un statut de sauvegarde favorable.

Parallèlement, des initiatives étaient prises sous l'égide des Nations Unies en vue d'élaborer une convention internationale. Celle-ci fut adoptée lors d'une conférence organisée en 1992 à Rio de Janeiro (Brésil). Tous les signataires de la Convention sur la diversité biologique (CDB) sont obligés d'en respecter les objectifs, qui sont « la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques... » (CDB, 2000). La CDB n'est pas aussi normative que les directives de l'UE (elle n'exige pas, par exemple, la désignation ou la classification de zones protégées). Néanmoins, toutes les parties contractantes sont tenues d'élaborer des stratégies, plans ou programmes de conservation et d'utilisation durable des écosystèmes, des habitats, des espèces ainsi que des génomes et gènes décrits (article 6 et annexe I à la CDB).

Cette brève étude exclut de nombreux autres accords internationaux en faveur de la conservation de la nature en Europe, par exemple la Convention Ramsar (sur les zones humides) ou le réseau circumpolaire de zones protégées (pour l'Arctique). Cependant, elle démontre que, pour être efficace à long terme, les mesures prises pour préserver les habitats, les communautés, les espèces et les gènes doivent tenir compte des effets possibles (ou probables) du changement climatique. Ces changements sont étudiés dans la section qui suit (section 3), et certaines des réponses possibles sont décrites dans la section 4. Pour être efficace, il ne suffit pas d'identifier les problèmes potentiels posés par le changement rapide du climat. La connaissance de ces problèmes doit s'inscrire dans des politiques nationales et internationales, être mise en œuvre dans des instruments législatifs nationaux et internationaux, et se traduire par des actions menées dans les milieux terrestres, marins et d'eau douce de l'Europe. Le présent document n'a pas pour objet d'examiner les mesures prises au niveau mondial pour limiter et contrôler le changement climatique (telles qu'elles figurent, par exemple, dans le protocole de Kyoto). Il a pour but principal d'étudier l'impact du changement climatique sur la diversité biologique de l'Europe.

3. Changements prévus en Europe

3.1. Aperçu

Huit sujets distincts seront abordés dans cette section. Si cette approche souligne les principaux effets que le changement climatique pourrait avoir sur la diversité biologique de l'Europe, elle a l'inconvénient de les individualiser et de les dissocier trop facilement. En réalité, bon nombre de ces huit

aspects du changement climatique peuvent se produire simultanément, ou éventuellement en combinaison avec d'autres changements qui ne sont pas étudiés dans ce document, donnant lieu ainsi à de multiples interactions. Les effets du changement climatique doivent donc être étudiés d'une manière aussi globale que possible.

Il convient également d'ajouter un commentaire sur la terminologie utilisée. Dans les sections qui suivent, il est généralement question de « communautés de plantes » ou, plus simplement, de « communautés ». Il faut savoir que dans de nombreux cas, cette expression est considérée comme un équivalent du mot « habitats ». Par exemple, les divers habitats énumérés dans la première annexe à la directive de l'Union européenne sur les habitats sont, pour la plupart, définis selon la communauté de la plante, ses espèces dominantes et les variantes géographiques de certaines de ses espèces caractéristiques (voir l'explication des habitats donnée par la Commission européenne, 1996). Dans les milieux terrestres, les plantes sont souvent utilisées pour définir les habitats. Dans les milieux marins, ce sont plutôt les communautés animales et la structure physique du substrat (c'est-à-dire la roche, le sable, le limon) qui servent à les définir. Il sera donc fait usage du mot « communauté » dans la section 3 et du mot « habitat » dans la section 4.

Les études sur l'impact du changement climatique sur la diversité biologique ne manquent pas. Par exemple, la CDB (2003) a analysé les relations interdépendantes, notamment sous l'angle de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). L'impact sur les écosystèmes et les diverses formes d'utilisation des terres en Europe a été étudié par Parry (2000) et Green (2001). Sur un plan plus régional, Hossell *et al.* (2000) ont examiné les conséquences du changement climatique sur la politique du Royaume-Uni en matière de conservation de la nature. D'autres études plus restreintes et plus limitées du point de vue taxonomique ont été conduites sur les espèces de faune et de flore sauvages vivant sur les fonds marins (Hiscock *et al.*, 2001), et sur les oiseaux des milieux agricoles (Anon., 2000).

3.2. Aire géographique des communautés végétales

Les chercheurs estiment que, sous l'effet du réchauffement climatique, l'aire géographique d'une communauté se déplacera vers le nord et que, localement, elle progressera en altitude. Aussi valable que puisse être une telle généralisation, elle n'en masque pas moins des différences considérables entre les communautés, tant sur l'ampleur de leur déplacement que sur leur capacité réelle à se déplacer. Etant donné qu'elles se composent d'espèces distinctes, les communautés réagiront chacune de manière individuelle au changement climatique.

Un bon exemple de modélisation en vue d'évaluer la portée de ce changement d'« espace climatique » est offert par les prévisions concernant le déplacement des sous-arbrisseaux de myrtillier (*Vaccinium myrtillus*) en Norvège. Selon ces prévisions, ces plantes se déplaceront non seulement vers le nord, mais également vers les sommets, progressant d'une altitude moyenne de 760 m à celle de 1160 m (Holten et Carey, 1992). La protection de cette plante pose plusieurs questions essentielles sur sa disparition éventuelle à une altitude inférieure à 700 m, la rapidité de cette disparition, et sa capacité à s'implanter durablement à des altitudes allant de 1300 à 1600 m (fixées arbitrairement).

Autre exemple, celui de la modélisation des changements de la limite supérieure de la forêt des Alpes autrichiennes (Dullinger *et al.*, 2004), qui est une zone dominée par le pin nain des montagnes (*Pinus mugo*). Les prévisions indiquent que, au cours des mille prochaines années, cet arbre, qui occupe actuellement 10 % de la zone paysagère étudiée, couvrira une superficie de l'ordre de 24 à 59 %. Même si les changements prévus n'ont pas lieu, les résultats de cette modélisation n'en sont pas moins étayés par des études conduites au Canada qui montrent que l'épicéa marial (*Picea mariana*), présent à la limite supérieure de la forêt sous une forme rabougrie (« krummholz »), produit des sujets plus vigoureux sous l'effet de l'accroissement de la température qui s'est produit dans les années 90 (Gamache et Payette, 2004).

Les modèles qui servent à prévoir la distribution future des communautés cherchent généralement à localiser l'espace climatique occupé par la communauté actuelle, puis à déterminer le futur espace climatique que la communauté colonisera, en fonction des différents scénarios de changement climatique. Le déplacement réel d'une communauté est beaucoup plus difficile à repérer, et c'est pourquoi les informations fondées sur l'observation sont quasiment inexistantes. Il existe quatre raisons à cela. La première est que les communautés de plantes sont généralement mal définies. Prenons l'exemple du myrtillier (*Vaccinium*) cité précédemment. Combien de sous-arbrisseaux *Vaccinium* devra perdre cette communauté de plantes avant que son habitat ne puisse plus être classé comme tel ? De même, combien de sous-arbrisseaux *Vaccinium* faudra-t-il que la nouvelle aire héberge avant de pouvoir être, elle aussi, classée ? En fait, cette raison tient à ce que les communautés végétales naturelles et semi-naturelles sont des continums qui fusionnent d'un type à un autre. La deuxième raison concerne la durée qu'exige l'observation du déplacement d'une communauté. Par nature, les réactions des communautés sont forcément lentes, surtout si elles sont dominées par des arbres et des arbustes dont la longévité est importante. La troisième raison est en rapport avec la fragmentation d'une très grande partie de l'environnement européen, qui s'explique par l'utilisation des terres et la création d'obstacles tels que les routes et les barrages. Comment un habitat peut-il se déplacer s'il en est empêché par des terres agricoles ou des forêts commerciales peuplées d'arbres allogènes ? De même, la quatrième raison pourrait être liée aux obstacles naturels au déplacement, telles que les chaînes de montagne ou les masses d'eau.

3.3. Aire géographique des espèces

L'impact du changement climatique sur la distribution des espèces est beaucoup mieux connu. Une extension vers le pôle nord est prévue pour de nombreuses espèces de poisson de l'Atlantique nord, y compris le hareng (*Clupea harengus*), la morue (*Gadus morhua*) et certaines espèces de poissons plats qui sont actuellement limitées par les températures des fonds marins. Parallèlement, les limites méridionales des espèces de poisson des eaux plus froides, telles que la morue polaire (*Boreogadus saida*) et le capelan (*Mallotus villosus*), devraient se déplacer vers le nord. Ces deux espèces migrent généralement en suivant la limite méridionale de la calotte glaciaire de l'Arctique, et comme celle-ci remonte vers le nord, leur distribution géographique se déplace en conséquence (Hassol, 2004). Les phénomènes complexes qui découlent des modifications de la densité, de la distribution et/ou de l'abondance d'espèces essentielles à divers niveaux trophiques, tels que la morue polaire ou l'ours polaire (*Ursus maritimus*), pourraient avoir des conséquences rapides et importantes sur la structure des écosystèmes dans lesquels ils se produisent actuellement.

Comme dans le cas des communautés, c'est l'« espace climatique » qui est souvent utilisé pour élaborer des modèles prédictifs. Ces modèles prennent comme hypothèse que l'espèce occupe actuellement son espace climatique optimal et qu'elle sera capable de se déplacer dès que cet espace climatique modifiera son aire géographique. Ces hypothèses soulèvent de nombreuses questions sur la faculté des aires de distribution à franchir les obstacles au déplacement que constituent les montagnes pour les espèces terrestres, sans oublier les problèmes posés par la progression de lac en lac, ou de rivière en rivière, des espèces d'eau douce. Dans certains cas, l'espace climatique semble disparaître, comme celui, par exemple, des espèces relictuelles des zones d'altitude boréo-arctiques et arctiques et qui sont présentes dans les régions tempérées d'Europe. Selon les prévisions de Dockerty *et al.* (2003), il est peu probable que ces espèces soient encore présentes dans le futur. Mais les prévisions sont ce qu'elles sont, entourées d'incertitudes qui tiennent aux hypothèses des modèles et à l'absence fréquente de données expérimentales sur les espèces (Higgins *et al.*, 2003).

L'observation apporte de plus en plus de preuves que les changements ont commencé à se produire. Dans une étude sur les papillons d'Europe non migratoires, Parmesan *et al.* (1999) ont analysé les distributions de trente-cinq espèces appartenant à six familles. Les données recueillies provenaient de plusieurs pays : Algérie, Estonie, Finlande, France, Grande-Bretagne, Maroc, Espagne, Suède et Tunisie. Les auteurs ont constaté que, au cours du vingtième siècle, les distributions géographiques de vingt-deux espèces se sont déplacées vers le nord. Seules deux espèces ont présenté une distribution se déplaçant vers le sud (les distributions de onze espèces n'ont subi aucun déplacement). Deux raisons peuvent expliquer de tels déplacements : une extinction nette à la limite méridionale de la distribution ou une colonisation nette à la limite septentrionale (ou les deux). Par ailleurs, sur cinquante et une espèces de papillons britanniques, Hill *et al.* (2002) ont montré que onze des quarante-six espèces affichant une distribution vers le sud ont progressé dans la partie septentrionale de leur aire de distribution. Les quelques espèces possédant une distribution septentrionale ou en altitude ont disparu en grande partie des sites de faible altitude, colonisant des sites de plus haute altitude au cours du vingtième siècle. Des travaux américains (Crozier, 2004) indiquent que l'augmentation des températures hivernales est peut-être la cause de la progression vers le nord d'espèces de papillon.

C'est peut-être parmi les invertébrés que l'impact du changement climatique est le plus perceptible. Leur relative mobilité en est sans doute la raison principale, ainsi que leur cycle de reproduction annuel. La plus grande quantité de données d'observation nous est fournie par les Lépidoptères. Cependant, de nombreux autres groupes d'invertébrés, tels que les libellules et les demoiselles (Onodates), les cicadelles (Hémiptères) et les scarabées (Coléoptères), nous apportent également de plus en plus de preuves que le phénomène de déplacement vers le nord se généralise sur la planète. Certes, le cycle vital de ces espèces leur permet de réagir plus rapidement au changement climatique, mais le message que nous transmettent en permanence les études fondées sur l'observation est qu'aucune espèce ne réagit de la même manière. En effet, chaque espèce réagit d'une façon qui lui est propre, et c'est la compréhension de l'ensemble de ces réactions qui jouera un rôle essentiel dans la conservation de la diversité des espèces, à mesure que le climat change.

Les réponses propres à chaque espèce peuvent produire des effets nouveaux. Prenons l'exemple simple et fictif d'une communauté actuellement caractérisée par l'abondance à part relativement égale de trois espèces, A, B et C (Usher *et al.*, sous presse), définie en tant que communauté ABC. Dans le cadre d'un scénario de changement climatique dans lequel les espèces se déplacent vers le nord, supposons que l'espèce A se déplace rapidement, que l'espèce B se déplace moins rapidement et que l'espèce C se déplace à peine. Nous pourrions donc obtenir dans le futur une communauté composée d'une espèce A dominante et d'une espèce B sous-dominante (communauté Ab) dans le nord, ainsi qu'une communauté composée d'une espèce C dominante et d'une espèce B sous-dominante (communauté bC) se trouvant géographiquement plus ou moins là où ABC était présente. En supposant que ni Ab ni bC ne soient actuellement reconnues en tant que communautés, la contraction géographique de ABC conduit donc à la naissance d'au moins deux nouvelles communautés, en l'occurrence Ab et bC. Que se passerait-il dans la zone d'intervention, dans laquelle B pourrait être dominant ? Y aurait-il une communauté de type aBc ? Les réactions au changement climatique propres à chaque espèce pourraient donner naissance à de nombreux types de communautés nouvelles, définies en fonction de leurs espèces dominantes ou caractéristiques. Il est donc fort possible que la diversité de la communauté (habitat) puisse s'accroître sans que la richesse des espèces ne s'en trouve modifiée pour autant.

3.4. Extension des communautés

L'extension d'une communauté dépendra des réactions propres aux espèces qui la composent, celles-ci dépendant à leur tour des réactions physiologiques des individus qui forment ces populations d'espèces. Dans les milieux marins, les effets potentiels du réchauffement des températures de l'eau, de l'acidification due à l'absorption accrue de CO₂ ou de l'augmentation du rayonnement des ultra-violets B sont encore peu connus. Cependant, les changements peuvent être très rapides, comme l'ont démontré Halpern et Warner (2002) qui ont comparé les réserves naturelles du milieu marin avec des zones non protégées: ils ont observé que les valeurs moyennes relatives à la densité, la biomasse, la taille des organismes et la diversité des

espèces avaient toutes augmenté après une période de désignation et de protection d'un à trois ans. Ces réactions rapides montrent que les communautés marines pourraient répondre très rapidement à des modifications de l'environnement.

Dans les milieux terrestres, l'extension d'une communauté dépendra de l'équilibre entre la vitesse à laquelle les zones occupées par la communauté disparaîtront de certaines parties de son aire de distribution, et la vitesse à laquelle la communauté peut coloniser de nouvelles zones. Holten et Carey (1992) ont modélisé la forêt d'épicéa commun (*Picea abies*) du nord de l'Europe. À l'heure actuelle, cette forêt couvre une zone allant de la Fennoscandie à la Russie et située à l'extrême nord, proche des côtes de l'océan Arctique. Selon le modèle, si la température hivernale augmentait de 4° C, l'aire géographique de la forêt d'épicéa diminuerait de moitié et la plus grande partie des populations du sud et du sud-ouest disparaîtrait. L'épicéa n'étant pas en mesure de s'établir plus au nord à cause de l'obstacle créé par l'océan Arctique, son aire de distribution se trouverait ainsi confinée dans une zone plus petite. Cette évolution aurait des conséquences notables sur les nombreuses espèces animales, plantes non vasculaires, lichens et champignons qui sont associés aux forêts d'épicéa européennes. À l'inverse, la forêt de hêtre (*Fagus sylvatica*), dont la distribution est plus méridionale, devrait, selon les prévisions, s'étendre vers le nord, voire coloniser les zones côtières proches de l'océan Arctique. Rien ne semblant entraver ses déplacements, la forêt de hêtre s'étendra probablement. Ce phénomène aura dans ce cas des conséquences pour les espèces associées aux forêts de hêtre européennes.

Cinq groupes de communautés semblent particulièrement visés par une réduction de leur extension découlant du réchauffement climatique.

- Toute communauté pour laquelle il existe un obstacle physique entravant son déplacement vers le nord. Les obstacles principaux peuvent être classés en deux catégories. La première comprend la mer Méditerranée, l'océan Arctique, et éventuellement d'autres mers européennes comme la mer du Nord et la Manche. La seconde inclut les chaînes montagneuses, notamment celles qui s'étendent d'est en ouest, telles que les Alpes depuis la France jusqu'à l'Autriche *via* la Suisse, les Pyrénées jusqu'au nord de l'Espagne, et les Carpates, qui s'étirent de la République tchèque à la Roumanie, traversant la Slovaquie et l'Ukraine.
- Les habitats de haute et moyenne altitude, ainsi que ceux situés au-dessus de la limite supérieure de la forêt, où l'espace climatique se contractera du fait de ce déplacement en altitude. Certes, la fonte de la neige permanente libérera de nouveaux espaces qui pourront être ensuite colonisés (Nagy *et al.*, 2003), mais il est fort probable que l'on observera une réduction des zones d'extension de nombreuses espèces alpines et de communautés de pleine terre. L'étude réalisée par Robert Björk (*'Ecology of alpine snowbeds and the impact of global change'*, inédite, Université de Göteborg) en Suède a démontré la vulnérabilité spécifique des couvertures neigeuses face au changement climatique. Elles fournissent des éléments nutritifs et de l'eau aux communautés végétales avoisinantes (et aux herbivores) jusque tard dans la saison de croissance, mais elles risquent d'être envahies par les fourrés voisins et des espèces boréales. Les services qu'elles rendent dans les écosystèmes sont donc appelés à diminuer, voire à disparaître.
- L'élévation du niveau de la mer entraînera une compression de la zone littorale qui freinera l'extension des marais salants et des systèmes de dunes sablonneuses et, aux limites occidentales extrêmes de l'Europe, comprimera le « machair » entre la mer et le sol plus élevé. Ce double phénomène, associé à une fréquence plus grande des tempêtes, aura certainement de grandes répercussions sur l'ensemble des communautés littorales, comme le démontre ce qui s'est produit sur les côtes de la mer du Nord aux Pays-Bas et le long de la côte de la mer Baltique (Irmiler, 2002). Muir (2005) considère l'élévation du niveau de la mer comme une menace majeure pour la diversité biologique littorale et maritime de l'Europe.

- Les zones humides posent des problèmes considérables. En effet, le réchauffement prévu du climat, qui devrait entraîner une augmentation potentielle de l'évaporation, et la baisse projetée du nombre de précipitations dans une grande partie de l'Europe, pourraient entraîner l'assèchement de nombreuses zones humides et donc avoir des conséquences dommageables sur les communautés de tourbières, d'eaux stagnantes, de lacs peu profonds et d'étangs.
- Les communautés marines, nous l'avons vu, pourraient subir l'impact du réchauffement climatique. Selon des études récentes, l'augmentation de la quantité de CO₂ absorbée par la mer, et par conséquent l'acidification de l'eau de la mer, pourrait avoir un impact sur de nombreuses espèces, en dissociant les chaînes alimentaires du milieu marin et en modifiant la biogéochimie de l'océan.

3.5. Abondance des espèces

Les réactions véritablement propres à chaque espèce (Oswald *et al.*, 2003) dépendront de la dynamique des populations, des interactions mutualistes ou concurrentielles entre les espèces et des réactions biochimiques et physiologiques des individus. Ces dernières expriment la manière, souvent complexe, dont un individu réagit à son environnement et aux changements de cet environnement. Par exemple, Rey et Jarvis (1997) ont démontré que les jeunes bouleaux (*Betula pendula*) élevés dans une atmosphère à forte teneur en CO₂ avaient une biomasse 58 pour cent plus importante que celle des sujets élevés dans une atmosphère à teneur en CO₂ normale. Ils ont aussi observé que les champignons mycorrhiziens associés aux racines de ces individus expérimentaux n'étaient pas identiques. Les individus élevés dans une atmosphère à forte teneur en CO₂ appartenaient à des espèces dont les stades de succession étaient tardifs, tandis que ceux qui avaient été élevés dans des niveaux de CO₂ équivalents à ceux de l'atmosphère ambiante appartenaient à des espèces dont les stades de succession étaient précoces. Ces observations montrent à quel point la compréhension des effets du changement climatique sur la conservation de la diversité biologique est complexe. Normalement, compte tenu de la régénération des bouleaux, on aurait pu s'attendre à ce que les champignons soient présents à tous les stades de succession sur les racines des jeunes pousses d'arbres, puis qu'ils s'établissent et se développent jusqu'à maturité. Les résultats de Rey et Jarvis (1997) signifient-ils qu'il faut prêter une attention beaucoup plus soutenue à la protection des espèces mycorrhiziennes dont les stades de succession sont précoces ? Il est manifeste que de telles espèces seront très utiles dans l'écosystème si le climat connaît un nouveau refroidissement ou si les taux de CO₂ baissent dans le futur. Ce fait met aussi l'accent l'importance de comprendre l'impact du changement climatique sur les biotes du sol, qui sont vitaux dans les principales utilisations du sol en Europe que sont l'agriculture et la sylviculture.

D'autres études physiologiques ont détecté un épaississement de 4 à 9 pour cent des feuilles de l'airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea*) soumises à un rayonnement renforcé d'ultra-violet B. Dans des conditions expérimentales analogues, les feuilles du myrtille et de l'airelle des marais (*V. uliginosum*), qui sont des sous-arbrisseaux à feuilles caduques, présentaient un amincissement de 4 à 10 pour cent (Björn *et al.*, 1997). La croissance de la mousse *Hylocomium splendens* a été fortement stimulée par le rayonnement renforcé d'ultra-violet B, à condition qu'il y ait un apport d'eau supplémentaire, tandis que la croissance longitudinale de la mousse *Sphagnum fuscum* était réduite de près de 20 pour cent. Björn *et al.* en ont conclu que, « à l'heure actuelle, il est impossible de généraliser en se fondant sur ces données ». Ce point de vue est repris par Beier (2004), qui affirme que « les quelques exemples de combinaisons de CO₂ et de réchauffement ne donnent pas d'orientation précise, et que les résultats établis sur la base de réactions individuelles ne sont pas prévisibles. »

Björn *et al.* (1997) n'ont pas étudié les réactions des animaux invertébrés, en particulier les larves de ravageurs appartenant à la famille des Géométridés, (arpeuteuses ou phalènes), qui fournissent une grande partie de la nourriture de nombreux passereaux des forêts boréales. Si les densités de population de ces larves devaient diminuer, les feuilles dont elles se nourrissent devenant impropres à leur consommation, les effets des rayons ultraviolets pourraient être profonds sur les chaînes alimentaires des communautés du sol et du sous-sol des terres arctiques et boréales en Europe.

En milieu marin, les oiseaux de mer montrent une préférence marquée pour les régions dont les températures de surface de la mer (SST) ont un caractère particulier (Schreiber, 2002). Les populations de

guillemot (*Uria aalge*) augmentaient le plus souvent dans les lieux où les températures de surface de la mer changeaient peu. À l'inverse, elles avaient tendance à diminuer lorsque les variations de ces températures étaient importantes. Bien que cette espèce se reproduise dans l'ensemble de la zone septentrionale et circumpolaire qui s'étend du haut Arctique aux régions tempérées, elle constitue l'espèce dominante dans la partie méridionale de cette aire de distribution (Gaston & Jones, 1998). Le taux d'augmentation le plus élevé a été observé dans les lieux où les changements des températures de surface de la mer étaient légèrement négatifs. En ce qui concerne le guillemot de Brunnich (*Uria lomvia*), qui est une espèce très bien adaptée au climat arctique, l'augmentation la plus rapide s'est produite dans les lieux où les changements des températures de la surface de la mer étaient légèrement positifs. Ces résultats démontrent que les oiseaux de mer peuvent réagir aux changements selon de larges échelles géographiques et temporelles. Le manque de données précises sur chaque espèce et, par suite, l'impossibilité d'intégrer de telles données dans les modèles prédictifs font qu'il est difficile de prévoir quelles espèces deviendront plus abondantes à la suite du réchauffement climatique et lesquelles auront le plus de probabilité de décliner.

Dès lors, sept catégories d'espèces sont particulièrement sensibles au changement climatique (IUCN, 2003):

- les espèces dont l'aire de répartition est délimitée par des obstacles tels que les sommets des montagnes, les îles avec peu de relief, les latitudes élevées et les bordures de continents;
- les espèces dont l'aire géographique est réduite;
- celles qui ont des possibilités de dispersion insuffisantes pour atteindre le plus proche endroit où le climat pourrait leur convenir dans le futur (en raison par exemple d'obstacles tels que les chaînes de montagne ou les paysages morcelés, ou de caractéristiques propres à l'espèce, par exemple l'impossibilité de voler);
- les espèces spécialement sensibles aux températures extrêmes (hautes ou basses), à la sécheresse, à la neige, à la température de la surface de la mer, aux inondations, etc.;
- les espèces extrêmement spécialisées par rapport à un habitat ou à une niche, par exemple celles qui présentent une tolérance très faible aux variations climatiques;
- les espèces qui ont développé une relation étroite ou une synchronisation avec une autre; et
- celles qui présentent des réactions physiologiques rigides aux variations climatiques.

3.6. Phénologie

Le mot « phénologie » est défini dans le *New Oxford Dictionary of English* comme « l'étude des phénomènes naturels saisonniers et cycliques de la vie végétale et animale en fonction du climat ». Plus précisément, il concerne généralement une période de l'année caractéristique du cycle vital d'un organisme, telles l'éclosion des œufs d'un insecte et la libération des larves, la dispersion des graines d'une plante vasculaire ou l'arrivée d'oiseaux migrateurs au printemps.

Les preuves sont de plus en plus nombreuses que la phénologie de nombreuses espèces est en train de changer. Par exemple, l'étude détaillée de deux cent dix-sept espèces de plantes vasculaires entre 1978 et 2001 dans le sud de l'Écosse a démontré que la date de la première floraison de nombreuses espèces avait avancé à cause de l'augmentation de la température (sur une période de vingt-quatre ans, la température a augmenté en moyenne de 0,3°C par décennie). Les températures de janvier et de février ont particulièrement influé sur les espèces dont la floraison est précoce, tandis que celles dont la floraison est plus tardive ont subi l'impact des températures entre mars et juillet (Roberts *et al.*, 2002). Les analyses statistiques n'ont pas montré de corrélations significatives entre le début de la floraison et des facteurs environnementaux autres que la température (la pluie, par exemple). La même étude a également indiqué que le frai des grenouilles avait eu lieu plus tôt dans l'année sous l'effet du réchauffement de la température de l'air.

Reprenant une partie des mêmes séries de données, d'autres travaux (Last *et al.*, 2003) ont fait état d'une relation quasiment linéaire entre l'avancement ou le retard de la floraison et la date moyenne du début de la floraison. L'étude de vingt-sept espèces natives a montré que la date de floraison de celles qui fleurissent vers la fin du mois de février (ce qui correspond approximativement au cinquantième jour de

l'année) avait avancé de 1,35 jour par an sur une période de 24 ans (c'est-à-dire d'environ un mois au total). Par ailleurs, la date de floraison des espèces qui fleurissent vers la fin du mois de mai (ce qui correspond approximativement au cent cinquantième jour de l'année) n'avait avancé que de 0,4 jour par an, tandis que la date de floraison de celles qui fleurissent en août (vers le deux cent vingtième jour de l'année) avait été retardée dans une proportion analogue. Ces changements peuvent être liés à l'allongement de la saison de croissance, qui est vraisemblablement plus marqué en Europe du nord qu'en Europe du sud.

Des résultats identiques ont été obtenus en ce qui concerne la date de début de floraison de plusieurs espèces de plantes de jardin en Angleterre (Hepper, 2003) et de celle du myrtilleur (*V. myrtillus*) en Finlande (Heikinheimo et Lappalainen, 1992). Des tendances analogues ont également été observées en ce qui concerne le débourrage des bourgeons de certaines espèces d'arbres en Allemagne (Badeck *et al.*, 2004). Cependant, les résultats de toutes ces études, à l'exception de la finlandaise qui ne portait que sur une seule espèce, montrent que les espèces se comportent différemment. Ainsi, dans l'étude de Last *et al.* (2003), l'avancement moyen de 0,4 jour par an de la date de floraison des plantes qui fleurissent à la fin du mois de mai exprime en fait une échelle de valeurs correspondant à un avancement de 0,9 jour par an et un retard de 0,4 jour par an. Force est de constater une nouvelle fois qu'il n'y a pas de norme et que chaque espèce a son comportement individuel.

De nombreux autres changements phénologiques ont été observés (Mackey *et al.*, 2001), concernant notamment l'arrivée anticipée des oiseaux migrateurs au printemps, la date de ponte plus avancée du premier œuf de la première couvée de certaines espèces d'oiseaux, et la date anticipée du premier vol d'un certain nombre d'espèces de papillon. Une fois de plus, il apparaît que des espèces différentes appartenant à un groupe taxonomique précis réagissent différemment à l'accroissement de la température et qu'il est donc impossible d'établir des prévisions en l'absence de données d'observation. Cependant, cette multiplicité d'études appelle l'attention sur deux autres aspects importants de la conservation de la diversité biologique en Europe.

Premièrement, toutes les observations, ou presque, portent sur les premiers mois de l'année, ceux du printemps. Peu d'observations ont eu lieu à la fin de l'année lorsque, par exemple, les oiseaux migrateurs quittent nos latitudes ou lorsque la floraison cesse. Pourtant, il semble que l'apparition d'une seconde génération chez les papillons soit un phénomène de plus en plus fréquent. Si le suivi des activités printanières semble approprié, celui des activités automnales est encore très insuffisant.

Deuxièmement, nous devons disposer de plus d'informations sur les interactions entre les espèces. Par exemple, les interactions entre les prédateurs ou les parasites et leurs proies, ou entre les herbivores et leurs plantes hôtes, sont généralement synchronisées, et il existe déjà des indications que les différents niveaux trophiques subissent distinctement le changement climatique (Voigt *et al.*, 2003). Dans une telle interaction, si la phénologie d'une espèce change plus vite que celle des autres espèces, il existe un risque de désynchronisation entre les espèces, ce qui peut avoir de graves conséquences, imprévues et imprévisibles, sur la conservation de la diversité biologique.

3.7. Diversité génétique

Il est surprenant que si peu d'attention ait été accordée à l'impact du changement climatique sur la diversité génétique, d'autant que celle-ci est l'un des thèmes principaux de la *Convention sur la diversité biologique*. L'ouvrage de Groombridge (1992), qui recense les livres importants écrits sur la diversité biologique dans le monde, contient 241 pages sur la diversité des espèces, 80 pages sur la diversité des habitats, et seulement 6 sur la diversité génétique. De même, l'ouvrage d'Heywood (1995), intitulé *Global Biodiversity Assessment*, ne contient que 32 pages abordant ce thème sur un total de 1140 pages.

La raison de ce désintérêt relatif est évidente. Les espèces sont en général des entités tangibles et la plupart sont aisément reconnaissables. Cependant, le concept d'espèces ne fonctionne pas bien pour la plupart des organismes monocellulaires, lesquels vivent souvent dans les sols ou les sédiments des fonds marins ou d'eau douce, où la variabilité génétique d'une espèce est souvent plus importante que l'identité de l'espèce proprement dite. La variabilité génétique n'est pas souvent visuellement reconnaissable et ne peut être détectée qu'en utilisant des méthodes d'analyse perfectionnées s'appuyant sur des techniques moléculaires modernes. Nous savons en réalité peu de choses sur la diversité génétique de millions d'espèces qui vivent sur la planète, les seules espèces vraiment étudiées de ce point de vue étant peu nombreuses : quelques espèces importantes du point de vue économique, quelques parasites de l'être humain ou des animaux domestiques, ou encore quelques espèces que les généticiens ont privilégiées dans leurs recherches (telles que les mouches *Drosophila*).

Que peut-on donc faire pour conserver la diversité biologique de l'Europe dans le contexte du changement climatique ? En prenant comme hypothèse que la sélection naturelle exige une diversité génétique pour pouvoir fonctionner, les stratégies de conservation doivent avoir pour but de trouver un substitut à la part de la diversité génétique qui est presque inconnue. La meilleure solution pour y parvenir est d'assurer la conservation de chaque espèce sur une aire géographique aussi large que possible et dans des habitats aussi nombreux qu'il convient, en partant du principe que les caractéristiques géographiques et environnementales ont structuré la variation génétique. Dans toute l'Europe continentale, de nombreuses plantes terrestres et espèces animales semblent avoir bénéficié d'une expansion continue après la période glaciaire. Cette expansion a souvent conduit à une structure de population dans laquelle la diversité génétique diminue en fonction de l'éloignement de la population ancestrale des zones refuges (Hewitt, 2000). C'est pourquoi les populations septentrionales sont souvent génétiquement moins diversifiées que les populations méridionales (Hewitt, 1999). Il existe au moins trois caractéristiques de la variabilité génétique qui doivent être prises en compte dans la conservation de la diversité biologique de l'Europe.

Premièrement, la structure génétique d'une espèce occupant la limite de son aire, où elle est souvent fragmentée en de nombreuses petites populations relativement isolées, est fréquemment différente de celle d'une espèce qui occupe le centre de son aire, où les populations sont plus contiguës et le flux génétique généralement plus important. Ce sont ces populations isolées, à la limite de leur aire, qui sont les plus sensibles à la spéciation et qui pourraient, dans le futur, former la base de l'évolution vers de nouvelles espèces aux écologies différentes, mais ce sont elles également qui sont les plus menacées par le changement climatique. Même si cela reste à démontrer, ces populations sont-elles celles qui possèdent la diversité génétique qui permettront à l'espèce de s'adapter au changement climatique ?

Deuxièmement, le changement climatique pourrait rendre l'hybridation plus commune; cela peut être à la fois une menace et une chance. Elle peut, par exemple, être une menace lorsque deux espèces perdent leurs identités distinctives, comme cela se produit depuis l'introduction du cerf sika (*Cervus nippon*), originaire du Japon, dans des zones où le cerf élaphe (*Cervus elaphus*) est naturellement présent. L'introduction en Europe d'espèces non indigènes biologiquement proches d'une espèce européenne indigène peut poser un problème à terme. Mais l'hybridation peut être également une chance, comme en témoigne l'hybride issu du croisement entre les espèces européenne et américaine de *Spartina* (toutes deux poussent dans les zones marécageuses des estuaires), et dont le nombre de chromosomes a doublé. Cet hybride peut désormais être considéré comme une nouvelle espèce à part entière.

Troisièmement, certains auteurs (Luck *et al.*, 2003) suggèrent que la variabilité génétique des populations joue un rôle important dans la préservation de l'ensemble des services de l'écosystème. Bien que peu compris, ce concept semble *a priori* plausible. En effet, en raison de l'évolution des facteurs environnementaux, les individus d'une espèce qui présentent des structures génétiques différentes peuvent être plus ou moins aptes à remplir le rôle fonctionnel de cette espèce dans l'écosystème. Dans un environnement qui évolue, l'écosystème a donc besoin d'individus qui ont une constitution génétique variable.

3.8. Comportement des espèces migratoires

La migration est souvent une stratégie utilisée par les oiseaux, les mammifères marins et terrestres et les poissons pour éviter le froid et la glace. Par exemple, de nombreuses espèces d'oiseaux du littoral (ou limicoles) nidifient dans l'Arctique au printemps et au début de l'été, puis s'envolent à la fin de l'été et en automne vers des régions méridionales pour passer l'hiver dans des climats plus chauds. Deux des huit voies de migration principales traversent l'Europe (figure 1).

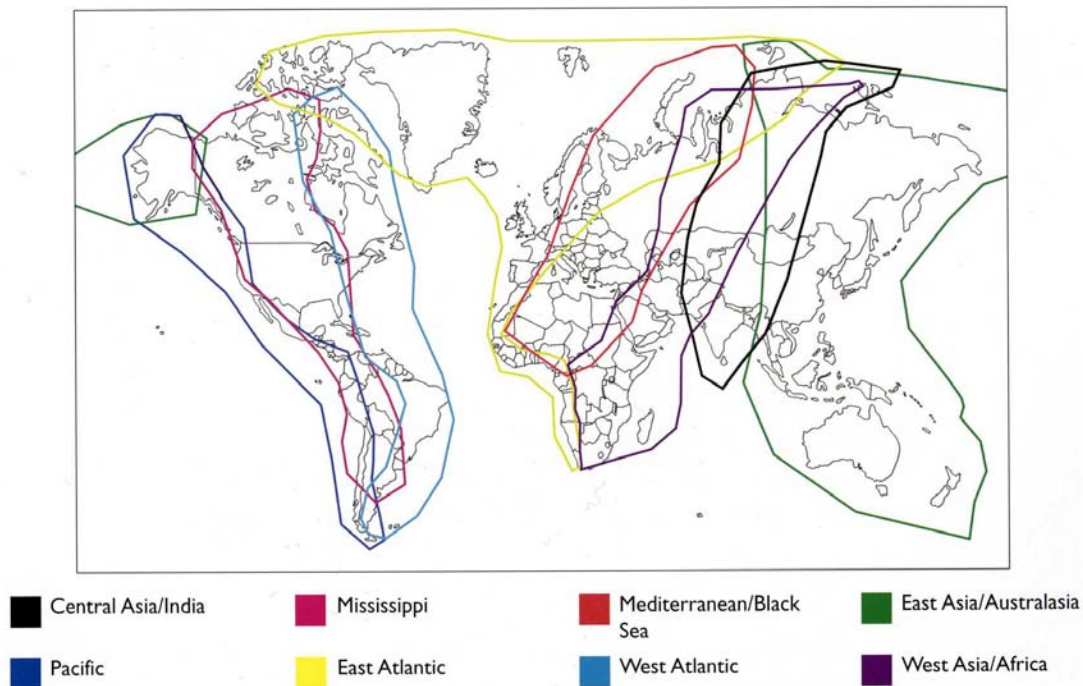


Figure 1. Les huit voies migratoires principales utilisées par les oiseaux du littoral (limicoles). Deux d'entre elles – celle de l'Atlantique Est et celle de la Méditerranée/mer Noire – concernent des oiseaux qui font de longs séjours en Europe. Reproduit d'un ouvrage de Thompson et Byrkjedal (2001).

[Asie centrale/Inde ; Mississippi ; mer Méditerranée/mer Noire ; Asie de l'Est/Australasie ; Pacifique ; Atlantique Est ; Atlantique Ouest ; Asie de l'Ouest/Afrique]

Ces oiseaux vivent dans deux zones géographiques principales. Pendant la migration, ils séjournent dans d'autres zones intermédiaires (étapes) pour se reposer et s'alimenter. Les espèces d'oie de la région paléarctique occidentale sont un bon exemple d'espèces migratoires ayant fait l'objet de recherches et de mesures de conservation considérables (Madsen *et al.*, 1999). Seize populations de sept espèces (11 sous-espèces) nidifient dans l'Arctique et hibernent plus au sud en Europe. Les trois populations d'oies bernaches (*Branta leucopsis*) peuvent servir d'exemple.

La population occidentale de cette oie se reproduit près de la côte qui longe le nord-est du Groenland entre les latitudes 70° et 78° nord. Lors de la migration automnale, les oies font étape en Islande, près de la côte sud, où elles séjournent environ un mois pour s'alimenter. Elles repartent ensuite vers les terres d'hivernation situées le long de la côte ouest de l'Irlande et des côtes ouest et nord de l'Écosse. Au printemps, les oies quittent ces terres en avril et s'arrêtent sur la côte nord-ouest de l'Islande pendant trois à quatre semaines avant de retourner au Groenland pour recommencer le cycle annuel. Une deuxième population (dite centrale) se reproduit à Svalbard, entre les latitudes 77° et 80° nord. Après la reproduction, ces oies quittent Svalbard en août. Beaucoup d'entre elles arrivent à l'Île aux ours (Bjørnøya) à la fin du mois d'août, où elles séjournent jusqu'à la fin du mois de septembre ou jusqu'au début du mois d'octobre. Elles repartent ensuite vers Solway Firth, dans le sud-ouest de l'Écosse. Au printemps, les oies regagnent le nord (Svalbard), après une étape sur l'archipel du Helgeland, situé près des côtes de Norvège (entre les

latitudes 65° et 66° nord). Ce séjour dure de deux à trois semaines. La population orientale, quant à elle, se reproduit dans le nord de la Russie, dans une zone qui s'étend de la péninsule Kola, à l'ouest à la Nouvelle-Zemble, à la péninsule Yugor à l'est. À l'automne, les oiseaux volent en direction du sud-ouest, le long du golfe de Bothnie et de la partie méridionale de la mer Baltique, faisant étape sur les îles de la mer Baltique suédoise et estonienne. La plus grande partie d'entre eux hiberne sur les côtes danoises, allemandes et néerlandaises de la mer du Nord.

Cet exemple illustre un certain nombre de caractéristiques des populations migratoires et de leur conservation dans le contexte du changement climatique. Les oies ont besoin de ressources alimentaires suffisantes pour effectuer deux longs voyages chaque année. Les régions de l'Arctique où elles s'alimentent l'été et les régions tempérées de l'Europe où elles s'alimentent en hiver leur fournissent une grande partie de leurs besoins de nourriture. Cependant, pendant la migration, les oies ont besoin de faire étape pour reconstituer leurs réserves d'énergie. Dans les années où l'hiver se termine de manière anticipée et où l'île aux ours (Bjørnøya) est recouverte de glace avant l'arrivée des oies, on sait que beaucoup d'entre elles sont incapables d'accumuler suffisamment d'énergie pour continuer jusqu'à l'Écosse, ce qui peut entraîner une très forte mortalité, surtout chez les jeunes de l'année. On pourrait déduire des brèves descriptions données précédemment que les trois populations sont isolées géographiquement les unes des autres. Il existe néanmoins un brassage de faible ampleur entre ces populations, et le flux génétique est probablement suffisant pour que cette espèce n'ait pas fait l'objet d'une sous-spéciation.

Les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur ces espèces. Les habitats se modifiant, y aura-t-il un déplacement des zones de reproduction vers le nord ? La réponse pourrait être positive concernant la population nidifiant au Groenland, car il existe des espaces au nord de la zone de reproduction actuelle. Il y a une forte probabilité qu'elle soit négative en ce qui concerne les populations qui se reproduisent sur le Svalbard et en Russie, car l'on trouve très peu d'espaces au nord des zones de reproduction actuelles (seulement la côte nord de Svalbard et le nord de la Nouvelle-Zemble). Comment les zones d'hibernation changeront-elles ? Beaucoup d'entre elles étant des terres de pâturage pour les ovins et les bovins, il est possible que les changements soient plus limités. Toutefois, les zones où les oies font étape sont également susceptibles de changer, et il est possible que la distance entre les zones de reproduction et d'hibernation s'allonge, ce qui contraindra les oiseaux migrateurs à dépenser une plus grande quantité d'énergie. Nous sommes donc confrontés à une série d'inconnues, la seule certitude étant que ces populations d'oies sont de plus en plus importantes. En sera-t-il de même en cas de changements climatiques ?

3.9. Problèmes causés par les espèces allogènes

Le thème des *invasions biologiques* a fasciné les écologistes pendant plus d'un demi-siècle (Elton, 1958). Plus récemment, les nombreux problèmes causés par les espèces allogènes sont apparus au premier plan, et l'Union mondiale pour la nature (UICN) les place au second rang des principaux responsables de l'appauvrissement de la diversité biologique de la planète (le premier responsable étant la disparition et la fragmentation des habitats). Toutefois, la prudence impose d'être précis quant à la terminologie employée en la matière. Il n'est pas toujours aisé de déterminer la raison pour laquelle une espèce se trouve géographiquement là où elle se situe à l'heure actuelle. Si sa présence est considérée comme naturelle, l'espèce est « indigène ». Si elle est originaire d'une région et si elle a été introduite par l'homme dans une autre, elle devient « allogène » (Usher, 2000, a étudié ces distinctions et les différentes gradations entre elles). Le terme « allogène » est quasiment synonyme des termes « étranger », « exotique » et « introduit », qui figurent tous dans les ouvrages publiés.

Selon la « règle des 10:10 » décrite par Williamson (1996), 10 % des espèces introduites dans une région finissent par s'y établir (elles ne meurent pas dans les quelques années qui suivent leur introduction et commencent à se reproduire), et 10 % de ces espèces établies deviennent des « nuisibles » (elles finissent par poser un problème quelconque). Bien que cette règle puisse être appliquée aux plantes avec une certaine justesse, elle semble sous-estimer le nombre d'animaux vertébrés susceptibles de poser des problèmes (Usher, 2002a). C'est ce 1 % (10 % de 10 %) d'espèces qui sont introduites, voire plus en ce qui concerne les

espèces d'animaux vertébrés, que l'on peut qualifier d'« envahissantes ». En Europe, il existe un certain nombre d'espèces allogènes qui causent ou pourraient causer des problèmes à long terme.

Dans les écosystèmes terrestres, le changement climatique pourrait augmenter les chances de survie d'un plus grand nombre d'espèces dans les parties plus septentrionales de l'Europe. Peut-on dans ce cas classer les nouvelles espèces qui arrivent en « indigènes » ou « allogènes » ? Ce point mérite d'autant mieux d'être débattu que le changement rapide du climat est de nature anthropogénique ! Toutefois, le réchauffement climatique poussera vraisemblablement les espèces vers le nord, et certaines d'entre elles s'y établiront en formant des populations reproductrices. Les pays du nord de l'Europe pourraient donc devenir plus riches du point de vue biologique parce que les espèces pourront plus facilement progresser vers les régions du nord pour les coloniser. En revanche, l'orientation est-ouest de la mer Méditerranée (et des zones arides ou désertiques situées au sud de celle-ci) entravera la progression vers le nord et empêchera dans une large mesure les pays de l'Europe du sud de compter de nouvelles espèces. Ces hypothèses nous amènent à conclure que la diversité des espèces dans l'ensemble de l'Europe changera peu, même si la situation de tel ou tel pays européen est susceptible de subir des changements importants. Au niveau des pays, certaines de ces espèces implantées récemment finiront peut-être par causer des problèmes, mais il n'y a aucun moyen à l'heure actuelle d'identifier les risques principaux. Quoi qu'il en soit, l'introduction d'organismes pathogènes, tant pour la vie sauvage que pour l'homme, est une possibilité bien réelle.

Dans les forêts boréales, les insectes, en tant que groupe, posent les problèmes les plus graves pour deux raisons : leurs populations peuvent croître rapidement et les outils de lutte efficaces sont rares. L'expérience pratique nous conforte dans l'idée que le réchauffement climatique favorisera l'émergence de foyers infectieux de nombreux insectes ravageurs des forêts et augmentera les niveaux de stress des arbres, même si ces phénomènes n'avaient jamais été observés auparavant. Deux exemples illustreront les risques encourus. Le premier exemple concerne l'agrile du bouleau (*Agrilus anxius*), qui est un ravageur connu du bouleau à papier (*Betula papyrifera*), qu'il cantonne avec une certaine efficacité le long de la limite méridionale de sa distribution (Haak, 1996). Le deuxième exemple se rapporte à une infestation de bombyx du pin (*Dendrolimus sibiricus*) qui s'est produite en Sibérie occidentale de 1954 à 1957, causant des dégâts considérables sur trois millions d'hectares de forêts. La progression vers le nord des foyers infectieux de cette espèce pourrait gravement modifier la dynamique de la forêt sibérienne. Bien qu'aucun de ces deux exemples ne soit européen au sens strict, il existe un grand nombre d'insectes en Europe, comme la chenille d'*Epirrita autumnata*, qui pourrait défolier de grands espaces forestiers.

Les préoccupations sont analogues concernant le milieu d'eau douce, dont la plupart des problèmes proviennent de l'introduction d'espèces de poisson allogènes. Citons l'exemple de la grémille (*Gymnocephalus cernuus*) qui, dans le Loch Lomond (Écosse), mange les œufs d'une espèce arctique relictuelle, le lavaret (*Coregonus lavaretus*), mettant en danger l'avenir de cette espèce dans l'un de ses seuls habitats britanniques (Doughty *et al.*, 2002). D'autres problèmes sont posés par les poissons qui s'échappent des piscicultures, s'introduisent dans le milieu naturel et se reproduisent avec les poissons indigènes. Les conséquences sur le plan génétique de tels croisements peuvent être profondes, comme le montre l'exemple du saumon atlantique (*Salmo salar*) en Norvège.

L'un des principaux problèmes potentiels rencontrés dans le milieu marin est le rejet des eaux de ballast. L'amincissement de la couche de glace recouvrant l'Arctique et la possibilité de naviguer plus longtemps dans l'océan arctique pendant l'année (notamment en raison de l'ouverture du passage nord-est entre l'Europe et l'Asie) facilitent l'introduction d'espèces allogènes et augmentent les risques environnementaux. Les analyses des eaux de ballast ont montré qu'elles contiennent un grand nombre d'espèces différentes d'organismes marins, y compris des algues et des mollusques marins pouvant devenir envahissants.

Il n'est ni facile de réglementer le rejet des eaux de ballast, ni aisé d'appliquer les réglementations adoptées en la matière, mais si l'on veut empêcher la prolifération d'organismes marins envahissants, il est essentiel que des accords internationaux réglementent de tels rejets dans les eaux littorales ou en haute mer. Le Programme mondial de gestion des eaux de lestage (GloBallast) joue un rôle important. Il vise notamment à (i) réduire le transfert organismes aquatiques nuisibles et de pathogènes par les eaux de lestage des navires, (ii) à faire appliquer les Lignes directrices de l'Organisation maritime internationale (OMI) sur les eaux de lestage et (iii) à apporter une assistance en rapport avec la Convention internationale pour le contrôle et la gestion des eaux et sédiments de ballast (voir le site <http://globallast.imo.org/index.asp> pour plus d'informations).

En ce qui concerne l'Arctique, la remarque prudente de Rosentrater et Ogden (2003) soulève des questions importantes. Les deux auteurs déclarent qu'« à l'heure actuelle, il est difficile de se prononcer sur l'ampleur de la menace constituée par les espèces envahissantes dans les milieux arctiques. Toutefois, les conséquences potentielles de cette menace justifient que l'on étudie de manière plus approfondie les introductions d'espèces et que l'on prenne des mesures de précaution à leur égard, dès lors que l'on s'attend à ce que le changement climatique favorise la pénétration de nouvelles espèces dans la région. » Dans le cas d'un changement rapide du climat, la démarche de précaution peut s'appliquer à l'ensemble de l'Europe, même si la température augmentera probablement plus vite dans l'Arctique que dans les parties plus méridionales du continent. Le risque pour l'environnement et la diversité biologique de l'introduction volontaire d'espèces allogènes doit être évalué avant que les espèces soient effectivement introduites. Nombreux sont les exemples à l'échelle de la planète qui montrent que l'évaluation du risque après l'introduction est souvent inutile, car elle ne permet même pas, dans la plupart des cas, de lutter contre la propagation de l'espèce envahissante et ses effets nuisibles. Toute mesure de précaution doit donc consister en premier lieu à stopper l'arrivée de l'espèce envahissante, sachant que toute éradication ultérieure peut s'avérer impossible. Et même si cette éradication était possible, l'expérience montre qu'elle serait vraisemblablement extrêmement coûteuse.

3.10. *Synopsis des changements prévus*

La section 3 a brièvement passé en revue certains des thèmes qui, de toute évidence, auront le plus fort impact sur la diversité biologique en cas de changement du climat. Il s'agit notamment du nombre total d'espèces et de communautés et de types d'habitats, ainsi que de leur emplacement géographique, qui sont sans doute les aspects dont l'importance apparaît le plus immédiatement lorsque l'on examine les stratégies, plans d'action et programmes nationaux en faveur de la diversité biologique. En d'autres termes, nos analyses ont cherché à montrer les changements les plus évidents que pourrait subir la diversité biologique d'un pays. D'autres analyses portent sur des thèmes plus spécifiques, tels que les changements propres à la diversité génétique, à la phénologie et au comportement migratoire, ainsi que l'incidence des espèces envahissantes. Tous les changements analysés pourraient concerner la diversité biologique des milieux marins, d'eau douce et terrestres de l'Europe.

L'impact du changement climatique sur la diversité biologique peut présenter de nombreuses facettes. Par exemple, dans les parties les plus sèches de l'Europe du sud, il pourrait modifier le régime des incendies de forêt. McKenzie *et al.* (2004) déclarent à ce propos : « si le changement climatique augmente l'amplitude et la durée des conditions météorologiques extrêmes, favorables aux incendies, il faut s'attendre à ce que des changements importants dans la distribution et l'abondance des espèces de plantes dominantes se produisent dans certains écosystèmes et, par voie de conséquence, ces changements auront un impact sur les habitats de certaines espèces animales et végétales sensibles. ... Les effets du changement climatique dépendront en partie de l'ampleur avec laquelle la gestion des ressources modifiera la structure de la végétation et les combustibles. » Cette citation montre clairement que la manière dont la diversité biologique de l'Europe est gérée est très importante, comme le montre la section 4.

Un autre domaine pour lequel il règne une incertitude considérable est celui des grands fonds de la Méditerranée, de l'océan Atlantique, de l'océan Arctique et des mers qui leur sont reliées. Dans les grands fonds de la Méditerranée orientale, Danovaro *et al.* (2004) ont montré qu'une baisse de 0,4° C de la température de l'eau entre 1992 et 1994 a provoqué à la fois une diminution importante des populations de

nématodes et une augmentation notable de leur diversité. Cependant, la remontée de la température qui s'est produite après 1994-1995 n'a entraîné qu'une reconstitution partielle de l'abondance et de la diversité biologique antérieures. Autre conséquence peut-être plus intéressante du refroidissement : l'analogie plus grande entre la diversité biologique des nématodes de la faune de la Méditerranée occidentale et celle des eaux profondes, plus froides, de l'Atlantique. Ces observations démontrent à quel point des changements de température, si petits soient-ils, peuvent avoir une incidence considérable, voire imprévue sur la diversité biologique.

Tous ces changements anticipés, ces changements possibles et ces signes de changements imprévus indiquent qu'il est temps de prendre des mesures pour atténuer les effets du changement climatique. Notre propos n'est pas de plaider la cause du Protocole de Kyoto ou celle, plus importante, de son éventuel successeur, mais d'examiner certaines des réponses que les pays européens pourraient adopter. Par exemple, la quatrième Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe, qui s'est tenue à Vienne du 28 au 30 avril 2003, a adopté la « Résolution de Vienne n° 5 », intitulée *Changement climatique et gestion forestière durable en Europe*. Citons certaines de ses clauses :

- « 6. ...par le maintien du stock de carbone et par l'augmentation de la séquestration du carbone des forêts en Europe, grâce : ... aux plans ou programmes forestiers nationaux, qui fournissent les directives appropriées pour que le boisement et le reboisement prennent dûment en compte les valeurs environnementales, en particulier la diversité biologique, économiques et sociales, dans le but d'atténuer les effets négatifs potentiels des boisements à grande échelle, ...
- 7. soutenir la recherche et les activités de surveillance appropriées pour mieux comprendre l'impact potentiel du changement climatique sur les forêts et leurs biens et services, ...
- 8. renforcer les politiques et mesures et développer la foresterie, pour une meilleure capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. »

Ces extraits résument à bien des égards les principaux objectifs d'une politique de conservation de la diversité biologique en Europe, à savoir : maintenir ou augmenter le stock de carbone à l'intérieur de la biosphère, soutenir la recherche pour mieux comprendre l'impact du changement climatique sur la diversité biologique et l'importance de la diversité biologique dans la préservation des biens et services de l'écosystème et, comme il est décrit dans la prochaine section, élaborer des politiques et des mesures pour que la diversité biologique soit plus apte au changement climatique.

4. Réponses apportées par la gestion à l'intérieur et à l'extérieur des zones protégées

4.1. Aperçu

Compte tenu de la variété et de l'ampleur de l'impact prévu du changement climatique sur la diversité biologique en Europe au cours du siècle prochain, il devient de plus en plus important d'examiner les réponses, s'il en est, que nous souhaitons apporter. La Convention de Berne, les directives de l'Union européenne sur les oiseaux et les habitats, ainsi que les nombreux plans d'action ou stratégies adoptés au niveau national en faveur de la diversité biologique, ont dressé les listes des espèces et des habitats dont la conservation est considérée comme prioritaire au début de ce vingt et unième siècle. Il est clair que ces listes incluent certaines des espèces les plus marquantes, utiles économiquement et charismatiques, et qu'elles ont été élaborées en fonction de critères tels que ceux qui ont été utilisés par l'Union mondiale pour la nature (UICN, 1994). Elles n'accordent pas cependant la priorité aux espèces qui jouent un rôle essentiel dans la détermination des fonctions de l'écosystème et fournissent les services écosystémiques dont dépend la vie sur la planète.

La structure de cette section est déterminée par une série de questions. Quelle diversité biologique avons-nous aujourd'hui ? Il est important de le savoir afin de hiérarchiser nos actions. Qu'est-ce qui change ? Les observations et les modèles nous aideront à connaître la direction et le rythme du changement. Comment gérer la diversité biologique pour résister au changement, l'améliorer ou s'appuyer sur lui ? Enfin, comment enregistrer ce changement et informer le public et les gouvernants ?

4.2. Inventorier la diversité biologique existante

Les pays européens disposent généralement d'inventaires complets de leurs mammifères, oiseaux, reptiles et amphibiens, auxquels il est toujours possible d'ajouter quelques espèces supplémentaires (grâce, en particulier, aux progrès de la taxonomie). Les nations européennes sont également capables de fournir des inventaires complets ou raisonnablement complets des mammifères marins, des poissons des milieux d'eau douce et marins, des plantes vasculaires et de certains groupes d'invertébrés (notamment les papillons, les libellules ainsi que certains scarabées et araignées).

Ces listes omettent cependant certaines des taxa les plus riches en espèces, notamment un grand nombre d'espèces de bryophytes (mousses et hépatiques), lichens, champignons, algues, et de nombreux autres groupes d'animaux invertébrés. En milieu terrestre, il est probable que les taxa les plus riches en espèces sont les insectes et les arachnides, tandis qu'en milieu marin, ce sont probablement les crustacés et les mollusques. Des zones d'ombre subsistent dans la taxinomie de ces microorganismes, et sans doute des mesoorganismes, qui peuplent les sols et les sédiments. Si l'on estime que moins de 5% des bactéries du sol peuvent être cultivées à l'aide des techniques aujourd'hui disponibles, et donc identifiées, l'impact d'un changement du climat sur ces éléments importants des écosystèmes tant terrestres qu'aquatiques est imprévisible. Les progrès de la biologie moléculaire permettront certainement de mieux comprendre ces communautés microbiennes, mais ils ne pourront pas surmonter les problèmes qui empêchent de mener des recherches expérimentales sur ces organismes.

Les inventaires ont des rôles importants à jouer car ils forment les briques de base de la conservation de la diversité biologique. En effet, si vous ne connaissez pas la nature de la diversité biologique dont vous disposez, comment pouvez-vous entreprendre de la conserver ou savoir qu'elle change ? Après avoir dressé les inventaires de la diversité biologique, on peut évaluer la capacité de survie future des éléments répertoriés (espèces ou habitats). Par exemple, l'Union mondiale pour la nature (UICN) a défini les critères d'évaluation des catégories de menaces qui pèsent sur l'existence des espèces (UICN, 1994). De nombreux pays ont utilisé ces critères pour compiler leurs « listes rouges » nationales. Les espèces sont classées par catégories de menaces sur la base de critères incluant la réduction observée ou suspectée de la taille des populations d'une espèce, la diminution observée ou suspectée de l'aire de l'espèce, la taille totale de la population et le risque d'extinction dans le milieu sauvage, calculé en nombre d'années ou en nombre de générations. Des critères analogues pourraient s'appliquer aux habitats. Toutefois, ces critères ne prennent pas explicitement en compte l'impact du changement climatique sur les espèces ou les habitats.

La diversité génétique fait également partie de la Convention sur la diversité biologique. Beaucoup d'espèces ont des aires de distribution très vastes en Europe et sont présentes dans des habitats, des espaces modelés et des communautés aux caractéristiques très différentes.

Partant du constat que les mesures de la diversité des espèces sous-estiment la diversité génétique, il devient nécessaire de recueillir plus de données concernant la variation génétique à l'intérieur des espèces, notamment celles dont la survie est préoccupante. C'est en effet cette variabilité génétique qui jouera vraisemblablement un rôle important dans les réactions d'une espèce au changement climatique. Deux exemples illustrent la variabilité génétique et mettent l'accent sur le fait qu'il est important de comprendre et de maintenir la variation génétique au sein des espèces en conservant diverses populations, ce qui est, en quelque sorte, l'application du principe de précaution.

Le premier exemple concerne la Suède, où une espèce rare de champignon polypore (*Fomitopsis rosea*) poussant sur le bois illustre la limite de la variabilité génétique résultant de l'isolation des populations. Les populations des forêts isolées présentaient une structure génétique beaucoup plus étroite que les populations des forêts (taïgas) non fragmentées de la Russie (Seppola, 2001). Cet exemple semble indiquer que la fragmentation de l'habitat restreint la différenciation génétique et limite potentiellement les réactions des espèces aux changements de l'environnement.

Dans le second exemple, la composition génétique des populations de saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*) et de silène acaule (*Silene acaulis*) détermine leur capacité de réagir aux changements à court ou à long terme de l'environnement. Les populations actuelles sont issues de populations ayant survécu dans des zones de refuge pendant les dernières glaciations, et de populations migratrices ayant fondé des colonies plus récemment. Il est probable que l'hétérogénéité des sites et des populations ainsi que les variations historiques du climat ont fourni à la flore actuelle la capacité de résister et de s'adapter aux changements importants, voire rapides, du climat sans perte d'espèces (Crawford et Abbott 1994 ; Crawford 1995).

La mesure de la diversité biologique et de ses multiples éléments (du gène au paysage) et échelles de grandeur (de l'échelon local à celui du globe) ne sera jamais chose aisée (Anon., 2003). Elle exigera la participation de nombreux chercheurs spécialisés dans l'analyse génétique, la taxonomie, l'écologie et bien d'autres domaines. Un tel constat nous conduit à formuler quatre recommandations qui ne visent en aucune façon à attribuer de responsabilité quant au travail à effectuer.

1. Former les taxonomistes qui peuvent dresser les inventaires des espèces européennes moins connues, tels que les plantes non vasculaires, les animaux invertébrés, les champignons et les micro-organismes (protozoaires, bactéries, etc.). De telles espèces sont peut-être des acteurs fondamentaux de la fourniture de services écosystémiques.
2. Établir les inventaires de la diversité biologique de l'Europe (des espèces et des habitats). Pour chaque espèce inscrite dans un inventaire, on indiquera les lieux où elle est présente, la taille de ses populations ou les limites de ses habitats. De tels inventaires doivent déborder du cadre national et englober l'espace européen, et avoir un rapport avec la conservation de la diversité biologique (Bouchet *et al.*, 1999).
3. Évaluer les espèces et les habitats que ces inventaires auront placés au rang de priorités nationales ou internationales en raison de leurs réactions au changement climatique. L'analyse des responsabilités juridiques de l'Écosse dans le cadre des directives de l'Union européenne sur les oiseaux et les habitats (ainsi que d'autres priorités définies dans le plan d'action britannique sur la diversité biologique) est un premier exemple d'un tel exercice, fondé sur une appréciation professionnelle (Hill *et al.*, 1999). Des approches plus détaillées, reposant sur la modélisation, trouvent une illustration dans le projet britannique et irlandais MONARCH (Harrison *et al.*, 2001). Ce sont précisément ces études qui montrent quels sont les espèces et les habitats les plus menacés par le changement climatique et l'urgence de prendre des mesures en vue de leur conservation.

4. Améliorer la connaissance de la diversité génétique de nombreuses espèces qui sont actuellement peu connues (voire inconnues). L'étude de cet aspect de la diversité biologique exigera une somme de travail de recherche considérable, et la gestion de la conservation devra veiller à ce que la diversité génétique connaisse peu ou pas de pertes.

4.3. Identifier les changements de la diversité biologique en Europe

Le climat a déjà évolué, et des changements supplémentaires sont à prévoir. Il faut donc s'attendre à ce que de nouveaux assemblages d'espèces se produisent dans l'avenir. Le changement dans les communautés écologiques est souvent désigné sous le nom de « succession écologique ». Aujourd'hui, une politique de « préservation » de l'environnement pourrait décider de préserver l'existant et de gérer un habitat en empêchant toute succession écologique. En revanche, une politique de « conservation » pourrait consister à savoir tirer parti de la succession écologique. Cette dichotomie entre les deux conceptions est soulignée par Rhind (2003), selon lequel : « nous sommes désormais obnubilés par l'idée d'empêcher la succession naturelle et, dans la plupart des cas, nous n'envisagerions pas avec plaisir qu'un pâturage ou qu'une lande puisse se transformer en surface boisée. ». Le changement climatique sera l'élément moteur de la succession écologique et il est probable qu'il vaudra mieux tenir compte de ces changements dans les mesures de sauvegarde de la nature que d'essayer de s'y opposer.

Les espèces pourraient elles-mêmes s'adapter à de nouvelles conditions environnementales si elles disposaient d'une diversité génétique et d'un temps suffisants. Le niveau génétique de la diversité biologique permet aux populations de répondre aux défis posés par les variations et les modifications extrêmes de l'environnement, et cette variation génétique garantit la pérennité des populations, au moins à court et moyen terme. À plus long terme, cette diversité génétique constitue la base du changement évolutif qui conduit à la naissance de nouvelles sous-espèces et espèces. Les prévisions indiquant un changement rapide du climat, la diversité génétique est importante au sens où elle aide les espèces à répondre aux défis environnementaux auxquels elles sont confrontées. Mais le rythme des bouleversements climatiques sera-t-il trop rapide pour que les espèces puissent s'y adapter?

Les prévisions sont généralement fondées sur une expertise professionnelle ou sur des modèles. Le concept de modélisation de la conservation de la diversité biologique appartient plus au domaine des modèles statistiques qu'à celui des modèles précis produisant un résultat définitif (Starfield et Bleloch, 1986). Toutefois, malgré ces limites, les modèles sont utiles lorsque l'on cherche à étudier les changements probables de la diversité biologique. En Finlande, par exemple, des modèles ont été utilisés pour prévoir les changements probables de la distribution des principales espèces d'arbres forestiers – le pin (*Pinus sylvestris*), l'épicéa (*Picea abies*) et le bouleau (*Betula* spp.) –, les résultats montrant un déplacement vers le nord de deux espèces de conifères (Kuusisto *et al.*, 1996). Parallèlement, les modèles ont prévu que d'ici 2050, la proportion des sols du sud de la Finlande propices à la culture du blé de printemps passera d'un cinquième à la moitié, du fait de meilleures conditions climatiques.

Ces observations nous conduisent à formuler deux recommandations supplémentaires.

5. Savoir tirer parti de la succession écologique, et non l'empêcher, dans le travail de gestion de la diversité biologique en Europe. Incorporer cette idée dans tous les aspects de la gestion de la diversité biologique des milieux marins et terrestres, mais surtout dans les zones protégées.

6. Perfectionner les modèles qui peuvent être utilisés pour étudier les évolutions de la diversité biologique en fonction des divers scénarios de changement climatique. Entreprendre les recherches nécessaires pour produire les données qui permettront de paramétrer les modèles pour les espèces et les habitats vitaux.

4.4. Gérer les zones protégées de l'Europe

La création de zones protégées a constitué un thème central des lois adoptées, et des activités menées, partout dans le monde en matière de sauvegarde de la nature. Cette idée est mise en œuvre de manière différente par les gouvernements, qui ont obtenu des succès inégaux, comme l'attestent les études portant sur les activités internationales dans ce domaine (par exemple celles de l'UICN, 1991). Le but de la présente section n'est pas de passer en revue les différents systèmes existants, mais d'examiner les concepts écologiques profonds qui sont liés à la conservation de la diversité biologique, et d'étudier l'impact éventuel du changement climatique.

En général, la mise en place de zones protégées est considérée comme reposant sur une base scientifique. Selon Kingsland (2002) : « ... son objectif est d'appliquer des idées et des méthodes scientifiques à la sélection et la conception de réserves naturelles ainsi qu'à des problèmes connexes, telles que la prise de décision concernant la nature des zones tampons qui doivent entourer les réserves et la manière de créer des couloirs pour relier les réserves entre elles et permettre aux organismes de se déplacer d'un espace à l'autre. À l'exemple d'autres domaines de la biologie de la conservation, la conception de réserves naturelles est une science de la « crise », ceux qui la mettent en pratique étant motivés par le sens aigu de la nécessité d'agir rapidement pour enrayer la perte d'espèces causée par la croissance de la population humaine. » Cette définition omet, dans une certaine mesure, le point essentiel suivant : les sciences sociales prennent également une part active dans la conservation de la nature. Pourquoi pensons-nous qu'il est important de conserver la diversité biologique ? Pourquoi privilégions-nous certaines espèces ? Comment l'homme s'inscrit-il dans le schéma de conservation ? De telles questions d'ordre sociologique ne seront pas abordées dans le présent document et cette section portera essentiellement sur les bases scientifiques de la conservation.

Trois grands courants de la pensée écologique ont influé sur la conception de zones susceptibles d'être protégées. Si les concepts de biogéographie insulaire (MacArthur et Wilson, 1967), de fragmentation des habitats et d'organisation en métapopulations (Harris, 1984), et de couloirs (Saunders et Hobbs, 1991) ont des liens relativement lâches, ils n'en sont pas moins tous trois à la base de notre conception des zones protégées pour faire face au réchauffement climatique. La biogéographie insulaire a servi à justifier la création de zones protégées de grande taille au détriment de zones plus petites. Dans le contexte du changement climatique et de la diminution des populations d'espèces sauvages et de leurs aires de distribution, l'utilisation du principe de précaution recommande également la création de zones protégées de grande taille. La fragmentation des écosystèmes conduirait, selon certains, à l'« insularisation » des habitats. Bien qu'il soit difficile d'assimiler les fragments à de véritables îles, il a néanmoins été à la mode d'utiliser les concepts de la biogéographie insulaire pour formuler les « règles » de conception des zones protégées, les facteurs clés étant la taille et la forme (Diamond, 1975 ; Usher, 2002b). Le morcellement des habitats étant au cœur du développement moderne, le concept de couloirs s'est avéré utile. Cependant, aussi séduisants et simples qu'ils puissent être, la validité ou la non validité des couloirs n'a été prouvée.

Le changement climatique étant devenu une réalité, il convient de ne pas s'attarder sur les couloirs et de mettre l'accent sur les zones protégées de plus grande taille et sur la réduction des processus qui conduisent à la fragmentation de l'habitat. Cette démarche favorisera une véritable communication entre les espèces et les habitats, plus efficace que l'apparente communication offerte par les couloirs. Toutefois, les zones protégées qui existent actuellement, même si elles sont situées au meilleur endroit pour conserver la diversité biologique, seront-elles valables dans un futur marqué par le changement climatique ? La réponse est probablement « non ». Les désignations ont été largement utilisées, mais elles sont fondées sur l'hypothèse d'une stabilité climatique et biogéographique. En fait, les sites sont généralement désignés pour entériner le *statu quo*. Les preuves disponibles indiquent que ces hypothèses ne seront pas nécessairement

valables au cours du siècle prochain. Que peut-on donc faire pour que le réseau de zones protégées soit plus adapté au climat futur de l'Europe ? Il est vital d'entreprendre des actions planifiées et exécutées avec soin en vue de préserver la diversité biologique pour le siècle prochain et au-delà.

Tout d'abord, les zones protégées actuelles devraient également englober les milieux terrestres et aquatiques, lesquels pourraient jouer ultérieurement un rôle précieux dans la conservation de la diversité biologique. Les modèles prévoyant l'évolution de la distribution des espèces et des habitats seront utiles et leurs résultats devront être pris en compte dans la conception des zones protégées. La désignation devrait donc être fondée sur la valeur actuelle des zones caractéristiques de la diversité biologique et sur la valeur future escomptée (la valeur potentielle).

Ensuite, les limites des zones protégées doivent être beaucoup plus fluctuantes. En général, les limites sont des lignes tracées sur des cartes, consacrées dans la législation, d'où la difficulté de les modifier. Peut-être pourrions-nous décrire les pratiques actuelles comme aboutissant à des « limites figées ». Il serait beaucoup plus judicieux que les limites puissent être modifiées en fonction de l'évolution de la distribution de la flore ou de la faune protégée. Par ailleurs, il est vraisemblable qu'à long terme (exprimé en décennies et non en années), les zones protégées se déplaceront géographiquement (modifiant le tracé des limites devenues en l'occurrence « fluctuantes »). Il faudra donc être vigilant sur ce point afin que les pressions liées au développement et à la sociologie ne détruisent pas la *raison d'être* des zones protégées. Il serait cependant malheureux de disposer dans cinquante ans d'un réseau de sites ne protégeant pas grand-chose ! Des systèmes de désignation plus souples, permettant d'ajouter des zones qui sont ou deviendront importantes, ou de retrancher des zones qui n'ont plus d'intérêt, apparaissent comme l'un des moyens possibles de progresser sur cette question. Il semble que de tels systèmes de désignation faisant la part belle aux « limites fluctuantes » n'aient jamais été essayés dans le monde.

Les zones protégées résultent d'un impératif politique majeur, celui de la conservation de la diversité biologique (et du patrimoine culturel et historique). Mais le changement climatique pourrait contraindre des espèces et des habitats prioritaires à sortir des zones désignées. Dans le même temps, des habitats et des espèces inconnues dans ces zones pourraient coloniser ou parcourir celles-ci, notamment en provenance du sud ou de zones de faible altitude. Les assemblages d'espèces sans équivalents actuels pourraient se former, les espèces réagissant chacune au changement climatique à des degrés et des rythmes différents. Il faudra donc adapter en conséquence les concepts de « communautés représentatives » et de « limites de changement acceptables » qui sont au cœur du système de classification d'habitats de Natura 2000. Les changements prévus pourraient donner lieu à de nombreuses surprises découlant des interactions complexes qui caractérisent les écosystèmes et de la non-linéarité (ou effets de seuil) des réactions de nombreuses espèces.

La base scientifique de la planification de la conservation de la diversité biologique dans un contexte de changement climatique remet en cause les procédures conçues pour maintenir un état stable. Comme le montre le tableau 1, quatre modes de gestion ont été adoptés dans les parcs nationaux canadiens pour répondre au changement climatique (résumés par Scott et Lemieux, 2003). Il est probable que la gestion adaptative (ou la gestion mixte incluant certains aspects de la gestion adaptative) sera la plus largement appliquée. Ces deux modes de gestion incluront vraisemblablement des mesures pour maintenir aussi longtemps que possible les caractéristiques principales de conservation pour lesquelles les zones protégées concernées avaient initialement été désignées, en procédant par exemple à l'ajustement des limites et en élaborant des pratiques de gestion pour s'adapter au changement climatique. L'expérience acquise montre que les stratégies d'intervention porteront généralement sur des espèces spécifiques, mais ce choix ne doit pas faire obstacle à l'objectif plus scientifique et plus durable d'une conservation globale de la diversité biologique en Europe.

Type de gestion	Description du type de gestion
Statique	Gestion et protection courantes des habitats et des espèces présentes à l'intérieur des limites actuelles des zones protégées, en utilisant les objectifs établis et sans remise en cause du <i>statu quo</i> .
Passif	Acceptation des réponses écologiques au changement climatique et non intervention dans les processus évolutifs.
Adaptatif	Maximalisation de la capacité des habitats et des espèces à s'adapter au changement climatique par le biais d'une gestion active (suppression des incendies, translocation d'espèces ou suppression d'espèces envahissantes), en vue de ralentir le rythme du changement écologique ou d'orienter celui-ci vers un état mieux adapté au climat.
Mixte	Une combinaison de deux ou plusieurs types de gestion cités précédemment.

Tableau 1. Quatre types de gestion possibles des zones protégées pour faire face au changement climatique. Ces approches ont été élaborées pour les parcs nationaux canadiens (Scott et Lemieux, 2003).

L'Europe possède de précieux réseaux internationaux de zones protégées (réseau Natura 2000 et Emeraude) auxquels il faut ajouter les zones protégées à l'échelon national. Il convient désormais d'analyser l'impact probable du changement climatique sur chacune des zones protégées. Un tel travail a été effectué pour les parcs nationaux canadiens (Scott et Suffling, 2000), soulignant l'importance de l'élévation du niveau de la mer pour les nombreux parcs situés sur la zone côtière. En Europe, bien que la zone côtière soit importante, ce sont également les zones montagneuses et de haute altitude, ainsi que le nord de l'Arctique, qui méritent peut-être le plus d'attention. Ces réflexions nous conduisent à formuler une autre recommandation.

- Évaluer chaque zone protégée en fonction de l'impact éventuel du changement climatique et, à la lumière de cette évaluation, examiner les méthodes de gestion et toutes les révisions nécessaires de la limite de la zone concernée. L'évaluation conduira à se demander si la zone protégée concernée conserve (ou conservera) ou non ce qu'elle était censée conserver. Cette tâche n'est pas toujours simple, compte tenu notamment de la variation annuelle de la taille des populations et des modifications à plus long terme de la qualité des habitats. De telles évaluations sont désormais devenues courantes (par exemple Parrish *et al.*, 2003). Des consignes et pratiques de gestion à mettre en oeuvre dans la lutte contre les impacts du changement climatique devront être élaborées pour chaque zone protégée.

4.5. Gérer la diversité biologique de l'Europe dans un environnement plus large

Les zones protégées ne sont qu'une méthode cherchant à protéger la diversité biologique de l'Europe. Bien que la conservation de la diversité biologique soit l'objectif premier de la gestion des zones protégées, celles-ci ne couvriront jamais qu'une partie assez faible des espaces terrestres et aquatiques de l'Europe et ne contiendront en conséquence qu'une petite proportion de ses ressources biologiques. Il est donc essentiel que la diversité biologique soit également prise en compte dans les espaces terrestres et aquatiques situés à l'extérieur des zones protégées. À cet égard, des formes de gestion intégrée doivent être adoptées pour que la diversité biologique ne soit pas oubliée au profit des autres pressions concurrentes s'exerçant sur les ressources terrestres ou marines.

L'une des premières conditions à remplir est de compiler les informations sur la meilleure façon de gérer la diversité biologique dans le contexte du changement climatique. Ce travail s'appuiera sur les connaissances acquises par les chercheurs, par l'observation ou l'expérimentation, sans oublier que dans certaines parties de l'Europe, les savoirs traditionnels peuvent également être utiles et qu'il convient que tout responsable de l'aménagement du territoire les prenne en compte. Par ailleurs, des efforts ont été déployés pour unifier les différentes lignes directrices mises au point sur les pratiques optimales, que ce soit dans un pays, ou pour un domaine sectoriel particulier. Citons par exemple les lignes directrices élaborées en

Finlande sur la gestion pratique des forêts (Korhonen *et al.*, 1998), et qui intègrent des préoccupations concernant l'environnement, les besoins de la production forestière, l'utilisation des forêts pour les loisirs, la protection de la qualité des sols et de l'eau, et la gestion des espèces de gibier. Elles sont l'exemple même de ce qui peut être obtenu lorsque tous les groupes d'intérêt œuvrent ensemble pour atteindre l'objectif commun de l'utilisation durable des ressources de la biodiversité. À ce titre, il serait judicieux de préparer des lignes directrices sur les pratiques optimales afin de gérer tous les aspects de la diversité biologique de l'Europe.

Il est également important d'intégrer la notion de conservation de la diversité biologique dans toutes les formes d'élaboration de politiques relatives non seulement à l'environnement mais également à l'éducation, la santé, l'énergie, le tourisme et le transport. Cette approche environnementale plus large de la conservation de la diversité biologique permet probablement de protéger une plus grande partie des ressources biologiques de l'Europe contre les effets du changement climatique et d'une manière plus efficace que celle reposant uniquement sur les zones protégées. Ces considérations nous conduisent à formuler deux nouvelles recommandations.

8. Etudier et appliquer les diverses formes de gestion intégrée en y intégrant la nécessité de conserver la diversité biologique, et ce pour toutes les utilisations des espaces terrestres, d'eau douce et maritimes.
9. Intégrer la conservation de la diversité biologique dans toutes les formes d'élaboration de politiques, tant au plan régional qu'au plan national ou international, afin de promouvoir l'utilisation durable de toutes les ressources de la diversité biologique.

Pour faciliter la mise en œuvre de ces processus, certains auteurs (Hadley, 2000) préconisent de recourir à l'« approche écosystémique », parfois dénommée « approche fondée sur l'écosystème ». Celle-ci définit une série de douze principes, dont certains sont à caractère scientifique, et qui forment un cadre socio-économique de référence en matière de conservation de la diversité biologique. Le principe numéro cinq, axé sur les services écosystémiques, stipule que « conserver la structure et la dynamique de l'écosystème, pour préserver les services qu'il assure, devrait être un objectif prioritaire de l'approche systémique. » Selon le principe numéro dix, « l'approche écosystémique devrait rechercher l'équilibre approprié entre la conservation et l'utilisation de la diversité biologique ». L'approche écosystémique étant encore relativement nouvelle, les occasions pour en mettre au point les détails ont été jusqu'ici très rares. Nous formulerons donc une autre recommandation :

10. Appliquer de manière expérimentale l'approche écosystémique (ou approche fondée sur l'écosystème) à un certain nombre de situations en Europe afin d'estimer sa capacité d'harmoniser la gestion des terres et des eaux au profit des personnes et de la vie sauvage.

Ces concepts ont été implicitement intégrés dans la *Convention sur la diversité biologique*, dont le texte définitif a été adopté lors d'une conférence organisée en mai 1992 à Nairobi (Kenya). En l'espace d'un an, cette Convention a reçu 168 signatures. Entrée en vigueur le 29 décembre 1993, sa mise en application dans la plupart des pays du globe, y compris l'ensemble des pays européens, fait l'objet d'une intense activité internationale.

4.6. Suivi et indicateurs

Le suivi (ou la surveillance) consiste à enregistrer régulièrement les données afin de pouvoir dégager des tendances, et à évaluer les progrès accomplis pour atteindre un objectif prévu. En fait, il ne sert fréquemment qu'à évaluer les ressources existantes et les fluctuations quantitatives de ces ressources. Les indicateurs sont des mesures contrôlées régulièrement de l'état de l'environnement, des pressions exercées sur l'environnement ou des réactions humaines aux changements de cet état. Ces trois facteurs sont souvent désignés sous le nom de « modèle pression-état-réaction » (Wilson *et al.*, 2003). Il est fréquent que les indicateurs d'état soient plus faciles à trouver que les indicateurs de pression ou de réaction.

Le suivi de la vie sauvage existe de longue date. Des tentatives intéressantes de coordonner les activités de suivi ont été notées, par exemple, dans les pays nordiques (From et Söderman, 1997). Leur but était de « surveiller la diversité biologique et son évolution progressive au moyen de mécanismes applicables et appropriés, et de suivre la relation de cause à effet entre la pression et la réaction sur la diversité biologique en utilisant des indicateurs biologiques spécifiques. »

Les conséquences qui découlent de ces objectifs sont au nombre de cinq. Premièrement, le programme excluait les aspects chimiques et physiques du suivi de l'environnement. Deuxièmement, il mettait l'accent sur les écosystèmes et les espèces, et les données devaient être analysées d'une manière aussi simple que possible pour que les informations quantitatives et qualitatives produites soient appropriées. Troisièmement, il était également axé sur les changements de nature anthropogénique, les analyses s'efforçant de les distinguer des changements naturels. Quatrièmement, le programme incluait les espèces et les habitats menacés dans le but de mieux connaître leur disparition ou leur extinction. Enfin, le suivi ne comprenait pas d'indicateurs de performance administrative, bien qu'il ait été en mesure de fournir des informations importantes pour leur compréhension. Le problème principal de ce programme de suivi dans les pays nordiques est qu'il ne concerne que le milieu terrestre, ce qui inclut néanmoins les habitats côtiers et humides. Une attention plus soutenue devrait être accordée au milieu marin.

Le suivi est largement recommandé. Par exemple, l'association BirdLife (2000) a déclaré qu'elle souhaitait « suivre et rendre compte des progrès accomplis dans la conservation des oiseaux, sites et habitats du globe », mais qu'elle désirait également suivre l'efficacité du travail effectué pour atteindre les objectifs fixés dans sa stratégie. Il y a tant d'espèces, etc., qui pourraient être suivies qu'il est fondamental d'identifier précisément celles qui doivent l'être. Burke (2004), par exemple, a indiqué que les espèces occupant ce qu'elle a appelé des « habitats spéciaux » pourraient fournir les indicateurs les plus valables du changement climatique.

La surveillance est un autre élément indispensable de la sauvegarde de la diversité biologique. Comme nous l'avons vu dans la section 3.9, les changements climatiques pourraient avoir de profondes implications en matière d'arrivée d'espèces allogènes en Europe, avec les conséquences néfastes que l'on imagine sur la diversité biologique du continent. Cela souligne tout l'intérêt des systèmes d'alerte précoce étant donné qu'il est bien plus facile et moins cher de contrôler ou d'éradiquer les espèces allogènes quand elles sont peu nombreuses ou quand elles occupent une aire géographique très limitée. De même, la surveillance permet de déceler les changements de comportement des espèces migratoires (section 3.8). S'il est difficile, voire impossible, de prendre des mesures de gestion susceptibles de rétablir le comportement originel, il est possible d'envisager une assistance aux espèces migratoires menacées d'une façon ou d'une autre par le changement climatique.

Usher (1991) a posé cinq questions sur le suivi, liées à la finalité (quels sont les objectifs ?), les méthodes à utiliser (les objectifs peuvent-ils être atteints ?), la forme de l'analyse (comment les données seront-elles analysées statistiquement et stockées pour une utilisation ultérieure ?), l'interprétation (quelle pourrait être la signification des données et peuvent-elles être interprétées et communiquées d'une manière objective ?), et l'exécution (quand les objectifs ont-ils été atteints ?). Il est impératif de poser ces cinq questions et d'y répondre avant de mettre en œuvre un plan de suivi. En effet, les programmes de suivi *ad hoc* pourraient fournir des données ne pouvant pas faire l'objet d'une analyse statistique, ce qui pourrait jeter un doute sur les tendances obtenues, etc.

Le suivi fait l'objet d'un certain nombre d'activités au plan international. Ainsi, le Système mondial d'observation terrestre (SMOT), géré par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), comprend une hiérarchie d'échelles spatiales et intègre un nombre considérable de sites de surveillance des écosystèmes terrestres (TEMS). Le système SMOT utilise un module de diversité biologique qui inclut sept variables de base permettant d'orienter la mise en œuvre du programme (espèces menacées, richesse des espèces, espèces pollinisatrices, espèces indicatrices, fragmentation de l'habitat, conversion de l'habitat et colonisation par les espèces envahissantes). La corrélation entre les programmes apparentés, tels que le Système mondial d'observation des océans (SMOO) et le Système mondial d'observation du climat (SMOC), doit être clarifiée, mais l'ensemble de ces systèmes forme un réseau de surveillance important.

Afin de réduire la quantité de travail requise, l'usage d'indicateurs est souvent préconisé. Pour être valables, les indicateurs doivent, dans l'absolu, répondre à au moins quatre critères (adaptés de Wilson *et al.*, 2003). Premièrement, ils doivent faire apparaître l'état des plus grands écosystèmes dont ils font partie. Deuxièmement, ils doivent avoir la capacité de s'adapter à la mise en œuvre des politiques de conservation de la diversité biologique. Troisièmement, ils doivent pouvoir être mesurés de manière fiable et périodique (pas nécessairement annuelle), et être comparables à des mesures analogues propres à des échelles géographiques plus importantes. Quatrièmement, leur impact réel ou potentiel sur le public doit être fort. Enfin, et cela pourrait être un critère supplémentaire, les indicateurs doivent nous aider à mieux comprendre la durabilité (Carruthers et Tinning, 2003).

Ces réflexions nous conduisent à formuler trois autres recommandations.

11. Mettre en œuvre sans restriction les réseaux de suivi dans l'ensemble des pays européens. Collecter et analyser les données sur l'état de la diversité biologique de l'Europe, sur les moteurs du changement, et sur l'efficacité des réponses à ces changements, et exploiter ces résultats pour élaborer les futures politiques européennes et nationales en matière de diversité biologique.
12. Mettre en œuvre des réseaux de surveillance chargés de détecter l'arrivée (ou la présence) d'espèces allogènes et de changements dans le comportement des espèces migratoires de faune. À partir de cette surveillance, mener des programmes de contrôle ou d'éradication des espèces allogènes et, si possible, assister les espèces migratoires.
13. Concevoir et adopter une série d'indicateurs destinés à évaluer l'impact de l'évolution du climat sur la diversité biologique, entreprendre leur suivi et rendre les résultats disponibles dans un format (ou des formats) facilitant l'information du public, des éducateurs, des décideurs et des gouvernants.

5. Conclusions et recommandations

La diversité biologique n'est pas le concept le plus facile à saisir. Sur le plan biologique, elle se situe à trois échelles : la variation entre les espèces (diversité génétique), la variation entre les espèces (diversité des espèces) et la variation entre les assemblages d'espèces (diversité de l'habitat). Si la diversité de l'habitat dans les milieux terrestres, d'eau douce et marins se mesure probablement en milliers d'habitats, la diversité des espèces se mesure en dizaines ou en centaines de milliers d'espèces, et la diversité génétique en millions, voire en milliards de gènes. Quant à la diversité génétique, elle se mesure vraisemblablement en millions de gènes, voire plus. Tous ces éléments peuvent être influencés par un changement climatique. Sur le plan géographique, la diversité biologique peut être étudiée à de nombreux niveaux très différents allant de la plante ou de l'animal (et leurs abords immédiats) à l'ensemble de la planète. Là encore, un changement climatique peut avoir un impact sur chacun de ces niveaux, l'impact ressenti à un niveau pouvant être différent de celui s'exerçant à un autre niveau.

C'est là que réside la difficulté de conserver la diversité biologique de l'Europe. Les niveaux étant multiples, quelles sont les priorités ? L'accent doit-il être mis en priorité sur les habitats, les espèces ou les gènes ? Parmi les nombreuses échelles spatiales, lesquelles sont les plus importantes ? Sachant que tous les aspects de la diversité biologique ne peuvent pas être conservés, il faut accorder la priorité aux programmes de gestion qui peuvent conserver la plus grande quantité de diversité biologique ou, dans certaines situations, la plus grande quantité de diversité biologique utile. Cependant, pour définir ces priorités, il faut disposer d'informations sur l'état actuel de la diversité biologique, sur la manière dont elle change et, au moyen de modèles, sur la manière dont elle pourrait changer. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les recommandations de la section 4, et leur prise en compte devrait contribuer dans le futur à la conservation de la diversité biologique en Europe. De plus, dans ce contexte, une autre recommandation peut être faite

14. Mener une vaste étude scientifique paneuropéenne sur les impacts de l'évolution du climat sur la diversité biologique de l'Europe et sur l'utilisation des terres, des eaux douces et des mers de l'Europe. Cette étude devra également analyser les implications de tous ces facteurs pour la société humaine, l'économie et la santé.

Une étude de l'impact du changement climatique sur les personnes, la vie sauvage et l'environnement de l'Arctique – l'Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique (www.acia.uaf.edu), s'est récemment achevée; les six pays d'Europe qui ont un territoire arctique (le Danemark [Groenland], la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Russie et la Suède) y ont participé. Il n'existe pas d'évaluation similaire pour l'Europe, et il serait utile d'y intégrer le savoir des chercheurs et des sociologues des divers pays du continent. Le changement climatique ne manquera certainement pas d'affecter les modes d'utilisation des sols et des ressources en eau des Européens, et il importe par conséquent de comprendre comment ces utilisations affecteront la diversité biologique et, à l'inverse, comment la diversité biologique peut influencer sur les choix des personnes en matière d'utilisation des sols et des eaux.

Ces quatorze recommandations, liées explicitement ou implicitement à la Convention de Berne, sont énumérées dans le tableau 2.

Numéro	Section	Bref résumé des recommandations
1	4.2	Former des taxonomistes pour dresser les inventaires des espèces européennes moins connues, tels que les plantes non vasculaires, les animaux invertébrés, les champignons et les micro-organismes (protozoaires, bactéries, etc.).
2	4.2	Établir les inventaires de la diversité biologique de l'Europe (des espèces et des habitats). Pour chaque espèce inscrite dans un inventaire, on indiquera les lieux où elle est présente, la taille de ses populations ou les limites de leurs habitats.
3	4.2	Évaluer les espèces et les habitats que ces inventaires auront placés au rang de priorités nationales ou internationales en raison de leurs réactions au changement climatique.
4	4.2	Améliorer la connaissance de la diversité génétique de nombreuses espèces qui sont actuellement peu connues (voire inconnues). L'étude de cet aspect de la diversité biologique exigera un travail de recherche considérable, et la gestion de la conservation devra veiller à ce que la diversité génétique subisse peu ou pas de pertes.
5	4.3	Savoir tirer parti de la succession écologique, et non l'empêcher, dans le travail de gestion de la diversité biologique en Europe. Intégrer cette idée dans tous les aspects de la gestion de la diversité biologique des milieux marins, d'eau douce et terrestres, mais surtout dans les zones protégées.

6	4.3	Perfectionner les modèles qui peuvent être utilisés pour étudier les évolutions de la diversité biologique en fonction des divers scénarios de changement climatique. Entreprendre les recherches nécessaires pour produire les données qui permettront de paramétrer les modèles pour les principaux habitats et espèces.
7	4.4	Évaluer chaque zone protégée en fonction de l'impact éventuel du changement climatique et, à la lumière de cette évaluation, passer en revue les méthodes de gestion et toutes les révisions nécessaires de la limite de la zone concernée. L'évaluation conduira à se demander si la zone protégée concernée conserve (ou conservera) ou non ce qu'elle était censée conserver. Des consignes et pratiques de gestion à mettre en oeuvre dans la lutte contre les impacts du changement climatique devront être élaborées pour chaque zone protégée.
8	4.5	Etudier et mettre en oeuvre les diverses formes de gestion intégrée en y intégrant la nécessité de conserver la diversité biologique, et ce, pour toutes les utilisations des espaces terrestres, d'eau douce et maritimes.
9	4.5	Intégrer la conservation de la diversité biologique dans toutes les formes d'élaboration de politiques, tant au plan régional qu'au plan national ou international, dans le but de parvenir à une utilisation durable de toutes les ressources de la diversité biologique.
10	4.5	Appliquer de manière expérimentale l'approche écosystémique (ou approche fondée sur l'écosystème) à un certain nombre de situations en Europe afin d'évaluer sa capacité d'harmoniser la gestion des terres et des eaux au profit des personnes et de la vie sauvage.
11	4.6	Mettre en oeuvre sans restriction les réseaux de suivi dans l'ensemble des pays européens. Collecter et analyser les données sur l'état de la diversité biologique de l'Europe, sur les moteurs du changement, et sur l'efficacité des réponses à ces changements, et exploiter ces résultats pour élaborer les futures politiques européennes et nationales en matière de diversité biologique.
12	4.6	Mettre en oeuvre des réseaux de surveillance chargés de déceler l'arrivée (ou la présence) d'espèces allogènes et de changements dans le comportement des espèces migratoires de faune. A partir de cette surveillance, mener des programmes de contrôle ou d'éradication des espèces allogènes et, si possible, assister les espèces migratoires.
13	4.6	Concevoir et adopter une série d'indicateurs destinés à évaluer l'impact de l'évolution du climat sur la diversité biologique, entreprendre leur suivi et rendre les résultats disponibles dans un format (ou des formats) facilitant l'information du public, des éducateurs, des décideurs et des gouvernants.
14	5	Mener une vaste étude scientifique paneuropéenne sur les impacts de l'évolution du climat sur la diversité biologique de l'Europe et sur l'utilisation des terres, des eaux douces et des mers de l'Europe. Cette étude devra également analyser les implications de tous ces facteurs pour la société humaine, l'économie et la santé.

Tableau 2. Résumé des quatorze recommandations formulées dans la section 4 du présent document. Le numéro de la section dans laquelle la recommandation est formulée (avec de plus amples détails) figure dans la deuxième colonne.

De nombreuses recommandations figurant dans le tableau 2 pourraient étayer les conclusions d'une étude appuyée par le Centre mondial de la conservation de la nature et d'autres organisations (Anon., 1999). Selon elle, « le changement climatique est déjà en train de se produire et son impact est désormais visible sur la vie sauvage et les habitats. Les politiques et approches actuelles de la conservation de la nature doivent être élargies pour faire face au changement climatique. » L'Europe a clairement besoin d'élaborer des stratégies pour résoudre les problèmes posés par l'impact du changement climatique sur la diversité biologique du continent, et ces stratégies exigeront des approches différentes de celles utilisées dans le passé.

6. Remerciements

Je tiens à remercier Helmut Belanyecz, Nicola Crockford, Noranne Ellis, Niklas Frank, Horst Korn, Fred Last, Magdalena Muir, Gabriele Obermayr, Dandu Pughiuc et Gianluca Silvestrini pour leurs précieux commentaires.

7. Références

- Anonymous (1999). *No Place to Go: the Impact of Climate Change on Wildlife*. Royal Society for the Protection of Birds, World Wildlife Fund, English Nature, World Conservation Monitoring Centre and ERM.
- Anonymous (2000). *Climate Change: UK Farmland Birds in the Global Greenhouse*. Royal Society for the Protection of Birds, Sandy.
- Anonymous (2003). *Measuring Biodiversity for Conservation: Policy Document 11/03*. The Royal Society, London.
- Badeck, F.-W., Bondeau, A., Böttcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J. & Sitch, S. (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, **162**, 295-309.
- Beier, C. (2004). Climate change and ecosystem function – full-scale manipulations of CO₂ and temperature. *New Phytologist*, **162**, 243-244.
- Björn, L.O., Callaghan, T.V., Gehrke, C., Gwynn-Jones, D., Holmgren, B., Johanson, U. & Sonesson, M. (1997). Effects of enhanced UV-B radiation on subarctic vegetation. In *Ecology of Arctic Environments*, ed. by S.J. Woodin & M. Marquiss. Blackwell, Oxford. pp. 241-253.
- Bouchet, P., Falkner, G. & Seddon, M.B. (1999). Lists of protected land and freshwater molluscs in the Bern Convention and European Habitats Directive: are they relevant to conservation? *Biological Conservation*, **90**, 21-31.
- Burke, A. (2004). From plains to inselbergs: species in special habitats as indicators for climate change? *Journal of Biogeography*, **31**, 831-841.
- Carruthers, G. & Tinning, G. (2003). Where, and how, do monitoring and sustainability indicators fit into environmental management systems? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **43**, 307-323.
- CBD (2000). *Convention on Biological Diversity: Text and Annexes*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- CBD (2003). Interlinkages between biological diversity and climate change: advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. *CBD Technical Series*, No. 10.
- Crawford, R.M.M. (1995). Plant survival in the High Arctic. *Biologist*, **42**, 101-105.
- Crawford, R.M.M. & Abbott, R.J. (1994). Pre-adaptation of Arctic plants to climate change. *Botanica Acta*, **107**, 271-278.
- Crozier, L. (2004). Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship. *Ecology*, **85**, 231-241.
- Danovaro, R., Dell'Anno, A. & Pusceddu, A. (2004). Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters*, **7**, 821-828.
- Diamond, J.M. (1975). The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of nature reserves. *Biological Conservation*, **7**, 129-146.
- Dockerty, T., Lovett, A. & Watkinson, A. (2003). Climate change and nature reserves: examining the potential impacts, with examples from Great Britain. *Global Environmental Change*, **13**, 125-135.
- Doughty, C.R., Boon, P.J. & Maitland, P.S. (2002). The state of Scotland's fresh waters. In *The State of Scotland's Environment and Natural Heritage*, ed. by M.B. Usher, E.C. Mackey & J.C. Curran. The Stationery Office, Edinburgh. pp. 117-144.
- Dullinger, S., Dirnböck, T. & Grabherr, G. (2004). Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. *Journal of Ecology*, **92**, 241-252.
- Elton, C.S. (1958). *The Ecology of Invasions by Plants and Animals*. Methuen, London.
- European Commission (1996). *Natura 2000: Interpretation Manual of European Union Habitats (EUR15 Version)*. DGXI – Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, European Commission, Brussels.
- From, S. & Söderman, G. (1997). *Monitoring Nature Scheme: Guidelines to monitor Terrestrial Biodiversity in Nordic Countries*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Gamache, I. & Payette, S. (2004). Height growth and response of tree line black spruce to recent climate warming across the forest-tundra of eastern Canada. *Journal of Ecology*, **92**, 835-845.
- Green, R.E., Harley, M., Spalding, M. & Zöckler, C. (eds.) (2001). *Impacts of Climate Change on Wildlife*. Royal Society for the Protection of Birds, Sandy.
- Groombridge, B. (editor). (1992). *Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources*. Chapman & Hall, London.
- Haak, R.A. (1996). Will global warming alter paper birch susceptibility to bronze birch borer attack? In *Dynamics of Forest Herbivory: Quest for Pattern and Principle*, ed. by W.J. Mattson, P. Niemila & M. Rossi. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul. pp. 234-247.
- Hadley, M. (ed.) (2000). *Solving the Puzzle: the Ecosystem Approach and Biosphere Reserves*. UNESCO, Paris.
- Halpern, B.S. & Warner, R.R. (2002). Marine reserves have rapid and lasting effects. *Ecology Letters*, **5**, 361-366.
- Harris, L.D. (1984). *The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity*. University of Chicago Press, Chicago.
- Harrison, P.A., Berry, P.M. & Dawson, T.E. (eds.) (2001). *Climate Change and Nature Conservation in Britain and Ireland: MONARCH – Modelling Natural Resource Responses to Climate Change*. UK Climate Impacts Programme, Oxford.
- Hassol, S.J. (2004). *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Heikinheimo, M. & Lappalainen, H. (1992). The effect of climate on the phenology of perennial plant species. In *The Finnish Research Programme on Climate Change: Progress Report*, ed. by M. Kanninen & P. Antilla. Academy of Finland, Helsinki. pp. 168 – 173.
- Hepper, F.N. (2003). Phenological records of English garden plants in Leeds (Yorkshire) and Richmond (Surrey) from 1946 to 2002. An analysis relating to global warming. *Biodiversity and Conservation*, **12**, 2503-2520.
- Hewitt, G. (1999). Post-glacial re-colonisation of European biota. *Biological Journal of the Linnean Society*, **68**, 87-112.
- Hewitt, G. (2000). The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature*, **405**, 907-913.
- Heywood, V.H. (editor) (1995). *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Higgins, S.I. and 8 others (2003). Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology*, **91**, 341-347.
- Hill, J.K. and 6 others (2002). Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society of London*, **B269**, 2163-2171.
- Hill, M.O. and 8 others (1999). Climate change and Scotland's natural heritage: an environmental audit. *Scottish Natural Heritage Research Survey and Monitoring Report No. 132*.
- Hiscock, K., Southward, A., Tittley, I., Jory, A. & Hawkins, S. (2001). *Impacts of Climate Change on Seabed Wildlife in Scotland*. Marine Biological Association, Plymouth, and Scottish Natural Heritage, Perth.
- Holten & Carey (1992). *Responses of Climate Change on Natural Terrestrial Ecosystems in Norway*. Norsk Institutt for Naturforskning, Trondheim.
- Hossell, J.E., Briggs, B. & Hepburn, I.R. (2000). *Climate Change and UK Nature Conservation: a Review of the Impact of Climate Change on UK Species and Habitat Conservation Policy*. Department of the Environment, Transport and the Regions, London.
- Irmeler, U., Heller, K, Meyer, H. & Reinke, H.-D. (2002). Zonation of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneida) in salt marshes at the North and the Baltic Sea and the impact of the predicted sea level increase. *Biodiversity and Conservation*, **11**, 1129-1147.
- IUCN (1991). *Protected Areas of the World; A Review of National Systems. Volume 2, Palaearctic*. IUCN – The World Conservation Union, Gland.
- IUCN (1994). *IUCN Red List Categories*. IUCN – The World Conservation Union, Gland.
- Kingsland, S. (2002). Designing nature reserves: adapting ecology to real-world problems. *Endeavour*, **26**, 9-14.
- Korhonen, K.-M., Laamanen, R. & Savonmäki, S. (eds.) (1998). *Environmental Guidelines to Practical Forest Management*. Matsähallitus, Helsinki.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (eds.) (1996). *Climate Change and Finland: Summary of the Finnish Research Programme on Climate Change (SILMU)*. The Academy of Finland, Helsinki.
- Last, F., Roberts, A. & Patterson, D. (2003). Climate change? A statistical account of flowering in East Lothian: 1978 – 2001. In *East Lothian 1945 – 2000: Fourth Statistical Account. Volume One: The County*, ed. by S. Baker. East Lothian Council Library Service, Haddington. pp. 22-29.
- Luck, G.W., Daily, G.C. & Ehrlich, P.R. (2003). Population diversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*, **18**, 331-336.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Mackey, E.C., Shaw, P., Holbrook, J., Shewry, M.C., Saunders, G., Hall, J. & Ellis, N.E. (2001). *Natural Heritage Trends: Scotland 2001*. Scottish Natural Heritage, Perth.
- Madsen, J., Cracknell, G. & Fox, T. *editors) (1999). *Goose Populations of the Western Palearctic: a Review of Status and Distribution*. Wetlands International, Wageningen and National Environmental Research Institute, Rønde.
- McKenzie, D., Gedalof, Z., Peterson, D.L. & Mote, P. (2004). Climate change, wildfire, and conservation. *Conservation Biology*, **18**, 890-902.
- Nagy, L., Thompson, D., Grabherr, G. & Körner, C. (2003). *Alpine Biodiversity in Europe: an Introduction*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Oswald, W.W., Brubaker, L.B., Hu, F.S., & Kling, G.W. (2003). Holocene pollen records from the central Arctic Foothills, northern Alaska: testing the role of substrate in the response of tundra to climate change. *Journal of Ecology*, **91**, 1034-1048.
- Parmesan, C. and 12 others (1999). Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, **399**, 579-583.
- Parrish, J.D., Braun, D.P. & Unnasch, R.S. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, **53**, 851-860.
- Pearce, F. (2004). Kyoto won't stop climate change. *New Scientist*, **184**, 6-7.
- Rey, A. & Jarvis, P.G. (1997). An overview of long-term effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on the growth and physiology of birch (*Betula pendula* Roth.). *Botanical Journal of Scotland*, **49**, 325-340.
- Rhind, P. (2003). Britain's contribution to global conservation and our coastal temperate rainforest. *British Wildlife*, **15**, 97-102.
- Roberts, A.M.I., Last, F.T. & Kempton, E. (2002). Preliminary analyses of changes in the first flowering dates of a range of plants between 1978 and 2001. *Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 035*.
- Rosentrater, L. & Ogden, A.E. (2003). Building resilience in Arctic ecosystems. In *Buying Time: a User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems*, ed. by L.J. Hansen, J.L. Biringer & J.R. Holfman. WWF, Berlin. pp. 95-121.
- Saunders, D.A. & Hobbs, R.J. (1991). *Nature Conservation 2: the Role of Corridors*. Surrey Beatty, Chipping Norton (NSW).
- Schreiber, E.A. (2002). Climate and weather effects on seabirds. In *Biology of Marine Birds*, ed. by E.A. Schreiber & J. Burger. CRC Press, Boca Raton. pp. 179-216.
- Scott, D. & Suffling, R. (2000). *Climate Change and Canada's National Park System: a Screening Level Assessment*. Adaptation and Impacts Research Group, Environment Canada, Hull and University of Waterloo, Waterloo.
- Scott, D. & Lemieux, C.J. (2003). *Vegetation Response to Climate Change: Implications for Canada's Conservation Lands*. Environment Canada, Toronto.

- Seppola, A.-L. (2001). Protected areas in northern Fennoscandia: an important corridor for taiga species. In *Arctic Flora and Fauna: Status and Conservation*, ed. By CAFF. Edita, Helsinki. P. 82, box 25.
- Sheail, J. (1998). *Nature Conservation in Britain: the Formative Years*. The Stationery Office, London.
- Starfield, A.M. & Bleloch, A.L. (1986). *Building Models for Conservation and Wildlife Management*. Macmillan, New York and Collier Macmillan, London.
- Thompson, D. & Byrkjedal, I. (2001). *Shorebirds*. Colin Baxter Photography, Grantown-on-Spey.
- Usher, M.B. (1991). Scientific requirements of a monitoring programme. In *Monitoring for Conservation and Ecology*, ed. By F.B. Goldsmith. Chapman & Hall, London. pp. 15-32.
- Usher, M.B. (2000). The nativeness and non-nativeness of species. *Watsonia*, **23**, 323-326.
- Usher, M.B. (2002a). Scotland's biodiversity: trends, changing perceptions and planning for action. In *The State of Scotland's Environment and Natural Heritage*, ed. by M.B. Usher, E.C. Mackey & J.C. Curran. The Stationary Office, Edinburgh. pp. 257-269.
- Usher, M.B. (2002b). An archipelago of islands: the science of nature conservation. *Scottish Natural Heritage Occasional Paper No. 10*.
- Usher, M.B. and 7 others (in press). Principles of conserving the Arctic's biodiversity. In *Arctic Climate Impacts Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Voigt, W. and 11 others (2003). Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology*, **84**, 2444-2453.
- Williamson, M. (1996). *Biological Invasions*. Chapman & Hall, London.
- Wilson, J. and 7 others (2003). *Towards a Strategy for Scotland's Biodiversity: Developing Candidate Indicators of the State of Scotland's Biodiversity*. Scottish Executive Environment and Rural Affairs Department Paper 2003/6, Edinburgh.