

# Adaptation aux changements planétaires

*La transformation profonde des milieux naturels, aujourd'hui manifeste, n'est pas due aux forces de la nature ni à des sources extra-terrestres, mais à la croissance démographique et aux activités humaines – un phénomène appelé « changements planétaires » (Steffen et al., 2004).*

*Les implications des changements planétaires pour l'environnement et la société dépendront non seulement de la réponse de la planète à l'évolution des forçages radiatifs, mais également de la façon dont les hommes répondront à celle-ci en modifiant leurs technologies, leurs économies, leurs modes de vie et leurs politiques (Moss et al., 2010).*

Récemment encore, la conservation de la biodiversité reposait sur l'hypothèse selon laquelle nous vivions dans un monde dynamique, mais lent à évoluer. Cette hypothèse doit être reconsidérée au vu du rythme rapide de l'évolution que subit actuellement notre planète. Les principaux aspects de ces changements sont récapitulés dans l'Encadré 14.1 et sont désignés collectivement par le terme *changements planétaires*. Aujourd'hui, le changement climatique suscite un vif intérêt chez les scientifiques ainsi qu'auprès du public, en raison de ses implications pour la sécurité alimentaire, la santé, l'économie aux échelles mondiale et nationale ainsi que nos modes de vie. Nous devons cependant prendre conscience du fait que d'autres aspects des changements planétaires, tels que la croissance démographique, l'évolution et la dégradation des habitats ou la déforestation, auront également un impact majeur sur le monde et interagiront aussi avec le changement climatique. Ce chapitre étudie tout d'abord les impacts du changement climatique sur la biodiversité, et en particulier sur les ESAPC, puis les effets des autres aspects des changements planétaires.

### **Encadré 14.1 Principaux aspects des changements planétaires**

#### **Évolution démographique**

- mouvements des populations humaines/migrations ;
- croissance démographique ;
- changement de régimes démographiques.

#### **Changement des modes d'utilisation des terres et des régimes de perturbations**

- déforestation ;
- dégradation, appauvrissement ou perte d'habitats ;
- perte de biodiversité.

#### **Changement climatique - tel que défini par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)**

- changement des températures ;
- changement atmosphérique (gaz à effet de serre : dioxyde de carbone, méthane, ozone et protoxyde d'azote).

#### **Autres facteurs liés au climat**

- répartition des dépôts d'azote ;
- dépôts de poussières au niveau mondial (poussières brunes et poussières jaunes, notamment) ;
- acidification des océans ;
- pollution atmosphérique dans les mégapoles.

## **Changement climatique et conservation de la biodiversité**

Depuis quelques années, l'accélération du changement climatique suscite un intérêt et des inquiétudes considérables, alimentés par une série de rapports tels que *The Economics of Climate Change* (Stern, 2007), les rapports du GIEC (GIEC, 2007) et *Confronting Climate Change : Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable* (Bierbaum *et al.*, 2007). Ces rapports, comme beaucoup d'autres conclusions scientifiques, laissent entrevoir que le changement climatique aura un impact négatif considérable sur notre mode de vie et sur la biodiversité à court, moyen et long termes. Les tendances actuelles et les prévisions relatives au changement climatique planétaire sont une source de préoccupation majeure dans divers domaines touchant à la biodiversité et à l'agrobiodiversité, à la planification de la conservation, ou aux domaines socio-économiques, écologiques et politiques.

Malgré le très grand nombre de preuves attestant du changement climatique, il reste des incertitudes majeures à élucider et des lacunes dans nos connaissances à combler (Schiermeier, 2010). Bien que les tendances générales mises en évidence au moyen des modèles de circulation générale (MCG) soient indéniables, la précision de leur résolution n'est que de 1 à 3 degrés de latitude et de longitude, et les détails sont loin d'être clairs aux échelles régionale et locale. L'utilisation de modèles bioclimatiques pour estimer les migrations probables des espèces pose également des problèmes, comme nous l'expliquons plus loin. Cela complique la planification des stratégies d'adaptation ou de compensation. Nous avons besoin d'estimations suffisamment précises des changements affectant la biodiversité pour pouvoir procéder aux ajustements nécessaires en matière de gestion et de conservation des populations. En réponse à ces problèmes, un ensemble de scénarios de nouvelle génération a été élaboré par Moss *et al.* (2010) à des fins d'étude et d'évaluation du changement climatique.

Un autre problème majeur est le fait que nous ne sachions pas avec précision jusqu'à quel point nous pouvons laisser les changements planétaires se poursuivre avant d'atteindre un point de basculement - ou, pour reprendre les termes d'une étude récente, avant de dépasser les limites des changements environnementaux que la planète peut supporter (Rockström *et al.*, 2009a, 2009b).

Nous disposons déjà de preuves tangibles de l'évolution phénologique récente – périodes d'éclosion des bourgeons, de floraison, de fructification, etc. – liée au changement climatique (Cleland *et al.*, 2007) ainsi que des changements affectant la répartition altitudinale des espèces et des communautés (voir par exemple Parolo et Rossi, 2007 ; Lenoir *et al.*, 2008). Si ces tendances se poursuivent ou s'accroissent, leur impact sur la biodiversité sera considérable.

D'innombrables études sur l'impact des changements planétaires – et plus précisément du changement climatique – ont déjà été publiées aux niveaux mondial, régional et national. L'impact de ces changements sur le cycle de développement des plantes a été particulièrement bien étudié dans certaines régions d'Europe (voir par exemple Thuiller *et al.*, 2005 ; MACIS, 2008 ; AEE/CCR/OMS, 2008 ; Berry, 2008 ; Araújo, 2009 ; Heywood, 2009), où l'on estime que près de la moitié des espèces végétales pourrait être menacée par le changement climatique. Comme nous le faisons remarquer plus loin, son impact sur les ESAPC a été très peu étudié.

L'évolution des températures, mais aussi du régime des précipitations, au cours des prochaines décennies risque d'affecter de nombreux processus biologiques, notamment la répartition des espèces. Les données d'observation et les données empiriques témoignent de l'évolution récente

### **Encadré 14.2 Conséquences du changement climatique en Arménie**

D'après le rapport de la Seconde communication nationale de l'Arménie à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) de 2009, les modèles du changement climatique prévoient que les températures annuelles dans le pays augmenteront de 1°C d'ici 2030, de 2°C d'ici 2070 et de 4°C d'ici 2100. Ils prévoient également que les précipitations diminueront de 3 %, 6 % et 9 %, respectivement. Ces conséquences peuvent affecter profondément les secteurs économiques qui dépendent du climat. Le changement climatique mondial et les changements microclimatiques internes sur le territoire arménien pourraient avoir les conséquences suivantes :

- La modélisation de la vulnérabilité des écosystèmes montagneux de l'Arménie vis-à-vis du changement climatique pour les 100 prochaines années prévoit que les limites entre les étages de végétation en montagne remonteront de 100 m à 150 m. La superficie des zones désertiques à semi-désertiques devrait augmenter de 33 %. La ceinture de steppe s'élargira de 4 % et remontera de 150 m à 200 m en altitude, ce qui entraînera une transformation des communautés végétales de la steppe. La limite inférieure de la ceinture de forêt remontera de 100 m à 200 m. La superficie de l'étage subalpin diminuera de 21 % et celle de l'étage alpin, de 22 % en moyenne.
- Compte tenu des prévisions de hausse des températures et de baisse des précipitations, il faut s'attendre à une augmentation de l'aridité climatique et à une intensification des processus de désertification.
- Dans le cas du scénario de changement climatique généralement accepté, le débit annuel des cours d'eau devrait diminuer de 15 % et le taux d'évaporation de la surface du Lac Sevan augmenter de 13 à 14 %.
- Compte tenu des prévisions relatives au changement des conditions climatiques, les rendements agricoles en Arménie devraient diminuer de 8 à 14 %. La productivité diminuera en moyenne de 9 à 13 % pour les céréales, de 7 à 14 % pour les cultures maraîchères, de 8 à 10 % pour les cultures de pommes de terre et de 5 à 8 % pour les cultures fruitières. La productivité des cultures viticoles, plus résistantes à la chaleur, pourrait augmenter de 8 à 10 %.

Source : *Climate Change Information Centre of Armenia* <http://www.nature-ic.am/en/consequences>

des distributions et de la répartition altitudinale des espèces ainsi que des changements phénologiques et de l'évolution des régimes de perturbations causés par le changement climatique. Les modèles prévoient une poursuite ou une intensification de ces phénomènes au cours des prochaines décennies, ce qui nous obligera à adapter nos stratégies actuelles de conservation de la biodiversité ou à en adopter de nouvelles. S'agissant des ESAPC, l'impact du changement climatique (et des autres aspects des changements planétaires) sur les aires protégées et la répartition des espèces sera critique.

Concernant les pays partenaires du projet ESAPC, les conséquences prévues du changement climatique en Arménie sont récapitulées dans l'Encadré 14.2, tandis que les prévisions relatives aux changements climatiques et aux réponses de l'environnement à Madagascar ont été présentées par Hannah *et al.* (2008). Virah-Swamy (2009) propose des stratégies pour le maintien de la biodiversité dans le contexte de changements planétaires à Madagascar.

### **Changement climatique et aires protégées**

La conservation *in situ* des ESAPC s'effectue principalement dans une forme ou une autre d'aire protégée, si bien que les effets des changements planétaires sur ces zones sont très préoccupants. Il est clair que les impacts attendus dans de nombreuses régions du monde nous obligent à repenser le rôle des aires protégées dans la conservation de la biodiversité. Si les limites administratives des aires protégées sont fixes, le paysage biologique ne l'est pas (Lovejoy, 2006). De toute évidence, il est difficile, pour un réseau fixe d'aires protégées, de s'adapter aux changements planétaires et il faut repenser entièrement la conception de ces zones pour assurer leur survie et leur efficacité. Le changement climatique a par conséquent des implications majeures non seulement pour les aires protégées, mais également pour la gestion et les responsables de ces zones (Schliep *et al.*, 2008). En règle générale, ceux-ci ont adopté des stratégies d'intervention minimale, mais le changement climatique va les obliger à réévaluer les objectifs de gestion, veiller au maintien de la santé des écosystèmes et prendre en compte les besoins de conservation des espèces cibles. Ils doivent se préparer à des interventions plus fréquentes et, parfois, de plus grande ampleur (Hagerman et Chan, 2009). Une stratégie complète doit avoir pour objectifs (Ervin *et al.*, 2010) :

- *L'amélioration des liaisons entre les aires protégées* : en créant des corridors biologiques permettant les mouvements d'espèces et les flux de gènes d'une aire protégée ou zone de conservation à l'autre ;
- *L'amélioration de la gestion des aires protégées* : en gérant mieux les aires protégées existantes, ainsi que d'autres habitats intacts, afin d'y garantir la survie des espèces ;

- *L'amélioration de la conception des aires protégées* : en veillant à ce que leur conception, leur aménagement et leur configuration contribuent à la survie des espèces et améliorent leur interconnexion avec les paysages environnants ;
- *L'amélioration de la gestion de la matrice environnante* : en encourageant les secteurs impliqués dans l'exploitation des ressources naturelles à adopter des pratiques ayant un impact positif (ou du moins n'ayant pas d'impact négatif) sur la conservation de la biodiversité et l'interconnexion des différentes zones ;
- *L'amélioration de l'interconnexion pour permettre aux espèces de migrer en réponse au changement climatique* : en veillant à ce que les espèces aient davantage d'options de migration et d'adaptation en réponse au changement climatique.

*Les aires protégées qui ont été créées pour protéger la biodiversité et les processus écologiques risquent d'être affectées par le changement climatique de différentes manières. D'après les modèles prévisionnels, le changement climatique forcera les espèces à migrer vers des zones présentant des températures et un régime de précipitations plus favorables. Il est très probable que des espèces concurrentes et parfois envahissantes, plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques, prennent leur place. Ces mouvements pourraient, dans certains cas, modifier l'ensemble d'habitats et d'espèces que les aires protégées étaient à l'origine censées protéger (Mansourian et al., 2009).*

Plusieurs rapports suggèrent que de nombreuses aires protégées enregistreront une perte d'espèces modérée à forte et que certaines pourraient subir des pertes d'espèces catastrophiques et ne seraient plus fonctionnelles. Cependant, les données probantes sont encore équivoques et risquent de le rester tant que persisteront les incertitudes quant à l'échelle et à l'ampleur du changement climatique et des autres changements planétaires. Par exemple, Araújo *et al.* (2004) ont évalué la capacité des méthodes actuelles de sélection des réserves à garantir la survie des espèces dans un contexte de changement climatique. Ils ont utilisé les répartitions de 1200 espèces végétales en Europe et considéré deux scénarios extrêmes de réponse au changement climatique : zéro dispersion et dispersion universelle. D'après les résultats, 6 à 11 % des espèces incluses dans le modèle risquent de disparaître des réserves étudiées, d'ici une cinquantaine d'années. Une étude de Hannah et Salm (2003) sur les besoins des aires protégées dans le contexte du changement climatique a conclu que ces zones pouvaient constituer une composante essentielle des stratégies de conservation dans l'hypothèse d'un changement climatique modéré et qu'il était à la fois plus efficace et moins coûteux d'adopter une attitude proactive que de ne rien faire ou de différer l'action. Dans les trois régions observées (Mexique, Région floristique du Cap en Afrique du Sud et

Europe de l'ouest), l'étude a montré que les aires protégées restent efficaces durant les stades précoces du changement climatique, tandis que la création de nouvelles aires protégées ou l'extension des zones actuelles assurerait la protection des espèces au cours des décennies et des siècles à venir.

Un rapport du Secrétariat de la CDB (2009) précise : « une évaluation des régions écologiques les plus menacées compte tenu des tendances actuelles et attendues du changement climatique tendrait à suggérer que la conservation de 10 % des régions écologiques constituerait une proportion trop faible pour empêcher de nouvelles extinctions d'espèces ».

### **Réponses probables des espèces au changement climatique**

De nombreux efforts ont été accomplis pour développer des outils d'aide à la prédiction des impacts du changement climatique sur la répartition future des plantes. Voici certaines des questions auxquelles nous devons répondre (Heywood, 2009) :

- Quelles espèces pourront suivre leurs enveloppes climatiques à mesure que celles-ci se déplaceront ?
- Lesquelles ne pourront pas migrer, et pourquoi (capacité de dispersion ou de reproduction insuffisante, manque de niches adaptées, etc.) ?
- Quelles seront les conditions physiques (climat, sol) de ces nouvelles enveloppes climatiques ?
- Quelles sont les sources d'espèces immigrantes potentielles (indigènes ou non-indigènes) pour de nombreuses régions – en d'autres termes, d'où viendront les espèces qui occuperont les nouveaux habitats ?
- À quoi ressemblera la diversité biotique - en d'autres termes, quel(le) s combinaisons ou assemblages d'espèces seront présent(e)s dans ces zones (plantes, animaux, micro-organismes, pollinisateurs, etc.) ?
- Les ensembles nouveaux (émergents) seront-ils capables d'assurer les mêmes services écosystémiques (pollinisateurs, notamment) que ceux qu'ils remplacent ?

En réponse au changement climatique, trois options s'offrent aux espèces végétales : s'adapter, migrer ou disparaître.

### **Modélisation bioclimatique**

La *modélisation bioclimatique* est l'outil de prédiction de l'impact du changement climatique le plus utilisé. Les modèles bioclimatiques (modèles

d'enveloppe bioclimatique) représentent un cas particulier de modèles de niche écologique ou d'aire de répartition. La plupart des prévisions actuelles de la migration des espèces végétales s'appuient sur des modèles faisant intervenir le concept « d'enveloppe climatique » (modélisation bioclimatique) (Nix, 1986 ; Guisan et Thuiller, 2005). Ces modèles de répartitions futures se fondent sur les conditions climatiques actuelles dans l'aire de répartition naturelle des espèces. Il convient toutefois de noter qu'il s'agit là d'une simplification de la réalité et des outils de recherche, comme le rappellent Thuiller *et al.* (2008). Les techniques de modélisation bioclimatique intègrent des informations sur la répartition actuelle des espèces dans des représentations mathématiques du climat actuel afin d'élaborer des modèles de niche bioclimatique (également appelée niche édaphique, niche fondamentale, niche environnementale ou niche « grinnellienne »). Ce modèle basé sur des paramètres environnementaux optimaux est ensuite couplé à une série de scénarios climatiques afin de déterminer l'évolution probable de ces paramètres pour différentes espèces. *Stricto sensu*, bien qu'ils soient dits « prédictifs », ces modèles n'ont pour vocation que de fournir un ensemble d'informations servant à prévoir les changements.

La modélisation bioclimatique a été beaucoup appliquée en Europe et est également employée à l'heure actuelle dans d'autres régions du monde. Il n'existe pas d'approche universellement applicable et les techniques sont constamment améliorées.

*Bien que nous puissions utiliser différents types de modèles pour prédire les migrations possibles des espèces vers de « nouvelles » enveloppes climatiques, les approches de modélisation existantes ne nous permettent pas de prédire quels seront le nouveau couvert végétal ni les conditions environnementales générales dans les zones affectées par le changement climatique. Cela vaut à la fois pour les zones de départ et pour les zones colonisées – une distinction rarement faite, mais qui peut être cruciale dans certaines régions d'Europe telles que le pourtour méditerranéen, comme nous l'avons mentionné plus haut. Puisque la probabilité de survie et de multiplication des espèces migratrices dépendra du contexte environnemental des zones colonisées, ainsi que des facteurs stochastiques susceptibles d'intervenir, nous devons admettre que notre vision actuelle des conséquences du changement climatique est extrêmement limitée et ne repose parfois quasiment que sur de la spéculation intellectuelle. Si nous ajoutons à cela le degré d'incertitude qui entoure toujours l'ampleur exacte du changement climatique et de son impact au niveau local, une grande partie de notre planification ne doit pas être spécifique aux sites, mais reposer sur une base élargie (modification ou extension de nos systèmes d'aires protégées, par exemple) ou sur le principe de précaution (utilisation d'approches ex situ en complément de la conservation in situ, par exemple) (Heywood, 2009).*



S'agissant de l'agrobiodiversité, il serait évidemment très utile de pouvoir prédire les effets du changement climatique sur la répartition et la survie futures des espèces cibles présentant un intérêt économique, telles que les ESAPC ou les plantes cultivées. Dans l'une des rares études publiées à ce jour, Lane et Jarvis (2007) et Jarvis *et al.* (2008) ont utilisé les données climatiques actuelles et prédites jusqu'à l'horizon 2055, ainsi qu'un modèle de répartition des espèces basé sur les enveloppes climatiques, pour prédire l'impact du changement climatique sur les parents sauvages de trois grandes cultures vivrières mondiales : arachide (*Arachis*), pomme de terre (*Solanum*) et niébé (*Vigna*). Les auteurs ont retenu trois scénarios de migration (migration illimitée, migration limitée et absence de migration) pour modéliser les changements affectant les aires de répartition et ont découvert que le changement climatique affectait profondément tous les taxons, estimant que 16 à 22 % de ces espèces allaient disparaître et la plupart d'entre elles allaient voir leur aire de répartition se réduire de plus de 50 %.

La modélisation des enveloppes climatiques a été utilisée pour déterminer les changements susceptibles d'affecter l'aire de répartition de *Pinus kesiya* et *P. merkusii* en Asie du sud-est, ainsi que leurs répercussions possibles sur la conservation et l'utilisation des ressources génétiques de ces espèces (van Zonneveld *et al.*, 2009a). Ces auteurs ont montré que, dans le cas de *P. kesiya*, les changements pourraient affecter non seulement les zones où il existe des peuplements naturels, mais également plusieurs autres sites en Birmanie, dans le nord-est et le sud de la Thaïlande, au Laos et dans le sud-ouest du Cambodge, qui correspondent à l'aire de répartition naturelle de l'espèce. Il s'avère par ailleurs que les provinces indonésiennes de Java et Nusa Tenggara, qui se situent en-dehors de l'aire de répartition originelle de *P. kesiya*, présentent un climat adapté à l'espèce. L'enveloppe climatique de *P. merkusii* coïncide avec son aire de répartition observée en Asie du sud-est continentale et à Sumatra, et suggère que le climat de plusieurs régions de l'archipel malais et du nord de l'Australie est adapté à l'espèce, bien que ces régions se situent en-dehors de son aire de répartition d'origine.

Une autre étude (van Zonneveld *et al.*, 2009b) consacrée aux prévisions de l'impact du changement climatique sur les populations de deux grandes essences de plantation (*Pinus patula* et *Pinus tecunumanii*) au Mexique et en Amérique Centrale et basée sur une modélisation de l'enveloppe climatique (MEC), a montré que le changement climatique aurait un impact considérable sur la répartition naturelle des deux espèces de pin. Cependant, l'évaluation de la capacité d'adaptation de ces espèces, fondée sur des essais de provenance, entrepris pour valider les évaluations d'impact basées sur la MEC, ont montré que les deux espèces pouvaient survivre dans une grande variété de climats, y compris dans des conditions identifiées dans la MEC comme incompatibles avec la présence naturelle de pins. Selon les auteurs, les résultats de l'étude indiquent que les espèces de pin dans leur habitat

naturel sont plus adaptées au changement climatique que ne le prédit la MEC et recommandent d'interpréter avec prudence les prévisions d'impact du changement climatique fondées sur cette méthode.

La MEC a permis d'analyser les profils de distribution de huit parents sauvages de Cucurbitacées et leurs perspectives de survie dans le contexte du changement climatique (Lira *et al.*, 2009) (Encadré 14.3).

### **Encadré 14.3 ESAPC et modélisation bioclimatique au Mexique**

Grâce à la modélisation bioclimatique, deux scénarios de changement climatique au Mexique ont été utilisés pour analyser les aires de répartition de huit cucurbitacées étroitement apparentées à des plantes cultivées : *Cucurbita argyrosperma* subsp. *sororia*, *C. lundelliana*, *C. pepo* subsp. *fraterna*, *C. okeechobeensis* subsp. *martinezii*, *Sechium chinantlense*, *S. compositum*, *S. edule* subsp. *sylvestre* et *S. hintonii*. La plupart de ces taxons ont une répartition restreinte. Beaucoup d'entre eux présentent également une résistance attestée à différentes maladies, ce qui pourrait être crucial pour l'amélioration de cultivars apparentés. Les résultats ont mis en évidence une nette contraction de l'aire de répartition des huit taxons dans les deux scénarios. L'évaluation a également montré que, dans un scénario de changement climatique extrême, les huit taxons ne seront maintenus que dans 29 des 69 aires naturelles protégées dans lesquelles ils sont actuellement présents. Il apparaît que, dans l'ensemble, les huit taxons sauvages auront peu de possibilités de survie dans le contexte du changement climatique. Cependant, la capacité de ces plantes à se maintenir sur de longues périodes dans des populations isolées à faible densité, ainsi que la faible résolution des modèles bioclimatiques, doivent être soulignées, car elles tempèrent peut-être ces prévisions assez pessimistes.

Source : Lira *et al.*, 2009

Une étude récente, modélisant l'évolution des aires de répartition des espèces à Madagascar en réponse au changement climatique, prévoit une disparition de la forêt littorale (Hannah *et al.*, 2008). Cependant, comme le fait remarquer Virah-Sawmy (2009), les reconstitutions paléo-écologiques indiquent que la forêt littorale est restée stable au cours des 6 500 dernières années malgré une série d'intervalles arides prononcés, ayant chacun duré plusieurs siècles, et malgré une hausse de 1 à 3 m du niveau de la mer. Les hausses de température n'ont pas été prises en compte sur cette période.

## Approches autres que la modélisation

Bien que la modélisation bioclimatique soit la méthode la plus couramment utilisée pour formuler des hypothèses concernant la réponse probable des espèces au changement climatique, d'autres approches peuvent être adoptées pour évaluer la vulnérabilité des espèces à la lumière de leurs caractéristiques biologiques et écologiques, ainsi que d'autres facteurs déterminant leur vulnérabilité, leur capacité d'adaptation et leur exposition au changement climatique (*Gran Canaria Group, 2006 ; CDB/Groupe spécial d'experts techniques sur la biodiversité et les changements climatiques (AHTEG), 2009*) (voir l'Encadré 14.4).

### **Encadré 14.4 Critères d'identification des taxons vulnérables au changement climatique**

- Taxons inféodés à leur localisation (sommets de montagnes, îles peu accidentées, hautes latitudes et extrémités des continents, par exemple) ;
- Plantes à aire de répartition restreinte (espèces rares et endémiques, par exemple) ;
- Taxons à faible capacité de dispersion et/ou à longue période intergénérationnelle ;
- Espèces sensibles aux conditions extrêmes (inondation ou sécheresse, par exemple) ;
- Plantes ayant un(e) habitat/niche extrêmement spécialisé(e) (tolérance limitée aux variations climatiques) ;
- Taxons en relation co-évolutive ou synchrone avec d'autres espèces ;
- Espèces incapables d'adapter leur physiologie en réponse aux variations climatiques ;
- Taxons clés de voûte pour la production primaire ou des processus et fonctions écosystémiques ;
- Taxons présentant une valeur directe pour l'homme ou un potentiel d'utilisation future.

Source : *Gran Canaria Group, 2006*

## Peuples autochtones et changement climatique

*Le développement agricole durable dans les pays en développement est plus que jamais remis en question par le changement climatique, la volatilité croissante des marchés alimentaire et énergétique, l'exploitation des ressources naturelles, la croissance démographique et l'aspiration accrue à une amélioration du niveau de vie* (Mark Rosegrant, Directeur de la Division de l'environnement et de la

technologie de la production de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IIRPA), 2010).

Les peuples autochtones dont l'activité repose sur l'agriculture traditionnelle seront parmi les plus sévèrement affectés par le changement climatique, bien que leur dépendance à l'égard de diverses cultures locales et variétés traditionnelles puisse constituer une forme de garantie contre des pertes majeures de biodiversité. Le rôle potentiel de ces populations dans l'adaptation au changement climatique et la réduction de ses effets est présenté dans l'Encadré 14.5. Un rapport de BEA International (*Bureau of Environmental Analysis International*) (Karani *et al.*, 2010) présente des exemples d'application du savoir autochtone aux stratégies d'adaptation au changement climatique et de réduction de ces effets au Kenya, en Afrique du Sud, au Botswana, au Ghana et au Nigeria (plantation d'arbres, mesures de conservation, gestion des ressources naturelles, amélioration des pratiques d'utilisation des sols, notamment). La conservation *in situ* des ESAPC dans le cadre de ces stratégies serait une démarche gagnant-gagnant.

### **Encadré 14.5 Peuples autochtones et stratégies face au changement climatique**

Les peuples autochtones jouent un rôle clé dans l'adaptation au changement climatique et la réduction de ses effets. Les territoires des groupes autochtones titulaires de droits sur leurs terres sont mieux conservés que les zones adjacentes (c'est le cas au Brésil, en Colombie, au Nicaragua, etc.). Non seulement la préservation de vastes étendues de forêts constituerait un moyen de lutter contre le changement climatique, mais elle s'inscrirait dans une démarche de respect des droits des peuples autochtones et de conservation de la biodiversité. Une stratégie d'adaptation au changement climatique qui implique totalement les populations autochtones présente bien plus d'avantages que la seule participation du gouvernement et/ou du secteur privé. Les peuples autochtones comptent parmi les plus vulnérables aux effets négatifs du changement climatique. De surcroît, ces peuples disposent d'un savoir utilisable dans la mise en œuvre de solutions destinées à empêcher ou limiter ces effets. Les territoires ancestraux offrent souvent d'excellents exemples de structures de paysage capables de résister aux effets négatifs du changement climatique. Au fil des millénaires, les populations autochtones ont conçu des modèles d'adaptation au changement climatique. Elles ont également créé des variétés génétiques de plantes médicinales ou autres plantes utiles et de races animales capables de résister naturellement à une plus large gamme de variations climatiques et écologiques.

Source : Sobrevila, 2008

## **Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts (REDD)**

Étant donné que le défrichement et la dégradation des forêts sont responsables d'environ 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre selon les estimations du GIEC, les efforts de réduction de ces émissions sont une composante essentielle des stratégies d'adaptation au changement climatique. Le Programme collaboratif des Nations Unies sur la Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*, UN-REDD) est un mécanisme destiné à inciter les pays en développement disposant d'un patrimoine forestier à protéger et mieux gérer leurs ressources forestières, contribuant ainsi à la lutte mondiale contre le changement climatique. Le programme REDD+ ne se limite pas à freiner le déboisement et la dégradation des forêts pour réduire les émissions ; ses stratégies mettent l'accent sur le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'augmentation des réservoirs de carbone forestiers. L'objectif du programme est d'attribuer une valeur financière au carbone stocké par les arbres afin que la forêt préservée acquière une valeur supérieure au revenu que générerait l'abattage du bois d'œuvre (Katerere, 2010).

Ricketts *et al.* (2010) ont suggéré que les territoires autochtones et aires protégées (*indigenous lands and protected areas*, ILPA) soient inclus dans les stratégies de REDD des gouvernements. Selon eux, les mesures que les gouvernements nationaux pourraient prendre afin d'inclure efficacement les ILPA dans leurs stratégies de REDD peuvent consister à :

- identifier les zones où la création ou le renforcement d'ILPA contribuerait le plus efficacement à réduire les émissions ;
- mettre en place, à titre de mesure d'urgence, des programmes nationaux de suivi afin de mesurer les taux de déforestation et de quantifier les réductions d'émissions de carbone (voir le système brésilien de suivi par télédétection) ; et
- mettre en place des mécanismes d'assurance permettant de mutualiser les risques de transformation des gains en pertes dans les ILPA du fait de l'exploitation forestière illégale ou des feux de forêt.

Naturellement, comme le font remarquer ces auteurs, il est également essentiel de veiller à ce que les gouvernements fournissent aux groupes autochtones et aux communautés locales les informations et les capacités nécessaires à leur action ; il faut également garantir la transparence de la rémunération de ceux qui participent à la réduction des émissions.

## **Changements planétaires, agriculture et sécurité alimentaire**

*Bien que l'accroissement de la productivité agricole soit considéré par beaucoup comme un modèle de réussite, les avantages qui en découlent ne sont pas répartis de façon uniforme dans le monde. Souvent, les plus pauvres parmi les pauvres en ont retiré des avantages limités, voire nuls ; 850 millions de personnes souffrent encore de sous-alimentation ou de malnutrition et leur nombre s'accroît de 4 millions chaque année. La nourriture que nous consommons nous semble bon marché ; mais en réalité, elle n'est pas toujours saine et nous payons un lourd tribut en eau, en sols et en diversité biologique - dont dépend notre avenir à tous (Watson, 2008).*

De toute évidence, des améliorations notables doivent être apportées aux cultures actuelles pour augmenter les rendements tout en favorisant une agriculture durable ; ces progrès devront être obtenus sans augmentation sensible des surfaces cultivées, ni aggravation du changement climatique. Pour atteindre ces objectifs, tous les moyens et techniques possibles devront être employés afin de rationaliser les programmes de sélection végétale, notamment en utilisant plus largement la diversité génétique offerte par les ESAPC. Comme le souligne le *Rapport sur le développement mondial 2010 : Développement et changement climatique*<sup>1</sup>, « les adventices et espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées actuelles ont conservé une diversité génétique supérieure et peuvent constituer une source pour améliorer la plasticité des plantes cultivées et leur adaptabilité au changement des conditions de milieu : certaines adventices, par exemple, se développent bien dans une atmosphère enrichie en CO<sub>2</sub> et à des températures plus élevées. L'un des principaux objectifs de la conservation des ESAPC est de préserver la variabilité génétique pour que les sélectionneurs puissent en disposer afin de créer de nouveaux cultivars adaptés aux conditions nouvelles liées au changement climatique. Le matériel des variétés locales traditionnelles constitue également une source importante de gènes pour la sélection de nouveaux cultivars adaptés au stress environnemental abiotique que le changement climatique entraînera. Comme le soulignent Semenov et Halford (2009) : « Les sélectionneurs créent de nouveaux cultivars agricoles, mieux adaptés à un environnement spécifique, par une utilisation optimale des ressources disponibles. Cependant, les cultivars dont l'utilisation est actuellement recommandée ne seront peut-être plus adaptés si le climat change. L'obtention d'un nouveau cultivar nécessite généralement 10 à 12 ans, à condition que les caractères cibles soient définis et qu'un environnement approprié soit disponible pour tester les nouvelles lignées. Face à la perspective d'un changement climatique rapide, les sélectionneurs ne savent même pas quelles seront les conditions climatiques à moyen terme, dans lesquelles ils effectueront les essais en champ, et ils ignorent quels ... caractères pourraient être importants d'ici 15 à 25 ans ».

*Nous savons que les principaux moteurs du développement agricole au XX<sup>e</sup> siècle s'essoufflent. Théoriquement, la surface agricole mondiale pourrait encore augmenter*

de 80 %, mais la majeure partie des terres encore disponibles est peu propice à une agriculture productive. Seules l'Afrique et l'Amérique Latine disposent d'importantes réserves de terres appropriées. Dans plusieurs ceintures céréalières, notamment en Asie, les réserves d'eau douce utilisables pour l'irrigation sont en train de s'épuiser. Et les potentiels de rendement des principales cultures vivrières stagnent, même s'il reste encore une marge d'augmentation par des méthodes conventionnelles » (Koning et van Ittersum, 2009).

## **Changement climatique et ressources génétiques forestières**

Les effets du changement climatique sur les espèces forestières et leurs parents sauvages risquent d'être considérables, étant donné que nombre d'entre eux sont déjà affectés par des facteurs non climatiques tels que la perte d'habitats ou la fragmentation, qui entraînent une réduction de la diversité génétique de leurs populations (Bawa et Dayanandan, 1998). Ces effets comprennent la hausse des températures, le changement de régime des pluies, des épisodes climatiques extrêmes, des sécheresses prolongées ayant pour conséquence une incidence accrue des feux de forêt et l'évolution de la physiologie et de la capacité de reproduction des essences d'arbres (Rimbawanto, 2010).

## **Réponses stratégiques et nouvelles stratégies de conservation**

Comme nous l'avons expliqué, les approches conventionnelles en matière de conservation de la biodiversité risquent d'être trop limitées pour lutter contre les effets du changement climatique, de sorte qu'un certain nombre de nouvelles stratégies sont actuellement envisagées. Celles-ci comprennent notamment l'approche controversée appelée *translocation d'espèce assistée par l'homme*. Le recours à la translocation assistée par l'homme de populations d'une espèce pour contrer l'appauvrissement de la biodiversité consécutif aux changements planétaires est une approche très récente, proposée dans les cas où l'on considère que le rythme du changement, l'existence d'obstacles ou d'entraves ou l'absence d'habitat adapté continu risque d'empêcher la migration naturelle de l'espèce. Elle est également appelée migration assistée (McLachlan *et al.*, 2007) ou colonisation assistée<sup>2</sup> (Hunter, 2007 ; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2008). C'est une opération complexe et potentiellement coûteuse, qui doit faire l'objet d'une soigneuse analyse coût-bénéfices et doit peut-être être réservée à des circonstances exceptionnelles. Déplacer des espèces vers de nouveaux environnements est, pour reprendre les termes de McLachlan *et al.* (2007), un sujet controversé et peut présenter des risques considérables. L'opération comporte non seulement des aspects scientifiques, techniques et économiques, mais aussi sociologiques et éthiques.

Seddon *et al.* (2009), par exemple, expliquent que « les incitations à prendre des mesures de conservation proactives doivent tenir compte des

incertitudes majeures persistantes, liées non seulement aux prévisions du changement climatique et aux réponses des espèces à celui-ci ... mais aussi à notre perception des exigences de ces espèces en termes d'habitat ... et aux effets des translocations sur le fonctionnement de l'écosystème ». Ricciardi et Simberloff (2009) estiment que la colonisation assistée n'est pas une stratégie de conservation viable car : (1) les translocations d'espèces peuvent éroder la biodiversité et perturber les écosystèmes ; (2) les introductions planifiées s'accompagnent de risques majeurs ; (3) l'évaluation des risques et les cadres décisionnels ne sont pas fiables ; et (4) nous sommes dans l'incapacité de prédire le pouvoir invasif des espèces. La colonisation assistée est donc un pari écologique auquel il faut renoncer en vertu du principe de précaution

D'un autre côté, la migration assistée par l'homme compte également de fervents partisans : Richardson *et al.* (2009), par exemple, estiment que son importance en tant que stratégie de conservation va augmenter à mesure que s'accroîtront les changements planétaires et qu'elle ne doit pas être considérée *a priori* comme un dernier recours, mais comme l'une des différentes options possibles. Il est évident que la migration assistée nécessite un cadre politique solide et bien conçu avant d'être utilisée à grande échelle comme stratégie de gestion face aux changements planétaires. Elle peut être envisageable pour les ESAPC particulièrement importantes, mais a peu de chances de devenir une composante essentielle des stratégies de conservation des ESAPC.

## **Autres aspects des changements planétaires**

Bien que ces dernières années la priorité ait largement été accordée aux prévisions d'impact du changement climatique, il faut être conscient que le monde subit actuellement les effets de changements planétaires qui, comme le font remarquer Steffen *et al.* (2004), « vont bien au-delà du changement climatique. Les changements planétaires sont une réalité, sont déjà en cours et sont en train de s'accélérer. »

## **Évolution démographique**

Le terme « évolution démographique » désigne à la fois les changements des *modèles de répartition* des populations humaines et la *croissance démographique*. Les migrations humaines de grande ampleur peuvent être provoquées par des facteurs sociaux, économiques, politiques et sanitaires. La guerre et les conflits civils peuvent dévaster de grandes surfaces de terres ou les rendre inutilisables, entraînant ainsi des migrations humaines massives et affectant donc les écosystèmes naturels et agricoles concernés et leur biodiversité. En 2008, plus de la moitié de la population mondiale (soit près de 3,3 milliards d'individus, d'après les estimations) vivait en zone urbaine ; chaque jour, environ 160 000 personnes quittent les zones rurales



pour gagner les villes (Nations Unies, 2006 ; FNUAP 2007). À l'inverse, la population rurale mondiale devrait *diminuer* de quelque 28 millions d'individus entre 2005 et 2030, de sorte qu'au niveau mondial, *l'intégralité* de la croissance démographique future sera enregistrée dans les villes. Les taux d'urbanisation sont en augmentation, notamment dans les pays les moins avancés : en 2000, près de 40 % des habitants de ces pays vivaient en zone urbaine, mais cette proportion devrait atteindre 54 % d'ici 2025.

### **Changements des modes d'utilisation des terres et des régimes de perturbations**

Au cours du dernier siècle, l'évolution de la couverture des sols et de l'utilisation des terres s'est accélérée, dans une large mesure parallèlement à la croissance démographique humaine, du fait de l'industrialisation, de l'intensification de l'agriculture, de l'abandon des pratiques agricoles traditionnelles, de l'exode rural et de nombreux autres facteurs.

Parfois, les modes d'utilisation des sols altèrent les régimes de perturbations naturels qui sont à l'origine des structures complexes d'habitats nécessaires à la survie de la faune et de la flore indigènes. Si les modes d'utilisation des sols modifient la fréquence, l'ampleur et l'intensité des perturbations naturelles (inondations, incendies, sécheresses et autres épisodes climatiques extrêmes), le fonctionnement des écosystèmes sera affecté et des communautés d'une toute autre composition pourraient se développer. La déforestation et les autres formes de destruction ou de dégradation des habitats restent la principale cause de perte de biodiversité.

### **Tourisme**

Le tourisme saisonnier est une autre forme, quoique temporaire, de migration de la population. L'essor du tourisme a entraîné un développement urbain et touristique massif, qui s'est accompagné d'un développement des infrastructures. On estime que les émissions de dioxyde de carbone provenant du secteur touristique représentent 4 à 6 % des émissions totales et le changement des tendances climatiques risque d'altérer les grands flux touristiques là où le climat revêt une importance capitale (Europe méridionale, Méditerranée et Antilles, par exemple). Cela rendra les destinations côtières et montagneuses, dans les pays moins avancés et les petits États insulaires en développement, particulièrement vulnérables aux impacts directs et indirects du changement climatique (tempêtes et épisodes climatiques extrêmes, érosion côtière, dommages physiques aux infrastructures, élévation du niveau des mers, inondations, pénuries d'eau et pollution de l'eau), étant donné que la plupart des infrastructures sont situées à une faible distance du littoral (OMT, 2008).

Le nombre de réfugiés écologiques – « individus qui ne sont plus en mesure d'assurer leur subsistance dans leur pays d'origine en raison de la

sécheresse, de l'érosion du sol, de la désertification, de la déforestation et d'autres problèmes environnementaux » (Myers, 1997) – devrait augmenter de 200 millions d'ici le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle. Ce phénomène risque d'avoir de lourdes conséquences sur la biodiversité, car les réfugiés gagneront des territoires qui ne pourront subvenir à leurs besoins ni les nourrir sans engendrer des perturbations de grande ampleur. Les personnes déplacées dépendent nécessairement de l'environnement qui les entoure pour se nourrir et se chauffer, ce qui entraîne une dégradation ou une destruction des forêts et autres types de végétation.

## Sources d'informations complémentaires

de Chazal, J. et Rounsevell, M. (2009) « Land-use and climate change within assessments of biodiversity change : A review », *Global Environmental Change*, vol 19, pp. 306–315.

Heinz Center (2008) *Strategies for Managing the Effects of Climate Change on Wildlife and Ecosystems*, Centre H. John Heinz III pour la Science, l'économie et l'environnement, Washington, District of Columbia, États-Unis

Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B., Parmesan, C., Possingham, H. P. et Thomas, C. D. (2008) « Assisted colonization and rapid climate change », *Science*, vol 321, pp. 345–346.

IPCC (2007) *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC), Cambridge University Press, Cambridge.

Lovejoy, T. E. et Hannah, L. (éd.) (2004) *Climate Change and Biodiversity*, Yale University Press, New Haven, Connecticut, et Londres, Royaume-Uni.

SEG (2007) *Confronting Climate Change : Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, Groupe d'experts scientifique sur le changement climatique [*Scientific Expert Group (SEG) on Climate Change*], [Rosina M. Bierbaum, John P. Holdren, Michael C. MacCracken, Richard H. Moss, et Peter H. Raven (éd.)], Rapport rédigé pour la Commission des Nations Unies pour le développement durable, Sigma Xi, Research Triangle Park, Caroline du Nord, et Fondation des Nations Unies, Washington, District of Columbia, États-Unis.

## Notes

- 1 Rapport sur le développement dans le monde (RDM, 2010), « Chapitre 3 : Gérer les terres et l'eau de façon à nourrir 9 milliards d'individus et à protéger les écosystèmes naturels ».
- 2 Hunter emploie le terme *colonisation assistée* par opposition à celui de *migration assistée* « parce que de nombreux spécialistes de l'écologie animale réservent le terme *migration* aux mouvements saisonniers aller-retour des animaux ... et parce que le véritable objectif de la translocation n'est pas simplement de faciliter la dispersion des espèces, mais d'assurer le succès de la colonisation – une étape qui nécessite souvent la production de nombreux plants ».

## Bibliographie

- Araújo, M. B. (2009) « Protected areas and climate change in Europe », Rapport rédigé par le Professeur Miguel B. Araújo, Musée national de sciences naturelles, CSIC, Madrid, Espagne, et Chaire de biodiversité Rui Nabeiro (CIBIO), Université d'Évora, Portugal, avec la contribution de Mme Raquel Garcia, Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, (*Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*), Comité permanent, Strasbourg, 25 juin 2009, T-VS/Inf(2009)10
- Araújo, M. B., Cabezas, M., Thuiller, W. et Hannah, L. (2004) « Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve selection methods », *Global Change Biology*, vol 10, pp. 1618–1626
- Bawa, K. et Dayanandan, S. (1998) « Global climate change and tropical forest genetic resources », *Climate Change*, vol 39, pp. 473–485
- Berry, P. (2008) « Climate change and the vulnerability of Bern Convention species and habitats », rapport rédigé pour la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, Comité permanent, Strasbourg, 16 juin 2008, T-PVS/Inf(2008)6 rev
- Bierbaum, R., Holdren, J. P., MacCracken, M., Moss, R. H. et Raven, P.H. (éd.) (2007) *Confronting Climate Change : Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, Sigma Xi, Research Triangle Park, Caroline du Nord, et Fondation des Nations Unies, Washington, District of Columbia, États-Unis
- CBD (2009) *The Convention on Biological Diversity Plant Conservation Report : A Review of Progress in Implementing the Global Strategy of Plant Conservation (GSPC)*, Convention sur la diversité biologique (CDB), Secrétariat, Montréal, Canada
- CBD/AHTEG (2009) « Draft findings of the Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change », Convention sur la diversité biologique (CDB), <http://www.cbd.int/Climate/Meetings/Ahteg-Bdcc-02-02/Ahteg-Bdcc-02-02-Findings-Review-En.Pdf>, consulté le 21 mai 2010
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A. et Schwartz, M. D. (2007) « Shifting Alant phenology in response to global change », *Trends in Ecology and Evolution*, vol 22, pp. 357–365
- EEA/JRC/WHO (2008) *Impacts of Europe's Changing Climate — 2008 Indicator-Based Assessment*, Rapport No 4/2008 de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, [http://reports.eea.europa.eu/eea\\_report\\_2008\\_4/en](http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2008_4/en), consulté le 21 mai 2010
- Ervin, J., Mulongoy, K. J., Lawrence, K., Game, E., Sheppard, D., Bridgewater, P., Bennett, G., Gidda, S. B. et Bos, P. (2010) *Making Protected Areas Relevant :A Guide to Integrating Protected Areas into Wider Landscapes, Seascapes and Sectoral Plans and Strategies*, Séries techniques de la CDB No 44, Convention pour la diversité biologique, Montréal, Canada
- Gran Canaria Group (2006) *The Gran Canaria Declaration II on Climate Change and Plant Conservation*, Conseil municipal de Gran Canaria, Jardin botanique « Viera y Clavijo » et Association internationale des Jardins Botaniques et de la conservation de la diversité biologique (*Botanic Gardens Conservation International, BGCI*)

- Guisan, A. et Thuiller, W. (2005) « Predicting species distribution : Offering more than simple habitat models », *Ecology Letters*, vol 8, pp. 993–1009
- Hagerman, S. M. et Chan, K. M. A. (2009) « Climate change and biodiversity conservation : Impacts, adaptation strategies and future research directions », *F1000 Biology Reports* 1:16, doi:10.3410/B1-16. La version électronique est consultable sur : <http://f1000.com/reports/b/1/16>
- Hannah, L. et Salm, R. (2003) « Protected areas and climate change », in L. Hannah et T. Lovejoy (éd.) *Climate Change and Biodiversity : Synergistic Impacts*, pp. 91–100, Conservation International, Washington, District of Columbia, États-Unis
- Hannah, L., Dave, R., Lowry, P. P., Andelman, S., Andrianarisata, M., Andriamaro, L., Cameron, A., Hijmans, R., Kremen, C., MacKinnon, J., Randrianasolo, H. H., Andriambololonera, S., Razafimpahanana, A., Randriamahazo, H., Randrianarisoa, J., Razafinjatovo, P., Raxworthy, C., Schatz, G. E., Tadross, M. et Wilme, L. (2008) « Climate change adaptation for conservation in Madagascar », *Biology Letters*, vol 4, pp. 590–594
- Heywood, V. H. (2009) *The Impacts of Climate Change on Plant Species in Europe*, Version définitive, Rapport rédigé par le Professeur Vernon Heywood, Faculté des Sciences biologiques, Université de Reading avec la contribution d'Alastair Culham. Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe – 29<sup>e</sup> réunion de la Comité permanent – Berne, 23–26 novembre 2009, T-PVS/Inf(2009)9E
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B., Parmesan, C., Possingham, H. P. et Thomas, C. D. (2008) « Assisted colonization and rapid climate change », *Science*, vol 321, pp. 345–346
- Hunter, M. L. (2007) « Climate change and moving species : Furthering the debate on assisted colonization », *Conservation Biology*, vol 21, pp. 1356–1358
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC), Cambridge University Press, Cambridge
- Jarvis, A., Lane, A. et Hijmans, R. (2008) « The effect of climate change on crop wild relatives », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 126, pp. 13–23 Karani, P., Ahwiring-Obeng, F., Kung'u, J. et Wafula, C. (2010) *Clean Development Mechanism (CDM) Carbon Markets Opportunities for Investments and Sustainable Development in Local Communities : The Application of Indigenous Knowledge Case Studies*, Rédigé par le Bureau international d'analyse environnementale [Bureau of Environmental Analysis (BEA) International], Nairobi
- Katerere, Y. (2010) « A climate change solution? » *World Finance*, mai–juin 2010, pp. 104–106
- Koning, N. et van Ittersum, M. K. (2009) « Will the world have enough to eat? », *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol 1, pp. 77–82
- Lane, A. et Jarvis, A. (2007) « Changes in climate will modify the geography of crop suitability : Agricultural biodiversity can help with adaptation », *SAT e-journal/ejournal. icrisat.org*, vol 4, no 1, pp. 1–12, <http://www.itpgrfa.net/International/content/changes-climate-will-modify-geography-crop-suitability-agricultural-biodiversity-can-help-ad>
- Lenoir, J., Gegout, J. C., Marquet, P. A., de Ruffray, P. et Brisse, H. (2008) « A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th Century », *Science*, vol 320, no 5884, pp. 1768–1771, doi:10.1126/science.1156831

- Lira, R., Téllez, O. et Dávila, P. (2009) « The effects of climate change on the geographic distribution of Mexican wild relatives of domesticated Cucurbitaceae », *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol 56, no 5, pp. 691–703
- Lovejoy, T. E. (2006) « Protected areas : A prism for a changing world, *TREE*, vol 21, pp. 329–333
- MACIS (2008) « Deliverable 1.1 : Climate change impacts on European biodiversity – observations and future projections », Jörgen Olofsson, Thomas Hickler, Martin T.
- Sykes, Miguel B. Araújo, Emilio Baletto, Pam M. Berry, Simona Bonelli, Mar Cabeza, Anne Dubuis, Antoine Guisan, Ingolf Kühn, Heini Kujala, Jake Piper, Mark Rounsevell, Josef Settele, Wilfried Thuiller et MACIS Co-ordination Team, Minimisation de l'impact du changement climatique sur la biodiversité et adaptation (*Minimisation of and Adaptation to Climate Change Impacts on Biodiversity, MACIS*), <http://www.macis-project.net/pub.html>, consulté le 23 mai 2010
- Mansourian, S., Belokurov, A. et Stephenson, P. J. (2009) « The role of forest protected areas in adaptation to climate change », *Unasylva*, vol 60, no 231/232, pp. 63–69
- McLachlan, J. S., Hellmann, J. J. et Schwartz, M. W. (2007) « A framework for debate of assisted migration in an era of climate change », *Conservation Biology*, vol 21, pp. 297–302
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P. et Wilbanks, T. J. (2010) « The next generation of scenarios for climate change research and assessment », *Nature*, vol 463, pp. 747–756 (11 février 2010), doi:10.1038/nature08823
- Myers, N. (1997) « Environmental refugees », *Population and Environment*, vol 19, pp. 167–182
- Nix, H. A. (1986) « A biogeographic analysis of Australian elapid snakes », in R. Longmore, (éd.) *Australian Flora and Fauna Series Number 7 : Atlas of Elapid Snakes of Australia*, Service de publication du gouvernement australien, Canberra, pp. 4–15
- Parolo, G. et Rossi, G. (2007) « Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps », *Basic and Applied Ecology*, doi:10.1016/j.baae.2007.01.005
- Ricciardi, A. et Simberloff, D. (2009) « Assisted colonization is not a viable conservation strategy », *TREE*, vol 24, pp. 248–253
- Richardson, D. M., Hellmann, J. J., McLachlan, J. S., Sax, D. F., Schwartz, M. W., Gonzalez, P., Brennan, E. J., Camacho, A., Root, T. L., Sala, O. E., Schneider, S. H., Ashe, D. M., Clark, J. R., Early, R., Etterson, J. R., Fielder, E. D., Gill, J. L., Minter, B. A., Polasky, S., Safford, H. D., Thompson, A. R. et Vellend, M. (2009) « Multidimensional evaluation of managed relocation », *Proc .Nat'l. Acad. Sci. USA*, vol 106, pp. 9721–9724
- Ricketts, T. H., Soares-Filho, B., da Fonseca, G. A. B., Nepstad, D., Pfaff, A., Peterson, A., Anderson, A., Boucher, D., Cattaneo, A., Conte, M., Creighton, K., Linden, L., Maretti, C., Moutinho, P., Ullman, R. et Victurine, R. (2010) « Indigenous lands, protected areas, and slowing climate change », *PLoS Biol*, vol 8, no 3, e1000331, doi:10.1371/journal.pbio.1000331

- Rimbawanto, A. (2010) *Climate Change and the Potential Risk to Forest Genetic Resources*, Centre pour la biotechnologie forestière et l'amélioration des espèces arboricoles (Centre for Forest Biotechnology and Tree Improvement, CFBTI)
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J. A. (2009a) « A safe operating space for humanity », *Nature*, vol 461, pp. 472–475
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. (2009b) « Planetary boundaries : Exploring the safe operating space for humanity », *Ecology and Society*, vol 14, no 2, p. 32, <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32>, accessed 27 May 2010
- Schiermeier, Q. (2010) « Climate : The real holes in climate science », *Nature* (Londres), vol 463, p. 284
- Schleip, R., Bertzy, M., Hirschnitz, M. et Stoll-Kleemann, S. (2008) « Changing climate in protected areas : Risk perception of climate changed by biosphere reserve managers », *GAIA*, vol 17/S1, pp. 116–124
- Seddon, P. J., Armstrong, D. P., Soorae, P., Launay, F. et Walker, S. (2009) « The risks of assisted colonization », *Conservation Biology*, vol 23, pp. 788–789
- Semenov, M. A. et Halford, N. G. (2009) « Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate », *Journal of Experimental Botany*, vol 60, pp. 2791–2804, doi:10.1093/jxb/erp164
- Sobrevila, C. (2008) *The Role of Indigenous Peoples in Biodiversity Conservation : The Natural but Often Forgotten Partners*, Banque mondiale, Washington, District of Columbia, États-Unis
- Steffen, W., Sanderson, A., Jäger, J., Tyson, P. D., Moore III, B., Matson, P. A., Richardson, K., Oldfield, F., Schellnhuber, H. J., Turner II, B. L. et Wasson, R. J. (2004) *Global Change and the Earth System : A Planet Under Pressure*, Springer Verlag, Heidelberg, Allemagne
- Stern, N. (2007) *The Economics of Climate Change (The Stern Review)*, Cambridge University Press, Cambridge
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M. B., Sykes, M. T. et Prentice, I. C. (2005) « Climate change threats to plant diversity in Europe », *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol 102, pp. 8245–8250
- Thuiller, W., Albert, C., Araújo, M. B., Berry, P. M., Guisan, A., Hickler, T., Midgley, G. F., Paterson, J., Schurr, F. M., Sykes, M. T. et Zimmermann, N. E. (2008) « Predicting climate change impacts on plant diversity : Where to go from here? », *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol 9, pp. 137–152
- United Nations (2006) *World Urbanization Prospects : The 2005 Revision*, Division chargée de la population, Département des affaires économiques et sociales, Nations Unies, New York, États-Unis
- UNFPA (2007) *State of the World Population 2007 : Unleashing the Potential of Urban Growth*, Fonds des Nations Unies pour la Population, UNFPA), New York, États-Unis

UNWTO (2008) *Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenge*, Organisation des Nations Unies pour le tourisme mondial (UNWTO) et Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Madrid, Espagne

van Zonneveld, M., Koskela, J., Vinceti, B. et Jarvis, A. (2009a) « Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia », *Unasylva*, no 231/232, vol 60/1–2, pp. 24–29.

van Zonneveld, M., Jarvis, A., Koskela, J., Dvorak, W., Lema, G., Vinceti, B. et Leibing, C. (2009b) « Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America », *Forest Ecology and Management*, vol 257, pp. 1566–1576

Virah-Sawmy, M. (2009) « Ecosystem management in Madagascar during global change », *Conservation Letters*, vol 2, pp. 163–170

Watson, R. (2008) *Inter-Governmental Report Aims to Set New Agenda for Global Food Production*, [www.iaastd.com/docs/IAASTD\\_backgroundpaper\\_280308.doc](http://www.iaastd.com/docs/IAASTD_backgroundpaper_280308.doc)

WDR (2010) *World Development Report 2010 : Development and Climate Change*, Banque mondiale, Washington, District of Columbia, États-Unis