

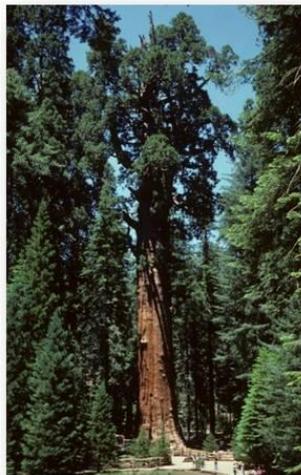


La biodiversité

Jean-Dominique Lebreton avec la participation de Henri Décamps et Roland Douce

Introduction

On a pu dire que la diversité des formes vivantes serait le premier sujet d'étonnement pour un visiteur extraterrestre arrivant sur notre planète. C'est ce que « biodiversité », néologisme apparu dans les années 1980, s'efforce de résumer en un seul mot. Comment caractériser la biodiversité dans l'absolu ou dans ses variations ? Comment est-elle apparue et se maintient-elle ? Quel est l'impact des activités humaines sur la biodiversité, et quelles en sont les conséquences ? Que peuvent et doivent faire nos sociétés ?



Diversité des formes vivantes. Du bas à gauche, dans le sens horaire : une plante carnivore (*Sarracenia flava*), un séquoia (*Sequoia gigantea*), un albatros royal (*Diomedea epomophora*), et un Kangourou roux (*Macropus rufus*) (Photos J.D. Lebreton).

La biodiversité peut se décliner en multiples composantes, selon que l'on considère la diversité génétique entre individus d'une même espèce, la diversité des espèces, celles des fonctions écologiques, voire la diversité des conséquences de ces fonctions pour les systèmes écologiques ou les sociétés humaines. Ces différents points de vue sont développés plus bas.

La Convention pour la diversité biologique issue du sommet de Rio en 1992 a popularisé le terme « biodiversité », tout en soulignant qu'une part importante des problèmes d'environnement était liée à des modifications de la diversité des êtres vivants induite par les activités humaines. L'année 2010 a été déclarée « Année internationale de la biodiversité » (<http://www.cbd.int/2010/welcome/>) pour accélérer la prise de conscience de l'importance de la diversité biologique.

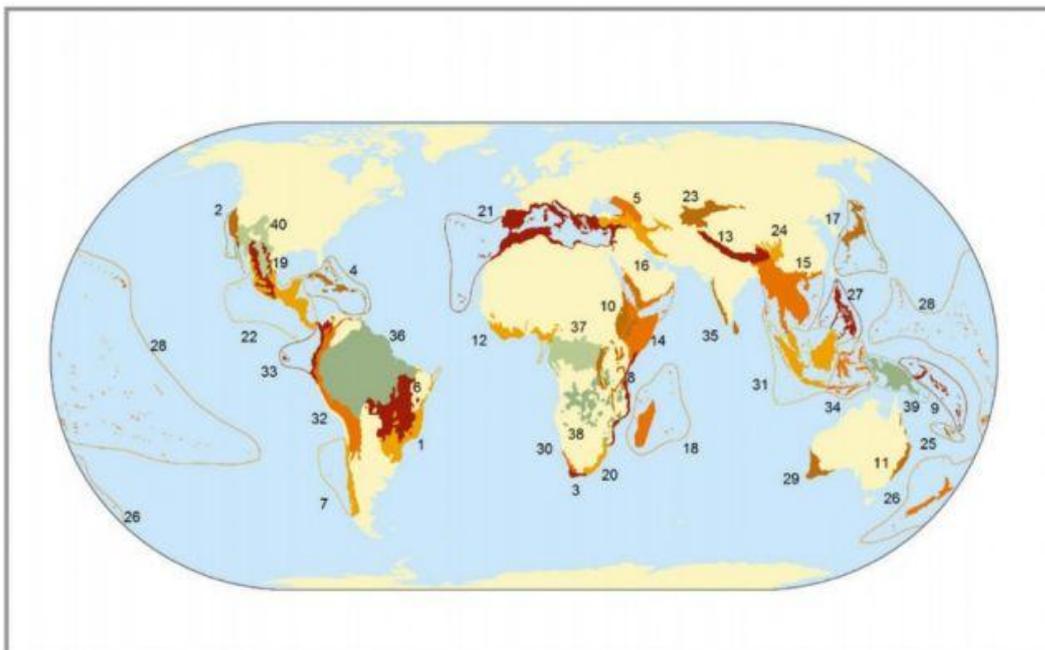
La biodiversité : une affaire de nombres ?

En parlant de « forte biodiversité des forêts intertropicales », ou « d'érosion de la biodiversité », on indique implicitement que la biodiversité se mesure, ou tout au moins se compare, par exemple entre régions.

Une première approche de la biodiversité est basée sur la notion d'espèce, ensemble conceptuel d'individus susceptibles de se reproduire entre eux. C'est une notion clé de la biologie, reconnue de longue date dans les savoirs populaires (« le merle », « la grive », « la violette », « la pensée »).

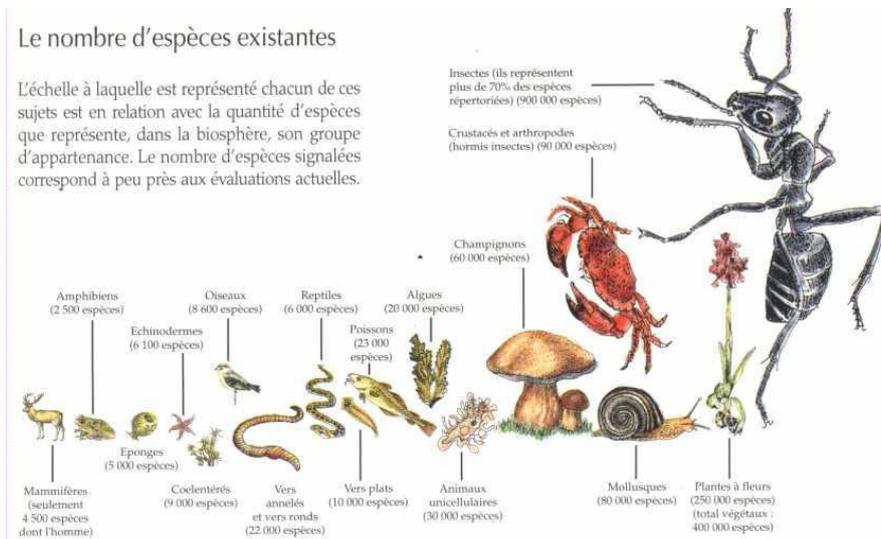
Depuis Linné au XVIII^e siècle, les biologistes et naturalistes se sont attachés à recenser systématiquement les espèces vivantes. Les résultats sont impressionnants : il y a plus de 100 espèces d'Orchidées en France, environ 1 000 espèces d'Apiformes (guêpes et abeilles), mais aussi 4 500 plantes, dont environ la moitié est présente dans le département des Hautes-Alpes. Dans la zone intertropicale, les chiffres donnent le vertige : dans le haut bassin amazonien, on trouve 550 espèces d'oiseaux par km², autant que dans toute l'Europe ; au Brésil, plus de 4 000 espèces d'Orchidées, famille de plantes la plus riche du monde avec près de 15 000 espèces. La Guyane française abrite environ 1 200 espèces d'arbres, dont plus de 200 sont parfois présentes sur un seul hectare de forêt.

Vingt-cinq « points chauds de biodiversité » ont été proposés en 1988 à partir du constat qu'avec 1,4% de la surface du globe, ils abritaient 44 % des plantes et 35 % des Vertébrés. Le système a ensuite été élargi à une quarantaine de sites ou de régions et englobe effectivement la forêt amazonienne, plus grand réservoir de biodiversité de notre planète.



Les points chauds de biodiversité terrestre, numérotés de 1 à 40 (d'après Gorenflo *et al.* 2012).

À l'échelle de la planète, près de 2 millions d'espèces vivantes ont été recensées, dont plus de 700 000 espèces d'insectes...



Un dessin représentant les groupes vivants en proportion de leur nombre d'espèces illustre de façon saisissante la dominance des insectes (<http://www.paperblog.fr/3248855/la-biodiversite/>).

Et pourtant, alors que pour les vertébrés (mammifères, oiseaux, reptiles et amphibiens, poissons), avec environ 45 000 espèces décrites, l'inventaire est très avancé, c'est très loin d'être le cas pour les organismes de petite taille. Dans la forêt amazonienne, en isolant des arbres par des filets et en les aspergeant d'insecticide, on a pu récolter des centaines d'espèces d'insectes strictement inféodées à chaque espèce d'arbre, et dont beaucoup n'étaient pas connues des scientifiques. Les centaines d'espèces d'arbres de la forêt amazonienne recèlent ainsi probablement des dizaines de milliers d'espèces d'insectes pour la plupart encore inconnues de la science. Les estimations du nombre d'espèces vivantes ont varié de 4 à 100 millions. Une étude récente propose la valeur de 8,7 millions. Toutes ces valeurs, inévitablement basées sur des extrapolations, butent sur la difficulté à définir les limites entre espèces et même la notion d'espèce pour les micro-organismes, et plus encore les virus, mais toutes s'accordent sur un point : nous ne connaissons qu'une minorité des espèces vivantes.

La disparition d'une espèce est dès lors difficile à constater et a surtout été documentée pour des animaux de grande taille. Le cas du Dodo, un oiseau terrestre de grande taille de l'île Maurice, exterminé au XVII^e siècle, est bien connu. Depuis plus de cinq siècles, il disparaît plus d'une espèce de vertébré par an, le plus souvent avec des indices d'une action directe ou indirecte des activités humaines. Face aux inconnues sur le nombre d'espèces et au caractère graduel du processus de différenciation par rapport à des espèces existantes, l'apparition de nouvelles espèces est quant à elle impossible à documenter. Mais les connaissances paléontologiques permettent d'évaluer l'ordre de grandeur de la durée de vie d'une espèce à au moins 1 million d'années. Parmi les près de 50 000 vertébrés, on devrait s'attendre à au plus $50\,000 / 1\,000\,000 = 0,05$ disparition par an. Le taux d'extinction est donc depuis plusieurs siècles plus de 20 fois supérieur au taux d'extinction naturel.

Mais, pas plus que la diversité culturelle d'un pays ne se mesure par un ou plusieurs nombres (nombre de films produits par an, nombre de groupes musicaux, nombre de langues parlées...), la biodiversité ne peut se réduire simplement à des nombres.

Variabilité génétique

Cette variabilité entre individus d'espèces différentes est le reflet de différences génétiques, codée dans l'ADN de chaque espèce. Mais cette formulation est trompeuse en laissant entendre que chaque espèce posséderait un seul ADN : elle veut simplement dire que les différences en deux individus de deux espèces différentes sont beaucoup plus élevées qu'entre d'individus de la même espèce. La diversité génétique existe clairement aussi à l'échelle d'une population d'individus d'une même espèce. On estime ainsi que 99 % des 3 milliards de paires de bases formant notre double hélice d'ADN sont identiques à celles du chimpanzé... mais cette différence entre notre génome et celui du chimpanzé n'est finalement que dix fois plus grande que celle entre deux êtres humains...

Des individus d'une même espèce, issus d'ancêtres communs, se sont diversifiés au cours des mécanismes de l'évolution par le jeu de mutations génétiques, de hasards démographiques, et de processus de sélection. On sait par exemple que les humains aux yeux bleus descendent tous d'un même individu qui a vécu il y a 6 à 10 000 ans dans le Sud-Est de l'Europe. Cette diversité s'illustre aisément par la géographie : 99 % des Estoniens ont les yeux bleus, 75 % des Allemands, mais c'est un caractère qui reste relativement rare aux États-Unis, pays d'immigration récente.

La diversité génétique est donc à la source de la diversité biologique en général et permet aux êtres vivants de s'adapter aux évolutions de leur environnement.

Diversité des formes et fonctions

La diversité des formes vivantes, du champignon à la baleine bleue, du criquet aux séquoias, a de tous temps étonné les hommes, comme en témoigne le récit de l'Arche de Noé. Le mot « diversité », du latin « diversus » qui veut dire « contraire », est parfaitement approprié. Cette diversité de formes s'accompagne d'une toute aussi importante diversité de fonctions.

Parmi les végétaux d'une pelouse méditerranéenne, certaines espèces auront besoin de lumière et seront de haute taille, tandis que d'autres, plus basses, auront besoin du couvert des premières pour se développer ; certaines espèces comme les légumineuses (trèfles, luzernes...) sauront, grâce à des bactéries vivant de façon symbiotique avec leurs racines, profiter au mieux de l'azote présent dans le sol ; on observera également d'importantes différences entre espèces dans la capacité à utiliser l'eau, à attirer les pollinisateurs, à résister à des vagues de froid. Une telle « communauté végétale » apparaît finalement comme un assemblage de fonctions, souvent complémentaires, autant que d'espèces.

De même, où qu'on soit dans le monde, les communautés de mammifères de steppes et savanes rassemblent des fonctions similaires : mangeurs d'herbe (ici le zèbre, ailleurs l'Antilope Saïga) et mangeurs de feuilles (ici les girafes, là les chameaux) pour les herbivores, chasseurs à l'affût et chasseurs à la course parmi les prédateurs, ainsi que des charognards. Parmi de multiples autres exemples, on retrouve cette même diversité de fonctions dans les riches communautés de poissons des récifs coralliens.

Diversification et biodiversité : l'évolution biologique

Cette diversité de nombre d'espèces, de formes, et de fonctions s'est constituée progressivement depuis un événement probablement unique d'apparition de la vie, il y a environ 3,8 milliards d'années. La biodiversité est donc le résultat d'une diversification progressive au cours du temps, régulièrement entrecoupée de crises d'extinction. Les organismes multicellulaires sont apparus il y a un peu plus de 2 milliards d'années. Au Cambrien, Il y a un peu plus de 500 millions d'années, la diversité des formes de vie explose, et de nombreux groupes d'êtres vivants actuels apparaissent. Alors que la vie était principalement marine, la vie terrestre commence à se développer il y a 350 millions d'années. D'autres étapes sont bien connues, comme la disparition des grands dinosaures il y a 65 millions d'années, considérée généralement comme la conséquence des changements climatiques et du bouleversement des habitats induits par la chute d'une météorite géante sur le Yucatan.

Il y a donc une histoire de la biodiversité, reconstruite à partir de la paléontologie, mais aussi à partir de l'ADN, qui permet de proposer une vision de « l'arbre de la vie », véritable arbre généalogique des êtres vivants, assez notablement différente de ce qu'elle était il y a encore 20 ans : les champignons sont au moins aussi proches des animaux que des plantes, les oiseaux sont des descendants directs des dinosaures. Il faut donc voir l'arbre de la vie comme un arbre aux branches inégales en longueur comme en nombre de ramifications, avec des branches mortes, et, c'est peut-être le plus frappant, avec, aux bouts des branches, des « fruits », les êtres vivants actuels, d'allures, de formes, et de fonctions extraordinairement diverses.



Une illustration de « l'arbre de la vie » (<http://tolweb.org/tree/>).

Cette diversification est le résultat de l'évolution biologique, croisant le hasard des mutations et de la recombinaison de gènes dans le cas de la reproduction sexuée, et la nécessité de transmettre ces gènes qui ne laissera persister que les génomes conférant une meilleure transmission. Cette « sélection du plus apte », énoncée par Darwin, sous-tend à peu de changements près la vision actuelle de l'évolution biologique, mise en évidence par une foule de résultats scientifiques, y compris des approches expérimentales. Il semble donc de plus en plus inadéquat de parler de « théorie de l'évolution ». Sans pouvoir détailler ici la synthèse moderne de l'évolution biologique ni l'histoire de sa construction, on peut dire que le jeu des « hasards », ceux des mécanismes génétiques au sens large, dont les mutations, et des « nécessités », celles de contraintes de l'environnement physique et de celui que forment les congénères et les autres êtres vivants, est de mieux en mieux compris. La complexité des hasards ne fait que se dévoiler un peu plus d'année en année, par exemple avec une

compréhension accrue de mutations qui affectent le contrôle de l'expression des gènes. La compréhension des nécessités, c'est par exemple la compréhension de l'intensité de la sélection dans des populations isolées, ou au contraire de son atténuation par des flux de gènes entre populations empêchant l'adaptation locale. La fabuleuse expérience encore en cours de Lansky, qui a lancé en 1988 un élevage en continu de douze populations de la bactérie *Escherichia coli*, montre que la sélection et la diversification peuvent opérer de manière marquée en quelques dizaines de milliers, voire quelques milliers de générations. L'étonnement est peut-être finalement que les effets de la sélection ne soient pas encore plus marqués qu'ils ne sont. Une des raisons est que, dans le hasard des mutations, la plupart des mutations sont délétères, souvent létales dès le stade de l'embryon. Une autre raison est que chez les animaux à reproduction sexuée, la première contrainte pour transmettre ses gènes est de trouver un partenaire : la sélection sera donc pour une large part celle d'une conformité à la norme anatomique et comportementale de l'espèce. On parle de « sélection régularisante ». En fin de compte, seule une faible part des « innovations » génétiques passera le filtre de la sélection et contribuera donc à la diversification du vivant.

Il faut souligner que la vision initiale de Darwin était d'autant plus géniale qu'aucun mécanisme de transmission des caractères n'était connu à l'époque. Darwin s'est d'ailleurs fortement appuyé sur l'observation de la sélection réalisée par l'Homme chez les animaux domestiques pour argumenter d'une « hérédité » des traits. La découverte des gènes par Mendel quelques décennies plus tard puis le développement de la génétique, couronné par le déchiffrement de l'ADN en 1953 par Watson et Crick, n'ont fait que confirmer que, selon le mot de Theodosius Dobzhansky, « rien n'a de sens en biologie, sauf à la lumière de l'évolution ».

L'Homme dans la biodiversité

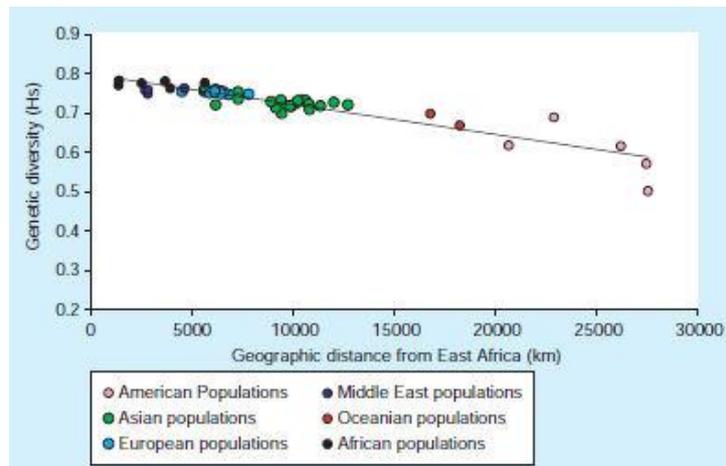
L'Homme a sa place dans l'arbre de la vie, au sein des primates, apparu il y a une cinquantaine de millions d'années, et aux côtés d'une poignée d'autres « Hominidés » dont subsistent : deux espèces d'Orang-outan, deux de Chimpanzé, et le Gorille dont les formes géographiques assez différentes semblent néanmoins mériter d'être regroupée dans une seule espèce.

Le Chimpanzé est la forme la plus proche de l'Homme. Linné avait proposé, à partir d'informations indirectes sur les grands singes, une espèce nommée *Homo troglodytes*, une audace à peine croyable à une époque où la nature animale de l'Homme était loin d'être largement admise ! Ultérieurement, le nom a été utilisé pour le Chimpanzé, devenu *Simia troglodytes*, puis *Pan troglodytes*, le nom utilisé à ce jour. Mais la relativement faible différence génétique (1 % des gènes), résultat d'une divergence entre les lignées d'*Homo sapiens* et du Chimpanzé qui semble s'être produite en Afrique il y a seulement 6 millions d'années, pourrait plaider pour une réhabilitation du nom scientifique *Homo troglodytes* !

La paléontologie nous a donné à connaître d'autres Hominidés désormais disparus, des Australopithèques au très récent *Homo neanderthalensis*. Les débats sur la disparition de l'Homme de Neandertal, encore ouverts, peuvent désormais s'appuyer sur des comparaisons d'ADN. Les méthodes d'étude de traces infimes d'ADN, par des prouesses techniques également utilisées par la police scientifique, ont en effet permis d'isoler, amplifier et séquencer des segments d'ADN de l'Homme de Neandertal.

Chez l'Homme moderne, la variabilité de l'aspect extérieur, et notamment de la couleur de la peau, est marquée, selon l'origine géographique, mais la variabilité génétique est tout aussi forte à l'intérieur des populations régionales qu'entre régions. La vision de fortes différences

raciales, et surtout les interprétations qui en ont été données, avec les terribles excès que l'on connaît, n'ont donc aucun fondement scientifique. La cartographie de la diversité génétique valide le schéma historique classique dit « de sortie récente de l'Afrique » : apparition des *Homo sapiens* archaïques en Afrique il y a 100 à 200 millénaires, essaimage vers l'Eurasie il y a environ 60 000 ans, et migration récente par le pont terrestre de Bering vers l'Amérique du Nord au cours du dernier épisode glaciaire (environ 20 000 ans), puis, de là, vers l'Amérique du Sud.



Relation entre distance à l'Afrique de l'Est et diversité génétique (Prugnolle *et al.*, Current Biology, vol. 15, 2005) : la diversité génétique diminue avec la distance à l'Afrique, par le jeu d'un appauvrissement génétique (perte d'allèles) lors de « goulots d'étranglement » successifs au sein des populations ayant colonisé progressivement des espaces de plus en plus éloignés.

Pour conclure sur la place de l'Homme dans la biodiversité, il faut malheureusement rappeler que les cinq autres Hominidés sont tous en danger d'extinction, avec une accélération des menaces sous l'effet des activités humaines. Cet impact sur nos plus proches parents est un symbole saisissant de l'emprise actuelle de l'Homme sur la biodiversité.

Interactions : de la diversité aux écosystèmes

La diversité des fonctions écologiques est intimement liée à une autre diversité, apparue parallèlement, celle des interactions entre espèces : qu'on soit lion ou araignée, on n'est prédateur que parce qu'il y a des herbivores, et la fonction de prédateur n'est que le reflet d'une interaction avec les espèces proies. On ne peut pas ne pas citer, parmi mille autres exemples, l'interaction entre bactéries fixatrices d'azote et racines des légumineuses.

L'interaction entre plantes et pollinisateurs, et entre insectes dits « ravageurs » et plantes font partie des interactions biologiques les plus importantes pour l'Homme, à travers leur rôle clé dans l'agriculture. Le dernier cas permet d'illustrer la relation entre évolution biologique, interactions, et biodiversité au niveau génétique : l'emploi massif de pesticides et la persistance d'une variabilité génétique chez les ravageurs favorisent des génotypes résistants et déclenchent inévitablement une évolution de formes de résistance chez les ravageurs, en un épisode de ce qu'on appelle « une course évolutive aux armements », épisode auquel la tentation est bien sûr de répondre par un renforcement des pesticides. On compare souvent cette course que personne ne pourra gagner à la « Reine rouge » d'Alice aux pays des merveilles, qui court pour rester toujours à la même place.

Dans cet exemple, les traitements insecticides induiront souvent une baisse de l'abondance et de la diversité des compétiteurs ou de prédateurs de l'espèce ravageur cible, qui pourra se trouver partiellement favorisée. De manière générale, une diminution de diversité peut perturber bon nombre de fonctions écologiques, voire l'équilibre dynamique des écosystèmes. Cette relation « biodiversité – fonctionnement » est l'objet de recherches actives. Par fonctionnement des écosystèmes, on entend les activités de tous les êtres vivants au sein d'un écosystème et l'effet de ces activités (alimentation, croissance, excrétion...) sur leur environnement. De nombreuses études expérimentales ont effectivement montré que la productivité des écosystèmes, mesurée par exemple par la quantité de biomasse produite par an et par unité de biomasse présente, augmente avec le nombre d'espèces présentes. On peut craindre ainsi un impact sur les rendements à long terme de l'appauvrissement de la diversité microbienne dans des sols soumis à l'agriculture intensive.

Les études sur l'influence de la biodiversité sur la « stabilité » des écosystèmes sont moins nombreuses, ne serait-ce que parce que la stabilité est une propriété à long terme délicate à caractériser et correspond plutôt à un « équilibre dynamique ». Ces études indiquent cependant qu'une baisse de biodiversité modifie cet équilibre et tend à diminuer la résilience des écosystèmes, notamment face à des événements climatiques extrêmes.

Les espèces introduites, parfois invasives, en éliminant des espèces locales bien adaptées induisent ainsi souvent un appauvrissement de la biodiversité et une perte de résilience des écosystèmes concernés. Leur impact peut passer par des réseaux d'interactions difficiles à démêler : les espèces d'oiseaux introduites dans l'archipel d'Hawaii ont ainsi apporté avec elles des virus de la malaria aviaire qui ont décimé les espèces indigènes qui n'y avaient jamais été exposées et n'avaient donc développé au cours de leur histoire évolutive aucune défense contre ces virus. Ajoutant leurs effets aux destructions d'habitat, ces introductions ont ainsi fait disparaître, depuis 1800, 31 espèces d'oiseaux endémiques.

Du point de vue de l'Homme : les services écosystémiques

La notion de « service écosystémiques » s'est développée depuis une quinzaine d'années pour souligner à quel point l'Homme, partie intégrante de l'arbre de la vie, est aussi tributaire sous des formes très variées, des mécanismes écologiques. Les services écosystémiques peuvent être vus comme la transcription en conséquences pour l'Homme du fonctionnement des écosystèmes. Cette approche permet de décliner les conséquences d'altérations de la biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes en termes de modifications ou d'altérations de ces services.

Depuis le « Millenium Ecosystem Assessment » (2005), produit sous l'égide des Nations Unies, on distingue usuellement trois grands types de services :

- les « services d'approvisionnement », concernant des ressources directement utilisées par les sociétés humaines : bois et autres matériaux, eau, aliments...
- les « services de régulation » : régulation du climat de l'occurrence et de l'étendue des maladies, d'événements liés au cycle de l'eau (crues, qualité des eaux ...)
- les « services culturels », c'est-à-dire l'utilisation des écosystèmes et du monde vivant à des fins récréatives, esthétiques et spirituelles.

Cette classification a l'avantage de relier aspects éthiques et aspects économiques. Ainsi, les préoccupations éthiques autour de la conservation de la biodiversité « remarquable », par exemple d'espèces à valeur patrimoniale (ours blanc, lion...), relèvent des services culturels. La pollinisation par les insectes relève des services d'approvisionnement puisqu'elle conditionne la production agricole. Elle a pu être quantifiée au niveau mondial comme

l'équivalent de 150 milliards d'Euros par an. La pêche est un autre exemple typique de service d'approvisionnement qui se prête à une évaluation économique.

Rentre également dans cette analyse en termes de services le rôle de la biodiversité pour l'alimentation et la santé humaine : importance de la diversité bactérienne de la flore intestinale, importance de la diversité de plantes et de leurs métabolites secondaires pour la pharmacopée, puisque 70 % des médicaments proviennent de plantes. Pour ne citer qu'un seul exemple, Le taxol est un ester di-terpénique isolé pour la première fois de l'écorce d'un if (*Taxus brevifolia*) localisé sur la côte Nord-Ouest des États-Unis. Ce composé est un agent antimitotique puissant, capable donc de freiner la multiplication cellulaire. Il est à l'heure actuelle préparé par hémi-synthèse et commercialisé sous le nom de Taxotère à partir de la baccatine, un composé voisin du taxol extrait de l'If commun (*Taxus baccata*) beaucoup plus abondant que l'If américain. Le taxol est employé pour stopper la progression de métastases cancéreuses.

La biodiversité face aux changements planétaires

L'Homme, qui ne saurait oublier qu'il fait partie de la biosphère, dépend donc largement de la biodiversité. Pourtant les activités humaines dégradent la biodiversité à un rythme sans précédent, de façons très variées, et à l'échelle de l'ensemble de la planète si bien qu'on parle de « changements planétaires », exacte traduction de *global change*.

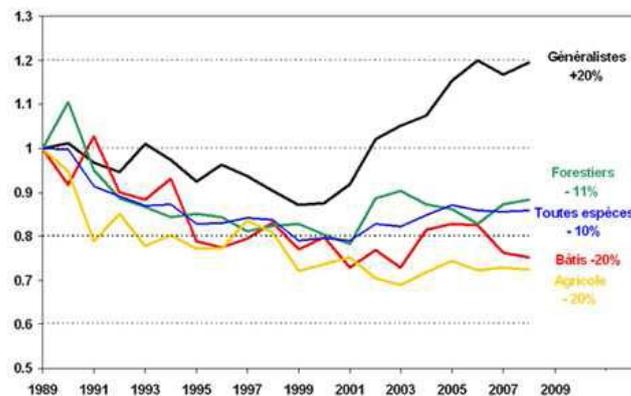
Les multiples composantes de ces changements sont en général regroupées en deux grandes rubriques : le changement climatique, et les changements d'usage (usage des terres, méthodes et extension des transports, utilisation de l'énergie).

Les exemples d'érosion de la biodiversité suite à des changements d'usage sont légion. Le plus frappant est probablement l'érosion des ressources halieutiques suite à une augmentation effrénée des prises de pêche, elle-même conséquence d'améliorations techniques. Mais le lent recul de la « biodiversité ordinaire » – la diversité des multiples acteurs vivants du fonctionnement des écosystèmes où nous vivons – face à l'agriculture intensive et l'urbanisation sont un autre exemple.

Pour ce qui est du changement climatique, les courbes lisses de prévisions des modèles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ne doivent pas faire illusion. L'élévation de la température moyenne risque d'être accompagnée d'occurrences plus fréquentes d'événements extrêmes : crues, épisodes de sécheresse ou vagues de chaleur. Le déplacement des aires de répartition vers le Nord dans l'hémisphère boréal, et la montée en altitude de plantes, insectes et vertébrés sont amorcées, mais semblent avoir lieu avec une certaine inertie. Le tableau ne laisse pas d'être inquiétant : 3 °C correspondent à un décalage vers le Nord de près de 600 km des ceintures de végétation qui, s'il prend un siècle, correspondra à une vitesse de 6 km/an. C'est un changement considérable que seuls les professionnels de la vigne, habitués à planter dans une perspective de durée, semblent avoir bien intégré. Ces déplacements devraient avoir lieu à une vitesse plus de 10 fois plus élevée qu'à la fin du dernier épisode glaciaire, où le hêtre a « marché » vers le nord à une vitesse moyenne d'environ 600 m par an. La disparité inévitable de vitesse entre plantes et insectes, qu'il s'agisse de pollinisateurs ou de ravageurs, va entraîner des disruptions majeures des assemblages d'espèces. Ces disruptions ainsi que des décalages de calendrier, par exemple entre émergence d'insectes proies et reproduction d'oiseaux prédateurs ou entre floraison et émergence des pollinisateurs, entraîneront des modifications profondes du fonctionnement des écosystèmes. Enfin, une telle vitesse de migration et une capacité raisonnable

d'installation pour des arbres longévifs ne seront peut-être tout simplement pas possibles sans heurts majeurs : augmentation d'incendies forestiers de grande surface, incapacité de colonisation dans des forêts en dépérissement où l'espace reste préempté par des arbres morts sur pied. Le débat est actuellement ouvert sur la nécessité d'aider le glissement des aires de répartition par une « migration assistée », dont il faudrait être capable d'inventorier les effets de bord. Le paradoxe est que jusqu'à présent on a souvent assisté plus ou moins volontairement la migration d'espèces exotiques, mais pas celle d'espèces indigènes !

Les changements d'usage induisent une fragmentation sans précédent des habitats naturels qui empêchera le déplacement de certaines espèces, confinées alors dans des îlots d'habitats de plus en plus défavorables. Le cas des reptiles et amphibiens, aux capacités de dispersion limitées, est particulièrement préoccupant puisque 39 % des près de 6 000 espèces pour lesquelles des informations ont pu être obtenues sont d'ores et déjà menacées. C'est un premier exemple d'interaction entre changements d'usage et changement climatique. Un autre exemple de telles interactions concerne ce qu'on appelle « les pathologies émergentes » : le développement du transport aérien, et la difficulté à prendre des précautions, disséminent toutes sortes de parasites et de pathogènes en tous sens sur le globe ; le changement climatique permet souvent désormais leur installation avec succès dans des zones qui leur étaient auparavant défavorables.



Érosion et homogénéisation de la diversité des oiseaux communs en France. Maintien des généralistes, déclin des spécialistes (programme STOC, Muséum national d'histoire naturelle).

L'ampleur des conséquences de l'augmentation avérée des taux d'extinctions d'espèces fait débat, car les taux d'extinction au sein de certains groupes clés comme les insectes sont mal connus. Même si les estimations selon lesquelles jusqu'à 50 % des formes vivantes pourraient disparaître pendant ce siècle semblent pessimistes, il est clair que les extinctions régionales seront légion. Conjointement à l'invasion d'espèces, elles se manifestent d'ores et déjà par un appauvrissement et une homogénéisation considérables de la biodiversité. L'érosion d'une biodiversité localement adaptée et son remplacement par une biodiversité plus généraliste se traduit généralement par une dégradation des services écosystémiques pour les sociétés humaines. L'incapacité des stocks de morue à se reconstituer, et les craintes de basculement de la forêt amazonienne vers le dépérissement au-delà d'une déforestation de 20 %, à cause d'une baisse des fonctions de régulation du climat, témoignent d'effets de seuil encore mal connus.

Que peuvent faire nos sociétés face à cette érosion et homogénéisation de la biodiversité, et à cette dégradation des services écosystémiques ?

Il faut tout d'abord évoquer la *tragedy of the commons* de Garret Hardin. Dans un texte célèbre, en 1968, ce biologiste a souligné combien l'amélioration du sort de chaque individu peut aller contre le bien commun. Comment reprocher à un pêcheur d'essayer d'acheter un bateau plus puissant pouvant aller pêcher plus loin, plus vite, avec de plus grands filets, lui garantissant une augmentation de ses prises ? La difficulté est clairement de privilégier le bien commun sans générer une injustice sociale.

Des prises de conscience permettent parfois d'inverser la tendance : en France, des plans de chasse et un contrôle serré du braconnage ont permis une remontée des effectifs – et des tableaux de chasse – des grands ongulés (cerf, sanglier, chevreuil, chamois...). Cette véritable remise à niveau de la biodiversité a notamment induit une recolonisation naturelle des Alpes par le loup, à partir des populations italiennes.

Nous pouvons accompagner l'évolution de la biodiversité par un usage plus efficace des terres, des eaux douces et marines, par un partage équitable et durable des ressources, par une prise en compte des services rendus par les écosystèmes dans nos économies, par l'éducation au respect de la biodiversité. Nous pouvons aussi restaurer les écosystèmes dégradés en gérant localement l'évolution de la biodiversité, dans un souci de réduction de la pauvreté et d'amélioration des conditions de santé, de prospérité et de sécurité des populations humaines, et d'adaptation au changement climatique. Tout en sachant que la prochaine décennie sera décisive pour l'avenir de la biodiversité.

Avons-nous justement des raisons d'espérer en cet avenir ? Oui car, même s'il n'a pas été atteint, l'objectif 2010 pour la biodiversité a favorisé la création de nouvelles aires protégées, la conservation de certaines espèces, la lutte contre les pollutions ou les espèces exotiques envahissantes. Cet objectif a amené 170 pays à adopter des stratégies et des plans d'action en faveur de la biodiversité. Des ressources financières ont été mobilisées, des progrès accomplis dans le suivi et l'évaluation scientifiques de la biodiversité. Tous ces efforts ont permis de freiner la déforestation, de contenir l'expansion de certaines espèces exotiques envahissantes, d'en sauver d'autres menacées d'extinction. Ils ont aussi permis de s'appuyer sur la protection de la biodiversité pour atténuer les effets du changement climatique, améliorer les approvisionnements en eau, lutter contre les inondations... Ces résultats suggèrent que l'appauvrissement de la biodiversité pourrait, à la fin de ce siècle, être enrayé, peut-être même inversé, si étaient prises dès maintenant « des mesures urgentes, concertées et efficaces, en appui d'une vision à long terme et partagée » (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010. Troisième édition des *Perspectives mondiales de la diversité biologique*. Montréal, 94 pages). Des mesures indispensables à la fois à une atténuation durable de la pauvreté dans le monde, à une prévention des effets du changement climatique, à une adaptation de nos sociétés à ces effets.