

**EXPLORA**  
cité des Sciences et de l'Industrie

# ENVIRONNEMENT

## et diversité du vivant

**Christian Lévêque**

sciences

POCKET

ORSTOM

Environnement  
et diversité du vivant

## Collection *Explora*

Prix Roberval 1991 du livre et de la communication en technologie  
Plume d'or 1993 décernée par le jury du Prix Jean-Rostand

*L'apparition du vivant.*

François Raulin

*Les archives de la Terre.*

Christiane Sabouraud

*Au cœur de la vie : la cellule.*

Dominique Morello

*L'aventure millénaire des fusées.*

Jacques Villain

*Le cerveau.*

Claude Kordon

*Les climats de la Terre.*

Bruno Voituriez

*La communication animale.*

Vincent Darnet et Nathalie Tordjman

*Dans les traces des dinosaures.*

Eric Buffetaut

*La découverte des abysses.*

Daniel Reys

*Des forêts et des hommes.*

Philippe Leroy

*Découvrir les planètes.*

Bernard Hagene

*Du boulier à l'informatique.*

Alain Taurisson

*Du tam-tam au satellite.*

Paucie Carré

*L'évolution, entre la bactérie et l'homme.*

Charles Lenay

*L'évolution de la matière.*

Gilles-Eric Séralini

*La génétique.*

Catherine Bousquet

*Histoire de l'électricité.*

Christine Blondel

*L'homme dans l'espace.*

Jean-Pierre Penot

*L'intelligence artificielle.*

Joanna Pomian

*L'invention du temps.*

Jean Matricon et Julien Roumette

*Le lait, la nature et les hommes.*

Catherine Bouvier

*Le médicament.*

Gilles Bouvenot et Éveline Eschwège

*Mille et une lunes.*

Anna Alter et Bernard Hagene

*Mille milliards de microbes.*

Jean-Michel Boissier et Martine Scrive

*Les mondes sonores.*

Denis Fortier

*Moteurs et propulsions.*

Léopold Cohen

*Le pétrole, une épopée.*

Xavier Boy de La Tour

*Planète eau.*

Guy Leray

*Représenter le monde.*

Françoise Minelle

*La saga de l'énergie.*

Claude Bienvenu

*Le Soleil est une étoile.*

Jean-Claude Pecker

*Vie et mort des espèces.*

Florence Raulin-Cerceau

*Les volcans.*

Jean-Louis Cheminée

**EXPLORA**

Collection dirigée par Dominique Blaizot

Christian LÉVÊQUE

# Environnement et diversité du vivant



**POCKET**

*À Alicia-Marion, et ceux de sa (jeune) génération,  
auxquels nous sommes tenus de transmettre en héritage  
un monde dont le spectacle les fera, à leur tour,  
rêver et s'émouvoir.*

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

■ <b>Introduction</b>	
ÉCOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET BIODIVERSITÉ .....	p. 7
■ <b>Chapitre 1</b>	
LES MILIEUX NATURELS ONT UNE HISTOIRE .....	p. 12
■ <b>Chapitre 2</b>	
LA DIVERSITÉ DU VIVANT .....	p. 30
■ <b>Chapitre 3</b>	
MENACES SUR LA NATURE .....	p. 46
■ <b>Chapitre 4</b>	
UTILISATION ET VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ .....	p. 74
■ <b>Chapitre 5</b>	
ÉCONOMIE ET BIODIVERSITÉ .....	p. 92
■ <b>Chapitre 6</b>	
PROTÉGER LA NATURE... ..	p. 102
■ <b>Annexes</b> .....	p. 122
■ <b>Bibliographie</b> .....	p. 125
■ <b>Glossaire-index</b> .....	p. 127

# ÉCOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET BIODIVERSITÉ

**L'***écologie*, terme créé en 1866 par le scientifique allemand Ernst Haeckel, signifie, étymologiquement, science de l'habitat et désigne *l'étude des interrelations des êtres vivants avec leur environnement*. Cette définition a, par la suite, été étendue à *l'étude des mécanismes et des processus qui expliquent la distribution et l'abondance des organismes*. Autrement dit, c'est une branche reconnue des sciences de la nature, qui s'intéresse au monde vivant, dans son ensemble, à sa diversité et à son fonctionnement.

L'écologie s'intéresse en premier lieu aux *écosystèmes*, c'est-à-dire à *l'ensemble d'une communauté d'organismes animaux et végétaux et leur environnement physique et chimique avec lequel ils sont en interaction* : un lac, une forêt, un marais sont des écosystèmes.

L'une des ambiguïtés, dans l'utilisation du terme écologie, est liée au fait qu'il a acquis des significations différentes.

Depuis 1970, le terme écologie désigne un courant de pensée qui, de manière simplifiée, pose la question de la place de l'homme dans le monde vivant, et brandit le spectre d'un désastre écologique pouvant conduire à



l'extinction de l'espèce humaine. Ce mouvement d'opposition aux excès du développement technique et industriel a donné naissance à divers mouvements et institutions de conservation tels que Fonds mondial pour la nature (World Wilderness Fond, WWF) Greenpeace, l'Union mondiale pour la nature (UICN)... Il a également donné lieu à différentes prises de position philosophiques et à des mouvements politiques qui, pour respectables qu'ils soient, n'ont en réalité que très peu de liens avec l'écologie scientifique.

**L**es forêts tropicales régressent de manière spectaculaire depuis plusieurs décennies. Une des causes principales est le défrichement de terres cultivables pour faire face à l'augmentation de la population. Mais l'exploitation de certaines

## L'environnement

L'environnement est *l'ensemble des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques dans lequel vit un organisme vivant*. Depuis les années 1960, ce terme est également utilisé dans un sens plus spécifique pour désigner le cadre de vie de l'homme et ses interactions avec la nature et le milieu urbain. L'environnement est souvent perçu, en réalité, par les différents aspects, presque toujours négatifs, de l'impact des activités humaines sur la biodiversité. Ces impacts peuvent concerner la composition de l'atmosphère aussi bien que la qualité des eaux ou la composition de la flore et de la faune.

## La biodiversité

■ La question de la *biodiversité* (contraction de *diversité biologique*) est un des aspects des problèmes d'environnement auxquels nous sommes actuellement confrontés. Si le terme biodiversité ne se trouve pas encore dans tous les dictionnaires, c'est que son origine est toute récente. Utilisé pour la première fois en 1986 par les scientifiques, il est devenu plus populaire à l'occasion du Sommet de la Terre qui s'est tenu en juin 1992 à Rio de Janeiro (Brésil). Les débats, souvent passionnés, qui ont accompagné la signature de la Convention sur la biodiversité par 165 nations, reflétaient bien la complexité des problèmes abordés et la dimension des enjeux en termes éthiques, écologiques mais aussi économiques.

essences pour l'exportation s'est sensiblement accrue après la Seconde Guerre mondiale, en raison d'une forte demande de l'industrie et de la raréfaction des ressources en bois dans les pays développés. Le commerce des bois tropicaux est devenu une source substantielle de devises pour certains pays (ici, au Zaïre), mais le mode d'exploitation intensif favorisant le profit à court terme, est souvent dévastateur.

■ La *biodiversité* peut être définie comme la *diversité du monde vivant* ou, selon une définition plus large et admise internationalement, comme *la variété et la variabilité des organismes vivants et des complexes écologiques dont ils font partie*. Elle est aussi le produit de l'Évolution qui a façonné cette immense diversité de formes vivantes au cours du temps.

■ Mais la biodiversité n'est pas un simple catalogue d'espèces, de milieux ou de gènes car elle joue un rôle essentiel dans la régulation des écosystèmes naturels. La diversité génétique, en particulier, est nécessaire pour que les espèces puissent s'adapter aux changements de l'environnement qui ont, de tout temps, marqué l'histoire de la Terre. La diversité des espèces joue, quant à elle, un rôle majeur dans les interactions que ces espèces peuvent développer à l'intérieur des écosystèmes.

■ Concrètement, la biodiversité est également un *ensemble de ressources biologiques et génétiques* que l'homme a su domestiquer à son profit et dans lequel il continue de puiser selon ses besoins. C'est notre "capital biologique", la source de nombreux produits alimentaires, pharmaceutiques ou industriels qui en constituent, d'une certaine manière, les dividendes.

La protection des écosystèmes et des espèces menacées trouve ainsi des arguments de poids dans la perspective d'une valorisation économique possible des ressources naturelles.

**L**es plantes et les animaux sont employés partout dans le monde dans les pharmacopées traditionnelles. Sur ce marché chinois, par exemple (p. 11), on peut acheter des restes séchés de nombreuses espèces telles que tatous, pythons, bouquetins, félidés, etc. Ces produits ont des vertus thérapeutiques, mais ils servent également à l'élaboration de philtres divers. Ainsi, les rhinocéros sont maintenant en danger d'extinction car ils ont été massacrés pour commercialiser la corne qui, en Asie, est réputée aphrodisiaque.



La notion de biodiversité s'est développée dans un contexte de crise : sous l'effet des activités humaines et du développement économique, l'environnement connaît une dégradation de plus en plus rapide et généralisée. Certains écosystèmes comme les forêts tropicales, ainsi que les milliers d'espèces végétales et animales qu'elles abritent, disparaissent à une vitesse inquiétante ; les milieux aquatiques continentaux sont de plus en plus dégradés sous l'effet des aménagements et des pollutions et la situation est tout aussi préoccupante pour les milieux marins littoraux.

Comment préserver la nature et qui va payer pour cela ? En réalité, l'enjeu des prochaines années est de mettre en place les outils du développement durable, c'est-à-dire de trouver les moyens de concilier les exigences du développement économique avec la nécessaire protection de l'environnement. ■



# LES MILIEUX NATURELS ONT UNE HISTOIRE

**C'est dans un environnement climatique et géologique en perpétuel changement que la diversité biologique, telle que nous l'observons aujourd'hui, s'est constituée au fil des temps.**

**Ce patrimoine biologique est l'héritage de la longue histoire de l'évolution des espèces dans des écosystèmes qui ont connu d'importantes modifications.**

**L**es trilobites sont des crustacés qui peuplaient les fonds marins au Cambrien, il y a 600 millions d'années. Les restes fossilisés de leur squelette externe, très calcifié, permettent de dater les couches sédimentaires de l'ère primaire.

L'histoire de la Terre est jalonnée de périodes durant lesquelles la vie s'est diversifiée, mais aussi de drames, de grandes catastrophes qui ont entraîné la disparition de nombreuses espèces.

Pour connaître cette histoire, il est nécessaire de faire appel à de nombreuses disciplines scientifiques : climatologie, géologie, paléontologie, systématique...

## **Des milieux naturels en perpétuelle mutation**

L'évolution biologique est stimulée par la variabilité de l'environnement et des milieux dans lesquels vivent les espèces. L'état de la biodiversité ne peut donc être réellement compris que dans le cadre de la dynamique des écosystèmes, dans un contexte climatique et géomorphologique qui a évolué en permanence, favorisant tantôt la *spéciation*, tantôt l'extinction, selon la fréquence et l'intensité des modifications.

## **La dérive des continents**

Le géologue allemand Alfred Wegener fut, au début du <sup>XX</sup>e siècle, l'un des principaux artisans de la théorie de la *dérive des continents*, mais il fallut attendre les années 1950, et les résultats des recherches sur le paléomagnétisme, pour que cette théorie soit universellement admise.

Les continents n'ont pas toujours occupé l'emplacement qu'on leur connaît. La croûte

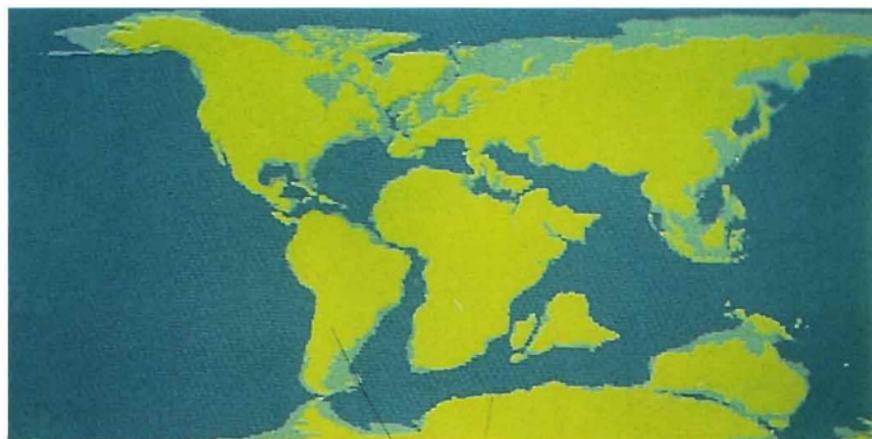
terrestre est morcelée en un ensemble de plaques, véritables radeaux flottant sur le magma, qui se déplacent à des vitesses de quelques centimètres par an.

■ Il y a 200 millions d'années, les continents actuels ne formaient qu'un seul bloc, la Pangée ("toute la Terre"), dont la surface totale était à peu près celle de la moitié du globe, alors que l'autre moitié était occupée par un immense océan, la Panthalassa.

■ Quelques dizaines de millions d'années plus tard, la Pangée commence à se séparer en trois grands blocs (Laurasie, Gondwana occidental et oriental) qui s'écartent lentement les uns des autres et se fragmentent à leur tour en blocs plus petits.

■ La séparation de l'Afrique et de l'Amérique du Sud débute il y environ 125 millions d'années, mais n'est achevée qu'il y a 90 millions d'années. À cette époque, l'Inde s'était également séparée de l'Afrique et de Madagascar et entamait sa dérive vers le nord pour venir s'ancrer au continent asiatique, il y a environ 35 millions d'années.

■ Il y a 100 millions d'années, l'Amérique du Sud vient seulement de se séparer de l'Afrique. L'Atlantique est en formation, mais l'Europe et l'Amérique du Nord sont encore réunies. L'Inde, accolée à Madagascar, est toujours située au sud de l'équateur, alors que l'Australie a déjà pris ses distances par rapport à la Pangée.



Il y a 17 millions d'années seulement que l'Afrique du Nord-Est est venue en contact avec l'Asie du Sud-Ouest, permettant des échanges de faune entre les deux continents.

La reconstitution de cette histoire de la Terre a permis de résoudre une énigme qui avait longtemps intrigué les paléontologues : l'existence de similitudes entre des faunes et des flores fossiles de part et d'autre de l'océan Atlantique ou parfois même entre les différents continents actuels comme c'est le cas, par exemple, pour des fougères du genre *Glossopteris*, ou pour le reptile *Lystrosaurus* dont des restes fossiles ont été signalés en Amérique du Sud, en Afrique du Sud, en Inde et en Australie. Ces espèces vivaient à l'époque de la Pangée, et avaient donc pu coloniser l'ensemble des terres émergées. Cette histoire explique également pourquoi, par exemple, on observe de fortes similitudes entre les faunes actuelles de poissons continentaux en Afrique et en Inde.

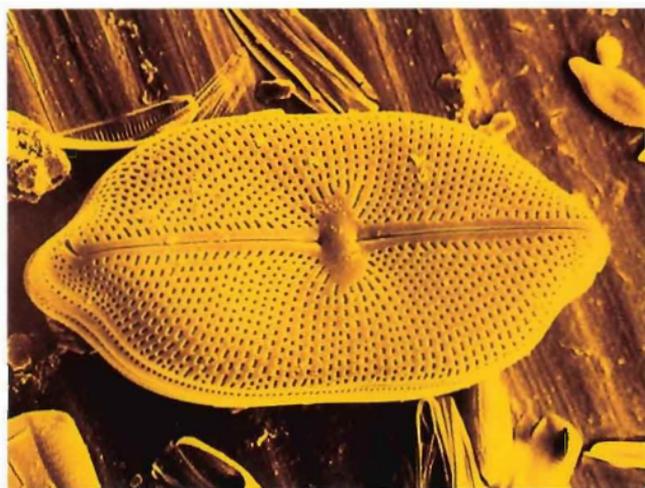
Mais la séparation des continents entraîna également la séparation géographique des espèces ou groupes d'espèces qui, par la suite, ont évolué indépendamment, donnant naissance, sur chacun de ces continents, à de nouvelles lignées évolutives.

## Les climats de la Terre

Les climats de la Terre ont, eux aussi, connu de nombreuses et importantes fluctuations.

**L**es séries de fossiles constituent de véritables archives conservées dans les sédiments qui se sont déposés chronologiquement. Leur étude permet de reconstituer l'histoire des variations climatiques en un endroit précis. Ainsi, les diatomées (ici une espèce du genre *Navicula*), algues d'eau douce microscopiques comportant un squelette siliceux quasi-indestructible, se retrouvent dans les sédiments lacustres. Chaque espèce ayant des exigences particulières vis-à-vis de la température

■ Pour reconstituer l'histoire de l'environnement climatique, les climatologues privilégient l'étude des sédiments marins et continentaux qui contiennent de nombreux restes fossiles d'animaux et de végétaux. La répartition géographique des flores et des faunes est en effet sous l'étroite dépendance du climat et l'on utilise en quelque sorte la diversité biologique passée, révélée par les fossiles, pour reconstituer les conditions climatiques dans lesquelles ces organismes ont vécu.



■ Les couches de neige qui se sont successivement déposées sur les calottes glaciaires représentent également une source privilégiée d'informations sur les changements climatiques pour des périodes plus récentes. Elles donnent en effet accès à des données chimiques sur les caractéristiques de l'atmosphère (teneur en gaz carbonique, par exemple) ainsi qu'à des paramètres physiques du climat tels que la température,

de l'eau, et de ses caractéristiques physico-chimiques, les associations d'espèces de diatomées sont d'excellents marqueurs des conditions climatiques qui prévalaient localement à une époque donnée. De même, grâce aux pollens de végétaux qui se conservent très bien dans les sédiments lacustres et les tourbières, on peut reconstituer l'histoire de la végétation. Dans le milieu marin, les foraminifères sont des organismes à coquille calcaire, abondamment représentés sous forme fossile dans les sédiments océaniques. On ne retrouve pas les mêmes associations d'espèces dans les eaux chaudes, tempérées ou froides.

par l'étude de l'abondance relative des isotopes lourds (deutérium et oxygène 18) dans les molécules d'eau constitutives de la glace.

■ Les climats anciens de la Terre sont mal connus. On sait qu'à l'époque de la Pangée, au cours de l'ère secondaire, il y a **200 millions d'années**, il faisait beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui, avec des températures globales supérieures de 6 °C. On a même retrouvé trace de palmiers dans l'Alaska, et d'arbres à pain au Groenland.

■ Les fluctuations du climat terrestre au cours des **120 derniers millions d'années** sont mieux connues. L'ère tertiaire a été très chaude, avec des températures moyennes de 17 °C au voisinage de l'Atlantique Nord. Les premiers signes de refroidissement datent d'il y a 60 millions d'années (période marquée par des extinctions massives d'espèces). Les premiers glaciers de montagne apparaissent dans l'Antarctique vers quarante millions d'années, mais, jusque vers trois millions d'années, l'Europe reste chaude et humide avec une végétation proche de celle des forêts tropicales d'aujourd'hui.

■ Le régime actuel s'installe il y a **2,4 millions d'années**. Au cours de cette période, les études ont montré qu'il existe une alternance de grandes périodes glaciaires et interglaciaires, qui correspondent respectivement à des périodes froides d'expansion des calottes de glace polaires, et à des périodes chaudes de régression de ces mêmes calottes, selon des cycles d'environ

100 000 ans, et avec des écarts dans la température moyenne du globe de plusieurs degrés.

■ Dans l'ensemble, ce sont les climats glaciaires qui ont été les plus fréquents, et leur durée cumulée représente près de 90 % de cette période. Le climat de type interglaciaire que nous connaissons aujourd'hui est donc assez exceptionnel à l'échelle du dernier million d'années.

## **L'Europe des glaces et des steppes**

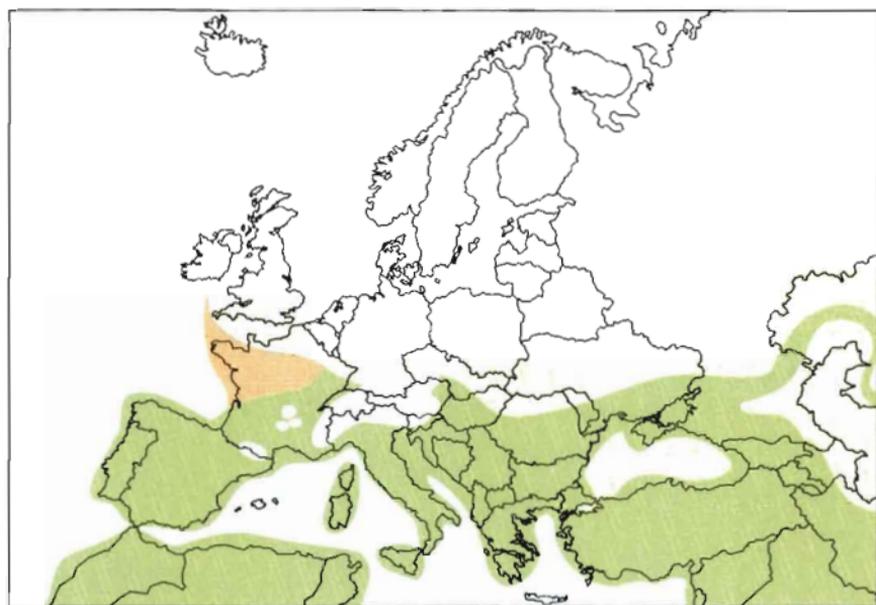
Au cours du dernier million d'années, les paléoclimatologues ont mis en évidence, dans l'hémisphère Nord, la succession d'une dizaine de glaciations.

La période la mieux étudiée est celle des trente derniers millénaires qui inclut la dernière période glaciaire dont l'apogée se situe aux environs de - 18 000 ans. Le Canada et le nord de l'Europe étaient recouverts de gigantesques calottes glaciaires hautes de 4 000 m environ, et le niveau de la mer se situait à environ 120 m au-dessous du niveau actuel. Les écosystèmes étaient alors très différents des écosystèmes actuels : les steppes occupaient les zones méridionales, les zones périglaciaires étant de type désertique.

Par la suite, le système terrestre s'est réchauffé, les glaces ont fondu, et le niveau des mers a remonté, avec parfois des à-coups atteignant deux mètres par an, obli-

geant les populations installées près du rivage à reculer. Au cours de la période de - 9 000 à - 6 000 ans, qualifiée d'*optimum climatique*, les hommes ont inventé l'agriculture. Depuis, les températures ont montré une tendance à la baisse dans l'hémisphère Nord, ce qui a pu être interprété comme le signe que nous sommes entrés dans une nouvelle phase de glaciation.

**D**urant la dernière période glaciaire qui culmina il y a environ 18 000 ans, le nord de l'Europe et le massif alpin étaient sous les glaces.

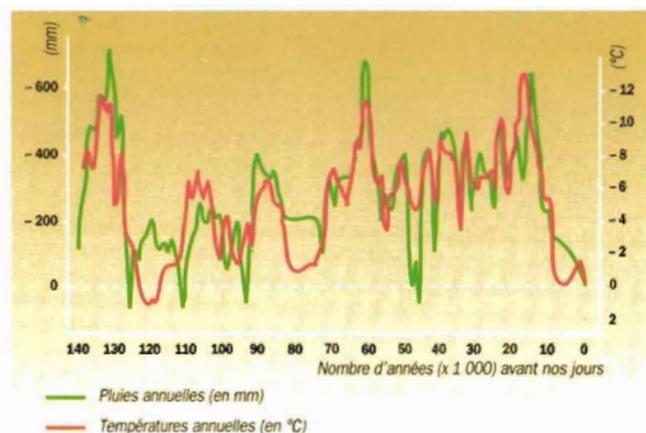


## Conséquences directes sur les écosystèmes

L'histoire des écosystèmes européens est marquée par une succession de changements climatiques de plus ou moins grande amplitude, qui ont provoqué d'importantes modifications dans la nature des écosystèmes. Dans de ces conditions, les organismes ont dû, en permanence, ajuster leur aire de répartition.

- banquise
- zone couverte de glace
- zone périglaciaire
- toundra
- steppe

Les grands types d'écosystèmes qui existaient autrefois en Europe et en Amérique du Nord n'ont pas survécu aux conditions particulièrement difficiles de l'époque glaciaire.



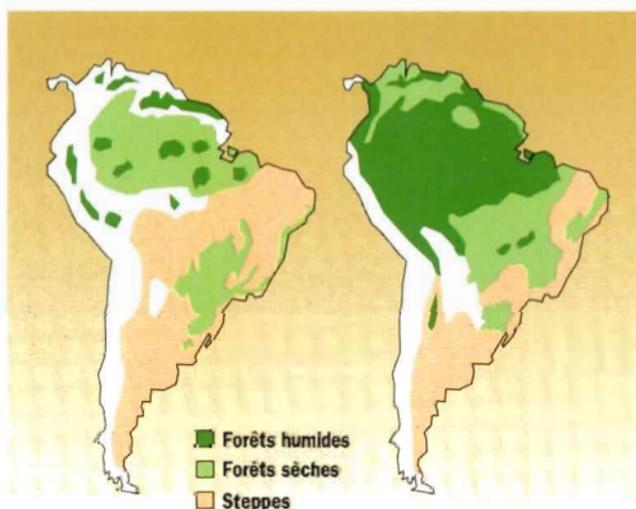
Au cours du réchauffement qui a suivi, c'est-à-dire au mieux depuis 15 000 ans, les espèces qui nous sont maintenant familières ont dû recoloniser ces régions à partir de régions plus méridionales où elles avaient pu se replier durant la période glaciaire.

## Les forêts tropicales humides : le mythe de la stabilité

Les grandes forêts tropicales humides d'Afrique et d'Amazonie ont connu bien des vicissitudes, au cours du Quaternaire, car les glaciations ont également affecté le climat des zones tropicales, provoquant une baisse des températures de plusieurs degrés, et une réduction de la pluviométrie. Au maximum des glaciations, alors que régnait un climat beaucoup plus aride que maintenant, les

**A**u cours des 140 000 dernières années, qui correspondent au dernier cycle climatique complet, la reconstruction chiffrée des températures et des précipitations annuelles dans les Vosges met en évidence la grande variabilité de ces paramètres climatiques, avec des périodes de refroidissement et de réchauffement qui se succèdent rapidement. Les courbes (en rouge, les températures, en vert les pluies) expriment les écarts par rapport au présent figuré par la ligne horizontale en pointillés.

zones forestières étaient considérablement réduites, ne subsistant que dans certaines zones plus favorisées que l'on appelle *zones refuges*. Ce fut le cas en Afrique comme en Amérique du Sud entre 20 000 et 13 000 ans avant notre ère.



Une nouvelle période d'expansion des forêts denses a débuté il y a environ 13 000 ans, et le plein épanouissement eut lieu il y a 10 000 à 9 000 ans. La recolonisation se serait faite depuis les zones refuges, au fur et à mesure que les conditions climatiques rendaient possible la réinstallation des espèces forestières.

L'ampleur des bouleversements climatiques fut sans aucun doute moins importante en zone tropicale qu'en zone tempérée, ce qui pourrait expliquer la plus grande richesse biologique actuelle de ces régions où la flore et la faune ont pu subsister sur de plus grandes périodes.

**L'**extension des forêts, il y a 15 000 ans (à gauche) et aujourd'hui (à droite). Les forêts tropicales, que l'on a pu comparer parfois, et de manière erronée, au poumon de la Terre, n'ont pas toujours connu leur extension actuelle. Ainsi, la forêt amazonienne a connu des périodes de contraction et d'expansion. À la fin de la dernière glaciation (il y a 15 000 ans), cette forêt était réduite à quelques zones refuges à partir desquelles elle a recolonisé le bassin amazonien il y a environ 10 000 ans.

## Des lacs dans le Sahara

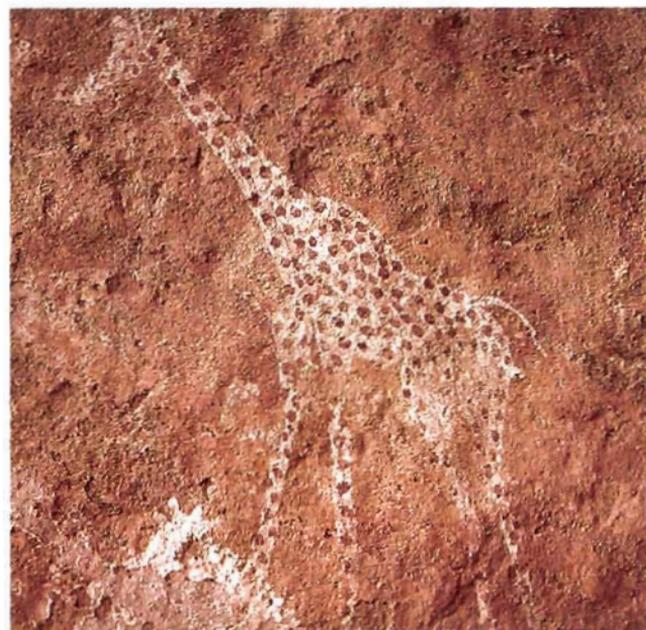
Il y a 18 000 ans, au maximum de la dernière glaciation, le désert saharien s'étendait plusieurs centaines de kilomètres plus au sud qu'aujourd'hui. Avec la déglaciation, les conditions climatiques se sont modifiées et l'on sait qu'il y a seulement 7 000 ou 8 000 ans, le Sahara était jalonné de vastes marécages et de lacs, alimentés par des pluies plus abondantes qu'aujourd'hui.



**L**es changements climatiques récents sont également à l'origine de certains mythes historiques. Ainsi le Déluge, déjà vivace dans les civilisations babyloniennes, correspond sans aucun doute à une période pluvieuse située entre 6 000 et 8 000 ans avant nos jours, qui a affecté non seulement le Sahara, mais également le Proche-Orient. Si Moïse et son peuple ont pu errer pendant quarante ans dans le Sinaï au nord-ouest de l'Égypte, c'est qu'à cette époque le désert actuel du Sinaï était verdoyant et les tribus nomades y trouvaient alors de l'eau et de la nourriture en quantité suffisante pour les hommes et leurs troupeaux.

Des populations néolithiques étaient installées là où le seul horizon est maintenant le sable du désert. La surface du bassin du Niger était environ le double de la surface actuelle (1 100 000 km<sup>2</sup>), et l'on observe encore les traces de nombreux affluents fossiles qui provenaient du Hoggar et de l'Aïr. C'est il y a environ 4 000 ans seulement que l'aridité s'est installée de nouveau.

Les populations qui vivaient jusque-là au bord des lacs et des rivières permanentes ont dû fuir ces régions devenues désertiques. Ces changements climatiques expliquent que l'on retrouve dans le Sahara de nombreuses peintures rupestres avec des représentations d'animaux aujourd'hui disparus.



**L**es peintures rupestres du Tassili (Algérie) témoignent d'un passé proche, lorsque le Sahara était habité par une faune sauvage (girafes, éléphants, hippopotames, crocodiles, poissons...) tout à fait comparable à celle que l'on retrouve maintenant dans les zones de savane, à plusieurs milliers de kilomètres au sud.

## Les grandes extinctions et l'histoire de la biodiversité

Les espèces naissent, se développent et disparaissent. L'extinction n'est donc pas un phénomène exceptionnel et la paléontologie étudie ces espèces disparues, en recherchant dans quelles conditions elles ont vécu. L'étude des restes fossilisés de mammifères de l'ère tertiaire (de - 67 à - 2 millions d'années) a montré, par exemple, que

l'existence moyenne des espèces était, en général, comprise entre 2 et 8 millions d'années.

Si la disparition d'espèces est un phénomène somme toute banal, il est cependant des périodes de l'histoire de la Terre durant lesquelles le taux d'extinction est particulièrement élevé. Ces périodes, désignées sous le nom de *crises d'extinctions en masse*, ont pu être mises en évidence par l'étude des restes fossilisés d'animaux et de végétaux retrouvés dans les roches.



La Terre a environ 4,5 milliards d'années, et les premières traces de vie dateraient de 3,5 milliards d'années. C'est au Cambrien, il y a environ 600 millions d'années, que les espèces vivantes se sont extraordinairement diversifiées.

**L**es ammonites (qui doivent leur nom à leur similitude avec les cornes du dieu égyptien Amon, représenté par une tête de bélier) sont des mollusques céphalopodes à coquille enroulée apparus il y a environ 400 millions d'années. Elles étaient représentées par un grand nombre d'espèces, de taille variant de 1 cm de diamètre à 2 m, qui permettent de dater avec précision les sédiments marins de l'ère secondaire. Comme pour les dinosaures, toutes les espèces d'ammonites ont disparu brutalement il y a 65 millions d'années.

Ce qui a pu être dénommé le “big bang de l'évolution” a donné naissance aux divers embranchements animaux connus, dont l'évolution et la diversification se sont poursuivies jusqu'à nos jours.

Depuis cette époque, la Terre a également connu un certain nombre de catastrophes plus ou moins importantes, qui ont entraîné la disparition de nombreuses espèces.

■ L'une de ces catastrophes, d'une ampleur exceptionnelle, daterait d'environ 230-250 millions d'années, à la limite entre les ères primaire et secondaire : plus de 50 % des espèces du domaine marin peu profond, dont les trilobites, vont disparaître à jamais.

■ C'est à la limite Secondaire/Tertiaire, c'est-à-dire il y a 65 à 70 millions d'années, que se situe la disparition des dinosaures. À cette époque également, les flores terrestres ont subi de fortes pertes, surtout dans les régions septentrionales. Les causes de l'extinction des dinosaures ont donné lieu à de nombreuses hypothèses, parfois de type “catastrophiste”, souvent peu satisfaisantes lorsqu'elles sont prises individuellement. C'est ainsi que l'on a avancé successivement l'hypothèse de l'explosion d'une supernova, d'une régression marine et d'un refroidissement corrélatif du climat, de la collision avec une météorite ou un astéroïde, d'un volcanisme intense...

Des résultats récents, provenant de l'étude des minéraux présents dans une couche d'argile déposée à l'époque de la disparition

des dinosaures, confortent l'hypothèse d'une collision cosmique qui se serait produite en parfaite coïncidence avec le début de la crise marine. Partout où la vie se développait, les conséquences de cette catastrophe sont évidentes, tout au moins pour les organismes ayant laissé des fossiles abondants.



Dans le domaine marin, cette catastrophe a provoqué la disparition du plancton végétal, et, par réaction en chaîne, l'extinction des organismes marins qui s'en nourrissent. Dans le domaine continental, elle a provoqué un déclin momentané de l'abondance des végétaux supérieurs qui pourrait être la cause de la disparition des dinosaures.

■ De nombreuses autres périodes de crise, pas toujours aussi spectaculaires, sont également connues. La dernière vague d'extinctions à grande échelle s'est produite dans les trente derniers millénaires, mais à des époques un peu différentes selon les régions du monde.

**A**vec les moyens modernes d'exploration des océans, on découvre de temps à autre des espèces connues jusqu'alors seulement à l'état de fossiles, et que l'on croyait disparues depuis très longtemps. Ces "fossiles vivants" sont d'un grand intérêt pour l'étude de l'évolution. L'échinoderme *Gymnocrinus richeri* par exemple, est un représentant vivant encore à l'heure actuelle d'un groupe que l'on croyait éteint au Jurassique, il y a environ 140 millions d'années. Cette espèce a été récoltée en 1986 à 520 m de fond par une expédition française (Musorstom) dans l'Indo-Pacifique.

Pour certains scientifiques, l'homme, agriculteur et prédateur, serait en partie responsable de ces disparitions. Pour d'autres, ce serait la disparition de certains écosystèmes. Il est possible que l'action conjointe de ces deux facteurs ait été la cause de la disparition des grands mammifères comme le mammouth ou le rhinocéros laineux.

**L**e cœlacanthe, découvert en 1938 dans l'ouest de l'océan Indien, est le seul survivant d'un ordre de vertébrés que l'on croyait,



## Les leçons du passé

On peut s'interroger sur l'importance qu'il faut accorder aux disparitions d'espèces observées de nos jours, alors que probablement, des millions d'espèces ont disparu dans le passé. De l'étude des fossiles et des périodes d'extinction en masse, on s'aperçoit que le temps nécessaire à la reconstitution des écosystèmes est très long. Après la crise des dinosaures, il a fallu plus d'un

lui aussi, éteint depuis la fin du Crétacé, il y a environ 70 millions d'années. C'est un maillon capital dans l'évolution qui a mené jusqu'à l'homme, car il pourrait être l'ancêtre de poissons sortis de l'eau

million d'années de relative stabilité pour que se reconstituent des écosystèmes aussi riches et diversifiés que les précédents.

Il est possible que les perturbations qui ont si souvent affecté la Terre aient eu des conséquences similaires à celles que nous observons aujourd'hui sous l'effet des activités humaines. Mais il y a une différence majeure : les extinctions massives à l'échelle géologique, mises en évidence par l'étude des fossiles, ont été étalées dans le temps, en général durant plusieurs millions d'années. Dans un certain nombre de cas, les groupes qui ont disparu ont eu le temps de donner naissance à de nouvelles lignées. D'autres groupes ont également été épargnés, conservant leur potentiel évolutif. Il n'en est pas de même à l'heure actuelle où la diversité biologique risque d'être massivement détruite en l'espace de quelques décennies. L'homme est cette fois la cause principale de ce processus d'extinction massive qui se produit à une vitesse infiniment plus rapide que par le passé. ■

et ayant donné naissance aux premiers quadrapèdes. L'individu p. 28 a été photographié par 200 m de fond dans l'océan Indien, près de la Grande Comore.



# LA DIVERSITÉ DU VIVANT

**De la molécule à l'individu,  
de l'espèce à l'écosystème,  
il existe, à l'intérieur  
du monde vivant,  
plusieurs niveaux d'organisation  
correspondant à des structures  
de plus en plus complexes.**

**Pour caractériser cette diversité  
biologique, les spécialistes  
reconnaissent habituellement  
trois niveaux essentiels :  
*la diversité des écosystèmes,  
la diversité des espèces  
et la diversité génétique.***

**L**es forêts tropicales humides (ici une forêt d'altitude de l'île de la Réunion) sont, parmi les milieux naturels, ceux qui abritent la plus grande diversité d'espèces végétales et animales.

## La diversité des écosystèmes

Des toundras nordiques aux forêts tropicales, des cimes de l'Himalaya aux profondeurs abyssales, des torrents de montagne aux eaux hypersalées de la mer Morte, il existe une variété impressionnante de milieux naturels habités par les végétaux et les animaux.

Ces milieux, ces écosystèmes, doivent être envisagés dans leur totalité : ils ne sont pas faits que d'animaux et de plantes, mais aussi d'éléments physiques (sols, eau, climat) ou chimiques (teneur en oxygène, teneur et composition en sels, etc.) qui interagissent avec le milieu biologique.

Il existe quelques grands types d'écosystèmes (également appelés *biomes*), occupant d'importantes surfaces. C'est le cas, par exemple, des forêts tropicales, savanes, déserts, massifs alpins, steppes, océans, mangroves, etc. Leur répartition dépend avant tout des facteurs climatiques actuels et n'est donc pas aléatoire à la surface de la planète. Ces écosystèmes, comme nous l'avons vu, ont évolué, et continuent d'évoluer, en fonction des fluctuations climatiques ou des mouvements tectoniques.

Cette grande hétérogénéité et variabilité des habitats est le moteur de l'évolution. En effet, les espèces doivent se diversifier pour exploiter au mieux les ressources disponibles ou pour s'adapter aux différentes conditions écologiques qui leur sont offertes et qui évoluent dans le temps.

## La diversité des espèces : de 3 à 100 millions d'espèces ?

Botanistes et zoologistes ont entrepris, il y a près de trois siècles, la description et l'inventaire des espèces vivantes. Le savant suédois Carl von Linné (1707-1778), précurseur de la *taxinomie* (science qui consiste à donner un nom aux espèces vivantes), dénombrait 40 000 espèces de plantes et d'animaux au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle.



Mais le travail d'inventaire de la biodiversité est long et fastidieux. Deux siècles et demi plus tard, et avec quelque 1,7 million d'espèces connues, nous savons que cet inventaire du vivant est loin d'être terminé, surtout dans les régions tropicales. En effet, un nombre d'espèces bien plus considérable encore n'a jamais été décrit par les scientifiques, et nul ne sait en réalité quel est le nombre d'espèces vivantes à la surface de la Terre. Certains scientifiques ont estimé qu'il pouvait se situer entre 3 et 30 millions, alors que d'autres pensent qu'il peut atteindre 80, voire 100 millions. Pour beaucoup, une fourchette raisonnable pourrait se situer entre 7 et 10 millions, mais cette incertitude ne fait que révéler l'étendue de notre ignorance.

Des recensements exhaustifs ne sont disponibles que pour un petit nombre de groupes zoologiques ou botaniques.

**C**arl von Linné a défendu la notion fixiste de l'espèce : la vie a été créée par Dieu sur une île primitive, et chaque espèce est issue d'un exemplaire unique : un couple pour les espèces sexuées, un individu pour les hermaphrodites. Il en résulte que le nombre d'espèces est fini, et chaque espèce se reproduit à l'identique.



**I** existe à la surface de la Terre des écosystèmes très variés dont certains présentent des conditions écologiques tout à fait particulières. Des mangroves de la côte guyanaise (en haut) au lac Titicaca (confins du Pérou et de la Bolivie) à 4 000 m d'altitude (à gauche) ; ou du désert glacé de l'Antarctique (haut, p. 35) au désert sec



du Hoggar  
(en bas),  
les espèces  
végétales et  
animales  
ont développé  
des adaptations  
morphologiques  
et physiologiques  
qui leur  
permettent  
de vivre dans  
des conditions  
parfois extrêmes.  
Cette diversité  
des milieux est  
à l'origine de  
la diversité du  
monde vivant.





■ Les groupes les mieux étudiés sont généralement les plus attractifs pour l'homme (orchidées, papillons, etc.) ou les parasites de l'homme, des animaux domestiques et des plantes cultivées. C'est le cas, par exemple, pour les *mammifères* et les *oiseaux* dont on pense qu'ils sont actuellement connus à plus de 95 %.

■ Le nombre des *insectes* est très supérieur à celui, pourtant considérable (950 000), enregistré jusqu'ici. En effet, il n'est pas rare que des expéditions scientifiques en forêt tropicale récoltent des centaines, et parfois des milliers d'espèces nouvelles.

■ Dans le monde des *micro-organismes*, encore mal exploré, on peut s'attendre également à de nombreuses découvertes. Ainsi, le nombre des *champignons* pourrait se situer entre 1 et 2 millions. Celui des nématodes, petits vers parasites de plantes et d'animaux, serait de plusieurs centaines de milliers.

**O**n croyait que les profondeurs abyssales étaient de véritables déserts, lorsque les océanographes découvrirent, en 1977, sur la dorsale des Galapagos par 2 500 m de fond, des communautés animales d'un type nouveau à proximité immédiate de sources d'eau chaude. Par la suite, d'autres communautés, elles aussi très riches en espèces jusque-là inconnues, furent découvertes dans différentes régions des océans. On distingue ici des *riftia*, grands vers blancs à branchie rouge, atteignant 1 à 2 m, et des moules (*Calyptogena*) de 20 à 30 cm.

■ Pour d'autres groupes, comme les *bactéries* et les *virus*, chez lesquels les scientifiques ont plus de mal à caractériser les espèces que chez les vertébrés ou les insectes, le nombre est très certainement bien supérieur à celui connu à l'heure actuelle.

	Nombre approximatif d'espèces recensées	Nombre potentiel d'espèces
Virus	5 000	500 000 (?)
Bactéries	4 000	400 000 (?)
Champignons	70 000	1 à 2 000 000 (?)
Algues	40 000	200 000 (?)
Plantes	250 000	300 000 (?)
<b>Invertébrés dont :</b>	<b>1 000 000</b>	
Arachnides	75 000	750 000 (?)
Crustacés	40 000	150 000 (?)
Insectes	950 000	8 000 000 (?)
Autres anthropodes	125 000	
Mollusques	70 000	200 000
Nématodes	15 000	500 000 (?)
Protozoaires	40 000	200 000 (?)
<b>Vertébrés</b>		
Poissons	19 000	21 000
Amphibiens	4 200	4 500
Reptiles	6 300	6 500
Oiseaux	9 000-9 200	Idem
Mammifères	4 000-4 200	Idem

## La diversité génétique : les bases de l'évolution

Le nombre total d'espèces n'est pas le seul critère d'évaluation de la biodiversité. Au sein d'une même espèce, on peut distinguer des sous-ensembles qualifiés de *racés*, de *souches*, de *variétés*, de *populations*, etc. Il peut y avoir, à l'intérieur d'une même espèce, des formes bien différenciées sur le plan morphologique : les nombreuses races d'animaux domestiques (plus de 300 races de chiens par exemple) en sont une bonne illustration.

**E**stimation du nombre d'espèces actuellement recensées et du nombre d'espèces probables pour les vertébrés, ainsi que pour quelques autres groupes de végétaux et d'animaux (au moins 100 000 espèces). Ce nombre d'espèces probables est une extrapolation assez hypothétique, mais qui nous donne des ordres de grandeur sur la richesse du monde vivant.



**L**a cime des arbres en forêt tropicale (la canopée) héberge une faune très riche en invertébrés, mais elle est d'accès difficile. Des chercheurs français ont mis au point le "radeau de cimes", plateforme souple et gonflable transportée par une montgolfière, qui a permis d'échantillonner de nouveaux habitats et de faire ample provision d'espèces pour la plupart inconnues.





Est-il possible que nous connaissions un jour l'ensemble des espèces vivantes, et surtout, aurons le temps et les moyens d'y parvenir ? À l'heure actuelle, un système informatique performant fait cruellement défaut pour inventorier et déterminer les espèces qui nous entourent, alors que des moyens autrement plus importants ont été investis dans l'exploration de l'espace.

En réalité, chacun des individus appartenant à une espèce ou une sous-espèce est légèrement différent des autres sur le plan génétique. La vie commence en effet au niveau moléculaire, et c'est à ce niveau qu'il faut rechercher les origines de la diversité du monde vivant et du potentiel adaptatif des espèces.



Chez la plupart des êtres vivants, l'information génétique est localisée dans les *chromosomes* de chaque cellule qui présentent une longue chaîne d'acide désoxyribonucléique (ADN) composée de secteurs : les *gènes*. Ces derniers sont porteurs des caractères héréditaires et de l'information biologique nécessaire à la synthèse des protéines (molécules jouant des rôles déterminants dans la vie de chaque cellule). Certains gènes peuvent être répartis en plusieurs endroits du chromosome, et les différentes variantes d'un gène sont appelées *allèles*. L'ensemble des gènes constitue le *génotype* d'un individu qui est en quelque

**C**hez les espèces domestiquées, les hommes, grâce à la sélection artificielle et aux croisements, ont pu créer de nombreuses races à partir d'une ou de quelques espèces sauvages. L'histoire de la domestication du pigeon est mal connue, mais a probablement eu lieu indépendamment en Europe, en Asie et en Amérique. La souche européenne est le pigeon biset qui existe encore à l'état sauvage. Darwin a consacré une large part de ses travaux sur l'évolution des espèces, aux

sorte son capital initial qu'il va pouvoir exploiter différemment selon les conditions qu'il rencontre dans le milieu où il habite.

Une bactérie contient environ 1 000 gènes, certains champignons près de 10 000, chez la plupart des mammifères en possèdent environ 100 000 alors que, chez beaucoup de plantes à fleurs, on en a compté jusqu'à 400 000.

Lors de la multiplication cellulaire, ou *mitose*, on obtient deux cellules-filles semblables à la cellule-mère initiale. Les chromosomes et les gènes se reproduisent en principe à l'identique, mais des "erreurs" peuvent se produire lors de la copie de l'ADN. Ces *mutations génétiques* spontanées créent de nouveaux allèles, donc des individus "différents". Mais, lors de la mitose, des mutations peuvent également intervenir par modification de la structure des chromosomes. Le nombre de chromosomes est fixe pour une espèce donnée, mais des cassures ou, au contraire, des fusions de chromosomes ou de parties de chromosomes peuvent se produire, modifiant la composition chromosomique (le *caryotype*). Là encore, on obtient des individus "différents".

Ce phénomène paraît être le principal responsable de la spéciation chez les poissons du genre *Aphyosemion* (famille des *Cyprinodontidae*) pour lesquels des espèces ayant pourtant un nombre de chromosomes différents ne se distinguent que par de subtiles différences de coloration. Compte tenu du nombre élevé de gènes, les mutations

efforts de sélection chez les pigeons à des fins récréatives et ornementales, ou pour la production de chair. Sur la photographie, on reconnaîtra (de gauche à droite) : le texan, le cravaté chinois, le strasser bleu, le bouvreuil d'Archangel.

ne sont pas rares, mais beaucoup de ces mutants ne sont pas viables, ou ne s'expriment pas de manière visible dans le *phénotype*. Ce n'est qu'après une véritable course d'obstacles, à l'issue de laquelle beaucoup disparaîtront, que les survivants auront une petite chance de donner naissance à une population suffisamment importante pour qu'elle puisse s'établir et se pérenniser. La structure des gènes et le polymorphisme de l'ADN peuvent être mis en évidence grâce aux techniques complexes, de plus en plus performantes, de la biologie moléculaire.

Les écosystèmes actuels ont subi de nombreuses modifications dans le passé, sous l'influence des changements climatiques et de l'histoire géologique. C'est grâce à la diversité génétique née des mutations que les espèces ont pu mettre en œuvre de nouvelles stratégies qui constituent leurs réponses aux changements de l'environnement. Dans certains cas, notamment lorsque des populations d'une même espèce ont été isolées géographiquement, cette recherche d'un ajustement avec les caractéristiques du milieu a pu conduire à l'apparition de nouvelles espèces : on parle de *spéciation*.

## **Rôle écologique de la biodiversité**

Face aux menaces qui pèsent sur la biodiversité (p. 7-11), une des questions majeures est de savoir quelles en seront les conséquences sur le fonctionnement des systèmes écologiques. Les décideurs for-

mulent parfois cette question de manière un peu cynique et caricaturale : toutes les espèces sont-elles nécessaires au bon fonctionnement des écosystèmes ? Quelle proportion pourrait disparaître sans que le fonctionnement de ces écosystèmes soit significativement modifié ? Sachant que la protection de la biodiversité coûte cher (à court terme) à la collectivité, est-il indispensable de tout préserver ?

Pour tenter de répondre à ces questions délicates, les scientifiques ont donc été amenés à examiner le rôle fonctionnel des espèces à l'intérieur des écosystèmes. Cette tâche est rendue difficile en raison de la complexité des interactions entre les différents constituants des écosystèmes. Les *réseaux trophiques*, c'est-à-dire l'ensemble des interactions existant dans une relation de mangeur à mangé entre les espèces occupant un même écosystème, sont une illustration de cette complexité.

Ainsi, dans un lac, les nombreuses espèces d'algues qui se développent grâce à l'énergie solaire et aux sels nutritifs en solution dans l'eau servent de nourriture à différentes espèces de crustacés planctoniques, eux-mêmes servant de proies à des poissons mangeurs de plancton qui à leur tour sont mangés par des poissons carnivores. Comme plusieurs espèces sont impliquées dans ces réseaux trophiques, il y a une multiplicité d'interactions en fonction, par exemple, de la taille respective de la proie et de son prédateur, ou de leur stade de dé-

veloppement ou encore de leurs fluctuations saisonnières. Dans ces successions proie-prédateur, encore appelées *chaînes trophiques*, une modification au niveau de l'un des maillons a des répercussions sur les autres éléments de la chaîne. L'introduction, par exemple, d'un poisson carnivore dans un lac qui en est dépourvu peut entraîner une diminution du stock de poissons planctivores (mangeurs de plancton) qui va servir de proie au prédateur. Les crustacés planctoniques seront alors soumis à une prédation moins importante par les poissons, et leur quantité va augmenter, accroissant ainsi leur prédation sur les algues dont le stock va au contraire diminuer.

L'inverse est évidemment vrai, lorsque, par exemple, un poisson carnivore fait l'objet d'une surexploitation et devient rare dans un lac où il était abondant auparavant.



**L**a théorie des chaînes trophiques est à la base des expériences de manipulations biologiques qui consistent, par exemple, à introduire une espèce prédatrice dans un milieu afin de contrôler le développement d'espèces indésirables, soit directement, soit par modification de maillons intermédiaires. C'est le principe de la lutte biologique : en disséminant des coccinelles sur un champ, on lutte contre les pucerons dont elles sont friandes, permettant ainsi un meilleur développement des espèces cultivées.

On a pu mettre en évidence, de cette manière, qu'il existait des espèces clés, jouant un rôle plus important que d'autres, et dont la disparition aurait de multiples conséquences. C'est le cas, par exemple, pour certaines espèces ayant un rôle déterminant dans la pollinisation des plantes, ou pour des herbivores et des prédateurs dont la présence assure la coexistence d'un grand nombre d'espèces en contrôlant le développement d'espèces envahissantes.

On s'est également interrogé sur le rôle des espèces rares, c'est-à-dire celles qui sont représentées par un faible nombre d'individus dans les écosystèmes. Sont-elles des espèces reliques, plus ou moins en voie d'extinction, ou jouent-elles un rôle dans le fonctionnement des systèmes écologiques ? Beaucoup de scientifiques pensent qu'elles pourraient être une forme d'assurance sur l'avenir, dans la mesure où elles seraient susceptibles de remplacer des espèces habituellement abondantes si ces dernières venaient à faire défaut à la suite de modifications de l'environnement. ■



**P**our 80 % des plantes cultivées, la fécondation dépend de la pollinisation par des Insectes (ici, un bourdon). Or ces derniers sont particulièrement menacés par les nombreux épandages de pesticides, réalisés notamment pour lutter contre les ravageurs des cultures.



# MENACES SUR LA NATURE

**I**l n'existe plus beaucoup d'endroits au monde épargnés par la pollution. Dans l'archipel de Svalbard, à quelque 800 km au nord de la Norvège, des débris divers s'échouent sur les côtes, en majorité des plastiques et des filets de pêche en provenance de l'Atlantique Nord. Les débris de filets sont particulièrement dangereux pour la faune sauvage, notamment pour les phoques.

**Sous la pression des activités humaines, la diversité biologique s'appauvrit à un rythme sans précédent : les milieux naturels sont détruits ou dégradés, les ressources vivantes surexploitées et les pollutions déciment de nombreuses espèces. En outre, les changements climatiques consécutifs à l'effet de serre peuvent modifier profondément les limites actuelles de distribution géographique des espèces.**

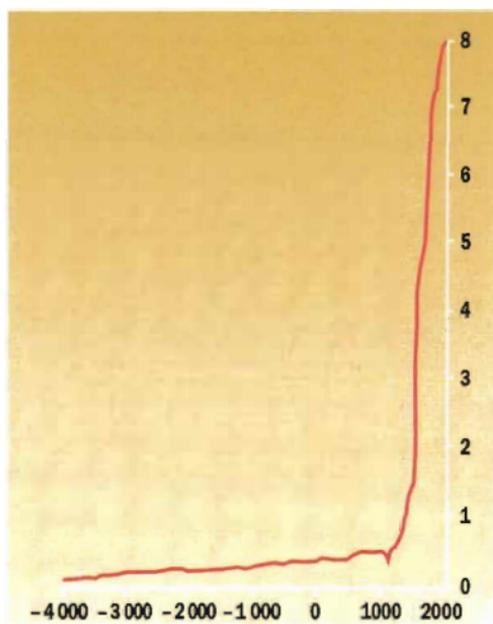
## **La destruction ou la transformation des écosystèmes**

Les espèces végétales et animales ne sont pas réparties uniformément sur la Terre. Chacune a des exigences écologiques particulières et vit dans des milieux naturels aux caractéristiques souvent fort différentes. Parfois même, les espèces ne se rencontrent que dans une zone bien déterminée (on parle alors d'espèce *endémique*). Entre la nature et la diversité des milieux, la diversité et la richesse en espèces, il y a des relations étroites. Les menaces qui pèsent sur les milieux naturels sont bien évidemment préjudiciables à la biodiversité. Or, c'est souvent par la dégradation des milieux naturels que l'homme met en péril la biodiversité. Si la planète a connu des périodes critiques au cours de son histoire, à aucun moment, d'après les informations paléontologiques disponibles, la disparition de la biodiversité n'a été aussi rapide que celle que nous observons actuellement. Selon diverses estimations, entre 5 et 20 % des espèces actuellement existantes auront disparu de la surface de la Terre d'ici le début du XXI<sup>e</sup> siècle.

### **Causes et origine de l'érosion : l'homme, une espèce en accusation**

On a, bien entendu, cherché à identifier quelles étaient les causes principales de la dégradation de la planète et de la disparition

accélérée des espèces. L'une d'entre elles est sans aucun doute l'accroissement de la population qui, de 1 milliard d'habitants en 1800, pourrait atteindre plus de 10 milliards en 2050. Pour un certain nombre d'écologistes, cet accroissement est incompatible avec le maintien de milieux naturels, mais ce débat est déontologiquement et politiquement très



sensible. Il est évident cependant que la nécessité, par exemple, de se procurer du bois pour le feu est à l'origine d'une destruction de plus en plus massive des formations arbustives, lorsque la densité de la population augmente.

La priorité immédiate pour beaucoup de pays est souvent de favoriser la production agricole de manière à satisfaire les besoins alimentaires immédiats, ou l'exploitation intensive de ressources dont le commerce est dispensateur de devises, même si cela se fait au détriment de zones riches en biodiversité comme les forêts ou les zones humides.

La pauvreté et les aspirations normales des peuples à une meilleure qualité de vie matérielle ont également contribué au pillage des ressources.

**E**n examinant l'évolution de la population humaine au cours des six derniers millénaires, telle qu'elle a pu être reconstituée, on observe un changement radical de la tendance vers la fin du Moyen Âge. Si les taux de natalité ne se modifient pas, la population mondiale augmentera d'un milliard d'individus tous les 30 ans.



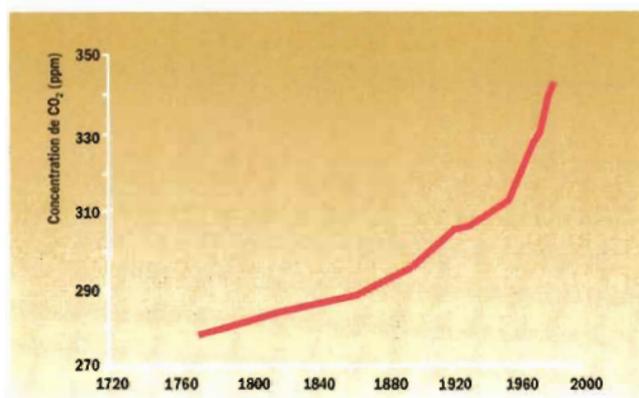
**D**ans toute la zone sahélienne, le bois fait l'objet d'une collecte très active (comme ici au Burkina Faso) car il est le seul combustible disponible pour les usages domestiques. Du fait de l'accroissement démographique et de la nécessité d'alimenter les centres urbains, la demande en bois de feu est de plus en plus forte et suscite une surexploitation des ressources forestières. C'est, avec les sécheresses qui affectent cette région d'Afrique, une des causes actuelles de la désertification du Sahel.

La pauvreté est le principal ennemi de la biodiversité, et sa protection passe obligatoirement par l'amélioration du bien-être de l'humanité et la lutte contre le sous-développement.

## **L'effet de serre : les changements climatiques et leurs conséquences**

Depuis quelques siècles, l'activité humaine modifie de façon sensible la composition de l'atmosphère.

Au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, la déforestation ainsi que la modification des proportions d'oxygène et de gaz carbonique dans l'atmosphère résultant des activités industrielles préoccupaient déjà quelques scientifiques qui attiraient l'attention du public et des politiques sur les conséquences possibles quant à l'évolution du climat. Effectivement, la teneur en gaz carbonique a augmenté de 25 % depuis 1850, début de l'ère industrielle, en raison de l'utilisation de plus en plus massive de combustibles fossiles (charbon, pétrole, etc.).



**L**a teneur en gaz carbonique de l'atmosphère a augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Une station, installée à Hawaii, la mesure en permanence et sert de référence internationale depuis 1958. L'évolution des concentrations plus anciennes a pu être reconstituée par des mesures de gaz carbonique effectuées sur des bulles d'air prélevées dans des carottes de glace.

La teneur en méthane a plus que doublé durant cette même période, et l'homme a introduit plus récemment d'autres gaz tels que les chlorofluorocarbones (CFC), utilisés par exemple dans les aérosols et les systèmes de réfrigération, qui étaient auparavant absents du milieu naturel.

En quoi l'augmentation de la teneur de ces gaz dans l'atmosphère doit-elle nous inquiéter ?

L'atmosphère joue par rapport à la Terre un rôle identique à celui d'un vitrage dans une serre : la lumière traverse le vitrage et chauffe l'intérieur de la serre, qui, à son tour, émet un rayonnement infrarouge. Ce dernier ne pouvant traverser la vitre, la chaleur reste piégée et la température s'élève à l'intérieur de la serre. Par similitude, le sol qui reçoit les rayons solaires émet en retour un rayonnement infrarouge dont environ 40 % est intercepté par les gaz dits à *effet de serre* présents à l'état de trace dans l'atmosphère, alors que le reste est dissipé dans l'espace. Ces gaz, comme le gaz carbonique, le méthane et les CFC, jouent un rôle capital dans l'équilibre du climat actuel, car ils contribuent à réchauffer fortement la surface de notre planète, rendant ainsi la vie possible. En leur absence, la température moyenne du globe serait de  $-18^{\circ}\text{C}$  au lieu des  $+15^{\circ}\text{C}$  actuels.

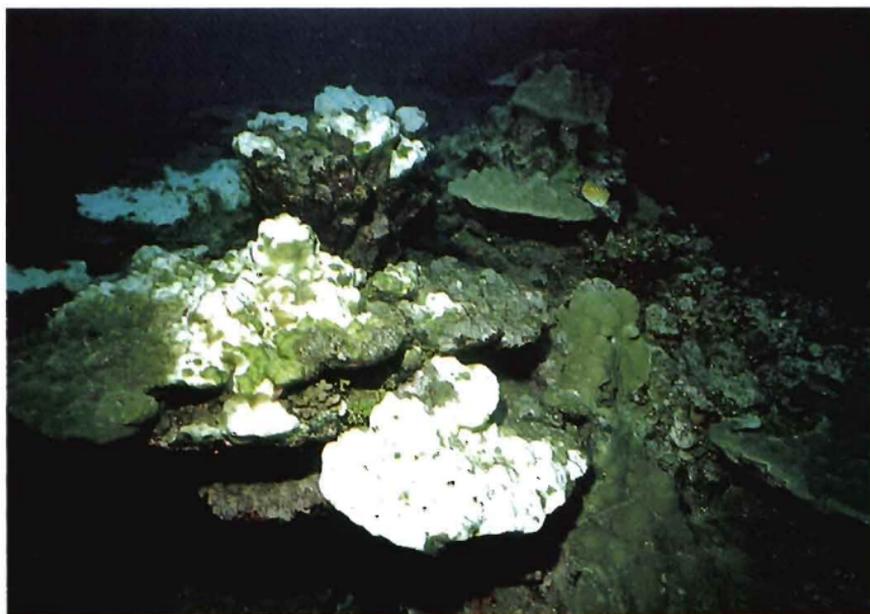
Mais leur augmentation trop importante peut également conduire à l'effet inverse. Ainsi, l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère serait déjà responsable d'un réchauffement global estimé à  $0,5^{\circ}\text{C}$  depuis 1880. Si l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre se poursuit, une augmentation de 4 à  $5^{\circ}\text{C}$  de la température moyenne du globe pourrait intervenir en l'espace d'un siècle.

Ce constat a suscité un certain nombre de scénarios catastrophes et les scientifiques se sont mobilisés pour essayer de prévoir quelles pourraient en être les conséquences

au cours des prochaines décennies. Mais les résultats des différents modèles de simulation utilisés ne sont pas toujours concordants car trop d'imprécisions existent encore sur les processus en cause. Si l'on doit s'attendre effectivement à une augmentation de la température globale, on sait que ce réchauffement ne sera pas uniforme. En particulier, il subsiste de nombreuses incertitudes sur la rapidité avec laquelle ces changements vont avoir lieu, sur leur amplitude et sous quelles latitudes ils seront plus sensibles.

Les conséquences de ces changements climatiques induits par l'homme sur la biodiversité seraient, dans une certaine mesure, équivalents à ceux qui se sont produits lors des derniers cycles de glaciation-réchauffement, avec une modification des emplacements des grands écosystèmes.

**L**e réchauffement des eaux de mer pourrait être le principal facteur responsable du blanchissement des coraux qui a été observé dans le monde entier depuis le début des années 1980. Ce phénomène, souvent mortel, correspond à la perte des organismes colorés, les zooxanthelles, qui vivent en symbiose avec le corail (ici, un *Porites lobata*, dans le lagon de Tahiti).



Mais l'énorme différence réside dans la vitesse à laquelle les organismes auraient à se déplacer pour s'adapter aux changements climatiques. Si le phénomène devait se produire sur quelques dizaines d'années, comme certains modèles de simulation le laissent envisager, des groupes entiers de végétaux, ainsi que des animaux peu mobiles, n'auraient pas le temps de migrer et pourraient disparaître.

## SE DÉPLACER

■ De nombreuses espèces animales et végétales peuvent coloniser très rapidement de nouvelles zones, lorsque les conditions deviennent favorables. Beaucoup peuvent marcher ou voler.

Mais le vent est un facteur important de dissémination des graines de végétaux et des invertébrés terrestres. En mer, les courants marins jouent un rôle identique vis-à-vis des larves planctoniques. Graines et invertébrés peuvent également se déplacer en s'accrochant aux plumes et aux poils des vertébrés qui contribuent aussi, par leurs excréments, à disséminer les végétaux.

## La déforestation

■ Les forêts tropicales humides, qui abritent plus de 50 % des espèces vivantes, ont régressé de façon considérable au cours du <sup>xx</sup>e siècle. En Côte-d'Ivoire et au Ghana, 75 % de la surface forestière ont disparu en trente ans ; à Madagascar, autrefois boisé aux trois quarts, 70 % des forêts ont disparu entre 1970 et 1990 et une quinzaine de lémuriens, en général de grande taille, ont disparu.

L'*Archæolemur* avait à peu près la taille d'un babouin femelle (15 à 30 kg) et vivait sur le sol. Le *Megaladapis*, ressemblant un peu au koala d'Australie, était arboricole et pouvait atteindre 80 kg. L'*Archæoindris*, quant à lui, pesait 200 kg et avait la taille d'un gorille. Leur disparition est imputable à la déforestation pratiquée par les premiers colonisateurs de l'île, et à la chasse d'espèces plus recherchées et moins fécondes que les lémuriens survivants.

C'est en Asie que le phénomène est le plus inquiétant : alors que la forêt tropicale des Philippines s'étendait sur 60 millions d'hectares en 1914, il n'en reste plus que 7 millions en 1990.

**C**ette partie de la forêt humide en Equateur, appartenant pourtant à une réserve de faune, a été brûlée pour permettre l'établissement d'un village, et favoriser le développement des activités pétrolières comme en témoigne le pipe line du premier plan.



■ Les forêts tempérées sont également fortement touchées. Il ne subsiste qu'environ 10 millions d'hectares de forêts sur les

170 millions qui occupaient les régions à l'est du fleuve Mississippi (États-Unis). En Europe occidentale, les forêts n'occupent plus que 30 % de leur superficie initiale. La disparition de l'aurochs, ancêtre présumé de nos bovins, dont les derniers individus disparurent au début du XVII<sup>e</sup> siècle, est attribuée en partie au défrichage et au recul des forêts, son habitat naturel.

Les raisons de la disparition des forêts sont multiples. Il y a, bien entendu, l'exploitation pour le bois d'œuvre et le combustible ou pour l'exportation d'essences précieuses, mais la déforestation a lieu fréquemment pour conquérir de nouvelles terres agricoles.

## **La dégradation des sols**

Le sol est constitué d'une mince pellicule de quelques centimètres à quelques mètres d'épaisseur, qui recouvre une grande partie des continents.

C'est une usine extraordinaire qui abrite une faune très riche de micro-organismes (bactéries, champignons) et d'invertébrés (nématodes, vers de terre, termites) qui fragmentent et transforment la litière végétale en humus, permettant son incorporation au sol minéral. Le sol, produit de la vie animale et végétale, va servir à son tour de support à la vie des plantes et des arbres.

■ L'une des conséquences principales de la déforestation est la dégradation et l'érosion des sols. Un sol non protégé par une couverture végétale est en effet vite érodé par

la pluie et le vent, avec pour conséquences la diminution des terres cultivables ou reboisables et une sédimentation importante dans les lacs contribuant à leur comblement. Cette érosion est particulièrement dramatique dans les pays au relief accidenté (aux fortes pentes), comme le Népal, Madagascar ou les Philippines.

**L**es *lavaka* sont une forme spectaculaire d'érosion des sols dans la région des hautes terres à Madagascar. L'absence de couverture



■ Certaines pratiques agricoles peuvent également favoriser l'érosion. C'est le cas lorsqu'on supprime les haies, sur des sols en pente à l'occasion de remembrements. De même, une mauvaise gestion des systèmes d'irrigation peut avoir pour conséquence la salinisation des sols des périmètres irrigués, ce qui les rend impropres à la culture. On estime, globalement, que, à l'échelle de la planète, 0,7 % du capital en sol est perdu chaque année.

végétale dans des zones à relief accentué, favorise l'érosion régressive par le ruissellement superficiel.

## Les fleuves domestiqués

De tout temps, les hommes ont utilisé les fleuves pour l'approvisionnement en eau, les déplacements, la pêche. On a toujours eu peur, à juste titre, des excès des fleuves et de nombreux aménagements ont été réalisés pour éviter les inondations. Ainsi, plusieurs barrages réservoirs en amont de Paris stockent les eaux durant les crues afin d'éviter les inondations, et relarguent ces eaux durant la période d'étiage afin de soutenir les débits et de ne pas interrompre la navigation.

■ L'aménagement des fleuves a souvent eu pour résultat de supprimer les plaines d'inondation, zones d'expansion qui, durant les crues, servent de lieu de reproduction à certaines espèces de poissons qui ne trouvent plus actuellement les milieux favorables pour accomplir la totalité de leur cycle biologique.

**L**es plaines inondables qui bordent les fleuves jouent un rôle important dans le cycle de reproduction de nombreuses espèces de poissons. Les jeunes y sont à l'abri du courant et des prédateurs et y trouvent leur nourriture sous forme de micro-organismes. Ces plaines d'inondation hébergent également de nombreux oiseaux aquatiques qui y nidifient. La régulation du cours des



Dans les rivières européennes, par exemple, la raréfaction du brochet n'est pas due à une pêche trop intense, mais à la disparition des zones de reproduction que sont les prairies temporairement inondées lors des crues, disparition consécutive à la régularisation des débits.

■ Plus récemment, les hommes ont trouvé dans les fleuves une source d'énergie et construit des barrages, parfois gigantesques, qui perturbent profondément le fonctionnement de ces écosystèmes.

Dans de nombreuses rivières tropicales, la construction de grands barrages a profondément modifié le régime des eaux en aval, avec d'importantes conséquences sur les pêcheries continentales et côtières.

C'est le cas, en particulier, pour le barrage d'Assouan qui, en privant la Méditerranée des apports nutritifs et en sédiments du Nil, a provoqué une quasi-disparition des stocks de sardines en Méditerranée orientale, une érosion côtière et l'infiltration d'eau de mer dans le delta où certaines espèces disparaissent en raison de l'augmentation de la salinité.

En supprimant la crue du Nil, on a également enlevé l'apport annuel en limon, riche engrais naturel, aux sols du lit majeur, rendant nécessaire l'utilisation et l'importation d'engrais chimiques.

■ On a souvent négligé le rôle des forêts galeries et des forêts alluviales dans le fonctionnement des cours d'eau, et beaucoup ont été détruites.

fleuves, pour le halage au XIX<sup>e</sup> siècle, pour éviter les inondations, ou suite à la construction de barrages, sont responsables de la disparition de la plupart des plaines d'inondation en Europe, et beaucoup sont menacées dans les pays tropicaux. Il en résulte un appauvrissement de la diversité des espèces et de la productivité de ces milieux aquatiques. Ici, une vue des Llanos (plaines inondables) du bassin de l'Orénoque au Venezuela.



On sait maintenant qu'il faut les protéger, car elles sont une source importante de nourriture (végétale et animale) pour les organismes aquatiques, et abritent une faune et une flore particulièrement riche.

## L'exemple de la mer d'Aral

La mer d'Aral montre combien l'absence de perspective à long terme dans la gestion des systèmes aquatiques peut avoir des conséquences catastrophiques sur l'environnement et la biodiversité.

Afin de développer, dans les années 1960, la culture irriguée du coton sur plusieurs milliers d'hectares dans le Kazakhstan, une région désertique à l'équilibre écologique

**L**es forêts qui se développent en bordure des cours d'eau en zone de savane (ici une forêt galerie le long du Bandama en Côte d'Ivoire), sont une source importante de débris végétaux, de fruits et d'insectes qui tombent à l'eau et sont consommés par les invertébrés et les poissons. Lorsqu'on coupe la forêt galerie, on interrompt la chaîne trophique et la vie du cours d'eau en est profondément modifiée.

fragile, on détourna la majeure partie des eaux des fleuves Amou-Daria et Syr-Daria qui alimentaient la mer d'Aral. Une mauvaise gestion des eaux d'irrigation, ainsi que l'utilisation abusive des engrais et des pesticides ont conduit à un véritable désastre écologique.

Le niveau de la mer d'Aral a baissé de 15 mètres depuis le début des années 1960, et la surface s'est réduite d'environ 40 %, alors que la salinité des eaux passait de 10 à 30 grammes par litre. La faune du lac a presque complètement disparu, en particulier la quasi-totalité des 24 espèces de poissons endémiques.

Mais l'une des conséquences les plus néfastes fut la salinisation des terres : plus de 30 % des terres irriguées sont ainsi devenues impropres à toute culture. La qualité et la quantité des eaux souterraines se sont également dégradées et des centaines de milliers d'hectares sont désormais privés de tout apport régulier en eau douce ; la végétation a disparu et les vents ont érodé ces terres fragiles. L'ensemble de ces agressions a provoqué un taux de mortalité humaine parmi les plus élevés du monde, et entraîné un exode massif des populations.

Le cas de la mer d'Aral n'est pas un cas isolé et de nombreux autres systèmes aquatiques (fleuves, lacs et estuaires), ainsi que leur faune et leur flore, ont été sacrifiés au cours des années 1950 et 1960 au nom d'un développement économique dont le bien-fondé est maintenant contesté.



## Les zones humides

On désigne sous le nom de zones humides un ensemble de milieux aquatiques peu profonds comprenant les marais côtiers ou continentaux, les mangroves, les lagunes, les estuaires, les tourbières, etc.

Ces zones humides contribuent à l'épuration des eaux, ainsi qu'à la recharge des nappes phréatiques, car elles sont des lieux propices à l'infiltration des eaux dans le sol. Elles sont aussi des milieux de prédilection pour de nombreuses espèces d'oiseaux (canards, flamants, échassiers divers) qui y nidifient ou s'y nourrissent et sont également des zones de reproduction pour de nombreuses espèces de poissons marins. Les zones humides sont en forte régression un peu partout dans le monde, car elles ont été détruites par l'homme, pour conquérir de nouvelles terres agricoles, pour les

**A**vec 1750 m de profondeur, le lac Baikal, situé en Sibérie, est le plus profond du monde. C'est également l'un des plus anciens, et il abrite plus de 600 espèces animales endémiques, y compris une espèce de phoque. Ce sanctuaire est menacé par les rejets de papeteries, industries très polluantes, implantées dans le sud du lac.

“assainir” (de nombreux marais ont été asséchés en Europe pour lutter contre la malaria), ou du fait de l’aménagement des fleuves (endiguements, contrôle des crues, barrages hydroélectriques).

En raison de leur morphologie, ces milieux particuliers, souvent à l’interface d’autres milieux (entre terre et eau, ou entre terre et mer), sont très sensibles aux variations de l’environnement. Ils sont directement menacés, en particulier, par les changements climatiques si ces derniers vont dans le sens d’une aridification.

## **Diverses pollutions**

L’utilisation croissante de pesticides, l’accumulation des déchets industriels ou domestiques, les rejets urbains et les engrais concourent à polluer l’ensemble des écosystèmes, y compris l’atmosphère.

■ Des quantités importantes d’oxyde de soufre et d’azote sont dégagées dans l’atmosphère par l’emploi de combustibles fossiles (charbon, pétrole) et de minerais contenant du soufre.

Ces composés sont à l’origine de la formation d’acides sulfurique et nitrique dans l’atmosphère, et donc de l’acidification des précipitations. Ce phénomène, connu sous le nom de *pluies acides*, est particulièrement nocif pour les écosystèmes aquatiques, et serait le principal responsable du dépérissement des forêts. Les pluies acides sont surtout observées dans les grandes zones

industrielles de l'Amérique du Nord et de l'Europe du Nord. Les mesures de prévention consistent pour l'essentiel à améliorer les systèmes de combustion et à mettre en place des stations de dépollution des gaz au sein même des centres industriels.

■ Les fleuves et les rivières sont particulièrement touchés par les pollutions, jusqu'à devenir de véritables égouts. Au-delà de sources de pollution bien repérables (rejets industriels, par exemple) et que l'on peut généralement traiter si l'on s'en donne les moyens, le danger réside dans ce que l'on appelle les *pollutions diffuses*, ensemble de pollutions d'importance généralement limitée, dont la source n'est pas facilement identifiable ni pérenne, mais dont la somme peut avoir des conséquences désastreuses. Un exemple connu de pollution diffuse est celui des engrais, riches en nitrates, souvent utilisés en excès par l'agriculture pour augmenter les rendements. La part de nitrates non utilisés par les plantes est transportée vers les eaux souterraines et les cours d'eau. L'excès de nitrate dans l'eau est à l'origine d'intoxications de l'homme ou des animaux. En outre, les nitrates sont, avec les phosphates provenant eux aussi des engrais ou des lessives, les principaux agents de l'*eutrophisation* des eaux (prolifération anormale du plancton végétal due à des apports excessifs en sels nutritifs).

■ Les plus grands problèmes en termes de pollution diffuse viennent des pesticides (on désigne sous ce nom une gamme de produits

de type insecticide, fongicide, herbicide, etc., utilisés dans l'agriculture intensive). Des milliers de molécules chimiques sont actuellement utilisées et, malgré des normes très strictes pour autoriser leur commercialisation, nous ne sommes pas à l'abri de mauvaises surprises.

Le souvenir du DDT (dichloro-diphényltrichloréthane), insecticide organochloré largement utilisé après la Seconde Guerre mondiale, est encore vivace : ce composé chimiquement stable s'accumule dans les organismes, tout au long de la chaîne trophique, modifiant leur physiologie et mettant en danger leur survie à cause de ses effets toxiques. C'est ainsi que les bélougas, cétacés du golfe du Saint-Laurent (Canada), ont été rendus stériles pendant de nombreuses années en raison de leur contamination par les composés organochlorés.

**C**oquelicots, bleuets et mauves sont des fleurs qui, autrefois, coloraient traditionnellement les champs de céréales et faisaient partie de notre folklore. L'utilisation des herbicides en agriculture a conduit ces espèces au bord de la disparition dans les grandes plaines céréalières françaises.



■ Dans les milieux aquatiques, de manière générale, toutes ces pollutions d'origines industrielle, agricole ou urbaine ont contribué à réduire très fortement la diversité biologique des populations animales et végétales. Cette pollution diffuse serait en grande partie responsable, par exemple, de la disparition de plus de la moitié des 266 espèces de poissons de Malaisie.

■ Dans le domaine marin, les pollutions par les hydrocarbures sont nombreuses. On estime que 600 000 tonnes d'hydrocarbures d'origine diverse sont rejetées chaque année dans les océans. Toutes ces pollutions sont responsables d'une dégradation générale de la qualité des eaux marines.



## La surexploitation : une prédation mal contrôlée

Pour se nourrir ou pour ses loisirs, l'homme exploite de manière préférentielle certaines espèces végétales et animales. Lorsque l'importance du prélèvement est supérieure

**U**ne femelle de tortue verte (*Chelonia mydas*) morte des suites d'une pollution pétrolière à faible distance de l'île de Karan (Golfe persique), un site de reproduction important pour l'espèce. Les accidents spectaculaires à l'origine de marées noires, ainsi que les pollutions plus diffuses résultant de la pratique du "dégazage" par les pétroliers, font que le pétrole est devenu le principal polluant des eaux marines.

aux capacités de renouvellement de la ressource, les populations exploitées se raréfient et, dans les situations extrêmes, disparaissent. La surexploitation est une menace plus sélective que la perte d'habitat, car elle touche surtout les vertébrés, et seulement quelques groupes de plantes et d'insectes.

Ainsi, la chasse mal contrôlée a joué un rôle majeur dans la disparition de nombreuses espèces de mammifères et d'oiseaux. Le nombre de bisons américains était estimé à 75 millions avant l'arrivée des premiers Européens. L'espèce fut exterminée au cours du XIX<sup>e</sup> siècle et seuls quelques individus subsistent dans les parcs (p. 73).

L'exemple, moins connu, du pigeon migrateur américain, bel oiseau qui vivait en colonies géantes dans l'est de l'Amérique du Nord, est également édifiant. En moins de quarante ans, cette espèce, qui comptait des milliards d'individus, fut totalement exterminée par la chasse (p. 72).

■ Les méthodes de prélèvement peuvent également mettre en danger certaines espèces *a priori* non recherchées. La polémique autour de l'utilisation des grands filets pour la pêche au thon, qui exterminent également les dauphins, en est un exemple. L'introduction du chalut dans les grands lacs d'Afrique de l'Est est probablement à l'origine de la disparition de nombreuses espèces endémiques de poissons appartenant à la famille des cichlidés, car ces engins sont destructeurs, d'une façon générale, pour la faune des fonds.



■ Enfin, de nombreuses espèces sont la cible de collectionneurs. Pour certains animaux (coquillages, papillons, insectes), la demande est forte et la recherche d'espèces rares est à l'origine d'un marché actif qui, dans certains cas, peut mettre en danger les populations naturelles. C'est également le cas pour certaines plantes comme les orchidées, dont de nombreuses espèces sont actuellement protégées en Europe.

## Les introductions d'espèces

Dans le but d'améliorer la production végétale ou animale (parfois également par inadvertance et même par malveillance), l'homme a depuis bien longtemps déjà joué les apprentis sorciers en transportant et en introduisant de nouvelles espèces dans des milieux qui en étaient jusque-là dépourvus. L'une des conséquences les plus graves sur la diversité biologique est, dans certains cas, la destruction et la disparition de faunes endémiques.

**N**ombre d'extinctions connues chez les oiseaux. Une grande partie des extinctions d'espèces de vertébrés supérieurs enregistrées au cours des derniers siècles concerne la faune des îles. La fragilité des peuplements insulaires est illustrée ici par la comparaison des disparitions d'espèces constatées chez les oiseaux, sur les continents et sur les îles.

Ce phénomène est particulièrement important dans les milieux isolés depuis longtemps, comme les îles, mais également certains lacs. Un des exemples bien documentés est celui du lac Victoria en Afrique, où la perche du Nil (*Lates niloticus*), espèce de poisson prédateur pouvant atteindre 100 kg, fut introduite dans les années 1950 afin d'améliorer la production de la pêche.

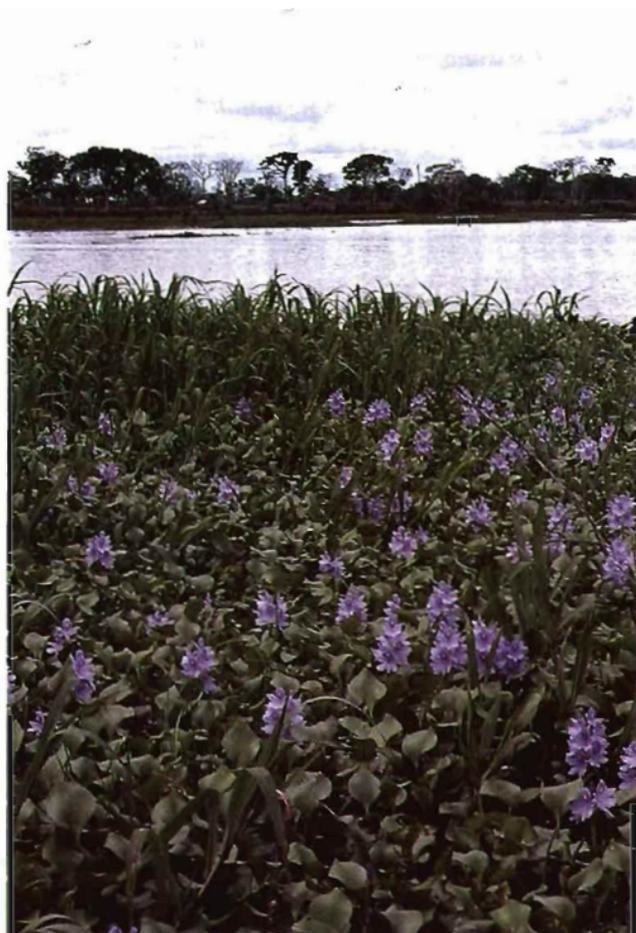


Un autre exemple bien connu est celui de l'introduction du lapin en Australie. Les centaines de millions d'individus descendant des vingt-quatre animaux introduits en 1859 ont ravagé le pays, entrant en concurrence avec le bétail pour la nourriture.

**L'**introduction de certaines espèces prédatrices dans des milieux qui en étaient dépourvus peut être à l'origine de véritables catastrophes écologiques. On estime ainsi que la perche du Nil (*Lates niloticus*), un des plus gros poissons prédateurs africains, introduite dans le lac Victoria dans les années 1950, est une des causes principales, avec une pêche trop intensive, de la destruction d'une riche faune endémique de quelques centaines d'espèces de petits poissons appartenant à la famille des cichlidés. Ici, le débarquement d'une pirogue de pêche au bord du lac Victoria, avec des perches du Nil au premier plan.

Cette prolifération fut également désastreuse pour les nombreuses espèces endémiques de marsupiaux qui ont des exigences écologiques voisines, et qui furent menacées d'extinction par le lapin avec lequel ils étaient en compétition.

Cette expérience n'a pas servi de leçon, puisque des lapins de garenne ont été également introduits aux îles Kerguelen (Antarctique), où ils dégradent le milieu végétal et perturbent la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux.



**L**a jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) se développe modérément au Brésil dans son habitat naturel. Introduite par l'homme dans de nombreux pays du monde en raison de son aspect décoratif, elle a colonisé de nouveaux milieux aquatiques où elle se multiplie, en revanche, à une vitesse extraordinaire (on a évalué à 10 % par jour l'accroissement de la surface occupée par la jacinthe). Elle est ainsi devenue une véritable peste en zone tropicale, obstruant rivières et canaux, et formant un épais tapis en surface qui a pour effet de réduire l'oxygène de l'eau et d'éliminer la vie aquatique, tout en faisant obstacle à la navigation.

En milieu marin, la *Caulerpa taxifolia*, une algue verte tropicale introduite accidentellement près de Monaco en 1984, s'est mise à proliférer de manière préoccupante en Méditerranée, sans que l'on sache actuellement ni en comprendre ni en contrôler la progression.

Si l'on met l'accent à l'heure actuelle sur les aspects négatifs des introductions d'espèces, il ne faut pas oublier cependant qu'elles furent encouragés pendant longtemps (p. 77). Ce qui peut paraître d'origine naturelle aujourd'hui, peut être, en réalité, le résultat de colonisations plus ou moins anciennes par des espèces introduites volontairement ou non. Ainsi la truite arc en ciel, le poisson-chat et le blackbass (introduits des États-Unis), ou la carpe (provenant de Chine), sont maintenant des hôtes habituels des eaux douces françaises. Le figuier de Barbarie qui semble avoir fait partie de tout temps des paysages d'Afrique du nord, est en réalité une cactée (*Opuntia*) originaire d'Amérique du sud. Il en est de même des agaves, originaires du Mexique, qui décorent si bien nos côtes méditerranéennes. ■

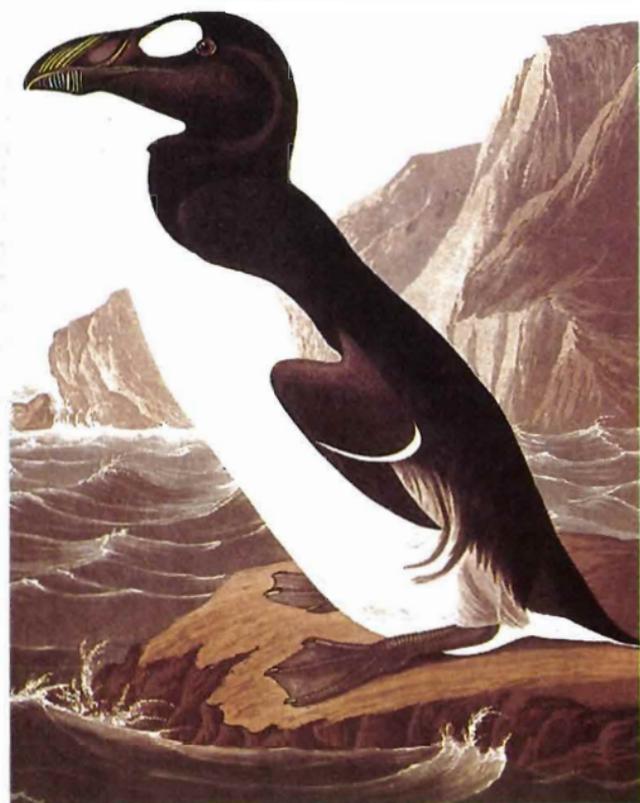


**L**e dodo (ci-contre dans *Alice aux pays des merveilles*), gros oiseau de 25 kg vivant dans l'île Maurice, chassé par les hommes et par divers animaux domestiques introduits sur l'île, a disparu au cours du xvii<sup>e</sup> siècle, soit moins d'un siècle après sa découverte.

- On recensait au début du xix<sup>e</sup> siècle plusieurs milliards de pigeon migrateur américain (ci dessous). Le dernier exemplaire en liberté fut observé en 1900, et le dernier individu est mort en 1914 au zoo de Cincinnati (États-Unis).

- Le grand pingouin (haut, p. 73) vivait dans l'Atlantique nord, et fut également exterminé avant le milieu du xix<sup>e</sup> siècle, par les marins





pêcheurs qui s'en servaient comme appât.

- Le bison américain (ci-dessous), fort abondant autrefois, était une ressource naturelle essentielle à la vie des Indiens nord-américains. Il a disparu à la fin du siècle dernier à la suite d'une chasse abusive de la part des immigrants. Buffalo Bill doit malheureusement sa célébrité au fait qu'il fut un grand exterminateur de bisons.





# UTILISATION ET VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ

**La biodiversité est à la base de toutes nos ressources alimentaires et de nombreuses applications sont également connues dans le domaine de la santé, de l'industrie et des biotechnologies.**

**Nous sommes encore très loin d'avoir inventorié toutes les ressources potentielles qui nous sont offertes par la nature.**

**L**a récolte du latex, pratiquée ici dans une plantation de Sumatra, est une forme de valorisation industrielle des ressources biologiques.

Afin de convaincre de la nécessité de protéger la biodiversité, et pour démontrer que les coûts des mesures de conservation n'étaient pas prohibitifs compte tenu des bénéfices économiques escomptés, les scientifiques et les organismes de protection de la nature ont mis l'accent sur le rôle et l'utilisation de la biodiversité, ainsi que sur les perspectives de valorisation à long terme. On s'aperçoit alors que les usages de la biodiversité sont multiples et concernent notre vie quotidienne ainsi que de nombreux aspects de l'activité économique.

## Biodiversité, agriculture et élevage

### La "tropicalisation" des pays du Nord

L'Europe, et particulièrement sa partie septentrionale, ont connu une histoire climatique et géologique mouvementée et dévastatrice.

**D**e nombreux fruits d'origine exotique sont actuellement consommés en Europe où leur commercialisation a été rendue possible par le développement des moyens de transport. D'autres fruits sont encore à découvrir à l'exemple du kiwi, originaire de Chine, qui a été introduit en 1962 aux États-Unis, et dans les années 1970 en France où il est devenu un fruit de consommation courante.



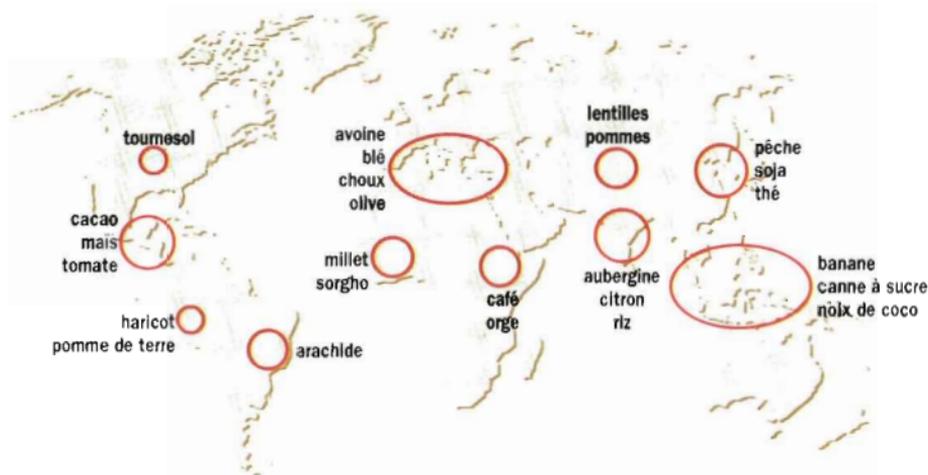
Les espèces qui la peuplent actuellement sont pour la plupart d'introduction ou de ré-introduction récente (la dernière glaciation datant d'environ 18 000 ans [p. 19]). Seules quelques rares espèces cultivées (avoine, seigle, betterave à sucre), ou domestiques (porc, bœuf), sont véritablement originaires de cette partie du monde. Beaucoup proviennent par contre du Proche-Orient ou des régions tropicales, et certaines nous sont à ce point familières qu'on a peine à imaginer qu'elles étaient, il y a quelques siècles encore, absentes des marchés et des paysages européens.

**U**n grand nombre d'animaux domestiques européens sont importés d'autres continents. Certains sont d'introduction ancienne, en raison des échanges qui se sont instaurés depuis fort longtemps avec le Moyen-Orient. D'autres, originaires

	Espèce d'origine	Aire d'origine	Première domestication connue
Bœuf	Aurochs ?	Europe	- 4 000
Cheval		Sud Ukraine	- 1 500
Chèvre	Chèvre à bézoard	Caucase, Zagros iranien	- 7 500
Chien		Irak	- 10 000
Cochon d'Inde		Amérique du Sud	- 8 000
Mouton	Mouflon oriental ?	Asie mineure	- 7 500
Canard de barbarie	Canard musqué	Côte nord de l'Amérique du Sud	?
Coq	Coq bankhiva	bassin de l'Indus	- 2 000
Dindon		Mexique	+ 1 500
Faisan		Asie	?
Paon		Inde	?
Pintade		Afrique	?

Des plantes particulièrement importantes dans la vie quotidienne des Aztèques du Mexique précolombien sont maintenant répandues dans le monde entier : maïs, haricot, patate douce, courge, citrouille, figuier de Barbarie, cacao, vanille, coton, tabac, piment.

d'Amérique et d'Afrique, ont été ramenés plus récemment par les explorateurs.



C'est d'Amérique du Sud que nous viennent la pomme de terre et la tomate, alors que le manioc, l'ananas, le papayer et l'arachide furent exportés vers l'Afrique depuis l'Amérique centrale et du Sud. Il ne faudrait pas ignorer dans cette longue énumération la coca, et de nombreuses plantes à intérêt médicamenteux comme le quinquina et l'ipéca.

On pourrait citer également nombre de plantes et fleurs d'ornement qui nous sont familières comme la bougainvillée, les dahlias, les pétunias, les bégonias, les capucines, les fuchsias. Beaucoup d'espèces domestiques (dindon, poule, canard de barbarie) ont également une origine exotique, ainsi que des espèces d'ornement (oiseaux, poissons d'aquariums).

## Les ressources génétiques

Les ressources génétiques d'une plante, d'un animal comprennent les populations sauvages de l'espèce, les races et variétés do-

**L**a plupart des plantes cultivées

sont originaires de régions tropicales ou subtropicales où l'on retrouve les formes sauvages proches des espèces domestiquées par l'homme. Les nombreuses périodes glaciaires expliquent la pauvreté génétique des pays de l'hémisphère Nord. Ces aires d'origine se sont étendues vers des zones de diversification agricole qui ont pu être multiples.

mestiquées ainsi que les espèces voisines, sauvages ou cultivées, dont on peut, par exemple, intégrer certaines caractéristiques génétiques dans la variété que l'on souhaite améliorer. Les formes sauvages qui continuent à évoluer librement dans leur environnement constituent donc un réservoir à long terme de la diversité génétique.

L'histoire des ressources génétiques débute avec les premiers éleveurs et les premiers agriculteurs, il y a environ 10 000 ans. Simultanément, en divers endroits du globe, ils ont domestiqué un nombre limité d'espèces animales et végétales. Le processus de domestication n'a cessé d'évoluer depuis cette époque, avec la recherche permanente de nouvelles races ou variétés plus performantes, ayant une meilleure croissance et/ou un meilleur rendement. Cette sélection, d'abord empirique, devient plus rationnelle à partir du XIX<sup>e</sup> siècle grâce aux acquis de la génétique.



**L**e caféier, une des principales cultures d'exportation pour de nombreux pays sud-américains ou africains, est sensible à certaines maladies comme la rouelle qui dévasta les plantations de Ceylan au XIX<sup>e</sup> siècle et se développa au Brésil en 1970 où elle put être stoppée grâce à l'utilisation de fongicides. Pour développer des souches résistantes à cette maladie, il faut pouvoir accéder aux ressources génétiques des populations sauvages dans les centres d'origine du café que sont l'Éthiopie, les hauts plateaux d'Afrique de l'Est et les forêts humides de l'Est malgache où vivent plus de cinquante espèces sauvages de caféiers.

De nos jours, beaucoup de variétés de plantes cultivées sont hautement sélectionnées pour répondre aux besoins de productivité d'une agriculture intensive et aux exigences de plus en plus précises des industriels et des consommateurs. Mais on s'est rapidement aperçu que cette sélection appauvrit la diversité génétique des variétés cultivées, ce qui a pour résultat de les rendre plus vulnérables aux parasites et aux intempéries sachant que la résistance aux maladies a souvent un déterminisme génétique. Dès lors, il est nécessaire d'avoir recours à des croisements avec d'autres souches résistantes à ces maladies – c'est-à-dire les espèces sauvages – pour éviter l'effondrement de la production. L'orge américain, par exemple, provient d'orges égyptiens, russes et chinois et résiste aux maladies grâce à des gènes algériens et éthiopiens.

Mais les races et variétés domestiques traditionnelles, adaptées de longue date à des conditions ou à des utilisations locales, constituent également des réservoirs importants de ressources génétiques. Or la tendance au cours des dernières décennies avait été de privilégier quelques variétés plus performantes à court terme, et largement distribuées, au détriment des variétés locales dont beaucoup ont maintenant disparu. Alors que le verger français comptait plus de deux mille variétés de pommiers au siècle dernier, il n'en existait plus qu'une dizaine en 1970. Cette situation résulte en partie d'une invasion des marchés euro-

péens par des variétés sélectionnées venant d'Amérique du Nord (la *golden*, en particulier), mais également de la disparition des vergers et des haies d'arbres fruitiers pour faciliter la mécanisation et l'intensification de l'agriculture. Amateurs et pouvoirs publics tentent actuellement de conserver les variétés autochtones dans des vergers conservatoires.

## **Biodiversité et santé**

L'utilisation de plantes médicinales est un phénomène très répandu et très ancien. Près de 80 % de l'humanité n'a pas accès aux médicaments et continue à faire appel aux vertus des plantes pour se soigner (dans les pays industrialisés, cette pratique connaît même un regain d'intérêt).

Quoi qu'il en soit, plus de la moitié des médicaments utilisés actuellement possèdent comme matière active (le *principe actif*) une substance naturelle extraite de plantes ou d'animaux. Et, depuis quelques décennies, les industriels ont entrepris de nombreuses recherches pour mieux connaître les pharmacopées traditionnelles ancestrales, utilisées dans les zones tropicales par les guérisseurs et les sorciers qui ont une connaissance remarquable de leur écosystème. L'*ethnobotanique* s'attache à mieux connaître ces savoirs ancestraux qui nous ont déjà donné des médicaments comme la quinine, extraite des quinquinas, arbres de la cordillère des Andes, et

connue en Europe depuis le XVII<sup>e</sup> siècle pour ses propriétés antipaludiques. Des programmes de recherche sont également en cours pour étudier les propriétés thérapeutiques de nouvelles substances extraites de certaines espèces végétales et animales. Les animaux sont également à l'origine de substances pharmacologiques (on parle d'*opothérapie*). Par exemple, le foie des requins contient des substances augmentant la résistance de l'organisme humain aux affections cancéreuses ; le venin des abeilles est utilisé dans le traitement des arthrites, et celui de nombreux serpents est utilisé en pharmacologie.



**D**'espèces communes en horticulture, comme la pervenche de Madagascar (ci-contre), on a extrait des alcaloïdes efficaces contre un grand nombre de cancers. La ciclosporine, qui a permis des progrès décisifs dans la transplantation d'organes en supprimant les barrières immunitaires, a été décelée dans des champignons. La découverte récente dans l'if d'une substance anticancéreuse, le taxol, montre que nous sommes loin d'avoir fait l'inventaire des ressources de la nature. La recherche de produits actifs susceptibles d'intéresser l'industrie pharmaceutique s'étend également aux animaux marins.

## **Un réservoir de produits industriels**

La nature fournit de nombreux produits de la vie quotidienne. Le bois, utilisé comme matériau de construction et d'ébénisterie, mais également pour la pâte à papier, en est un exemple bien connu. Cependant, l'un des végétaux sud-américains qui joua un rôle important dans le développement industriel du XIX<sup>e</sup> siècle est bien le caoutchouc, encore nommé le "bois qui pleure" (p. 85). Si son histoire est édifiante, le caoutchouc n'est pas la seule ressource naturelle qui a pu alimenter l'industrie.

Le jojoba, arbuste rustique qui peut se développer dans des milieux très arides grâce à un enracinement profond, pousse spontanément dans les déserts du nord-ouest du Mexique. Il donne une huile parmi les plus fines du monde qui, par exemple, peut remplacer l'huile de baleine utilisée dans la lubrification des moteurs tournant à haut régime. Cette huile de jojoba entre également dans la composition de nombreux cosmétiques, de vernis, d'émulsifiants ou de plastifiants. Le jojoba est aujourd'hui cultivé dans de nombreux pays. Tout en étant potentiellement une nouvelle source de revenus pour des pays défavorisés sur le plan climatique, il contribuera peut-être, en tant que produit de substitution, à sauver des espèces menacées, comme le cachalot.

Dans l'industrie textile, le coton a également une histoire ancienne et complexe.

Domestiqué il y a environ 5 000 ans, à la fois en Perse (d'où il a gagné l'Inde), au Pérou et au Mexique, il fut d'abord un produit de luxe, avant que le coton américain, bon marché, ne devienne populaire en Europe au XVIII<sup>e</sup> siècle.

D'autres produits textiles, chanvre, lin, laine, soie, voire cuir, sont, eux aussi, issus de végétaux et d'animaux. Tous ces produits, qui ont joué un rôle important dans l'économie mondiale, sont encore largement utilisés malgré la concurrence des produits synthétiques. La liste des applications industrielles de la biodiversité serait extrêmement longue. Des huiles et des graisses végétales ou animales sont utilisées comme savons, cosmétiques, crèmes à raser. On les retrouve également dans les lubrifiants et les peintures. L'industrie des parfums dépend presque entièrement de produits naturels et utilise une immense variété de substances végétales ou animales.



**U**n très grand nombre d'animaux ont fait les frais des modes vestimentaires, depuis les peaux des grands fauves, dont les populations furent décimées, jusqu'aux oiseaux ornant les chapeaux de nos grand mères, en passant par les reptiles recherchés par les peaussiers et les bottiers. En ce qui concerne le cuir et les peaux, la nécessité de se protéger du froid, mais également le souci de faire preuve d'originalité ou d'afficher son rang social, ont été à l'origine d'un commerce très florissant qui a provoqué la raréfaction de nombreuses espèces. L'industrie vestimentaire de luxe fut, et reste, grande consommatrice de produits issus de la biodiversité.

## HISTOIRE DU CAOUTCHOUC

■ Les premiers conquistadores espagnols apprirent auprès des Aztèques à imperméabiliser des bottes et des tissus en les graissant avec du latex, mais son utilisation en Europe resta limitée car il perdait ses qualités au froid. La vulcanisation (chauffage du caoutchouc avec du soufre), découverte de manière accidentelle en 1839 aux États-Unis par Charles Goodyear, en stabilisant les propriétés physiques du latex par rapport aux changements de température, devait ouvrir ainsi la voie à son avenir industriel. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le caoutchouc sylvestre fit l'objet d'une exploitation particulièrement active, non seulement en Amazonie brésilienne, où les *seringueiros* l'extraient de l'hévéa, mais également en Afrique où on l'extrait de lianes et d'euphorbes (photo p. 74).

Mais, avec l'invention du pneu et le développement de la bicyclette, puis de l'automobile, le caoutchouc de cueillette ne suffit plus. Au terme d'une longue épopée, l'Amazonie, berceau de cette ressource, en perdit tout le bénéfice au début du XX<sup>e</sup> siècle lorsque furent créées de grandes plantations d'*Hevea brasiliensis* en Asie, puis plus tard en Afrique, ruinant en partie l'économie des pays exportateurs de caoutchouc de cueillette.

**A**près la Seconde Guerre mondiale, le caoutchouc synthétique, découvert en 1915, vient bouleverser ce marché florissant. Aujourd'hui, environ cinq millions de tonnes de caoutchouc naturel sont produites. La fabrication de pneus pour équiper les voitures de compétition (ici une Tyrrell) a fait appel à diverses qualités de caoutchouc.



## Biotechnologies

Les technologies du vivant (biotechnologies) concernent essentiellement l'application des techniques du génie génétique à tous les organismes vivants (micro-organismes, végétaux et animaux) en vue d'utilisations industrielles, agronomiques ou médicales. Le génie génétique consiste à isoler un gène et à l'introduire dans le génotype d'un organisme étranger, qualifié alors de transgénique, et qui va acquérir ainsi des caractères particuliers qui lui manquaient.

L'homme a depuis longtemps cherché à conserver ou à modifier le monde vivant qui l'entourait. Il a très vite utilisé les potentialités des microorganismes dans la pré-

**L**es bactéries sont depuis longtemps utilisées par l'homme pour la fermentation, comme en témoignent les nombreuses variétés de fromages connues et consommées dans toutes les parties du globe.



paration ou la conservation de sa nourriture et de ses boissons (fromage, vin, bière). Ces micro-organismes intéressent particulièrement les chercheurs et les industriels, en raison de leur utilisation dans le domaine des fermentations.

Les premières tentatives de transferts de gènes furent réalisées sur des bactéries, avec l'incorporation de gènes humains dans la bactérie *Escherichia coli* dans le but de lui faire produire de l'insuline, médicament indispensable aux diabétiques.

Les premières plantes génétiquement modifiées par transferts de gènes (plantes transgéniques) sont apparues au début des années 1980. Grâce aux techniques de la biologie moléculaire, on leur inséra des gènes étrangers, leur conférant ainsi des propriétés inédites. Près d'une cinquantaine d'espèces végétales ont jusqu'à présent été modifiées : acquisition de la résistance aux virus chez le melon ou la tomate, de la résistance aux insectes chez la pomme de terre ou le maïs, de la résistance aux herbicides chez le coton ou le soja, amélioration de la conservation chez la tomate.

Des recherches sont en cours chez les poissons chez lesquels on essaie, par exemple, de transférer des gènes humains responsables de la synthèse d'une hormone de croissance, ce qui permettrait d'améliorer les performances en aquaculture.

Il s'agit là de quelques exemples d'application des biotechnologies, car la liste s'allonge chaque jour.

Ainsi, grâce à la bactérie *Bacillus thuringiensis* qui fabrique une toxine active contre de nombreux insectes, il est possible d'envisager la mise au point de biopesticides sélectifs, toxiques uniquement pour les espèces que l'on veut combattre tout en épargnant les autres. D'autre part, le développement de procédés industriels en vue d'éliminer les déchets fait maintenant largement appel à l'utilisation de micro-organismes capables de dégrader les substances toxiques ou polluantes.

**L**es épandages d'insecticides effectués par voie aérienne pour lutter contre les maladies ou les ravageurs des cultures ont causé, dans le passé, d'importants dégâts à la flore et à la faune.



Beaucoup de scientifiques s'interrogent cependant sur les risques éventuels d'une introduction volontaire ou accidentelle d'organismes génétiquement modifiés dans les milieux naturels. Compte tenu de leurs nouvelles caractéristiques, ils pourraient y proliférer et éliminer d'autres espèces moins compétitives.

Les scientifiques portent actuellement leurs efforts sur la recherche de pesticides sélectifs, d'origine biologique, aux effets beaucoup plus modérés.

Si les dangers ne doivent pas être exagérés, une réglementation stricte est cependant nécessaire pour éviter d'éventuelles catastrophes écologiques.

En créant des êtres nouveaux dans leurs laboratoires, les scientifiques créent de la biodiversité. Toutes les perspectives d'application n'ont pas encore été explorées, mais des brevets de plus en plus nombreux sont déposés sur des organismes génétiquement modifiés. On comprend alors tout l'intérêt porté à la biodiversité et aux ressources génétiques par les industriels et les professionnels des biotechnologies : la nature est une immense librairie de gènes dont beaucoup sont potentiellement utilisables pour des manipulations génétiques. Préserver cette librairie, c'est se donner la possibilité, maintenant et dans le futur, de pouvoir disposer à tout moment d'un matériel prêt à l'emploi dont on est loin d'avoir exploré les potentialités.

### **Les écotechnologies : la nature pour restaurer la nature**

La recherche et l'utilisation d'espèces animales ou végétales, dans le but de restaurer les milieux naturels dégradés par les pollutions ou les aménagements, est un domaine d'activité en pleine expansion.

Ainsi, pour réparer les cicatrices que les grands travaux d'aménagement du territoire peuvent laisser dans le paysage (grands barrages, pistes de ski, lignes à haute ten-

sion), on y sème les plantes les mieux adaptées à ce type de milieu. Pour maintenir des milieux naturels dans un état jugé optimal, on pense de plus en plus à utiliser des animaux. Les chèvres, par exemple, peuvent contribuer à débroussailler des zones sensibles au feu ; les vaches entretiennent les alpages, évitant ainsi les avalanches ; les chevaux de traits, comme le cheval Comtois, ont des aptitudes pour valoriser les pâturages en friche, de qualité inférieure.

**C**ertains plantes sont capables de fixer directement l'azote atmosphérique grâce à des micro-organismes symbiotiques (*Frankia*, *Rhizobium*). Quelques plantes légumineuses tropicales, comme les *Sesbania* (ici un *Sesbania rostrata* du Sénégal) ou les *Aeschynomene*, possèdent ainsi sur leurs tiges des nodules remplis de micro-organismes grâce auxquels ils sont capables de fixer des quantités d'azote considérables. On peut les utiliser comme engrais vert en les enfouissant dans le sol avant de semer les céréales.

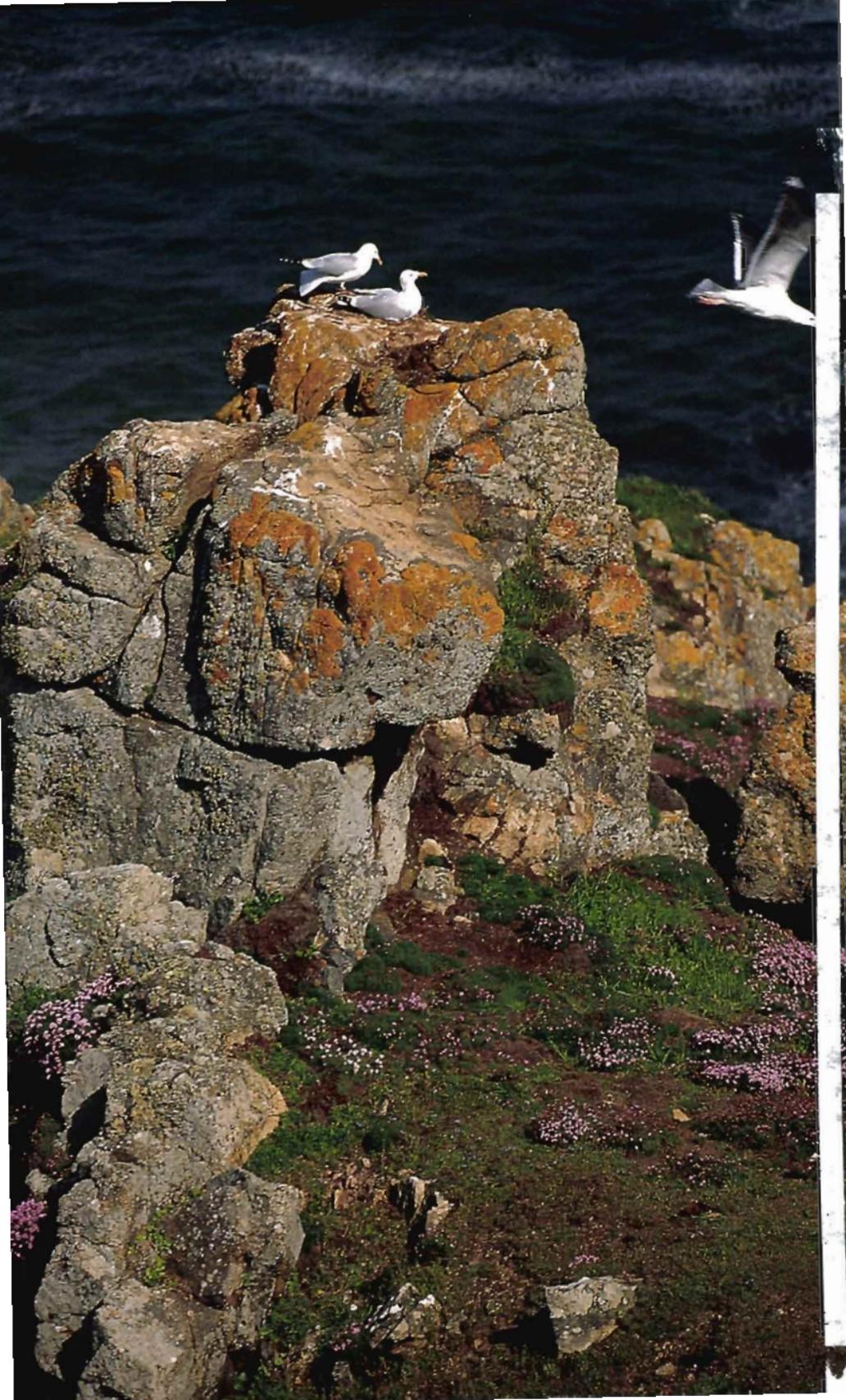


Les applications de la biodiversité des microorganismes dans le domaine de prévention des pollutions et de la dépollution sont assez nombreuses (dégradation des hydrocarbures, par exemple).

### **Biodiversité et loisirs : en compagnie de la nature**

La biodiversité est depuis longtemps un objet de récréation et de loisir. Les horticulteurs ont aussi créé de nombreuses variétés de fleurs et acclimaté des plantes ornementales exotiques pour la plus grande satisfaction des amateurs.

L'une des formes de valorisation de la biodiversité des espèces et des écosystèmes reste bien entendu le tourisme et toutes les activités associées soit à l'observation des animaux dans leur milieu naturel, soit au désir profond de contact avec la nature. Cet "écotourisme" se développe dans les pays développés, et concerne de plus en plus les pays en voie de développement qui offrent encore des milieux attrayants et nouveaux. Dans certains cas, le nombre de visiteurs est si important que l'on s'inquiète pour la pérennité des sites. ■



# ÉCONOMIE ET BIODIVERSITÉ

**L**a préservation de zones littorales, comme ici la réserve du cap Sizun en Bretagne nord, relève d'une démarche éthique. Les contributions volontaires permettant d'alimenter le fonds relèvent du consentement à payer pour préserver un milieu et ses espèces, indépendamment d'une valorisation économique.

**La nature est une immense librairie génétique et la biodiversité est devenue un enjeu économique. Doit-elle être librement accessible à tous ? Ou convient-il de rétribuer les pays contre un droit d'accès à leurs ressources biologiques, tout en leur garantissant des dividendes sur les brevets des biotechnologies ?**

## **La biodiversité, patrimoine commun de l'humanité ?**

La notion de "patrimoine commun de l'humanité" fut défendue par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) au sujet des ressources génétiques végétales (ou ressources *phytogénétiques*). Cette notion, formulée par l'Unesco dans la Convention sur le patrimoine mondial culturel et naturel de 1972, permet aux États qui ne sont pas en mesure de faire face aux coûts de la protection d'un bien de faire appel à la contribution des autres États.

En signant, en 1983, un engagement international sur les ressources phytogénétiques, de nombreux pays reconnaissaient que ces ressources "sont le patrimoine commun de l'humanité et doivent être préservées et librement accessibles pour être utilisées dans l'intérêt des générations présentes et futures". Ils espéraient de la sorte accéder plus facilement aux résultats des recherches dans le domaine du génie génétique menées dans les pays du Nord, et profiter des transferts de technologies.

Mais il est apparu rapidement que les pays industrialisés s'approprièrent les variétés nouvelles résultant des hybridations en prenant des brevets pour protéger les innovations. Ces brevets privilégient le secret, limitant ainsi l'accès au savoir-faire technologique pour les pays en développement. Le principe de la libre circulation des

ressources génétiques évoluait donc vers la reconnaissance implicite d'une nécessaire rémunération.



### Vers le concept de *patrimoine local*

Sous l'impulsion des Nations unies, les discussions portent, dès 1989, sur les conditions d'un partage juste et équitable des résultats de la recherche et des avantages résultant de la mise au point des produits. On abandonne donc progressivement la notion de patrimoine commun de l'humanité au profit du concept de patrimoine local.

La convention sur la biodiversité, signée en 1992 à Rio, entérine le principe de la souveraineté nationale sur les ressources biologiques et donne aux États le droit de réclamer des redevances aux industriels qui mettraient au point un produit dérivé des ressources locales.

**L**a conférence de Rio, tenue en juin 1992, a été l'occasion d'un grand débat international sur l'environnement ; une convention internationale sur la biodiversité y a été signée par la presque totalité des États.

La Convention reconnaît également aux pays contractants un droit d'accès au savoir-faire et aux produits issus des technologies nécessaires à la conservation et à l'utilisation durable de la diversité biologique. Nous voilà donc revenus à une situation plus classique sur le plan commercial : l'échange de matières premières contre de l'argent et des techniques.

### **La nature aux enchères**

Dans les pays du Sud, la biodiversité a pu apparaître comme un grand réservoir de gènes ou de molécules que les industriels allaient breveter et revendre avec profit. Il n'est donc plus question d'en laisser le libre accès, mais de monnayer cet accès. Chaque pays peut maintenant, sur la base d'un contrat, confier à une entreprise privée le soin d'inventorier, puis éventuellement d'exploiter, ses ressources biologiques. On se retrouve alors dans une situation analogue à celle de la prospection pétrolière.

Une expérience basée sur ces principes est actuellement suivie avec intérêt au Costa Rica qui a transformé 25 % de son territoire en réserves naturelles. La firme pharmaceutique américaine Merck a passé un accord bilatéral avec un Institut de recherche universitaire (*INBio*). En échange du droit de prospecter et d'analyser les échantillons biologiques pour évaluer leur intérêt pharmaceutique ou agrochimique, Merck verse

à *INBio* une rente annuelle, assure la formation des scientifiques et lui garantit des redevances sur les produits développés à partir des ressources collectées.

## **La valeur économique de la biodiversité**

Les économistes reconnaissent généralement des valeurs d'usage qui s'appliquent à l'utilisation actuelle et à la commercialisation de la biodiversité, et parmi lesquelles on distingue trois catégories principales.

■ *La valeur de consommation directe*, tout d'abord, correspond à la consommation des produits des activités de chasse, de pêche et de cueillette. Dans de nombreux pays tropicaux, plus de 75 % des protéines animales alimentaires proviennent de ces activités.

Mais il faut également inclure dans cette catégorie le commerce international d'espèces sauvages, dont le chiffre d'affaires serait de l'ordre de cinq milliards de dollars, et qui est responsable de la disparition de nombreuses espèces.

■ *La valeur récréative* est la valeur ajoutée induite par les activités telles que la pêche sportive, la promenade en forêt, l'observation des oiseaux, etc., qui entraînent des dépenses en transport et en hébergement. Son estimation est difficile, mais le chiffre d'affaires est loin d'être négligeable, notamment dans les pays qui ont encouragé l'écotourisme et valorisé leurs parcs naturels.



■ La *valeur productive*, enfin, correspond à l'implication de la biodiversité dans des cycles de production de certains biens : substances naturelles à usage pharmaceutique, exploitation forestière, sélection de variétés et amélioration des plantes cultivées. La préservation de la diversité des ressources phytogénétiques qui permettront d'améliorer les espèces cultivées dans les décennies à venir est sans aucun doute un enjeu économique. Mais cela ne concerne qu'un petit nombre d'espèces : quelques milliers, voire quelques centaines d'entre elles.

■ Outre ces trois valeurs d'usage, les économistes prennent également en compte le fait que l'érosion biologique est irréversible et qu'une espèce disparue ne peut être recréée *ex nihilo*.

**Q**ue ce soit sous forme de matériel ou de prestations hôtelières, la valeur récréative induite par la pêche sportive est considérable. Pratiquée par des millions d'amateurs dans les eaux continentales, cette pêche concerne en priorité quelques espèces de salmonidés (saumon, truite, omble, etc.).

■ La *valeur d'existence* est la somme que les consommateurs sont prêts à payer pour préserver l'existence de tel ou tel élément de la biodiversité, y compris des écosystèmes, indépendamment de toute utilité actuelle ou future. Ce consentement à payer peut être évalué, par exemple, par le montant des dons lors de campagnes pour la sauvegarde des espèces, ou par les donations à des sociétés de protection de la nature.

On atteint ici les limites des sciences économiques, car il s'agit d'une appréciation en grande partie psychologique, liée à la popularité d'une espèce, et bien entendu au bien-être économique de la personne interrogée. Les valeurs d'existence seront sans doute beaucoup plus élevées pour le rhinocéros, l'éléphant ou le panda que pour des poissons ou des reptiles inconnus du public.

**D**ans le cadre de la pêche industrielle, activité de cueillette, le poisson a une valeur de consommation qu'il est relativement facile d'évaluer. Celle-ci peut correspondre en première approximation à la perte économique que pourrait engendrer une dégradation du milieu naturel ou une mauvaise gestion de la ressource.





■ Enfin, la *valeur écologique* s'applique à caractériser le rôle joué par les espèces et les écosystèmes dans les grands équilibres biologiques, que ce soit au niveau local ou au niveau de la biosphère.

## LA NATURE A-T-ELLE UN PRIX ?

■ Pour tenter de développer des arguments susceptibles de convaincre, certains mouvements écologistes ont envisagé d'évaluer en termes économiques l'utilité des ressources génétiques, et, plus généralement, de la biodiversité. Les économistes ont été mobilisés afin d'évaluer le coût de l'érosion de la biodiversité et des moyens à mettre en œuvre pour la protéger.

On peut, en termes purement économiques, poser le problème de la manière suivante : si la disparition d'une espèce a pour la société un coût supérieur à celui que représenterait sa conservation, alors il faut la protéger ; dans le cas contraire, sa disparition est sans conséquence majeure sur l'économie, et d'autres arguments doivent être avancés.

**L**a biodiversité peut avoir une valeur récréative, comme l'écotourisme qui se développe. La valeur ajoutée induite par cette activité correspond aux dépenses en transport, matériel d'observations, hébergement, guides, etc. Grâce aux visiteurs des parcs naturels (ici le lac Nakuru), le Kenya dégage un bénéfice, correspondant à 15 % du produit national brut.



**L**es insectes qui suscitent l'intérêt des collectionneurs, ont une valeur d'usage dans la mesure où ils font l'objet d'une commercialisation. Mais quelle valeur d'existence donner également à ce coléoptère *Scarabeidae* africain, qui, moins médiatisé que le panda ou l'éléphant, mérite tout autant d'être protégé ?

Ainsi, les zones humides (marécages, plaines d'inondation des fleuves), outre le fait qu'elles hébergent une flore et une faune particulièrement riche et diversifiée, contribuent à la recharge des nappes d'eau souterraines, à l'épuration des eaux, et servent de lieu de reproduction pour des espèces fluviales.

On comprend aisément que le souci de quantifier la biodiversité en termes monétaires, mieux à même de convaincre les décideurs que de simples considérations éthiques ou écologiques, se heurte à des problèmes méthodologiques importants. Les économistes et les écologistes ne sont pas tous d'accord, loin s'en faut, sur la démarche, car les incertitudes sont nombreuses, en particulier en ce qui concerne l'utilité future de la biodiversité. ■



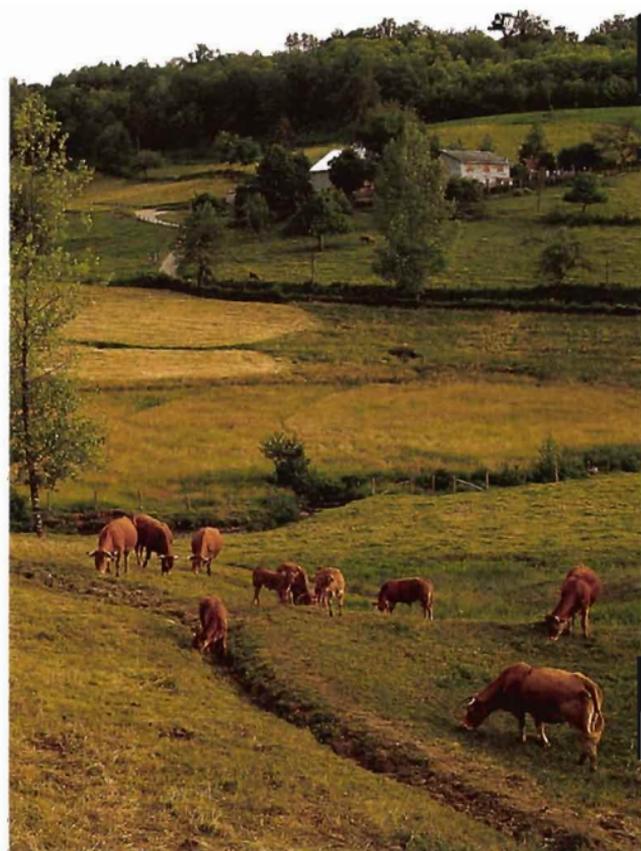
# PROTÉGER LA NATURE

**L**e spectacle de la nature a toujours suscité des émotions esthétiques qui constituent un des fondements de la culture humaine. C'est également un espace neutre où le citoyen oublie temporairement les oppositions sociales et les contraintes du travail productif, ce qui explique le succès grandissant de l'écotourisme.

**La protection de la biodiversité passe en priorité par la protection des écosystèmes. Mais, la pauvreté étant le pire ennemi de la biodiversité, il faut trouver des compromis entre protection de l'environnement et contraintes du développement économique. Face à l'ampleur des problèmes, une coopération internationale est indispensable pour concevoir et financer les programmes de conservation.**

La nature n'est pas, ou n'a pas toujours été, un paradis mythique et idyllique. Elle peut être source de désagréments ou de maladies. Il y a chez l'homme une peur ancestrale de la nature sauvage, des forêts profondes et des marécages. Quelle nature recherchons-nous, donc, inconsciemment ? En réalité, la nature n'est jamais perçue ni décrite de manière objective, mais en fonction des préoccupations de l'observateur et de ses projets d'actions. Les industriels de l'agro-alimentaire y voient un réservoir de

**D**ans les pays européens, la perception de la nature se confond le plus souvent avec celle de paysages que l'homme a façonnés de génération en génération, et qui font partie intégrante de sa culture. C'est, par exemple, le milieu rural entretenu depuis des siècles avec ses animaux domestiques, ses champs, ses bosquets, ses haies. Cette nature est un lieu souvent symbolique de loisir et de repos pour le citadin, qui cherche à la préserver.



ressources génétiques, alors que les scientifiques y recherchent l'histoire du monde vivant. Tous, néanmoins, se rejoignent sur un point : il faut essayer d'enrayer l'érosion de la biodiversité à laquelle nous assistons actuellement.

L'idée de protection de la nature n'est pas nouvelle, mais elle s'est progressivement imposée lorsque la pression de l'homme sur les espèces et les milieux naturels est devenue plus forte. C'est au début du <sup>xx</sup>e siècle, avec l'avènement de l'ère industrielle, que furent créées diverses sociétés de protection de la nature. Ces mouvements, qui visaient d'abord à protéger les paysages, ont eu une certaine influence sur l'adoption des premières législations nationales et internationales en matière de protection. Ainsi, la loi française sur la protection des sites et monuments naturels de caractère artistique date de 1906.

Cette époque a vu naître dans les pays occidentaux le sentiment parfois un peu confus et chargé d'une certaine culpabilité qu'il était nécessaire et urgent de protéger une nature fortement dégradée par les activités humaines.

Diverses institutions, comme le Fonds mondial pour la nature (WWF) ou Greenpeace, ont sensibilisé le grand public aux menaces de disparition qui pèsent sur les pandas, les éléphants, les baleines ou les phoques. Mais les citoyens et les politiques sont encore relativement peu concernés par la disparition d'espèces moins charismatiques ou par la

dégradation des milieux naturels, surtout lorsque ces événements surviennent loin de chez eux. Pour préserver la biodiversité, il faut à la fois protéger les milieux naturels et sauver de l'extinction les espèces menacées. Mais la biodiversité n'est pas répartie de manière uniforme à la surface de la planète, et certaines zones comme la forêt tropicale humide sont beaucoup plus riches en espèces que d'autres. Dans une politique de préservation il faut tenir compte également du caractère particulier des espèces ou des milieux (endémisme, existence de caractéristiques biologiques exceptionnelles), de l'importance et de l'imminence des menaces, de l'intérêt économique, esthétique ou symbolique.

### **La préservation *in situ* : parcs et réserves**

La préservation *in situ* consiste à maintenir les organismes vivants dans leurs habitats d'origine. Elle concerne donc en priorité les formes sauvages qui conservent ainsi la possibilité de poursuivre leur évolution.

Le terme générique de "réserve naturelle" recouvre en réalité des situations très différentes, depuis la réserve intégrale où l'intervention humaine est interdite, jusqu'aux zones habitées, où la flore et la faune sont en principe protégées (sans que cela soit toujours bien respecté). Les premières tendances protectionnistes, dans une conception étatiste et centralisatrice, ont été de sous-

traire des pans entiers de nature à l'emprise de l'homme, vu comme l'ennemi principal. On la mettait en quelque sorte sous cloche en gelant un territoire plus ou moins vaste, afin de montrer aux visiteurs une nature telle qu'elle serait encore si l'homme ne l'avait pas dégradée.

**A**ux États-Unis, le parc naturel de Yellowstone (État du Wyoming), dont on voit ici une vue du Canyon, est le



La création de parcs et de réserves intégrales répond à cette attente. En France, 600 hectares de la forêt de Fontainebleau sont mis sous protection en 1861. Mais il faut attendre 1963 pour que soit créé le premier parc national, celui de la Vanoise, dans les Alpes. Le plus grand actuellement est le parc des Écrins (Alpes), créé en 1973 avec 92 000 hectares de zone protégée.

premier à avoir été créé en 1872. D'une surface de 10 000 km<sup>2</sup>, il contribua à sauver les derniers bisons américains.

## Les réserves de la biosphère

Cependant, la création d'aires protégées ne va pas sans poser des problèmes humains lorsqu'elles doivent être établies dans des zones habitées. L'idée s'est donc imposée peu à peu qu'il serait peut-être plus judicieux de concilier les intérêts des populations occupant les aires à protéger et les contraintes de la protection.

Cette conception sociale et décentralisatrice par rapport à la précédente pose des problèmes en termes de développement et de respect de l'équilibre avec la nature, et anticipe ainsi le concept de développement durable.

La dimension sociale de la gestion des aires protégées a été développée en 1976 par le Programme sur l'homme et la biosphère de l'Unesco, dans le concept de "réserve de la biosphère". Ces réserves tentent de concilier la préservation de la biodiversité et la protection de l'environnement avec la mise en valeur des ressources du territoire :

**O**n appelle agroforesterie, un ensemble de pratiques et de systèmes d'exploitation des terres consistant à combiner délibérément des espèces ligneuses pérennes (arbres, bambous, lianes, etc.) avec des



des modes d'exploitation moins intensifs y sont encouragés, les activités polluantes exclues.

Par opposition aux réserves intégrales, l'homme est ici considéré comme une composante des milieux à préserver. La connaissance des savoirs traditionnels concernant la gestion des milieux naturels et des ressources pourrait être utile dans la perspective de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité.

Malgré certains échecs, l'expérience des réserves de la biosphère paraît positive, sous réserve que les populations concernées aient été associées étroitement à leur mise en place et à leur gestion. Actuellement, 300 réserves environ, couvrant une large variété d'écosystèmes, ont été reconnues par 75 pays. C'est dans cet esprit que les parcs naturels régionaux français ont été mis en place.

cultures vivrières et/ou l'élevage sur une même parcelle de terre. Aujourd'hui, l'idée est largement acceptée que l'agroforesterie est un système de gestion qui permettrait de conserver les sols tropicaux et de maintenir leur fertilité et leur productivité. On estime qu'environ la moitié des populations rurales des régions tropicales pratiquent sous une forme ou sous une autre, l'agroforesterie, comme ici en Amazonie équatorienne

## NATURE ET PATRIMOINE CULTUREL

■ Dans toutes les sociétés, la perception sociale de la biodiversité, les représentations qu'elles se font de la Nature, constituent leur patrimoine culturel. Les hommes ont utilisé une grande variété de ressources biologiques, dans des milieux très divers, et en mettant en œuvre des techniques spécialement adaptées.

Cet ensemble de connaissances et de savoir-faire constitue d'une certaine manière leur diversité culturelle qui se transmet au fil des siècles de génération en génération.

## **La préservation *ex situ***

Ce type de préservation, qui consiste à conserver les plantes et les animaux en dehors de leur habitat naturel, peut être une alternative à la conservation *in situ*. Dans de nombreux cas, elle constitue en réalité le seul moyen de préserver l'existence de certaines espèces dont les habitats d'origine ont été détruits ou sont fortement menacés.

### **Zoos et jardins botaniques : le dernier recours ?**

Au-delà d'une fonction éducative et récréative, l'un des principaux objectifs des ménageries et des jardins botaniques qui furent créés en Europe au cours des siècles passés était de tenter d'acclimater les plantes et les animaux provenant d'autres régions en vue de les cultiver ou de les élever chez nous pour l'agriculture, l'élevage ou la médecine. Mais de nombreux particuliers aisés ont également importé des espèces exotiques au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, afin de décorer leurs jardins et leurs parcs dont beaucoup sont maintenant devenus des arboretums.

L'une des idées forces en matière de préservation *ex situ*, dans les zoos et les aquariums, est qu'ils permettent de sauver certaines espèces vouées à l'extinction, en vue de les réintroduire ultérieurement dans leur milieu (ou dans un milieu équivalent) si les causes qui sont à l'origine de leur dispari-

tion ont pu être contrôlées. Cette pratique fut surtout appliquée pour quelques espèces de mammifères et le bison d'Europe, le cheval de Prjelwalski ou l'oryx arabe sont des exemples emblématiques de réussite.

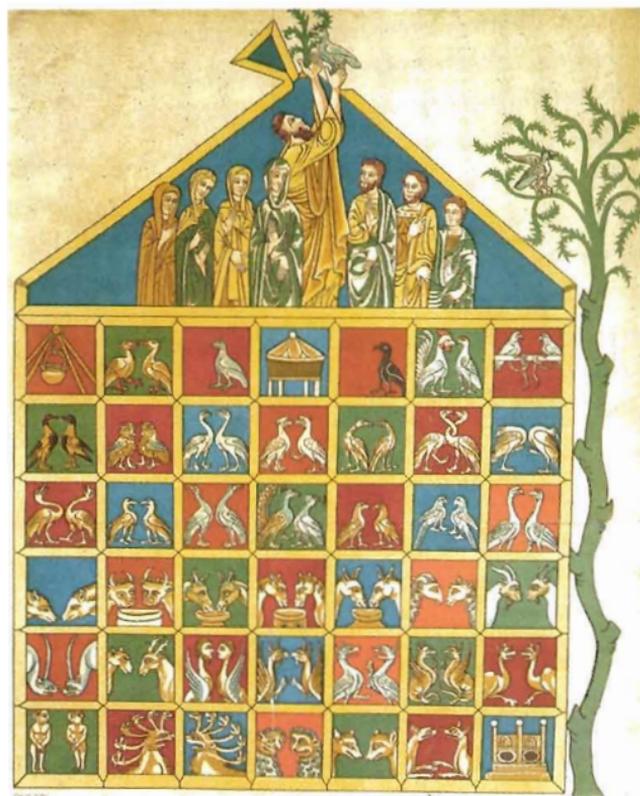
## LES ESPÈCES MIGRATRICES ÉCHAPPENT AUX RÉSERVES

■ Il ne suffit pas toujours de protéger certaines zones pour protéger les espèces. Dans certains cas, cette protection passe nécessairement par celle de l'ensemble des milieux fréquentés par les espèces. Le cas le plus spectaculaire est celui des oiseaux migrateurs qui viennent nidifier en Europe durant l'été et regagnent l'Afrique en hiver pour trouver des milieux plus hospitaliers et une nourriture abondante (pour l'essentiel, des zones humides [p. 62]). Protéger les migrateurs en Europe suppose de protéger également leurs zones d'hivernage en Afrique où la disparition de zones humides, sous l'effet de la sécheresse ou suite à des aménagements agricoles, peut constituer une grave menace pour leur survie. Cela ne peut donc se concevoir que dans le contexte d'une coopération internationale.

Des situations similaires existent pour les poissons migrateurs comme le saumon. Les barrages édifiés sur les fleuves peuvent constituer des barrières difficilement franchissables par les reproducteurs qui regagnent leurs zones de fraie, et compromettre ainsi la reproduction et la survie de l'espèce.

La préservation de la biodiversité dans le cas de milieux transfrontaliers, nécessite également que les pays concernés s'entendent pour une gestion respectueuse de la qualité de l'environnement. Ce problème de la gestion et de la préservation des ressources partagées entre plusieurs pays est particulièrement aigu pour les milieux aquatiques (lacs, fleuves, milieux côtiers), car les prélèvements d'eau ou les pollutions, par exemple, ont obligatoirement des répercussions sur l'ensemble du système.

Cependant, si le rôle des zoos a été réel dans la conservation d'espèces animales menacées, il est en partie surestimé. En effet, beaucoup d'espèces ne se reproduisent pas ou se reproduisent mal en captivité et, en dehors des mammifères et des oiseaux qui ne constituent qu'une part infime de la diversité du vivant, les zoos n'ont joué qu'un rôle très limité dans la préservation des autres espèces.



## Les conservatoires d'espèces domestiques

Le jardin du Roi, inauguré à Paris en 1635, était l'annexe de la faculté de médecine, et rassemblait, en 1641, 2 360 espèces. Des

**L**e principe de la conservation *ex situ* est fort ancien puisqu'il remonte au Déluge. Un précédent célèbre fut en effet l'arche de Noé qui consista à soustraire diverses espèces d'un environnement temporairement défavorable dans le but de les réintroduire ultérieurement dans des conditions plus favorables. "De tout être vivant, de toute chair, tu introduiras un couple dans l'arche pour les faire survivre avec toi ; qu'il y ait un mâle et une femelle." (Dieu à Noé, Genèse, 6, 19.) Cette conception de la préservation des espèces est toujours d'actualité.

botanistes participaient à toutes les expéditions d'exploration ou de conquête, avec pour mission de ramener des plantes qui enrichissaient les jardins botaniques.

**D**ans la France rurale, du milieu du XIX<sup>e</sup> au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, l'agriculture et l'élevage, principales activités économiques, devaient être protégées des ravageurs. La notion de "nuisibles" (à l'agriculture) est alors consacrée par la loi qui autorise leur destruction. Si le loup constituait le nuisible par excellence, le renard, les petits carnassiers, les rapaces, les pies, les geais, les corneilles, les écureuils ou les sangliers et les lapins, étaient des ennemis que les autorités encourageaient à éradiquer, parfois à l'aide de primes. Ici, quelques exemples de pièges proposés par le catalogue Manufacture 1952.

### PIÈGES SPÉCIAUX



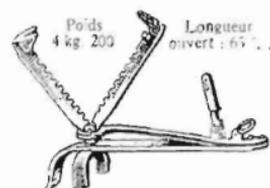
**Pièges genre américain.** Fil d'acier extra. Simples, légers, puissants, ne comportent aucun mécanisme. Faciles à armer et à dissimuler, chaîne d'attache.

*Livrés avec instruction*

N <sup>os</sup>	Long.	Poids	Pour	Pièce
5-6650.	20"	0*300	Belette	580. "
5-6650'A.	25"	0*500	Putois	650. "

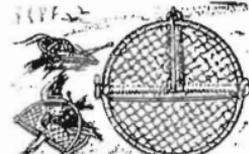


**5-6660. Piège à poteau,** acier, forme ronde, ressort puissant auquel est fixée la palette constituée par un fort morceau de branche. Se fixe au sommet d'un poteau ou d'un arbre par une bride articulée en métal. Longueur 14". Le meilleur piège pour la capture des oiseaux de proie tels que busards, corbeaux, etc. .... 410. "



Poids 4 kg 200      Longueur ouvert : 65 "

**5-6670. Piège à loutres** en acier, grandes mâchoires droites articulées dans une chape très forte, puissant ressort à crans. Reste tendu au moyen d'un fil et s'arme au pied. *Livré avec instruction*..... 4450. "



**Piège rond à filet** recouvrant tout le piège, avec puissant ressort à boudin au centre. L'appât s'accroche au porte-appât à crochet placé au centre. *Prend vivant.*

N <sup>os</sup>	Dia.	Poids	Pour	Prix
5-6680.	25"	0*200	Émerillons	290. "
5-6680 A.	35"	0*300	Geais	420. "
5-6680 B.	42"	0*700	Pies	680. "
5-6680 C.	55"	1*100	Corbeaux	980. "

Les jardins botaniques ou les stations de recherche permettent, pour un certain nombre de plantes qui ne peuvent être facilement conservées sous forme de graines, de maintenir sur pied une collection permanente et de préserver les variétés. C'est le cas pour des plantes pérennes comme l'asperge ou l'artichaut ; pour les arbres fruitiers il existe des vergers-conservatoires.



Ces formes de conservation au champ ont l'inconvénient d'être encombrantes, coûteuses et sensibles aux calamités comme les intempéries, les maladies, les incendies. On peut pallier cet inconvénient par la duplication des collections dans des lieux différents, ce qui, bien entendu, augmente les coûts.

Pour les animaux, il existe également des conservatoires d'espèces domestiquées, constitués souvent à l'initiative des instituts techniques. L'idéal serait, bien entendu, de conserver les espèces domestiquées dans le milieu où se sont développés leurs caractères distinctifs.

## **La nature en boîte : les banques de gènes**

Certains organismes vivants présentent à un moment de leur vie des formes de résistance qui leur permettent d'attendre des condi-

**L**e tigre de Sibérie est une espèce en voie d'extinction, qui a été sauvée grâce aux zoos. Le coût de sa préservation dans les zoos américains est estimé à 2,5 millions de dollars par an. Celle de l'okapi, autre espèce en danger, revient à moins de 1 million de dollars.

tions meilleures pour reprendre leur cycle. Cette particularité a été mise à profit dans un but de conservation. Ainsi, les graines peuvent se conserver de nombreuses années au sec et sont donc bien adaptées au stockage. Des grains de blé retrouvés dans des tombes égyptiennes ont pu germer environ 3 000 ans après leur découverte !

Le développement de nouvelles techniques a permis de mettre au point des méthodes de conservation des organismes qui offrent d'importantes perspectives.

■ Ainsi, les techniques de congélation (*cryopréservation*) assurent la conservation *in vitro* à long terme du matériel génétique. Des cultures de tissus, des embryons, du sperme, sont congelés dans de l'azote liquide à  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , assurant un stockage pour quelques milliers d'années. Ces techniques, développées en priorité pour les espèces utiles à l'homme, sont opérationnelles pour de nombreuses espèces d'animaux domestiques, des mammifères aux poissons, et on commence à les appliquer avec succès, mais à titre expérimental, aux invertébrés. Elles peuvent être appelées à jouer un rôle important dans la conservation de la diversité génétique d'espèces rares ou fortement menacées.

**G**âce à la cryopréservation, il est maintenant possible de conserver pour très longtemps du matériel génétique, que ce soit des gamètes ou des embryons, en les congelant, comme ici, dans de l'azote liquide à  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Certains ont même imaginé de stocker de cette manière toute la flore et la faune d'habitats menacés.



■ Chez les mammifères, on a aussi réalisé avec succès des transferts d'embryons dans des utérus d'espèces voisines. Ce fut le cas encore pour le cheval de Prjewalski, par exemple, dont des embryons ont été implantés à des juments domestiques.

**L**es derniers représentants des chevaux sauvages, qui subsistaient encore en Chine au début de ce



## Qui va payer la protection de la biodiversité ?

La préservation *in situ* de la diversité des espèces et des ressources génétiques implique, à l'heure actuelle, plus de 4 500 sites à travers le monde, pour un total d'environ cinq millions de km<sup>2</sup>. Les coûts de gestion sont estimés à 200 millions de dollars par an, soit environ 40 dollars/km<sup>2</sup>. Mais il s'agit là d'une moyenne et la variabilité des coûts d'entretien des aires protégées est importante. Ainsi sont-ils de 10 dollars par an à l'hectare en Tanzanie, contre 2 500 en France.

siècle, ont été exterminés par la chasse et la destruction de leur habitat. À partir d'un petit nombre d'exemplaires provenant des zoos, le cheval de Prjewalski a pu être sauvé. Ici en Lozère, on lui réapprend la vie sauvage.

En ce qui concerne la gestion des banques de gènes *ex situ* pour l'agriculture, l'investissement mondial devrait être d'environ 60 millions de dollars chaque année.

**L**es haras, une des plus vieilles institutions dévolues à la



La question posée est donc simple : si nous sommes conscients de l'intérêt pour l'humanité de préserver la biodiversité, que faire pour arrêter l'érosion actuellement constatée tout en répondant aux besoins vitaux immédiats de certains pays ? Surtout : qui va payer les coûts supplémentaires pour cette activité dont la rentabilité est loin d'être immédiate ? Différentes voies sont explorées actuellement

Des organisations non gouvernementales (ONG), et le WWF en particulier, ont proposé de racheter une partie de la dette d'un pays contre son engagement à protéger une zone d'intérêt biologique. De tels accords ont

conservation des espèces domestiques, avaient pour but de sélectionner des races de chevaux adaptées à la guerre et à la traction. L'initiative privée et certains parcs régionaux, s'attachent également à préserver les races locales. Ici, un cheval mulassier à la Maison de l'Âne du Poitou.

été passés, par exemple, avec Madagascar, la Zambie, le Costa Rica, l'Équateur et les Philippines. Des contrats plus ou moins similaires à celui de l'expérience *INBio* au Costa Rica (p. 96) existent également entre des industriels européens et certains pays africains. L'avenir dira si ce type de financement est adapté aux objectifs de préservation.

## Quelle nature pour demain ?

Il est illusoire de vouloir préserver la plupart des espèces de plantes ou d'animaux si le milieu dans lequel elles vivent se dégrade. La protection des espaces, et celle de l'environnement régional et global, sont donc des priorités qui doivent aller de pair avec la préservation de la biodiversité.

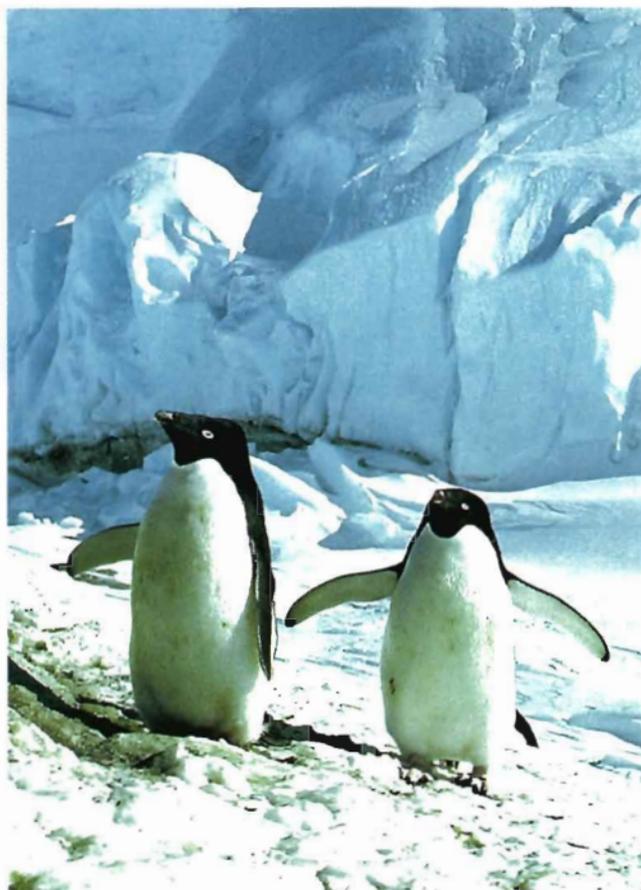
Les arguments éthiques, philosophiques et scientifiques, et même la démonstration sur le plan économique d'une possible valorisation de la biodiversité, ne suffisent pas toujours à infléchir les priorités des gestionnaires et des politiques. En effet, l'avenir de la biodiversité, au-delà d'opérations en trompe l'œil pour la sauvegarde de quelques espèces charismatiques, s'inscrit dans la perspective du *développement durable* qui se définit comme un développement répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

Le concept de développement durable a remplacé l'idée ancienne de *gestion en bon père de famille*.

**L'**Antarctique, continent de 14 millions de km<sup>2</sup>, est le plus froid de la planète : la température y est en permanence inférieure à 0°C. Une vingtaine d'espèces de manchots (en haut, à droite, le manchot Adélie) sont inféodées aux zones antarctiques qui hébergent également une faune exceptionnellement riche en oiseaux marins. Il sert en effet de zone de reproduction pour beaucoup d'espèces d'oiseaux et de mammifères marins (un éléphant de mer, en bas) qui profitent de la richesse des eaux océaniques durant l'été austral. L'Antarctique a été déclaré "Terre de science" en 1991, et c'est le seul exemple au monde d'un



milieu ayant fait l'objet d'un protocole international destiné à en assurer la protection. Les mesures prises au début des années 1970, puis les différentes conventions internationales concernant l'Antarctique, dont la convention sur la conservation de la faune et de la flore marines antarctiques de 1991, ont très certainement contribué à épargner cette région du monde et à sauver de l'extinction plusieurs espèces de mammifères marins vouées, sinon, à l'extermination.



## LE RÔLE DES CONVENTIONS INTERNATIONALES

■ Les tentatives de donner un statut légal à la protection de la nature, peuvent être brièvement illustrées par l'histoire des conventions et des institutions internationales.

En 1913, a lieu la Conférence de Berne qui voit la création d'une "Commission consultative sur la protection internationale de la nature" dont le siège est à Bâle. Mais ce n'est qu'en 1928 que l'Office international pour la protection de la nature est créé. Il sera absorbé en 1948 par l'Union internationale pour la protection de la nature qui deviendra, en 1958, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). À l'occasion de la Conférence de Stockholm en 1972, la forte interaction entre l'environnement et le développement fut très officiellement reconnue. Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) fut créé la même année. En 1979, la Convention de Bonn sur la conservation des espèces migratrices incite les pays concernés à se concerter sur les mesures de conservation vis-à-vis des espèces menacées. Et, en 1982, la Convention sur le droit de la mer est signée par 117 États, alors que l'ONU adopte la Charte mondiale de la nature.

Un des points très positifs des discussions qui eurent lieu à Rio fut la reconnaissance du *principe de précaution* selon lequel il n'est pas indispensable d'avoir réuni toutes les preuves scientifiques nécessaires pour prendre des mesures concrètes en matière de protection d'une espèce ou d'un écosystème menacé, y compris la remise en cause de projets d'aménagements.

Ce concept, qui laisse entrevoir une cohabitation possible entre environnement et développement, est une forme de compromis entre le souci affiché de préserver les milieux naturels et la nécessité d'une croissance, même limitée, pour assurer le développement économique.

**C**es cactus dénommés "tête à l'anglais" (à droite), constituent une curiosité naturelle de l'île de la Désirade, en Guadeloupe. Gardons-nous de considérer seulement les aspects économiques de la biodiversité et de rechercher toujours une rentabilité immédiate. La beauté d'un site mérite d'être protégée au même titre qu'une ressource génétique.

Quels équilibres trouver entre les contraintes économiques, les nécessités d'assurer la vie quotidienne et la protection de la nature ? Les réponses qui seront apportées à ces questions dépendent de toute évidence des choix qui seront faits en matière de modèles de développement. Dans un système où le profit immédiat servirait de référence, ou de nécessité, nous aurions toutes raisons d'être inquiets sur l'avenir à court terme de l'environnement et de la biodiversité. ■

**faute de quoi, c'est avec une nature de plus en plus standardisée que nous cohabiterons. Ne faut-il pas partager avec nos descendants un peu de cette émotion que nous ressentons devant ce paysage ?**



## Convention sur la biodiversité

### Préambule

– Conscientes de la valeur intrinsèque de la diversité biologique et de la valeur de la diversité et de ses éléments constitutifs sur les plans environnemental, génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique,

– Conscientes également de l'importance de la diversité biologique pour l'évolution et pour la préservation des systèmes qui entretiennent la biosphère,

– Affirmant que la conservation de la diversité biologique est une préoccupation commune à l'humanité,

– Réaffirmant que les États ont des droits souverains sur leurs ressources biologiques,

– Réaffirmant également que les États sont responsables de la conservation de leur diversité biologique et de l'utilisation durable de leurs ressources biologiques,

– Préoccupées par le fait que la diversité biologique s'appauvrit considérablement par suite de certaines des activités de l'homme,

– Conscientes du fait que les renseignements et les connaissances sur la diversité biologique font généralement défaut et qu'il est nécessaire de développer d'urgence les moyens scientifiques, techniques et institutionnels propres à assurer le savoir fondamental nécessaire à la conception des mesures appropriées et à leur mise en œuvre,

– Notant qu'il importe au plus haut point d'anticiper et de prévenir les causes de la réduction ou de la perte sensible de la diversité biologique à la source et de s'y attaquer,

– Notant également que, lorsqu'il existe une menace de réduction sensible ou de perte de la diversité biologique, l'absence de certitudes scientifiques totales ne doit pas être invoquée comme raison pour différer les mesures qui permettraient d'en éviter le danger ou d'en atténuer les effets,

– Notant en outre que la conservation de la diversité biologique exige essentiellement la conservation *in situ* des écosystèmes et des habitats naturels ainsi que le maintien et la reconstitution de populations viables d'espèces dans leur milieu naturel,

– Notant en outre que des mesures *ex situ*, de préférence dans le pays d'origine, revêtent également une grande importance,

– Reconnaisant qu'un grand nombre de communautés locales et de populations autochtones dépendent

étroitement et traditionnellement des ressources biologiques sur lesquelles sont fondées leurs traditions et qu'il est souhaitable d'assurer le partage équitable des avantages découlant de l'utilisation des connaissances, innovations et pratiques traditionnelles intéressant la conservation de la diversité biologique et l'utilisation durable de ses éléments,

- Reconnaisant également le rôle capital que jouent les femmes dans la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique et affirmant la nécessité d'assurer leur pleine participation à tous les niveaux aux décisions politiques concernant la conservation de la diversité biologique et à leur application,

- Soulignant qu'il importe et qu'il est nécessaire de favoriser la coopération internationale, régionale et mondiale entre les États et les organisations intergouvernementales et le secteur non gouvernemental aux fins de conservation de la diversité biologique et de l'utilisation durable de ses éléments,

- Reconnaisant que le fait d'assurer des ressources financières nouvelles et additionnelles ainsi qu'un accès satisfaisant aux techniques pertinentes devrait influencer sensiblement sur la mesure dans laquelle le monde sera à même de s'attaquer à l'appauvrissement de la diversité biologique,

- Reconnaisant en outre que des moyens spéciaux sont nécessaires pour satisfaire les besoins des pays en développement, notamment la fourniture de ressources financières nouvelles et additionnelles ainsi qu'un accès approprié aux techniques pertinentes,

- Notant à cet égard les conditions particulières des pays les moins avancés et des petits États insulaires,

- Reconnaisant que des investissements importants sont nécessaires pour assurer la conservation de la diversité biologique, dont on peut escompter de nombreux avantages sur les plans environnemental, économique et social,

- Reconnaisant que le développement économique et social et l'éradication de la pauvreté sont les premières priorités des pays en développement qui prennent le pas sur toutes les autres,

- Conscientes du fait que la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique revêtent la plus haute importance pour la satisfaction des besoins alimentaires, sanitaires et autres de la population de la planète, qui ne cesse de croître, et que l'accès aux ressources génétiques et à la technologie ainsi que leur partage sont de ce fait indispensables,

- Notant qu'à terme la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique renforceront les rela-

tions amicales entre États et contribueront à la paix de l'humanité,

- Désireuses d'améliorer et de compléter les arrangements internationaux existant en matière de conservation de la diversité biologique et d'utilisation durable de ses éléments,

- Déterminées à conserver et à utiliser durablement la diversité biologique au profit des générations présentes et futures,

**Sont convenues de ce qui suit :**

**Article premier. Objectifs :**

Les objectifs de la présente Convention, dont la réalisation sera conforme à ses dispositions pertinentes, sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques et à un transfert approprié des techniques pertinentes, compte tenu de tous les droits sur ces ressources et aux techniques, et grâce à un financement adéquat.

La majorité des documents proposés ici font partie des collections de la médiathèque de la cité des Sciences et de l'Industrie.

## Écologie

*Écologie des peuplements. Structure, fonctionnement et évolution.* Robert Barbault, Masson, Paris, 1992

*Écologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère.* Masson, Paris, 1990

*Biogéographie évolutive.* Jacques Blondel, Masson, Paris, 1986

*Histoire de l'écologie. Une science de l'homme et de la nature.* Jean-Paul Deléage, La Découverte, Paris, 1992

*Histoire de l'écologie.* Pascal Acot, Presses Universitaires de France, 1988

## Environnement

*Terre patrimoine commun. La science au service de l'environnement et du développement*, sous la direction de Martine Barrère, Éditions la Découverte/Association Descartes, 1992

*L'état de l'environnement dans le monde.* Sous la direction de Michel et Calliope Béaud et Mohamed Larbi Bouguerra, La Découverte/FPH, 1993

*Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*, François Ramade, Édiscience International, Paris, 1993

*Les climats de la Terre.* Bruno Voiturez, Presses Pocket-Cité des Sciences et de l'Industrie (coll. Explora), Paris, 1992

*Gros temps sur la planète.* Jean-Claude Duplessy et Pierre Morel, Odile Jacob, 1990

*Terre vivante*, Zaher Massoud, Odile Jacob, Paris, 1992

*La mémoire de la Terre*, Point Science, Le Seuil, 1992

*Pour une histoire de l'environnement*, Corinne Beck et Robert Delort, Éditions du CNRS, 1993

*Les âges de Gaïa*, James Lovelock, Robert Laffont, Paris, 1990

## Diversité biologique

*La diversité biologique. La vie en péril*, C. Auroi, Société suisse pour la protection de l'environnement, (Coll. *Dossiers de l'environnement*), 1992

*Des baleines, des bactéries et des hommes*, Robert Barbault, Odile Jacob, 1994

*Vie et mort des espèces*, Florence Raulin-Cerceau, Pocket-Cité des Sciences et de l'Industrie (coll. Explora), 1994

- La biodiversité, enjeu planétaire. Préserver notre patrimoine génétique.** Michel Chauvet et Louis Olivier, Éditions Sang de la Terre, Paris, 1993
- La diversité de la vie.** Edward O. Wilson, Odile Jacob, 1993
- La découverte des abysses.** Daniel Reyss, Presses Pocket-Cité des Sciences et de l'Industrie (coll. Explora), 1991
- Quand les poules auront des dents. Réflexions sur l'histoire naturelle.** S. J. Gould, Fayard (coll. Le temps des Sciences), 1984
- La préservation des espèces : que peuvent dire les économistes ?** Angel M., Matthieu Glachant et François Lévêque, *Économie et Statistique*, n° 258-259, novembre 1992.
- L'enjeu des ressources génétiques végétales.** Matthieu Glachant et François Lévêque, Éditions de l'Environnement, Paris, 1993
- Le livre de la vie.** S. J. Gould, Editions du Seuil, 1993
- L'évolution, entre la bactérie et l'homme.** Charles Lenay, Presses Pocket-Cité des Sciences et de l'Industrie (coll. Explora), 1992
- Réactions des êtres vivants aux changements de l'environnement.** Actes des Journées de l'environnement du CNRS, 30 nov.-1 déc. 1989, PIREN, Éditions du CNRS, Paris, 1991
- Global Biodiversity : Status of the Earth's Living Resources.** Chapman and hall, Londres, 1992

## Rapports homme/nature

- Protection de la Nature : histoire et idéologie. De la nature à l'environnement.** Anne Cadoret éd., Éditions l'Harmattan, Paris, 1985
- La science sauvage. Des savoirs populaires aux ethnosciences.** (coll. Point Science), Le Seuil, 1993
- Les animaux ont une histoire.** Robert Delort, (coll. Point Histoire), Le Seuil, 1984
- L'homme et les animaux domestiques. Anthropologie d'une passion.** Jean-Pierre Digeard (coll. Le temps des sciences), Fayard, Paris, 1990
- Les plantes américaines à la conquête du monde.** Yves Monnier et Alain Huetz de Lemps, *Les Cahiers Outre-mer*, revue de géographie de Bordeaux, n° 179-180, 1992
- Comprendre un paysage. Guide pratique de recherche.** Bernadette Lizet B. et François de Ravignan, *Écologie et aménagement rural*, INRA, Paris, 1987
- Un monde sans hiver. Les Tropiques, nature et sociétés.** Francis Hallé, Le Seuil, Paris, 1993
- La peur de la nature.** François Terrasson, Éditions Sang de la Terre, 1991
- Les sentiments de la nature.** Dominique Bourg dir., La Découverte, Paris, 1993
- La nature en politique, ou l'enjeu philosophique de l'écologie.** Dominique Bourg dir., Éditions l'Harmattan/Association Descartes, 1993

**Agroforesterie** (p. 108) : méthode agricole traditionnelle consistant à aménager des forêts en y introduisant une grande proportion d'arbres "utiles", mais en conservant la diversité et la stratification verticale qui sont propres à la forêt naturelle de la région.

**Biodiversité** (p. 8) : variabilité des organismes vivants de toute origine et des complexes écologiques dont il font partie. Cela comprend la diversité au sein des espèces et entre les espèces, ainsi que celle des écosystèmes.

**Biome** (p. 32) : grande catégorie de formation végétale ou d'écosystème (comme la forêt tropicale humide, la savane, ou la steppe).

**Biotechnologie** (p. 75, 86, 93) : toute application technologique qui utilise des systèmes biologiques, des organismes vivants, ou des dérivés de ceux-ci, pour réaliser ou modifier des produits ou des procédés à usage spécifique.

**Cryopréservation** (p. 115) : conservation de tissus ou d'organismes à très basse température, généralement dans de l'azote liquide

**Dérive des continents** (p. 14) : les continents sont comparables à des radeaux flottant sur le magma, et qui se déplacent. Il y a plusieurs centaines de millions d'années, les continents formaient un ensemble unique (le Gondwana). Ce dernier a commencé à se fracturer il y a 240 millions d'années, et les continents actuels se sont progressivement éloignés les uns des autres.

**Écologie** (p. 7) : étude des relations des organismes vivants avec leur environnement, et des mécanismes qui expliquent leur distribution et leur abondance.

**Écosystème** : ensemble interactif d'une communauté d'organismes vivants, et de l'environnement physique et chimique dans lequel ils évoluent.

**Écotecnologie** (p. 89) : technologie "douce" utilisant des végétaux ou des animaux pour entretenir les milieux naturels ou les restaurer.

**Effet de serre** (p. 52) : phénomène selon lequel les couches inférieures de l'atmosphère retiennent les radiations infrarouges, augmentant ainsi la température de l'air à la surface de la terre. L'augmentation de la teneur de l'air en gaz carbonique ou en méthane, augmente cet effet de serre.

**Endémique** (p. 48, 61, 67, 69, 70) : se dit d'une espèce que l'on ne rencontre que dans un lieu ou une région donnée

**Environnement** (p. 7) : au sens actuel, c'est la composante écologique du cadre de vie de l'homme. Il est le plus souvent perçu sous l'angle des interactions entre les activités humaines et le milieu naturel qu'il soit physique, chimique ou biologique.

**Ethnobotanique** (p. 81) : discipline scientifique qui étudie l'usage que font divers groupes humains de leur flore locale.

**Eutrophisation** (p. 64) : phénomène consécutif à un apport excessif en sels nutritifs (azote, phosphore) dans les eaux, qui conduit à une prolifération des algues planctoniques ou des plantes aquatiques.

**Évolution (biologique)** : histoire de la diversification du monde vivant, depuis la naissance de la vie il y a plusieurs centaines de millions d'années jusqu'à nos jours.

**Génie génétique** (p. 87) : ensemble des méthodes et techniques de la biologie moléculaire utilisées pour modifier génétiquement des organismes vivants.

**Pluies acides** (p. 63) : l'usage de combustibles fossiles riches en soufre s'accompagne de la production d'oxydes de soufre. Ils se transforment dans l'atmosphère en acides sulfurique et nitrique qui acidifient les précipitations.

**Ressources biologiques** (p. 93, 95) : les ressources génétiques, les organismes ou éléments de ceux-ci, les populations ou tout autre élément biotique des écosystèmes ayant une utilisation ou une valeur effective ou potentielle pour l'humanité.

**Spéciation** (p. 41, 42) : séquence d'événements aboutissant à la formation de nouvelles espèces à partir d'espèces ancestrales.

**Taxinomie** (p. 33) : science de la classification des êtres vivants.

**Trophique (chaîne, p. 44)** : relations de mangeur à mangé unissant les organismes d'une même communauté (exemple : l'herbe est mangée par un herbivore, le lapin, qui va à son tour être consommé par un prédateur comme le renard).

**Zoo** (p. 110) : jardin zoologique où sont conservés des animaux vivants. Les zoos ont un objectif pédagogique et jouent également un rôle dans la conservation *ex-situ*.

## Origine des images (de gauche à droite, de haut en bas)

**Couverture** : C. Lévêque ; Hug/Explorer.

**Introduction** : p. 8 : V. Fournier/Rapho ; p. 11 : Seitre/Bios.

**Chapitre 1** : p. 12 : S. Stammers/SPL/Cosmos ; p. 15 : S. Gull et J. Fielden/SPL/Cosmos ; p. 17 : Biophoto associates/SPL/Cosmos ; p. 20-21 : modifiées d'après *Réactions des êtres vivants aux changements de l'environnement*, éditions du CNRS, Paris, 1991 ; p. 23 : coll. part./J.-L. Charmet ; p. 24 : D. Escartin/Bios ; p. 25 : M. Dohrn/SPL/Cosmos ; p. 27 : J.-L. Menou/ORSTOM ; p. 28 : H. du Fricke/ORSTOM.

**Chapitre 2** : p. 30 : H. Veiller/Jacana ; p. 33 : coll. Médiathèque d'histoire des sciences / M. Lamoureux ; p. 34 : C. Jardel/Bios - Ch. Lévêque ; p. 35 : Seitre/Bios - D. Huot/Bios ; p. 36 : Ifremer ; p. 38 : R. Gaillard/Gamma ; p. 39 : R. Gaillard/Gamma - P. Blanc/Gamma (grenouille *Phyllomedusa tomopterna*) ; p. 40 : Mero/Jacana ; p. 44 : D. Bringard/Bios ; p. 45 : H. Austoos/Bios.

**Chapitre 3** : p. 46 : S. Fraser/SPL/Cosmos ; p. 50 : M. Edwards/Still Pictures/Bios ; p. 53 : P. Laboute/Jacana ; p. 55 : M. Read/SPL/Cosmos ; p. 57 : O. Langrand/Bios ; p. 58 : P. Wild/Jacana ; p. 60 : C. Lévêque ; p. 62 : M. Libersky/WWF/Bios ; p. 65 : C. Testu/Bios ; p. 66 : B. Occleshaw/WWF/Bios ; p. 69 : G. Gerster/Rapho ; p. 70 : C. Lévêque ; p. 72 : Mary Evans Picture/Explorer - D. Halleux/Bios ; p. 73 : D. Halleux/Bios - J.-L. Charmet/Explorer.

**Chapitre 4** : p. 74 : T. Thomas/Bios ; p. 76 : S. Cordier/Jacana ; p. 79 : A. Compost/Bios ; p. 82 : J.-P. Champroux/Jacana ; p. 84 : Mary Evans Picture/Explorer Archives ; p. 85 : A.-E. Guillou/Explorer ; p. 86 : C. Delu/Explorer ; p. 88 : Hug/Explorer ; p. 90 : C. Weiss/ORSTOM.

**Chapitre 5** : p. 92 : J.-P. Lescouret/Explorer ; p. 95 : Cham/Sipa Press ; p. 98 : Labat/Jerrican ; p. 99 : M. Moissard/Explorer ; p. 100 : C. Lévêque ; p. 101 : Y. Gillon/Jacana.

**Chapitre 6** : p. 102 : A. Saucez/Explorer ; p. 104 : R. Lamoureux ; p. 107 : G. Sioen/Rapho ; p. 108 : C. Lévêque ; p. 112 : J.-L. Charmet (miniature du XI<sup>e</sup> siècle) ; Kharbine/Tababor ; p. 114 : A. Visage/Bios ; p. 115 : R. Lamoureux ; p. 116 : A. Le Toquin/Jacana ; p. 117 : R. Puillandre/Parc naturel régional du marais poitevin (cheval mulassier, 1 100 kg, 1,72 m au garot, répondant au doux nom de 1<sup>er</sup> mai) ; p. 119 : C. Guinet/Bios - T. Thomas/Bios ; p. 121 : C. Lévêque.

### REMERCIEMENTS

L'auteur remercie tous ceux qui, de près ou de loin,  
ont contribué à forger le concept de biodiversité.

C'est grâce à Claude Monnet (ORSTOM) que ce livre a pu voir le jour,  
dans une atmosphère de très cordiale collaboration avec Dominique Blairot  
et ses collègues de la Cité des sciences et de l'industrie.

L'éditeur remercie Catherine Fontaine (ORSTOM, Paris) - Gilles Ebersolt (Océan vert) -  
Dominique de La Martinière et Marc-André Philippe (Parc naturel régional du marais  
poitevin, 17170, La Ronde) - les éditions du CNRS (Paris) - Ifremer.

Conception graphique et réalisation : Rampazzo & Associés

Couverture, mise en pages et infographie : Hugues Comière

Iconographie : Denis Pasquier

Responsables éditoriaux : Olivier Amiel et François Laurent

Responsable de fabrication : Marie-Thérèse Morchain

Achevé d'imprimer sur les presses d'I.M.E. à Baume-les-Dames

Dépôt légal : Juin 1994

N° imprimeur : 9246

**EXPLORA**



**Un environnement climatique et géologique en perpétuel changement a créé, au fil des siècles, la diversité du monde vivant qui nous entoure. Ce patrimoine dont l'inventaire reste inachevé est pourtant menacé. L'activité humaine détruit de nombreux milieux naturels, entraînant la disparition de milliers d'espèces. La recherche d'un équilibre entre les contraintes du développement économique et le respect de l'environnement est désormais indispensable si l'on veut préserver la richesse même de notre planète.**

Christian Lévêque est directeur de recherche et délégué permanent à l'environnement à l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM).

L'ORSTOM conduit depuis une cinquantaine d'années des recherches sur milieux intertropicaux, notamment sur le thème "environnement-développement".

**la cité**



CATÉGORIE  
**12**

**168976-9**  
ISBN 2-266-06302-2