

*que
sais-je?*

LA
BIODIVERSITÉ

CHRISTIAN LÉVÊQUE



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

QUE SAIS-JE ?

La biodiversité

CHRISTIAN LÉVÊQUE

Directeur de Recherches
ORSTOM

DU MÊME AUTEUR

- Lévêque C., Bruton M., Ssentongo G. (éditeurs scientifiques), *Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains*, Travaux et Documents ORSTOM, n° 216, 1988.
- Lévêque C., Paugy D. et Teugels G. G. (éditeurs scientifiques), *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest*, ORSTOM-MRAC, coll. « Faune tropicale », n° 28, vol. I, 1990.
- Lévêque C., Paugy D. et Teugels G. G. (éditeurs scientifiques), *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest*, ORSTOM-MRAC, coll. « Faune tropicale », n° 28, vol. II, 1992.
- Lévêque C., *Environnement et diversité du vivant*, coll. « Explora », Cité des Sciences et de l'Industrie, 1994.
- Lévêque C., *Les écosystèmes aquatiques*, Les Fondamentaux, Hachette, 1996.
- Lévêque C., *Biodiversity and conservation : the freshwater fish of tropical Africa*. Cambridge University Press (sous presse).

ISBN 2 13 048325 9

Dépôt légal — 1^{re} édition : 1997, avril

© Presses Universitaires de France, 1997
108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris

INTRODUCTION

La notion de biodiversité s'est développée dans un contexte de crise que l'on peut résumer ainsi : sous l'impact des activités humaines, amplifié par l'accroissement de la population, l'environnement connaît une dégradation de plus en plus rapide et généralisée. Certains écosystèmes, telles les forêts tropicales et les milliers d'espèces végétales et animales qu'elles abritent, disparaissent à une vitesse accélérée ; les milieux aquatiques continentaux, ainsi que les milieux marins littoraux, sont de plus en plus dégradés par les aménagements et les pollutions d'origines diverses.

Cette situation qui a prévalu pendant des décennies dans l'indifférence quasi générale, suscite depuis quelques années de nombreuses réactions. La question de la diversité biologique n'est pourtant pas une idée nouvelle dans les milieux scientifiques, non plus d'ailleurs que la question de l'expansion démographique. Mais jusque-là on ne s'était guère préoccupé du devenir de la diversité biologique, aussi longtemps que les ressources vivantes paraissaient inépuisables, et que l'espace était suffisant pour permettre aux hommes d'occuper de nouvelles terres, sans compromettre pour autant l'avenir des autres espèces. C'est bien la prise de conscience récente d'une disparition massive et rapide des milieux naturels, sous l'effet conjugué des activités liées au développement et de moyens techniques de plus en plus puissants, qui a suscité l'inquiétude des scientifiques et des associations de conservation de la nature.

Si les médias mettent surtout l'accent sur les menaces qui pèsent sur l'avenir des forêts tropicales, comme l'Amazonie, ou sur certaines espèces emblématiques, comme les baleines, le panda, ou l'éléphant, le problème

est beaucoup plus vaste et concerne tous les milieux terrestres et marins, ainsi que l'ensemble des espèces qu'elles soient sauvages ou domestiquées. Certains voient dans la situation actuelle la destruction irrémédiable d'un patrimoine naturel, résultat de l'évolution biologique, qui s'est constitué au cours de millions d'années. D'autres s'inquiètent également de la perte de ressources domestiques et industrielles, mais également de ressources biologiques potentielles et jusqu'ici inexploitées ou tout simplement inconnues. D'autres encore se posent la question des conséquences éventuelles d'une réduction de la diversité biologique sur le fonctionnement des écosystèmes, et plus généralement sur les phénomènes régulateurs de la biosphère.

Face cette situation, il devient urgent de préserver ce qui peut encore être sauvé. Et c'est dans la nécessité de mener une action rapide et énergique que la notion de biodiversité prend un sens tout à fait nouveau. Même si l'on a toujours besoin d'inventorier les espèces, et d'évaluer les impacts des activités humaines, il faut maintenant tout mettre en œuvre pour conserver et protéger la biodiversité avant même d'en avoir terminé l'inventaire. Il faut mobiliser sur ces objectifs prioritaires tout l'arsenal des connaissances scientifiques acquises, mais également sensibiliser le public et les politiques aux conséquences économiques, écologiques, et bien entendu sociales, d'une dégradation accélérée de la biodiversité. Il faut en quelque sorte répondre aux objectifs de la Conférence de Rio au cours de laquelle fut signée la Convention sur la diversité biologique : mieux gérer les milieux et les ressources naturelles dans une perspective de développement durable.

Chapitre I

QU'EST-CE QUE LA BIODIVERSITÉ ?

Pour certains, le terme de biodiversité est une coquille vide¹, où chacun met ce qu'il veut. Pour d'autres, c'est un concept assez global qui recouvre les nombreux aspects de la diversité de la vie², y compris les usages qui en sont fait par les sociétés humaines. Au-delà d'un débat sémantique qui n'a que peu d'intérêt ici, il convient cependant de préciser ce que l'on entend par biodiversité.

I. — Origine et définition

Le terme « biodiversité », contraction de diversité biologique, a été introduit au milieu des années 1980 par des naturalistes qui s'inquiétaient de la destruction rapide des milieux naturels et de leurs espèces, et réclamaient que la société prenne des mesures pour protéger ce patrimoine. Il a ensuite été popularisé lors des discussions qui ont eu lieu autour de la signature de la Convention sur la diversité biologique, lors de la Conférence de Rio de Janeiro en 1992.

La biodiversité peut être définie, selon la Convention, comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, et des complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend la diver-

1. J. Blondel, *Biogéographie. Approche écologique et évolutive*, collection d'Écologie, Paris, Masson, 1995.

2. Voir *Global Biodiversity Assessment*, 1995.

Pourquoi s'intéresser à la biodiversité ?

Motifs économiques

- Elle contribue à la fourniture de nombreux produits alimentaires, de matières premières pour l'industrie, de médicaments, de matériaux de construction et à usages domestiques.
- Elle est à la base de toute la production agricole, tant du point de vue du nombre d'espèces utilisées que des nombreuses variétés patiemment sélectionnées ; elle est indispensable pour l'amélioration des végétaux et des animaux domestiques.
- Elle offre d'importantes perspectives de valorisation dans le domaine des biotechnologies, notamment pour les micro-organismes, mais également dans le domaine des manipulations génétiques.
- Elle suscite une activité économique liée au tourisme et à l'observation d'espèces dans leur milieu ou à l'attrait de beaux paysages.

Motifs écologiques

- Elle est indispensable pour maintenir les processus d'évolution du monde vivant.
- Elle joue un rôle dans la régulation des grands équilibres physico-chimiques de la biosphère, notamment au niveau de la production et du recyclage du carbone et de l'oxygène.
- Elle contribue à la fertilité des sols et à sa protection, ainsi qu'à la régulation du cycle hydrologique.
- Elle absorbe et décompose divers polluants organiques et minéraux, et participe par exemple à l'épuration des eaux.

Motifs éthiques et patrimoniaux

- Les hommes ont le devoir moral de ne pas éliminer les autres formes de vie.
- Selon le principe d'équité entre les générations, nous devons transmettre à nos enfants l'héritage que nous avons reçu.
- Les écosystèmes naturels et leurs espèces sont de véritables laboratoires pour comprendre les processus de l'évolution.
- La biodiversité est chargée de normes de valeur : c'est ce qui est naturel, ce qui est vulnérable, ce qui est bon pour l'homme et la survie de l'humanité, etc.

sité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». Plus simplement, la biodiversité est constituée par l'ensemble des êtres vivants, de leur matériel génétique, et des complexes écologiques dont ils font partie.

II. — La diversité du monde vivant : des gènes aux écosystèmes

La biodiversité concerne principalement trois niveaux emboîtés de la hiérarchie biologique :

- *La diversité des espèces* : L'identification des espèces et leur inventaire constituent la manière la plus simple d'apprécier la diversité biologique d'une aire géographique¹. C'est l'évolution biologique qui a façonné au cours des temps cette immense diversité de formes et d'espèces.

- *La diversité génétique* : Chaque espèce est différente des autres du point de vue de sa constitution génétique (gènes, chromosomes). Mais les recherches en biologie moléculaire ont mis également en évidence l'existence d'une variabilité génétique entre populations isolées appartenant à une même espèce ainsi qu'entre individus au sein d'une population. La diversité génétique est l'ensemble de l'information génétique contenue dans tous les êtres vivants et correspond à la variabilité des gènes et des génotypes entre espèces et au sein de chaque espèce.

- *La diversité écologique* : Les écosystèmes sont constitués par des complexes d'espèces (ou biocénoses) et leur environnement physique. On distingue de nombreux types d'écosystèmes naturels comme les forêts tropicales, les récifs coralliens, les mangroves, les savanes, les toundras, etc., ainsi que les écosystèmes agricoles. Chacun de ces écosystèmes abrite une combinaison caractéristique de plantes et d'animaux. Ces écosystèmes évoluent eux-mêmes en fonction du temps, sous l'effet des variations climatiques saisonnières ou à long terme.

1. La richesse spécifique d'un milieu est le nombre d'espèces présentes dans ce milieu.

1. La diversité biologique est le produit de l'évolution. —

La biodiversité n'est pas un simple catalogue de gènes, d'espèces ou de milieux. Elle doit être perçue comme un ensemble dynamique et interactif entre les différents niveaux de la hiérarchie biologique. Selon les théories actuelles de l'évolution, c'est grâce à l'existence d'une diversité génétique au sein des espèces que ces dernières peuvent s'adapter aux changements de l'environnement qui, de tout temps, ont marqué l'histoire de la Terre. Réciproquement, la diversité génétique d'une espèce évolue en fonction du temps, en réponse à ces changements de l'environnement, ainsi qu'en raison de mutations. Il en est de même pour les communautés végétales et animales constituant les écosystèmes, et qui répondent par des changements qualitatifs et quantitatifs aux fluctuations du milieu dans lequel elles vivent. Cette dynamique des systèmes biologiques et des conditions écologiques auxquelles ils sont confrontés, explique que les espèces évoluent et se diversifient, et que les écosystèmes hébergent des flores et des faunes plus ou moins riches en espèces, en fonction de leur histoire.

Sous cet aspect, la diversité biologique est une version moderne des sciences de l'évolution, qui fait la synthèse entre les acquis récents de la biologie moléculaire et de l'écologie. On met l'accent sur les mécanismes d'ajustement entre les espèces et les changements de leur environnement physique et biologique. On cherche à identifier les facteurs responsables de l'origine et du maintien de la diversité biologique aux différents niveaux de la hiérarchie biologique, des gènes aux écosystèmes.

2. La conservation de la nature et le rôle écologique de la diversité biologique. —

La diversité biologique ne se résume pas à des recherches sur l'inventaire et l'origine des espèces. Pour les partisans de la conservation de la nature, la préoccupation majeure qui fut à l'origine de l'élaboration de la Convention sur la diversité biologique, est de sauver de nombreuses espèces de l'extinction, ou certains milieux de la destruction. Cette démarche associe souvent

une composante éthique, y compris dans ses aspects philosophiques et religieux, qui affiche pour principe que la biodiversité est un héritage de l'humanité et qu'il est de notre devoir de la protéger.

De nombreux scientifiques estiment également que la biodiversité joue un rôle essentiel dans la régulation des écosystèmes naturels, et plus globalement de la biosphère¹. Ils se demandent quelles pourraient être les conséquences écologiques d'une réduction de cette diversité, notamment en ce qui concerne les capacités des systèmes biologiques à s'adapter aux perturbations, qu'elles soient d'origine naturelle ou liées aux activités humaines. Ces préoccupations concernant le rôle écologique et fonctionnel de la diversité biologique, notamment au niveau des grands processus de régulation des cycles biogéochimiques, viennent souvent conforter la démarche des mouvements de conservation de la nature, en donnant une dimension et une justification planétaires à la nécessité de protéger la diversité biologique.

3. Les ressources biologiques : un enjeu économique. —

La biodiversité est également un ensemble de ressources biologiques et génétiques que l'homme prélève dans le milieu naturel, ou qu'il a su domestiquer à son profit, et dans lequel il continue de puiser selon ses besoins. Sous le terme « ressources biologiques », on identifie les composantes de la biodiversité ayant une utilisation directe, indirecte ou potentielle pour l'humanité.

Les usages de la biodiversité sont fort nombreux et concernent notre vie quotidienne ainsi que divers aspects de l'activité économique. C'est notre « capital biologique », la source de plusieurs produits alimentaires, pharmaceutiques ou industriels qui en constituent, d'une certaine manière, les dividendes. C'est également un ensemble de « ressources génétiques » pour l'amélioration des espèces

1. La biosphère est la couche superficielle de la planète qui renferme l'ensemble des êtres vivants, et les systèmes écologiques dont ils font partie.

cultivées que les pays détenteurs pourraient valoriser, et cet enjeu économique fut au cœur des discussions de la Conférence de Rio. La protection des écosystèmes et des espèces menacées trouve ainsi d'autres arguments de poids dans la perspective d'une valorisation monétaire des ressources naturelles. Il est parfois possible de démontrer que les coûts des mesures de conservation ne sont pas prohibitifs compte tenu des bénéfices économiques escomptés.

III. — La pierre angulaire : les relations homme-nature

La question du devenir de la diversité biologique se pose actuellement de manière insistante parce que l'homme détruit et modifie les milieux naturels à une cadence sans précédent. Si les causes de l'érosion de la biodiversité résident dans le développement des activités humaines, consommatrices d'espaces et de ressources, c'est donc bien dans le contexte des relations homme-nature qu'il faut situer les préoccupations actuelles¹, et rechercher des solutions éventuelles. L'usage, comme la conservation de la biodiversité, sont à l'origine de conflits d'intérêt qu'il est nécessaire de gérer. Dans ces conditions, l'avenir de la biodiversité dépend des modes de développement qui seront privilégiés, et de l'évolution des circuits économiques tant au niveau national qu'au niveau international. L'homme, dans ses choix sociaux et dans son comportement vis-à-vis de la nature et de ses ressources, est donc l'élément clé. C'est ce qui fait l'originalité du concept actuel de biodiversité par rapport aux démarches naturalistes antérieures. Il n'y a pas de solution technique qui puisse être envisagée, sans qu'elle ne soit voulue et acceptée par la société.

Certains estiment que les cultures et savoirs traditionnels peuvent contribuer au maintien sur le long terme de la biodiversité des écosystèmes. Dans de nombreuses si-

1. Voir Lévêque, *Le concept de biodiversité : de nouveaux regards sur la nature, Nature, Sciences, Sociétés*, 1994, vol. 2 : 243-254.

tuations en effet, ces savoirs sont le résultat d'une coévolution sur le long terme des sociétés et de leur milieu naturel, qui a permis de conserver un équilibre entre les deux. Ceci conduit à s'intéresser à la diversité culturelle, elle aussi fortement menacée par la mondialisation des modèles culturels dominants.

Si l'on aborde le plus souvent la biodiversité sous l'aspect des milieux naturels, il ne faudrait pas oublier que l'homme a également façonné des paysages, mis en place des systèmes agricoles, domestiqué et diversifié de nombreuses espèces animales et végétales. Un champ de blé en Beauce, au-delà de sa très faible diversité génétique qui conditionne son efficacité technique et économique, est en réalité le produit d'une très grande biodiversité si l'on prend en compte l'ensemble du matériel génétique qui a permis d'aboutir à la variété actuellement cultivée¹.

IV. — Vers une conception intégrée de la diversité biologique

Certains voient dans la biodiversité un concept flou, dont l'interprétation varie considérablement selon les groupes d'intérêt en présence, et donne parfois lieu à polémique. Les systématiciens, les généticiens, les agronomes, les protecteurs de la nature, les économistes ou les sociologues, pour ne citer qu'eux, ont en effet une vision souvent sectorielle de la biodiversité, en fonction de leurs préoccupations disciplinaires. De manière très schématique les scientifiques privilégient les inventaires et la dimension écologique, alors que les politiques sont plutôt concernés par la dimension économique, et les organisations de conservation de la nature par la dimension éthique.

Ces différentes démarches ne sont pas indépendantes en réalité et poursuivent un même objectif qui est celui de la conservation des milieux naturels et des espèces qu'ils abritent, avec l'adhésion et la participation des hommes,

1. *Biodiversité et environnement*, Académie des Sciences, Rapport n° 33, juin 1995.

et pour leur profit à long terme. En se posant la question de l'impact de facteurs d'origine naturelle ou/et anthropique sur la biodiversité, et en recherchant les moyens à mettre en œuvre afin de la préserver, on se situe d'emblée dans une perspective de développement durable qui fut au cœur des débats de la Conférence de Rio.

La biodiversité est donc un concept fédérateur, un médiateur des systèmes écologiques et sociaux, pour aborder la mise en valeur et la gestion des milieux et des ressources. Il faut tout à la fois développer nos connaissances sur les origines et la dynamique de la diversité du vivant, tout en recherchant les conditions d'une compatibilité entre la conservation de la biodiversité et les exigences du développement économique et social.

Chapitre II

ORIGINE, INVENTAIRE ET DISTRIBUTION DE LA BIODIVERSITÉ

On s'interroge depuis l'Antiquité sur l'origine de la diversité du monde vivant et sur les mécanismes qui expliquent l'apparition ou la disparition des espèces. On tente depuis des siècles de décrire, de classer, et de compter les espèces. Si de nombreuses inconnues subsistent encore, les progrès des dernières décennies dans le domaine de la biologie moléculaire, ainsi que l'étude approfondie des archives paléontologiques ont permis de mieux comprendre quels sont les principaux moteurs de l'évolution. Ce domaine qui touche aux origines de la vie, continue néanmoins à fasciner les scientifiques et à susciter de nombreuses recherches.

I. — La longue histoire de l'évolution

La diversité du vivant, telle que nous l'observons aujourd'hui, s'est constituée au fil du temps. Ce patrimoine biologique est le produit d'une longue histoire, 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.

1. **De la bactérie à l'homme.** — La vie est apparue il y a plus de 3,5 milliards d'années, soit environ 1 milliard d'années après la date supposée de formation de la Terre.

Il s'agissait alors de bactéries, dans une atmosphère terrestre dépourvue d'oxygène. Puis le monde vivant s'est organisé et les premières « plantes » capables de synthétiser leur propre matière organique à partir de la lumière du soleil et du gaz carbonique, en rejetant de l'oxygène, ont fait leur apparition. Il s'agissait probablement de bactéries possédant de la chlorophylle permettant la photosynthèse, et l'atmosphère de la Terre va se charger progressivement en oxygène.

Ces organismes primitifs, dits procaryotes car ils sont constitués d'une cellule unique dont le matériel génétique est diffus dans la cellule, ont longtemps constitué la seule forme de vie. Cependant, entre 2 et 1,5 milliard d'années, on a vu apparaître les premières cellules eucaryotes, dont le matériel génétique est maintenu à l'intérieur d'une membrane nucléaire. Il y a environ 1 milliard d'années que les premiers êtres multicellulaires sont apparus. Les restes incontestables les plus anciens sont datés d'environ 670 millions d'années. C'est la faune très particulière d'Ediacara, du nom des monts du sud de l'Australie où elle a été découverte, qui a été retrouvée depuis un peu partout dans le monde. Ce sont des organismes au corps plat, segmenté, ressemblant à celui d'un ver. Pour certains scientifiques il s'agirait des lointains ancêtres des vers annelés, alors que d'autres considèrent qu'il s'agit d'un cul de sac dans l'évolution.

Le Cambrien (période géologique de l'ère primaire s'étalant de - 590 à - 500 millions d'années), fut le théâtre d'un phénomène évolutif d'une ampleur extraordinaire qui ne se reproduisit jamais depuis lors. Dans un laps de temps assez court à l'échelle géologique (20 à 40 millions d'années), on vit apparaître la plupart des grands groupes animaux (ou phylums) que nous connaissons aujourd'hui : annélides, mollusques, échinodermes, chordés, arthropodes¹.

Les premiers signes de ce que l'on appelle l'explosion cambrienne apparaissent il y a environ 540 millions d'an-

1. Pour une histoire plus complète de l'évolution, voir par exemple *Le livre de la vie* (sous la direction de S. J. Gould), Éditions du Seuil, 1993.

nées. On les trouve sous forme de fragments de coquilles fossilisées pouvant être attribués à des mollusques primitifs comme les brachiopodes. Puis, entre 540 et 500 millions d'années, les mers se remplissent d'animaux de tout genre. Leurs fossiles, parfois remarquablement préservés, ont permis une étude détaillée de cette faune extraordinaire. Le site le plus célèbre est celui des schistes de Burgess, situé à flanc de montagne près de la ville de Field en Colombie britannique (Canada). Il a été popularisé par le paléontologue américain Stephen Jay Gould¹, mais d'autres sites ont été découverts en Chine et au Groenland.

Dans la lignée des arthropodes, la diversification fut particulièrement extraordinaire. Elle vit apparaître les crustacés, les chélicérates et le groupe des insectes dont des descendants existent encore de nos jours, et de nombreux autres types d'arthropodes uniques en leur genre, mais qui ne survécurent pas très longtemps. La fin du Cambrien est également marquée par l'apparition de poissons sans mâchoires et sans nageoires, à l'aspect de têtards. Ce n'est que vers -450 millions d'années qu'apparaissent les premiers poissons à mâchoires.

Durant l'ère secondaire qui débute il y a 250 millions d'années, certains groupes vont s'épanouir. C'est le cas pour les reptiles, et notamment les dinosaures qui connaissent leur apogée au Jurassique (entre 220 à 140 millions d'années). C'est pendant cette période qu'apparaissent les premiers oiseaux, les insectes à métamorphose complète, les végétaux angiospermes qui vont rapidement se diversifier à la fin du Crétacé.

Au Tertiaire, qui débute il y a 65 millions d'années, les mammifères vont profiter de la disparition des dinosaures pour se diversifier et occuper de nombreux habitats. Au Quaternaire, l'homme va se différencier.

2. Des périodes de crise et des extinctions massives. — Depuis l'apparition de la vie sur Terre, les écosystèmes

1. Notamment dans son ouvrage *La vie est belle. Les surprises de l'évolution*, Éditions du Seuil, 1991.

ont connu des périodes de fortes perturbations et de nombreuses lignées animales et végétales se sont éteintes en peu de temps¹. Les crises survenues il y a 430 (extinction de l'Ordovicien), 365 (extinction du Dévonien) et 250 millions d'années (extinction du Permien à la fin de l'ère primaire) sont parmi les plus importantes qui soient connues. Au cours de la crise la plus sévère, celle du Permien, on a mis en évidence une extinction massive de plus de 50% des familles et de 80% des genres d'animaux marins, dont les trilobites. En milieu terrestre, environ les deux tiers des familles d'insectes et environ la moitié des familles de vertébrés tétrapodes sont éliminées. Chez les végétaux, les Ptéridophytes (fougères) cèdent la place aux Gymnospermes. Les causes de cette extinction sont inconnues mais pourraient être dues à un grand changement climatique.

La crise biologique survenue il y a 65 millions d'années avec la disparition des dinosaures, est certainement la plus célèbre. Les ammonites, et beaucoup de foraminifères en milieu marin, ont également disparu à cette époque. Au Tertiaire, lors de la transition Éocène/Oligocène il y a 35 millions d'années, une petite crise évolutive entraîne un profond renouvellement de la faune de mammifères.

Les paléontologues et les géologues essaient de déterminer les causes de ces extinctions en masse. Certains privilégient actuellement les explications de type catastrophe: un événement unique mais aux conséquences planétaires, comme la chute d'un météorite ou une éruption volcanique, aurait été, par réaction en chaîne, responsable de l'effondrement de certains écosystèmes et des extinctions qui en résultent. D'autres estiment au contraire que la disparition des dinosaures a duré des millions d'années, ce qui tend à conforter l'hypothèse du changement climatique.

Le Quaternaire, qui débute il y a moins de 2 millions d'années, est marqué par l'existence de glaciations et de variations climatiques importantes et rapides. A la fin de

1. Voir par exemple F. Raulin-Cerceau, 1994, *Vie et mort des espèces*, coll. « Explora ».

Tableau 1. — Quelques étapes de l'apparition et de la disparition des grands groupes végétaux et animaux

<i>Ère</i>		<i>Age</i>		<i>Apparitions</i>	<i>Extinctions</i>	
Quaternaire	Holocène	0,01	MA		Nombreux grands mammifères	
	Pléistocène	0,05	MA	Homme moderne <i>Homo erectus</i>		
Tertiaire		1,6	MA			
	Pliocène	5	MA	Premiers hominidés		
	Miocène	20	MA			
	Oligocène	35	MA			
	Eocène	50	MA	Premiers chevaux		
Secondaire	Paléocène	65	MA	Extension des mammifères Les plantes à fleurs se développent	Disparition des dinosaures, des ammonites	
	Crétacé	140	MA	Premiers mammifères placentaux Premiers oiseaux		
	Jurassique	220	MA	Premiers mammifères ovipares		
Primaire	Trias	250	MA	Premiers dinosaures	50 % familles animaux marins, reptiles mammaliens, deux tiers des insectes	
	Permien	280	MA	Apparition des ammonites		
	Carbonifère	350	MA	Premiers vertébrés terrestres	Disparition de nombreuses espèces de mollusques, brachiopodes, poissons	
	Dévonien	400	MA			
	Silurien	420	MA	Premières plantes terrestres		
	Ordovicien	500	MA	Premiers poissons	Disparition de nombreux trilobites et de brachiopodes	
	Cambrien		590	MA		
			700	MA	Faune d'Ediacara	
	Protérozoïque	2 500	MA	Bactéries		
	Archéen	4 500	MA			

la dernière glaciation, il y a environ 10 à 15 000 ans, de nombreux genres de mammifères ont disparu en Amérique du Nord et du Sud, et en Europe. C'étaient pour la plupart des espèces de grande taille dont le mastodonte américain, le mammoth, le rhinocéros laineux, le lion des cavernes, etc. Les changements climatiques, ainsi que la chasse dans une certaine mesure, pourraient être responsables de ces disparitions.

II. — Les mécanismes de l'évolution

1. **Du créationisme au transformisme.** — Au début du XVII^e siècle, les scientifiques avaient une conception fixiste du monde vivant. On estimait d'après les textes sacrés juéo-chrétiens, que le peuplement de la terre avait été créé quelque 6 000 ans auparavant, et que les êtres vivants actuels étaient la réplique fidèle de ceux qui étaient apparus lors de la création. De là est née la notion d'espèce typologique, encore utilisée de nos jours : l'espèce est un ensemble d'individus identiques entre eux, et avec le « type » c'est-à-dire l'exemplaire ayant servi à décrire et caractériser l'espèce, qui est déposé dans un Muséum pour servir de référence, ou en quelque sorte d'étalon.

Par la suite, le progrès des connaissances montra rapidement que l'âge de la terre était largement sous-estimé, et que la faune et la flore avaient considérablement varié au cours du temps. On vit alors apparaître des théories dites créationnistes, respectant la notion de fixité de l'espèce, qui admettaient que chaque espèce avait une date de création et une date d'extinction, ces dates étant différentes selon les espèces. Mais c'est Lamarck qui, au début du XIX^e siècle, remit en cause le dogme de la fixité des espèces, et proposa une conception nouvelle du monde vivant, constitué de lignées susceptible de se modifier lentement et de se ramifier au cours du temps. La reconnaissance de cette conception transformiste, qui bouleversait les idées de l'époque, fut difficile. En effet, Lamarck admettait que tous les caractères d'un individu sont transmissibles à sa descendance, y compris ceux qu'il a lui-même acquis au

cours de sa vie. Cette hypothèse explicative, basée sur le postulat de la transmission des caractères acquis, fut largement discutée et remise en cause, d'ailleurs avec juste raison. C'est un demi-siècle plus tard, grâce au progrès des connaissances, que Darwin proposa une autre théorie transformiste qui reconnaît l'existence d'une variabilité intraspécifique, en opposition avec le concept typologique de l'espèce, et fait de la sélection naturelle le moteur de l'évolution. Dans une population vivant dans des conditions de milieu données, seuls les individus les plus aptes à la vie dans ce milieu participent effectivement à la reproduction. On admet aussi qu'une population est susceptible de s'adapter aux nouvelles conditions qui lui sont offertes lorsque le milieu varie.

Plus tard, au début du xx^e siècle, on découvrit l'existence des mutations. Une nouvelle théorie, le mutationnisme, se développa alors, arguant que les mutations étaient le seul moteur de l'évolution, indépendamment de l'environnement. Si cette théorie fut rapidement abandonnée, la prise en compte des mutations reste toutefois un événement majeur de l'histoire des idées sur l'évolution.

2. Mutations et diversité génétique. — C'est au niveau génétique qu'il faut rechercher les origines de la diversité du monde vivant, et du potentiel adaptatif des espèces. En effet, la vie commence au niveau moléculaire et dépend étroitement des propriétés des acides désoxyribonucléiques (ADN) qui sont des molécules géantes constituées de millions de bases nucléiques. Les chromosomes, constitués de longues chaînes d'ADN, sont porteurs de l'information héréditaire qui est transmise aux descendants lors de la reproduction. Ce sont les gènes, segments d'ADN situés sur les chromosomes, qui sont porteurs de l'information biologique nécessaire à la fabrication des protéines. La structure en double hélice de l'ADN, permet la transmission des caractères héréditaires lors de la duplication des gènes qui intervient au cours de la division des chromosomes. Le génotype est l'ensemble du patrimoine génétique d'un organisme, constitué par l'addition d'un jeu de chro-

mosome d'origine paternelle et d'un jeu d'origine maternelle. Une bactérie contient environ 1 000 gènes, certains champignons de l'ordre de 10 000, alors que chez beaucoup de plantes à fleurs et certains animaux on en compte jusqu'à 400 000. Chez la plupart des mammifères, il y en a environ 100 000. On vient récemment de faire l'inventaire des gènes de la levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae* : il y a 6 100 gènes répartis sur 16 chromosomes, ce qui correspond à 12 millions de paires de bases nucléiques. La fonction précise d'environ un tiers de ces gènes reste inconnue.

Les progrès de la biologie moléculaire et de la génétique ont mis en évidence qu'une espèce était composée d'individus légèrement différents les uns des autres sur le plan génétique. C'est le résultat de mutations ponctuelles qui sont des événements modifiant la structure de l'ADN. Ce genre « d'erreur » qui ne crée pas deux copies strictement conformes de l'information génétique existante, intervient lors de la réplication de l'ADN, lorsque les cellules se divisent. La mutation est ainsi à l'origine de variantes d'un même gène, encore appelées allèles, qui sont ensuite copiées et transmises dans la descendance. A titre d'exemple, on trouve en moyenne un nouvel allèle sur 100 000 individus à chaque génération, mais ce chiffre est très variable d'un gène à l'autre et d'une espèce à l'autre. Ce brassage des patrimoines génétiques provoque en permanence une diversification génétique et la production d'une multitude de génotypes variés.

3. La sélection naturelle. — La mutation est une propriété du vivant, indépendante du milieu dans lequel l'organisme est placé. Certaines mutations sont létales à court ou moyen terme, de telle sorte que les individus ne peuvent survivre et se reproduire. Beaucoup d'autres sont sans effets apparemment visibles sur le fonctionnement de la cellule ou de l'organisme. Quelques-unes, enfin, sont viables et les individus porteurs de ce caractère nouvellement acquis vont théoriquement pouvoir le transmettre à leur descendance.

C'est ici qu'intervient l'influence du milieu dans lequel vit l'espèce. La mutation aura d'autant plus de chances de se répandre qu'elle procurera un avantage physiologique ou biologique aux individus qui la possède, par rapport aux individus qui en sont dépourvus et qui vivent dans les mêmes conditions écologiques. Autrement dit, si une mutation héréditaire procure un avantage qui se traduit par un meilleur succès de la reproduction du groupe qui en est porteur, celle-ci aura tendance à se répandre dans la population en éliminant progressivement les individus porteurs du caractère moins avantageux. C'est le principe de la sélection naturelle : dans une population occupant un milieu donné, la fréquence des individus présentant des performances supérieures sur le plan reproducteur, augmente régulièrement au cours des générations à la suite d'ajustements successifs. Ces performances étant contrôlées par le génotype, c'est donc bien la variabilité génétique qui va être à l'origine d'une évolution qui se traduit par la recherche permanente d'un meilleur ajustement entre le génome et ses manifestations biologiques d'une part, et les conditions de l'environnement dans lequel vit l'espèce d'autre part.

Les mutations sont des processus aléatoires, la sélection est au contraire un processus adaptatif opportuniste. C'est pourquoi François Jacob, prix Nobel en 1965, a pu faire remarquer que « l'évolution est une suite de bricolages ».

4. La théorie synthétique de l'évolution. — Les mutations génétiques, ou les recombinaisons chromosomiques, qui se produisent fréquemment, créent une diversité génétique. Mais ce n'est qu'après une véritable course d'obstacles, à l'issue de laquelle beaucoup disparaîtront, que ces mutants seront susceptibles de donner naissance à de nouvelles espèces.

La prise en compte simultanée des mutations créatrices de variabilité, et de la sélection naturelle assurant le tri à chaque génération des génotypes les plus aptes à vivre et à se reproduire dans des conditions de milieu donné, est à la base de la théorie synthétique de l'évolution. Celle-ci apparaît donc comme une synthèse des théories darwinistes

et mutationnistes. Dans un environnement qui se modifie en permanence, les êtres vivants sont amenés à adopter des solutions physiologiques ou morphologiques aux problèmes posés par les changements du milieu dans lequel ils vivent, sinon ils disparaissent.

La grande variété d'organismes vivants est donc le résultat de la diffusion de mutations favorables qui ont eu lieu depuis l'origine de la vie. Ajustements permanents et recherche de compromis sont les réponses adaptatives du monde vivant dans la recherche d'un équilibre dynamique avec les facteurs physiques et chimiques de l'environnement. Mais chaque ajustement réussi modifie le génotype et le phénotype de l'espèce. L'accumulation de ces modifications conduit ainsi à la spéciation, c'est-à-dire à la formation d'espèces nouvelles différentes des espèces ancestrales dont elles sont issues. Cette évolution progressive explique également pourquoi, au sein d'une même espèce, on peut distinguer des sous-ensembles, que l'on qualifie de races, de souches, de variétés, de populations.

III. — La notion d'espèce

La notion d'espèce a longtemps été basée sur la description morphologique du type (on l'appelle l'holotype), considéré comme la référence pour la caractérisation de l'espèce. Une conception plus moderne est basée sur la possibilité ou non de donner des descendants féconds : deux individus appartenant à des espèces différentes pourront éventuellement se reproduire, mais leurs descendants sont stériles. C'est le cas de la mule issue du croisement de l'ânesse et du cheval.

En réalité la notion moderne de l'espèce est difficile à appliquer car il est matériellement impossible de croiser la plupart des espèces sauvages. En outre, elle ne s'applique en toute rigueur qu'aux espèces à reproduction bisexuée, alors que nombre de plantes et d'animaux ont une reproduction parthénogénétique¹. On continue donc à utiliser la

1. Phénomène de reproduction sexuée en l'absence de mâle.

description morphologique pour identifier les espèces, en faisant appel si nécessaire aux outils de la biologie moléculaire pour vérifier qu'un ensemble d'individus ayant les mêmes caractéristiques externes, correspond bien à une seule et même espèce sur le plan génétique. On a en effet mis en évidence l'existence de complexes d'espèces morphologiquement similaires mais génétiquement différentes que l'on appelle espèces jumelles.

Pour certains groupes, comme les bactéries et les virus, seuls les critères génétiques sont utilisables.

La taxinomie¹ est la discipline scientifique qui consiste à nommer et décrire les êtres vivants. La systématique quant à elle est l'étude de la diversité des organismes et des relations entre ces organismes. Elle a pour objectif de classer les espèces et de rechercher quelles sont les phylogénies, c'est-à-dire les degrés de parenté entre espèces. La classification consiste à reconnaître et à définir des groupes ou taxons (c'est-à-dire un ensemble d'organismes possédant en commun un caractère particulier). Les bases en ont été formalisées par Linné au XVIII^e siècle. Chaque espèce est désignée par un nom scientifique, formé de deux noms latins. Le premier correspond au genre auquel appartient l'espèce, le second est le nom d'espèce. Ainsi, *Cyprinus carpio* correspond à l'espèce *carpio* (la carpe) qui appartient au genre *Cyprinus* auquel sont rattachées d'autres espèces.

IV. — La spéciation

La spéciation est le phénomène qui aboutit à la formation d'espèces nouvelles à partir d'une espèce ancestrale. C'est un phénomène très lent en général, qui ne s'accompagne pas toujours d'une différenciation morphologique. En outre, sur le long terme, la spéciation conduit à la différenciation des groupes taxinomiques (genres, familles, etc.). Les travaux sur les fossiles montrent que toutes les espèces apparaissent, se développent, puis disparaissent. Autrement dit chaque espèce a une durée de

1. On dit souvent de manière erronée taxonomie.

vie limitée, et de très nombreuses espèces qui ont existé sur la Terre ont aujourd'hui disparu.

La mise en évidence des mécanismes de la spéciation suscite depuis longtemps l'intérêt des scientifiques. De manière générale, un préalable au processus de spéciation paraît être l'isolement de populations qui vont ensuite évoluer de manière indépendante. Dans le mode de spéciation allopatrique, deux populations d'une même espèce isolées géographiquement pendant un laps de temps suffisant finissent par se différencier suffisamment pour ne plus être interfécondes. L'isolement géographique est le plus souvent la conséquence de processus climatiques ou géologiques, ou d'événements accidentels aboutissant à la colonisation d'un milieu nouveau ou isolé (une île par exemple). L'accumulation de micro-mutations et l'action de la sélection naturelle dans des environnements différents conduisent dans un premier temps à la différenciation de races ou écotypes, c'est-à-dire de sous-populations génétiquement différenciées, mais capables d'interfécondation si elles sont de nouveau réunies. Avec le temps, si l'isolement géographique se poursuit, ces races géographiques divergent et ne sont plus interfécondes : les deux sous-populations sont alors devenues deux espèces.

D'autres théories considèrent que la spéciation peut également intervenir dans des populations occupant un même ensemble géographique continu. On parle alors de spéciation sympatrique. Cette situation peut se rencontrer chez des espèces très sédentaires, occupant une mosaïque d'habitats spécifiques, et pour lesquelles les probabilités de brassage génétique sont limitées en raison du comportement de l'espèce.

Il existe d'autres modes de spéciation dont les mécanismes sont moins bien connus. On admet par exemple que l'hybridation interspécifique est un des mécanismes majeurs de création de nouveautés évolutives dans le règne végétal. Il existe également des mutations chromosomiques qui concernent des portions de chromosomes ou des chromosomes entiers : des sections de chromosomes peuvent se briser, se recoller en position inversée ou s'échan-

ger entre chromosomes; des chromosomes eux-mêmes peuvent fusionner ou se diviser de telle sorte que leur nombre est modifié. Un phénomène connu chez les plantes et chez certains groupes animaux est celui de la polyploïdie: le stock de chromosomes est doublé ou triplé à la suite d'anomalies au cours de la division des gamètes. Ces diverses modifications chromosomiques créent des isoléments reproductifs menant parfois à l'apparition de nouvelles espèces.

V. — L'inventaire des espèces : connaissances et incertitudes

L'inventaire des espèces est l'approche la plus ancienne et la plus classique pour caractériser la diversité biologique d'une région ou d'un système écologique.

De manière générale c'est un travail de longue haleine qui est bien loin d'être terminé, même si de nombreux scientifiques y ont consacré leur carrière depuis plusieurs siècles. On comptait 9 000 espèces répertoriées au milieu du XVIII^e siècle, alors qu'il y en a environ 1,7 million de nos jours. Pourtant, selon les estimations récentes, il y aurait entre 7 et 20 millions d'espèces vivantes. Certaines extrapolations ont même parlé de 100 millions d'espèces. On mesure ainsi l'étendue de ce qui reste à découvrir, notamment dans les régions tropicales les plus riches en espèces (voir tableau 2, p. 26).

Le groupe des vertébrés est celui qui est le mieux étudié, ainsi que certains groupes (mollusques, orchidées, papillons) auxquels de nombreux amateurs se sont intéressés. Mais pour d'autres groupes, notamment celui des insectes, de très nombreuses espèces sont encore à décrire. Dans le monde des micro-organismes, encore mal exploré, on peut s'attendre également à de nombreuses découvertes. Ainsi, le nombre d'espèces de champignons pourrait se situer entre 1 et 2 millions.

Alors que l'homme commence à explorer l'espace avec des moyens très sophistiqués, l'information concernant la description et le recensement de la diversité des espèces

Tableau 2. — Inventaires des espèces connues par grands groupes taxinomiques, et évaluation du nombre potentiel d'espèces pour chacun des groupes

<i>Groupes taxinomiques</i>	<i>Nombre approximatif d'espèces recensées</i>	<i>Nombre potentiel d'espèces</i>
Virus	4 000	500 000 ?
Bactéries	4 000	1 000 000 ?
Champignons	72 000	1 à 2 millions ?
Protozoaires	40 000	200 000
« Algues »	40 000	400 000 ?
Plantes	270 000	320 000
Animaux invertébrés	1 400 000	
Arachnides	75 000	750 000
Crustacés	40 000	150 000
Insectes	950 000	8 000 000
Autres arthropodes	125 000	
Mollusques	70 000	200 000
Nématodes	25 000	400 000
Autres	115 000	250 000
Vertébrés		
Poissons	19 000	21 000
Amphibiens	4 200	4 500
Reptiles	6 300	6 500
Oiseaux	9 000-9 200	9 200
Mammifères	4 000-4 200	4 200

terrestres est le plus souvent éparse, et il n'existe pas encore de système coordonné permettant d'y avoir facilement accès.

VI. — Distribution géographique de la diversité biologique

L'organisation générale de la biosphère, c'est-à-dire de l'ensemble des organismes animaux et végétaux qui vivent à la surface de la terre est, dans ses grandes lignes, marquée par l'existence de gradients climatiques (en particu-

lier les températures et les pluies), et par l'histoire de la terre. Les écosystèmes continentaux forment de vastes ensembles de communautés animales et végétales qui s'organisent plus ou moins selon un gradient latitudinal. On distingue ainsi les toundras, les steppes, les forêts boréales de conifères, les forêts de feuillus, les forêts méditerranéennes, les savanes, les forêts tropicales humides, etc., toutes ces formations occupant d'importantes surfaces dans des zones climatiques bien déterminées. Leur distribution et leur diversité donnent une première image simplifiée de la répartition de la diversité écologique à l'échelle planétaire. Mais il existe également, à des échelles plus réduites, une grande variété de milieux naturels, certains présentant des caractéristiques parfois extrêmes, comme les milieux hypersalés (mer Morte par exemple), les milieux polaires, ou les déserts. Les sources hydrothermales ont été découvertes il y a seulement une vingtaine d'années au niveau des dorsales océaniques, entre 2 000 et 3 000 m de profondeur. Caractérisées par une eau fortement chargée en sulfures ainsi qu'en méthane, elles ont une faune riche et variée de mollusques, d'annélides, de crustacés qui se développent en consommant des bactéries capables de synthétiser la matière organique en l'absence de lumière.

On a constaté depuis longtemps l'existence de gradients de richesse spécifique, des pôles où les conditions de vie sont difficiles vers l'équateur où les conditions sont toute l'année favorables, ce qui explique pour partie la grande richesse en espèces sous les tropiques. Mais la relative pauvreté en espèces des zones tempérées s'explique également par l'histoire des climats. Ainsi, une grande partie de l'Europe et de l'Amérique du Nord a subi l'effet des glaciations qui ont affecté l'histoire de la terre au cours du dernier million d'années. L'avancée des calottes glaciaires, et la baisse importante des températures dans les zones libres de glaces, ont été des facteurs défavorables au maintien d'une grande diversité en espèces dans les régions tempérées. Sous les tropiques, les variations climatiques ont été d'une moins grande ampleur, ce qui a permis d'assurer la pérennité des conditions de vie à de nombreuses



Photo 1. — Les zones humides ne représentent qu'une faible proportion des terres émergées, mais sont d'une grande importance pour la survie de nombreux vertébrés. Elles sont notamment fréquentées par les oiseaux dont beaucoup d'espèces sont migratrices. Le lac Nakuru (Kenya) est un de ces milieux dont la richesse biologique permet d'accueillir une grande quantité d'espèces et qui sont également très fréquentés par les ornithologues (photo C. Lévêque).

espèces qui ont pu poursuivre leur évolution entamée il y a plusieurs millions d'années. La distribution et l'abondance des espèces dépendent donc non seulement des caractéristiques écologiques actuelles, mais également de l'histoire des écosystèmes qui ont évolué en fonction des fluctuations climatiques et des événements tectoniques et géomorphologiques qui ont façonné la surface du globe.

Chapitre III

DIVERSITÉ BIOLOGIQUE ET FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

Dans un écosystème, le rôle fonctionnel de la diversité biologique s'exprime à divers niveaux de la hiérarchie du vivant :

- La diversité intraspécifique qui repose sur la variabilité génétique des populations appartenant à une même espèce. C'est grâce à cette diversité génétique que les espèces pourront répondre aux changements de l'environnement, en sélectionnant les génotypes les mieux adaptés aux conditions du moment.

- La diversité des espèces, vue sous l'angle de leurs fonctions écologiques au sein de l'écosystème. Il existe une grande variété de formes, de tailles, et de caractéristiques biologiques parmi les espèces. Chacune de ces espèces, individuellement ou par groupes d'espèces exerçant les mêmes fonctions écologiques, a une influence sur la nature et l'importance des flux de matière et d'énergie au sein de l'écosystème, en raison de leur rôle dans les réseaux trophiques. Les interactions entre espèces, considérées sous l'angle du mutualisme et des symbioses par exemple, constituent également un autre aspect du rôle fonctionnel de la biodiversité.

- La diversité des milieux qui correspond à la variété et à la variabilité des habitats. On considère généralement que la richesse en espèces est fonction de la diversité des habitats, et du nombre de niches écologiques potentiellement utilisables. Les grands écosystèmes, grâce à leur diversité

biologique, jouent un rôle dans la régulation des cycles géochimiques (fixation, stockage, transfert, recyclage du carbone, des éléments nutritifs, etc.), du cycle de l'eau, et influent sur la composition en gaz de l'atmosphère.

I. — Caractéristiques des écosystèmes et richesse des peuplements

Le nombre d'espèces présentes dans un écosystème est le résultat d'un équilibre dynamique qui fait intervenir de nombreux facteurs :

1 / Des contraintes écologiques de nature physique, chimique ou biologique. Depuis longtemps les écologistes étudient les relations entre les caractéristiques des milieux et la composition des communautés animales et végétales, en essayant d'établir des corrélations entre la présence ou l'abondance de certaines espèces et les conditions écologiques offertes par l'environnement. Ce contrôle de la composition et de la structure des peuplements par les caractéristiques du milieu, est un des principaux éléments structurants de la distribution et de l'abondance de la diversité biologique.

2 / Des interactions biologiques, qui s'expriment notamment dans le cadre des compétitions entre espèces (prédation, compétition pour les ressources alimentaires, compétition pour l'occupation de l'espace, etc.). Ce type d'interactions peut s'observer lors d'introductions d'espèces dans de nouveaux milieux, dont l'une des conséquences est parfois l'élimination des espèces autochtones. Ces interactions peuvent correspondre également à des relations de type hôtes-parasites, la présence du parasite étant alors liée à celle de son hôte.

3 / Des phénomènes historiques, sachant que la biogéographie est la science qui cherche à comprendre et à expliquer l'histoire de la distribution des espèces, ainsi que les origines de la spéciation, à la lumière de changements climatiques ou géomorphologiques qui sont intervenus dans le passé. Cette nécessité de prendre en compte l'histoire des milieux pour comprendre la composition actuelle de

leur flore et de leur faune, est un acquis relativement récent de l'écologie. Il s'agit notamment de comprendre quelle a été la fréquence et l'ampleur des processus de colonisation et de dispersion, d'une part, qui tendent à augmenter la richesse en espèces, et celle des phénomènes d'extinction ou d'émigration qui tendent au contraire à réduire la richesse spécifique. Le modèle de biogéographie insulaire, issu des travaux des américains McArthur et Wilson, a popularisé cette notion de l'équilibre dynamique de la richesse en espèces.

Les écologistes ont également mis en évidence l'existence d'une relation entre la richesse en espèces d'un écosystème et la surface de cet écosystème. Cette relation aire/espèce a d'abord été vérifiée dans les îles océaniques, puis sur des habitats continentaux comme les lacs et les bassins fluviaux, les massifs montagneux, les îlots boisés, etc., qui sont isolés les uns des autres au même titre que les îles océaniques. La relation aire/espèce a été à l'origine de nombreux travaux pour répondre aux questions soulevées par la fragmentation des habitats et de leurs conséquences en termes de conservation de la biodiversité dans les aires protégées. Cette fragmentation, conséquence d'une pression croissante sur l'occupation des sols, se traduit par l'extinction de certaines espèces et une réduction de la diversité spécifique dans les petits espaces morcelés.

II. — Rôle écologique de la diversité des espèces : les espèces clés

Les réseaux trophiques qui s'établissent dans un écosystème sont d'autant plus complexes que le système est riche en espèces. On se pose parfois la question de savoir si toutes ces espèces sont bien indispensables au fonctionnement de l'écosystème. Dans un but pédagogique, on a utilisé la comparaison suivante¹ : dans un véhicule il y a des éléments indispensables à son fonctionnement (pistons, carburateur, etc.), et d'autres qui ne servent qu'à

1. E. D. Schulze et H. A. Mooney (éd.), *Biodiversity and ecosystem function*, Springer Verlag, 1993.

améliorer le confort (amortisseurs, rétroviseurs...) mais ne sont pas essentiels pour que le véhicule puisse rouler. Néanmoins, il ne suffit pas d'avoir les bonnes pièces, encore faut-il qu'elles soient assemblées correctement. D'autres éléments, comme le klaxon ou la roue de secours, ne sont utiles que dans certaines circonstances, et d'autres pièces ne servent qu'à la décoration. Enfin certains composants peuvent être remplacés par d'autres : il y a différentes natures de pneus que l'on peut utiliser indifféremment, et qui remplissent plus ou moins la même fonction.

Cette analogie, qu'il ne faut cependant pas généraliser, permet de comprendre que les différentes composantes d'un écosystème peuvent avoir une importance variable dans le fonctionnement de cet écosystème. D'ailleurs, les écologistes abordent parfois la question du rôle fonctionnel de la diversité biologique de la manière suivante : à quoi sert l'existence de nombreuses espèces, dont certaines remplissent des fonctions qui paraissent équivalentes sur le plan écologique ? Mais les gestionnaires posent le problème en d'autres termes : quelle proportion d'espèces peut-on laisser disparaître sans que le fonctionnement des écosystèmes soit profondément modifié ? Pour eux, il s'agit de déterminer à partir de quel seuil ils doivent impérativement intervenir afin d'éviter des dysfonctionnements. Si l'on peut raisonnablement penser que la diminution du nombre d'espèces compromettra, à terme, les services rendus par les écosystèmes, il est cependant difficile de prévoir quand et à quel niveau de réduction cela surviendra, compte tenu de la complexité des problèmes abordés.

Pour simplifier l'approche de ces questions, on est amené à rechercher des espèces ou groupes d'espèces qui paraissent jouer un rôle plus important que d'autres dans les écosystèmes. Y a-t-il des espèces qui exercent une influence déterminante sur la structure et le fonctionnement des systèmes biologiques (espèces dominantes ou espèces clés) et dont la perte aurait de multiples conséquences notamment sur la persistance d'autres espèces ? Ou toutes les espèces ont-elles un rôle équivalent, voire redondant ? Il est difficile de répondre à cette question en raison de la

complexité des interactions qui existent entre les différents constituants des écosystèmes, et notamment entre l'ensemble des espèces qui occupent le même habitat. On est amené à distinguer quelques grands ensembles¹ :

- *Prédateurs clés* : Ce sont des espèces dont la présence limite fortement la présence d'autres espèces. Ainsi, certaines espèces de poissons mangeurs de plancton limitent l'abondance, voire la présence de zooplancton de grande taille dans les lacs. La disparition des grands prédateurs en Europe a eu pour conséquences la prolifération de certains ravageurs des cultures. Le plus souvent, l'existence de prédateurs permet la coexistence d'un grand nombre d'espèces en contrôlant le développement d'espèces envahissantes.

- *Les proies clés* qui constituent des ressources décisives à des moments critiques du cycle annuel, ou qui garantissent la survie d'espèces spécialistes. C'est le cas également pour les parasites qui doivent pouvoir rencontrer leurs hôtes à certains moments de leur cycle biologique.

- *Les modificateurs clés* : Un certain nombre d'espèces sont capables d'agir directement sur le milieu et de le modifier. Ainsi, les castors en créant des barrages sur les rivières modifient le fonctionnement hydrologique de la rivière. On estime également que l'éléphant est responsable de changements spectaculaires dans la végétation, en transformant des zones boisées en zones de savanes.

- *Les mutualistes clés* qui sont directement ou indirectement nécessaires au maintien d'autres populations associées. C'est le cas pour les pollinisateurs qui jouent un rôle essentiel pour beaucoup de plantes sauvages ou cultivées dans la mesure où ils assurent leur fécondation. La présence de pollinisateurs variés et abondants, qui sont essentiellement des insectes, conditionne souvent le volume et la qualité des récoltes fruitières, maraîchères et oléagineuses. Or ces pollinisateurs pour accomplir leur cycle biologique ont besoin également d'une grande diversité de milieux.

Un autre rôle de la diversité biologique au sein des écosystèmes, est d'assurer la dispersion des végétaux par une

1. Voir notamment Blondel, 1995, *op. cit.*

multitude de systèmes de zoochorie¹. Dans certains cas la graine est ingérée mais non digérée pour être rejetée à une distance plus ou moins importante de son lieu d'origine. Les oiseaux, les chauves-souris, les mammifères, assurent ainsi une dissémination des graines indispensable à la régénération des plantes dans les systèmes forestiers.

La dispersion d'organismes animaux est également assurée par des oiseaux ou des mammifères. On explique ainsi la colonisation de milieux aquatiques temporaires par des organismes qui sont transportés en s'accrochant dans les poils ou les plumes.

III. — Fonctionnement des systèmes écologiques

L'écosystème est l'unité fonctionnelle de base des études écologiques. Il est constitué par un ensemble d'organismes vivants en interaction les uns avec les autres et avec leur environnement physique et chimique. On appelle biotope le cadre spatio-temporel constitué par l'environnement physico-chimique, et biocénose² l'ensemble des organismes vivants qui sont associés à ce biotope. Des ensembles d'écosystèmes peuvent constituer des unités fonctionnelles de plus grande taille, parfois appelées écosystèmes complexes.

1. Les réseaux trophiques. — Un écosystème est donc constitué d'une grande diversité d'espèces en raison de leur taille, de leurs caractéristiques biologiques et de leurs exigences écologiques, de leurs fonctions écologiques au sein du système. Ces espèces sont en compétition dans un véritable réseau de relations proies-prédateurs, appelé réseau trophique, à l'intérieur duquel la matière et l'énergie circulent en permanence des producteurs primaires vers les herbivores, puis les carnivores. En schématisant ces liens de dépendance, on obtient ce que l'on appelle une

1. La zoochorie est un système de dispersion des graines utilisant des animaux comme vecteurs.

2. On emploie également les termes communauté ou peuplement pour désigner les groupes d'organismes appartenant à un même ensemble taxinomique.

chaîne alimentaire ou *chaîne trophique* qui décrit de manière très simplifiée le flux de la matière ou de l'énergie entre différents niveaux trophiques.

Pour comprendre le fonctionnement d'un écosystème il faut évaluer la nature, l'intensité, et la complexité des relations entre les espèces dont chacune a, en principe, une influence sur la nature et l'importance des flux de matière et d'énergie au sein de l'écosystème. Mais au niveau des peuplements plurispécifiques on cherche parfois à identifier des groupes fonctionnels, ou guildes, qui correspondent à des ensembles définis d'espèces remplissant la même fonction, en exploitant par exemple un même type de ressources (mammifères herbivores, poissons planctivores, etc.).

2. Modifications des réseaux trophiques et leurs conséquences. — Dans les chaînes trophiques qui décrivent les relations de mangeurs à mangés dans les écosystèmes, une modification au niveau de l'un des maillons a des répercussions sur les autres éléments de la chaîne, notamment si l'on s'adresse à des espèces clés. C'est le concept de « cascade trophique » qui est à la base des expériences de biomanipulation ou de lutte biologique qui consistent à introduire une espèce prédatrice dans un milieu afin de contrôler le développement d'espèces indésirables, soit directement, soit par modification de maillons intermédiaires.

Cependant, les résultats de divers travaux de terrain tendent à montrer, qu'en général, la disparition d'espèces n'a pas de conséquences majeures immédiates, et que le maintien des fonctions dans un écosystème peut être assuré par un nombre réduit d'espèces. Il est donc vraisemblable qu'il y a redondance écologique, ou pour le moins que certaines espèces sont capables de remplir des fonctions équivalentes aux espèces disparues afin d'optimiser le fonctionnement du système. En réalité, certains écologistes estiment que la perte ou le gain d'une espèce dans un écosystème se traduit simplement par une modification des circuits de transferts énergétiques.

Ces conclusions ne sont pas généralisables cependant. Ainsi, les relations plantes-herbivores, ou hôtes-parasites,

sont des relations fortes et parfois très spécifiques. Dans ce dernier cas, la perte d'un élément entraîne automatiquement celle de l'autre, et la disparition d'un maillon de la chaîne trophique.

Les expériences acquises lors d'introductions d'espèces dans des écosystèmes ont également mis en évidence qu'il pouvait y avoir des modifications parfois importantes des circuits de transfert de la matière et de l'énergie, sans pour autant que l'écosystème cesse de fonctionner. Un exemple maintenant bien connu et spectaculaire, est celui de l'introduction dans le lac Victoria, d'un grand prédateur, le *Lates niloticus* ou capitaine, à la fin des années 1950. Ce lac hébergeait alors quelques centaines d'espèces de poissons endémiques appartenant à la famille des Cichlidés, ce qui constituait sur le plan scientifique, un rare exemple de spéciation radiative à partir d'un ancêtre commun, ayant entraîné l'occupation de différentes niches écologiques dans le milieu lacustre, avec une grande diversification des régimes alimentaires. Le réseau trophique était extrêmement complexe, avec 3 à 400 espèces de poissons impliquées. Le *Lates* a provoqué la quasi-disparition dans les années 1980 des Cichlidés phytoplanctivores et zooplanctivores qui étaient représentés par plusieurs dizaines d'espèces, et constituaient respectivement 40 et 16% de la biomasse des poissons lacustres. Il a également éliminé, par la suite, la plupart des autres espèces de cichlidés et les populations de poissons non-cichlidés qui occupaient le lac auparavant. Sur le plan fonctionnel, ces poissons autochtones ont été remplacés par la crevette indigène détritivore *Caridina nilotica*, et par un autre poisson zooplanctophage, le cyprinidé *Rastrineobola argentea* qui se sont abondamment développés et servent de nourriture aux larves et aux juvéniles de *Lates*¹ depuis la disparition des cichlidés. L'introduction du capitaine a donc eu pour résultat une très grande simplification des chaînes trophiques, au point que ce prédateur

1. F. Witte, T. Goldschmidt, P. C. Goudswaard, W. Ligtvoet, M. P. J. van Oijen, J. H. Wanink, Species extinction and concomitant ecological changes in Lake Victoria, *Netherlands Journal of Zoology*, 1992, n° 42 : 214-232.



Photo 2. — Le capitaine (*Lates niloticus*) est un poisson prédateur d'origine africaine pouvant atteindre 100 kg. Il a été introduit dans le lac Victoria (Afrique de l'Est) dans les années 1960 où il s'est si bien développé qu'il a éliminé la majeure partie de la faune piscicole, dont environ 200 espèces de cichlidés endémiques. Le capitaine constitue actuellement l'essentiel des pêcheries du lac Victoria (photo C. Lévêque).

qui peut atteindre 100 kg, doit consommer ses propres jeunes à partir d'une certaine taille. Ces jeunes remplissent d'une certaine manière, la même fonction que les cichlidés phyto- et zooplanctivores qui existaient auparavant. Le système du lac Victoria fonctionne donc actuellement avec un réseau trophique extrêmement simplifié, dans lequel le cannibalisme joue un rôle important. Le capitaine, dans ce contexte, est un exemple édifiant de prédateur clé.

IV. — Diversité biologique et stabilité des écosystèmes

Quel est le rôle de la diversité biologique dans la viabilité des écosystèmes et leur aptitude à retrouver un état

d'équilibre à la suite de perturbations d'origine externe ou interne? Certains écologistes affirment que la perte de diversité biologique peut réduire la capacité des écosystèmes à répondre aux perturbations de l'environnement. On peut en effet penser intuitivement que des systèmes plus diversifiés sont plus stables que les systèmes simplifiés, dans la mesure où la multiplicité des proies, des prédateurs, et des réseaux trophiques permet d'amortir les fluctuations éventuelles. Ainsi, une espèce exploitant potentiellement un grand nombre de proies différentes, peut maintenir des populations relativement stables en utilisant alternativement les différentes proies au fur et à mesure qu'elles deviennent abondantes. En réalité on ne dispose pas d'informations suffisantes pour valider ou non cette hypothèse, et il y a même débat sur le rôle réel de la biodiversité dans la stabilité des écosystèmes. Diverses observations donnent en effet des résultats contradictoires, la stabilité pouvant décroître ou s'accroître avec la réduction du nombre d'espèces dans un système donné¹. En outre, les effets peuvent être différents dans les milieux arctiques, tempérés, ou tropicaux.

En se donnant pour objectif de mettre en évidence le rôle de la diversité biologique sur la stabilité des écosystèmes, les écologistes se sont également interrogés sur le rôle que pouvaient jouer les espèces rares qui sont parfois nombreuses dans les peuplements. Sont-elles des vestiges du passé ou ont-elles un rôle fonctionnel dans la dynamique des systèmes? Selon une hypothèse généralement admise, elles peuvent constituer une alternative, une forme d'assurance, dans la mesure où elles seraient susceptibles de remplacer les espèces abondantes dans les peuplements, si ces dernières venaient à faire défaut à la suite d'un changement des conditions écologiques. Les espèces rares sont donc potentiellement importantes pour la survie des communautés dans des environnements fluctuants. Toutes proportions gardées, on pourrait penser que cette diversité spécifique est équivalente, en termes fonctionnel,

1. Voir E. D. Schulze et H. A. Mooney, 1993, *op. cit.*

à la diversité génétique et permet aux peuplements de s'adapter aux changements du milieu.

Un des acquis des recherches en écologie a été de montrer que les perturbations (incendies, maladies, prédateurs, conditions temporairement extrêmes), à condition qu'elles ne soient ni trop importantes ni trop fréquentes, contribuent à maintenir une grande diversité biologique, car elles empêcheraient l'établissement d'espèces dominantes dont la présence exclurait d'autres espèces moins bonnes compétitrices.

V. — Diversité biologique et productivité des écosystèmes

La productivité des écosystèmes dépend étroitement de la disponibilité en éléments nutritifs qui contrôlent la production primaire à la base des chaînes trophiques. Or, la circulation des éléments nutritifs ou de la matière vivante dans les écosystèmes, dépend de nombreuses composantes biologiques de l'écosystème qui vont réguler la nature et la complexité des circuits, ainsi que l'importance des flux. La fonction des espèces prises individuellement est importante, pas le nombre total d'espèces, pour maintenir le cycle d'éléments nutritifs dans un écosystème. Ainsi, la bactérie *Nitrobacter* assure à elle seule la fonction de nitrification dans les sols. De nombreuses fonctions comme la nitrification et la dénitrification, la fixation d'azote, la méthanogenèse, la dépollution, ne sont assurées que par des micro-organismes dont on connaît encore mal le rôle dans les processus et la diversité de l'écosystème.

Pour les gestionnaires il est important de connaître les relations entre la diversité biologique d'une part et la biomasse ou la productivité des systèmes d'autre part? Des milieux pauvres en espèces, comme les déserts et les toundras, sont également des systèmes faiblement productifs, par comparaison aux forêts tropicales humides riches en espèces. Mais inversement les zones humides, ou les systèmes agricoles, montrent de fortes productivités biologiques avec un nombre réduit d'espèces. Des résultats préli-

minaires obtenus dans les milieux aquatiques semblent montrer également qu'il n'y a pas de corrélation directe entre la richesse spécifique, la longueur des chaînes trophiques, et la productivité des milieux estimée par la production de la pêche par exemple¹.

Que se passe-t-il à l'intérieur d'un écosystème si la diversité biologique est réduite? La théorie écologique prévoit que l'appauvrissement de la diversité entraînerait une diminution des flux de matière et d'énergie, mais la démonstration n'en a pas été faite réellement sachant qu'elle est très difficile et nécessite une approche expérimentale. On trouve même des exemples contraires, puisque dans le cas du lac Victoria cité plus haut, l'extrême simplification du réseau trophique résultant de la quasi-disparition de nombreuses espèces de poissons endémiques, s'est accompagnée d'un accroissement important de la production de la pêche qui aurait quintuplé en une dizaine d'années. On peut donc conclure, dans l'état actuel des connaissances, que la diversité biologique n'est pas un élément déterminant de la productivité des écosystèmes.

VI. — Les fonctions de régulation des écosystèmes et l'hypothèse Gaïa

L'intérêt pour la diversité biologique réside également dans les fonctions écologiques que certains types d'écosystèmes peuvent jouer au niveau régional ou de la biosphère. Si les théories évolutionnistes reconnaissent depuis longtemps que la vie a été fortement influencée par l'environnement, et s'est adaptée aux changements de cet environnement, on commence seulement à admettre que la vie exerce en contrepartie une profonde influence sur l'environnement physico-chimique. C'est ainsi que les recherches sur l'effet de serre prennent en compte la production de méthane par les organismes, ou la production d'oxygène et de gaz carbonique par les forêts tropicales. On reconnaît donc que la vie et l'environnement abiotique

1. Voir Lévêque, 1994, *op. cit.*

constituent un système couplé dans lequel un changement intervenant au niveau d'un des éléments aura des conséquences sur l'autre élément.

A l'échelle du globe, la couverture végétale affecte de diverses manières le fonctionnement de la biosphère. En particulier, les plantes jouent un rôle dans la régulation du cycle hydrologique en aidant le sol à retenir l'eau, puis en la pompant et en la transférant vers l'atmosphère par la transpiration. La déforestation peut alors avoir des conséquences importantes sur le climat global. On a calculé que si la moitié de la forêt amazonienne était transformée en savanes, les précipitations pourraient diminuer globalement de 30%¹.

Les zones humides ont ainsi retrouvé un intérêt économique au cours de ces dernières années. On a redécouvert qu'elles assument une fonction de régulation hydrologique, et qu'elles interviennent dans la réduction des risques naturels (inondation, sécheresse, érosion, évolution du climat) et dans le fonctionnement général du cycle de l'eau, en particulier le stockage de la ressource, et le maintien de sa qualité. On a souligné la valeur « d'équipement » de ces milieux qui sont de véritables « infrastructures naturelles », sur l'ensemble du territoire². Étant donné que les zones humides produisent gratuitement des services, par ailleurs coûteux lorsqu'il faut construire et entretenir des infrastructures qui assument des fonctions similaires (stations d'épurations par exemple), la société a intérêt sur le plan économique à les protéger.

Les forêts galeries qui bordent les cours d'eau fixent les berges, mais ont également une fonction épuratrice vis-à-vis des eaux souterraines qui transitent vers le lit du fleuve. Par leur réseau racinaire, les forêts riveraines agissent comme des filtres qui éliminent partiellement les nutriments (notamment les nitrates) ou les substances toxiques véhiculées par les eaux souterraines transitant de la plaine vers la rivière.

1. Selon Rasool, *Système Terre*, Dominos, Flammarion, 1993.

2. Voir Rapport national sur les zones humides.

L'hypothèse Gaïa, née il y a environ vingt-cinq ans, pousse en réalité ce raisonnement à l'extrême¹. Elle considère que la vie est un phénomène à l'échelle planétaire et prend comme postulat que la Terre est un superorganisme vivant, autorégulé et auto-évolutif. La richesse en oxygène et en eau, et la température relativement stable de notre planète, pourraient être directement liées par exemple à la présence de la vie et à son interaction avec l'environnement terrestre.

Gaïa a suscité de nombreux débats, certains la considérant comme une hypothèse scientifique, et d'autres comme de l'antiscience. Qu'elle soit une théorie novatrice ou une simple métaphore renouant avec la mythologie ancienne de la planète mère, Gaïa nous propose une vue un peu différente de celle qui est généralement admise. En particulier elle insiste sur le rôle des processus physiologiques dans les phénomènes de régulation. Il convient peut-être d'explorer la voie qui nous est proposée pour mieux comprendre les conséquences des pollutions et des perturbations de l'environnement global. Mais Gaïa a suscité un engouement quelque peu mystique de la part de certains militants écologistes, et son image en a souffert.

1. J. Lovelock, *Les âges de Gaïa*, Robert Laffont, 1990.

Chapitre IV

USAGES ET VALORISATION DE LA BIODIVERSITÉ

La biodiversité fournit la matière première de notre alimentation et remplit de nombreuses autres fonctions domestiques, industrielles, médicales, ou de loisir. Au-delà de préoccupations éthiques ou naturalistes, la diversité du vivant est donc en réalité un ensemble de « ressources biologiques »¹ essentielles à la vie des sociétés humaines. Nous y sommes tellement habitués que nous avons parfois tendance à oublier l'ensemble des rôles et des fonctions que remplit la biodiversité, qui sont pourtant autant de raisons de la préserver. En outre, avec la diversification des usages de la diversité biologique résultant des progrès dans le domaine des biotechnologies, nous ne savons pas quel rôle sont susceptibles de jouer dans le futur toutes les espèces qui ne sont pas encore économiquement intéressantes pour l'homme. La conservation, en vue de préserver des usages potentiels, est ainsi un argument souvent utilisé par ceux qui luttent pour la protection de la biodiversité.

1. Sous l'appellation « ressources biologiques », on inclut 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. Il s'agit non seulement des nombreuses variétés de plantes et d'animaux exploitées en milieu naturel ou domestiquées par l'homme, mais également des molécules à usage industriel ou pharmaceutique issues des organismes vivants.

I. — Ressources vivantes naturelles

Les activités de prélèvements dans le milieu naturel (cueillette, pêche, etc.) constituent l'un des principaux usages de la diversité biologique. Cette pratique, historiquement capitale dans l'histoire de l'humanité, est toujours importante, quoique plus diversifiée et de nature différente, selon l'état de développement économique des régions du monde.

1. **Ressources alimentaires : cueillette, chasse, pêche.** — Dans de nombreux pays du monde, les plantes sauvages et semi-sauvages contribuent à la sécurité alimentaire des populations. Il s'agit aussi bien de feuilles, de racines, de tubercules, de fruits, que de champignons. Certaines sont considérées comme des aliments recherchés, ou jouent un rôle indispensable dans le régime des populations rurales qui vivent de l'agriculture de subsistance, en fournissant vitamines et minéraux. Certaines observations laissent penser que la part de ces plantes dans l'alimentation est très importante, mais on ignore souvent quelle est leur contribution réelle à l'économie locale dans la mesure où ces biens, considérés comme gratuits, n'apparaissent pas dans les comptes des ménages. On estime cependant que cette contribution est importante dans beaucoup de pays en développement, et notamment en milieu forestier.

La faune sauvage contribue également de manière significative à l'alimentation humaine. Plusieurs espèces de vertébrés (mammifères, oiseaux, reptiles) sont chassées pour leur viande. La pêche en mer et en eau continentale, est la principale source de protéines dans le monde. Les prélèvements annuels, estimés à près de 100 millions de tonnes, sont proches des limites acceptables pour que le renouvellement des ressources ne soit pas compromis. Ces captures comportent plus de 90% de poissons, le reste provenant essentiellement des crustacés et des mollusques.

De nombreuses sociétés rurales, notamment en milieu tropical, consomment diverses espèces d'invertébrés : insectes (termites, sauterelles, etc.), chenilles, mollusques. Des produits comme le miel sont également très recherchés.

2. Pharmacopées traditionnelles et molécules à usages pharmaceutiques. — Alors que dans les pays développés l'essentiel des médicaments provient de composés synthétiques, les plantes médicinales continuent à jouer un rôle important dans les pays en développement. On estime qu'en Chine à l'heure actuelle, 40 % des médicaments sont des médecines traditionnelles utilisant des plantes médicinales. Les populations forestières emploient plusieurs centaines d'espèces de plantes sauvages à titre de pharmacopées. En Europe même, le recours aux plantes médicinales connaît un regain d'intérêt.

L'industrie pharmaceutique mondiale tire une partie non négligeable de son chiffre d'affaires de médicaments élaborés à partir de principes biologiquement actifs extraits de plantes, ou dont les molécules ont été identifiées dans les plantes avant d'être reproduites synthétiquement. On citera par exemple le taxol, un anticancéreux extrait de l'if du Pacifique ; la vinblastine et la vincristine, deux autres alcaloïdes anticancéreux, sont extraits de la pervenche rose de Madagascar ; l'aspirine, produit pharmaceutique universel, provient de l'acide salicylique qui a été découvert dans la filipendule ; la pénicilline, cet antibiotique qui a sauvé des millions de personnes, est issue de moisissures du genre *Penicillium*. On pourrait ainsi dresser une longue liste de principes actifs issus des plantes, et qui sont à l'origine de produits pharmaceutiques largement utilisés (morphine, quinine, camphre, atropine, etc.), mais aussi parfois de poisons violents (curare par exemple).

Alors qu'environ 20 000 plantes sont utilisées dans le monde par les médecines traditionnelles, seulement 5 000 ont été étudiées comme des sources potentielles de substances à usage médical. C'est pourquoi certains défenseurs de la diversité biologique estiment qu'elle constitue un réservoir stratégique pour l'industrie pharmaceutique¹ qu'il est indispensable de préserver dans la mesure où il est encore imparfaitement exploité.

1. Voir E. O. Wilson, *La diversité de la vie*, Paris, Éditions Odile Jacob, 1992.

Divers produits animaux sont également utilisés en médecine traditionnelle. La corne de rhinocéros ou les os de tigres ont été à l'origine de commerces particulièrement lucratifs mais très préjudiciables pour les espèces concernées.

3. Ressources vivantes à usage domestique et industriel.

— Le commerce du bois est une des activités économiques importantes en liaison avec l'usage de la biodiversité. Dans les pays en développement, le bois est surtout utilisé pour les usages domestiques (bois de feu), ainsi que pour la construction. Dans les pays développés, les usages industriels sont consommateurs de grandes quantités de bois (pâte à papier par exemple). La majorité du bois commercialisé vient des pays tempérés (Canada, Finlande, ex-URSS, États-Unis) où la production est organisée (tableau 3). Mais la demande en bois précieux est importante et pour de nombreux pays tropicaux, les ressources forestières constituent une des rares sources de devises. Ils sont tentés d'exploiter ce patrimoine de manière parfois excessive compte tenu du temps nécessaire au renouvellement de la forêt. En l'absence d'une gestion adéquate,

Tableau 3. — **Consommation annuelle en bois rond et prévision à l'horizon 2010**
(estimations en millions de mètres cubes)

	<i>Pays développés</i>			<i>Pays en développement</i>		
	1961	1991	2010	1961	1991	2010
Bois de chauffe / charbon de bois	256	236	278	623	1 594	2 117
Bois rond industriel	844	1 210	1 875	177	389	799
Total	1 100	1 446	2 153	800	1 983	2 916

Sources : FAO¹.

1. *Évaluation des ressources forestières 1990. Synthèse mondiale*, Étude FAO Forêts, n° 124, 1995.

beaucoup de milieux forestiers sont donc actuellement fortement dégradés par l'exploitation forestière.

La vannerie, les textiles, la corderie, utilisent également une large gamme de produits naturels. Environ 600 espèces de rotins natives d'Asie sont à l'origine d'industries importantes en Chine, en Inde, en Indonésie, en Thaïlande et aux Philippines. Le rotin est après le commerce du bois, le second produit forestier à l'origine d'un commerce international important. On ne peut ignorer l'industrie du cuir et des peaux, qui artisanalement ou de manière industrielle, tire également profit de la diversité des espèces.

Le monde vivant est également à l'origine d'un certain nombre de produits industriels. On connaît l'histoire du caoutchouc¹, et la compétition économique à laquelle a donné lieu ce produit essentiel de l'industrie occidentale. Même si l'on produit actuellement du caoutchouc synthétique, le caoutchouc naturel issu de l'Hévéa continue à être recherché pour certaines de ses propriétés qui ne se retrouvent pas dans le caoutchouc synthétique. A l'heure actuelle, environ 5 millions de tonnes de caoutchouc naturel sont produites, essentiellement par les pays asiatiques, contre 10 millions de tonnes de synthétique.

II. — Ressources génétiques et agriculture

Les sols, les eaux et les ressources génétiques sont les fondements de l'agriculture et de la sécurité alimentaire mondiale. Les ressources phylogénétiques, qui sont généralement les moins bien connues, se composent de la diversité du matériel génétique contenu dans les variétés traditionnelles et les cultivars² modernes des agriculteurs, ainsi que des parents sauvages des plantes cultivées et autres espèces de plantes sauvages qui peuvent être utilisées

1. Voir C. Aubertin, Heurs et malheurs des ressources naturelles en Amazonie brésilienne, *Cahiers des Sciences humaines*, ORSTOM, 1996, vol. 32.

2. Le mot cultivar est formé par contraction de l'expression variété cultivée.



Photo 3. — Les produits de la nature tels les roseaux, les bambous, les raphias, sont souvent utilisés par les populations rurales pour leurs usages domestiques. Le papyrus (ici *Cyperus papyrus*) est une plante caractéristique des zones humides tropicales africaines. Il a été utilisé pour fabriquer des manuscrits par les Égyptiens. Mais il est très employé également pour fabriquer des objets de vannerie, des cordes, et même des barques comme c'est encore le cas sur le lac Tchad (photo C. Lévêque).

pour l'alimentation humaine et animale, ou l'obtention de fibres, de tissus, de bois, d'énergie, etc. L'expression « ressource génétique » signifie que le matériel a, effectivement ou potentiellement, une valeur économique ou une utilité.

1. **Évolution et l'amélioration des plantes cultivées.** — Lorsqu'ils sont passés de la chasse et de la cueillette à l'agriculture, il y a quelque 10 000 ans, nos lointains ancêtres ont commencé à identifier et valoriser des ressources génétiques. Au fil des siècles, les agriculteurs ont sélectionné et acclimaté des milliers de variétés animales et végétales adaptées aux conditions de l'environnement local. En pratiquant l'hybridation, ils ont recombiné les gènes pour donner naissance à des races ou variétés nouvelles corres-

pendant à leurs besoins. Quand les hommes se déplaçaient, les plantes et les animaux migraient avec eux, et le contact avec de nouveaux milieux a fait subir de nouvelles pressions de sélection aux espèces domestiquées. Les agriculteurs ont également tiré profit des mutations lorsqu'ils pouvaient identifier qu'elles étaient à l'origine de nouvelles caractéristiques potentiellement valorisables. Le résultat est qu'il existe un nombre important de variétés pour la plupart des espèces cultivées. Plus de 900 variétés de poires et 3 000 variétés de pommes étaient répertoriées en France il y a un siècle. On recense plus de 4 000 espèces sauvages et cultivées de pomme de terre et de nouvelles variétés à la chair rose parfumée (la Charlotte, la Roseval) apparaissent sur le marché.

A la fin du XIX^e siècle, les sélectionneurs ont commencé à améliorer les variétés locales de façon délibérée et systématique, ce qui a permis l'émergence d'une série de variétés plus évoluées, appelées cultivars. Plus récemment, depuis les années 1970, on a sélectionné les cultivars modernes à haut rendement, qui ont permis aux agriculteurs de doubler, voire tripler leurs récoltes, mais qui nécessitent des apports importants en engrais chimiques. Grâce à cela, l'Inde, la Chine, l'Indonésie, et d'autres pays, ont pu augmenter leurs rendements agricoles et ne sont plus importateurs de céréales.

Historiquement, les ressources génétiques ont donc largement contribué au développement et à la stabilisation des systèmes agricoles. On notera cependant que toutes les potentialités sont loin d'être explorées. Ainsi, 150 à 200 espèces végétales seulement sont cultivées aujourd'hui, alors qu'environ 10 % des 250 000 espèces de plantes supérieures sont comestibles. Trois espèces, le riz, le maïs et le blé fournissent presque 60 % des protéines provenant des aliments d'origine végétale.

Les plantes domestiques connaissent elles aussi des modes. Ainsi le rutabaga, largement cultivé en France pendant la dernière guerre, est de temps à autre présent chez les marchands de fruits et légumes. Le crosne, tubercule d'origine chinoise, introduit en France en 1882, a la sa-

veur mêlée de l'artichaut et du salsifis. Délaisser à cause de son faible rendement, il réapparaît sur le marché après avoir été réhabilité par quelques grands cuisiniers.

2. Origine des plantes cultivées. — L'association étroite entre l'homme et l'évolution des cultures et de l'élevage, est l'une des raisons pour lesquelles la diversité biologique des espèces domestiquées n'est pas répartie de la même manière que la diversité biologique en général. Ainsi, l'Europe, en raison de son histoire climatique récente (la dernière glaciation date d'environ 18 000 ans) est une zone de faible diversité biologique. C'est pourquoi seules quelques rares espèces cultivées ou domestiques sont originaires de cette partie du monde. En réalité, presque toutes les plantes européennes cultivées ont été acclimatées. Certaines nous viennent du Proche-Orient mais la plupart des cultures vivrières de base sont originaires des zones tropicales et subtropicales d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine (tableau 4). La production agricole actuelle doit donc beaucoup au monde tropical, où l'on trouve encore des parents sauvages des espèces cultivées.

Tableau 4. — Les centres d'origine des plantes cultivées

<i>Aire d'origine</i>	<i>Plantes cultivées</i>
Pourtour méditerranéen	Avoine, blé, choux, navet, olives
Éthiopie	Café, orge, sorgho
Afrique de l'Ouest	Millet, sorgho, riz
Asie centrale	Lentilles, pois chiches, pommes
Asie mineure	Avoine, blé, lentilles, orge
Inde-Birmanie	Aubergine, citron, patate douce, riz
Indochine-Malaisie	Banane, canne à sucre, noix de coco
Chine	Pêche, abricot, millet, soja, thé, kiwi, sarrasin, gingembre
Andes	Haricot, pomme de terre
Brésil	Arachide
Amérique centrale	Cacao, haricot, maïs, tabac, tomate, manioc, courge, avocatier, agaves
Amérique du Nord	Tournesol

Christophe Colomb recherchant la route des épices, puis les Conquistadores en quête de l'Eldorado, ne se doutaient pas que la découverte de l'Amérique aurait pour résultat essentiel d'introduire en Occident ainsi que dans la plupart des pays tropicaux, nombre de ressources naturelles qui font maintenant partie de notre vie quotidienne. Les recherches ethnobotaniques ont ainsi montré que des plantes particulièrement importantes dans la vie quotidienne des Aztèques, sont maintenant répandues dans le monde entier. Il s'agit notamment du maïs, du haricot, de la patate douce, de la courge, de la citrouille, du figuier de Barbarie, du cacao, de la vanille, du coton, du tabac, du piment. C'est également d'Amérique du Sud que nous viennent la pomme de terre et la tomate.

Le cas de la tomate illustre bien les différentes étapes d'une domestication. Le nom vient du mot indien *tomatl*, car elle a été domestiquée pour la première fois dans les Andes. Elle parvient en Europe au XVI^e siècle, où elle est alors considérée comme plante médicinale quelque peu toxique aux vertus aphrodisiaques, et le nom qui lui est donné par les botanistes est *Lycopersicon* (pêche de loup). Elle sera cultivée ensuite comme plante d'ornement car les tomates étaient alors petites et rabougries. Mais c'est en Italie surtout que se poursuit la domestication. Au XVIII^e siècle, elle est utilisée dans les sauces, et son usage se répand en Europe vers la fin du XVIII^e siècle. Elle fait alors son apparition en France dans la cuisine des élites sociales. En 1856 la première fabrique de tomates en boîtes de conserve est créée à Naples. Puis on commence à cultiver des variétés nouvelles aptes à être consommées crues. La tomate, cet ingrédient typique de la cuisine méditerranéenne, est donc en réalité un produit d'introduction récente.

C'est toujours d'Amérique centrale et du Sud que furent également exportés vers l'Afrique le manioc, l'ananas, le papayer et l'arachide. On pourrait citer également nombre de plantes et fleurs d'ornement comme la bougainvillée, les pétunias, les bégonias, les capucines, les fuchsias. Le dahlia quant à lui est une plante originaire du Mexique dont les tubercules étaient consommés par les

populations indiennes. Au XVIII^e siècle, il était classé parmi les plantes potagères, rivale de la pomme de terre, mais il fut peu apprécié en Europe. Il a fait depuis une brillante carrière en horticulture, et de nombreux hybrides ont vu le jour. Il a été à ce point transformé qu'il fait partie désormais du patrimoine horticole français.

3. Les plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées. — Il s'agit d'un complexe d'espèces sauvages comprenant les espèces à partir desquelles les plantes cultivées ont été sélectionnées, et les espèces qui leurs sont étroitement apparentées.

Les plantes sauvages qui continuent à évoluer dans la nature sont soumises à une sélection différente des plantes cultivées. Leur composition génétique change lentement car la sélection naturelle conduit à la survie des formes les plus adaptées : résistance à la sécheresse, à des températures extrêmes, aux maladies et aux ravageurs qui ont si souvent causé des dégâts importants aux cultures. En agriculture moderne, la recherche d'une meilleure productivité pour faire face à une demande accrue, a été à l'origine de la sélection d'un petit nombre de variétés à haut rendement, qui sont génétiquement uniformes et dont la culture nécessite des apports en engrais et en pesticides. Ces plantes cultivées peuvent bénéficier de l'enrichissement de leur patrimoine par certains gènes présents chez leurs parents sauvages, de manière à améliorer leur résistance ou leurs performances.

4. Animaux domestiques. — Les espèces animales domestiquées par l'homme sont peu nombreuses : une quinzaine d'espèces importantes de mammifères (bovins, moutons, chèvre, porc, âne, buffle, dromadaire, chameau, yack, lama, etc.), auxquels il faudrait ajouter le chien et le chat, et une demi-douzaine d'oiseaux (poule, dinde, pintade, oie, canard domestique, canard musqué).

La première expérience de domestication aurait eu lieu il y a environ 12 000 ans chez des chasseurs-cueilleurs. Elle concerne le chien, issu du loup. Puis la domestication des

Tableau 5. — Aires d'origine des espèces sauvages ancêtres de nos animaux domestiques (d'après Chauvet et Olivier, 1993)

<i>Aire d'origine</i>	<i>Espèces domestiques</i>
Afrique	Pintade
Amérique du Sud	Canard de barbarie, cochon d'Inde, dindon
Asie	Faisan
Asie mineure	Mouton
Europe	Bœuf
Inde	Paon, poule
Moyen-Orient	Chien, chèvre, cheval

animaux d'emboche s'est effectuée dans un laps de temps assez court, un millénaire environ. La chèvre d'abord, domestiquée il y a environ 9 000 ans dans le Croissant fertile en Mésopotamie. Puis les moutons apparus il y a 8 500 ans au Proche-Orient. Enfin, il y a 8 000 ans, le bœuf qui serait originaire du Levant, et le porc du Proche-Orient. La domestication du cheval est plus tardive, et aurait débuté il y a 5 800 ans dans les grandes plaines au nord de la mer Noire. L'âne quant à lui n'apparaît avec certitude qu'il y a 5 000 ans dans la vallée du Nil et en Mésopotamie. La domestication du cheval a modifié profondément les pratiques des groupes humains qui l'ont adopté. Outil de travail, il a également révolutionné les transports, et la conduite de la guerre.

Pour chacune de ces espèces, la sélection naturelle combinée à une sélection opérée par l'homme en fonction de ses besoins a progressivement engendré de nombreuses races distinctes. Plus ou moins isolées géographiquement, elles se sont adaptées à l'altitude, aux climats, aux différences de végétation; elles ont développé des résistances particulières aux maladies. On compte ainsi environ 900 races de moutons, 800 de bovins, 600 de chèvres, 400 de porcs. L'Europe héberge 1 250 races d'animaux domestiques communs, soit plus d'un tiers de toutes les races du monde.

III. — **Biotechnologies**

On désigne sous le terme biotechnologie, 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.

La biotechnologie, comme procédé de modification du vivant, est une technique ancienne. L'homme a créé des races d'animaux et des variétés de plantes en recourant à des méthodes de croisement, d'hybridation et de sélection. Il a largement utilisé les techniques de fermentation dont les principes rejoignent ceux de la biotechnologie moderne. Les biotechnologies sont également utilisées depuis longtemps dans l'industrie alimentaire, qu'il s'agisse des arômes, des colorants ou des additifs.

Cependant, les méthodes apparues il y a environ vingt ans diffèrent radicalement des méthodes traditionnelles car elles consistent à transférer artificiellement du matériel génétique (un gène ou des séquences de gènes) dans un organisme vivant. De tels organismes contenant du matériel génétique artificiellement introduit, sont appelés « transgéniques ». On peut échanger de cette manière du matériel génétique non seulement entre variétés d'une même espèce ou espèces très proches, mais également entre groupes très différents sur le plan évolutif. Ils peuvent donc acquérir des propriétés qu'ils n'auraient probablement jamais pu acquérir dans la nature.

Le « génie génétique » est l'ensemble des concepts, méthodes et techniques permettant de modifier le patrimoine génétique héréditaire d'une cellule par la manipulation ou le transfert de gènes. On peut ainsi introduire ou supprimer certains caractères dans une cellule.

1. Biotechnologies et production alimentaire. — Pendant longtemps, pour créer de nouvelles variétés végétales et animales, les sélectionneurs ont exclusivement utilisé la reproduction sexuée. Dans ces conditions, la création d'une variété végétale requiert en moyenne de huit à dix ans, et il a fallu quinze ans pour introduire un gène de résistance à la

rouille dans le blé, ce caractère provenant d'une autre espèce (*Aeggylops*). Parfois les croisements sont impossibles.

De nouvelles techniques ont permis d'élargir l'éventail des possibilités, et d'obtenir un gain de temps appréciable en s'affranchissant de la reproduction sexuée et des mécanismes d'incompatibilité génétique. En effet, la détermination de la structure exacte des gènes, et la mise au point de techniques permettant d'isoler ces gènes, de les multiplier et de les réintroduire dans du matériel vivant, ont ouvert la voie à des possibilités accrues de manipuler le vivant. Le but poursuivi est d'attribuer rapidement et de manière ciblée, des propriétés nouvelles à l'espèce manipulée : résistance des plantes à certaines maladies, durée de conservation accrue des fruits et légumes, etc. En mai 1994, le premier fruit modifié génétiquement, une tomate transgénique baptisée MacGregor, a fait son apparition sur le marché américain après de longues années d'attente. Cette tomate, qui a été sélectionnée pour sa longue conservation, doit être suivie d'autres innovations génétiques : soja et coton résistants aux herbicides, courgettes résistantes à certains virus, etc. Très récemment, un riz transgénique résistant à la bactériose, maladie particulièrement néfaste à la culture de cette céréale en Afrique et en Asie, a été mis au point dans un laboratoire commun de l'ORSTOM et du Scripps Research Institute (USA). En Europe cependant, aucun organisme transgénique n'a obtenu jusqu'ici d'autorisation officielle de mise sur le marché.

L'amélioration se fait aussi au niveau de la qualité des produits : arôme, parfum, valeur nutritive, consistance, esthétique, colza donnant une huile de meilleure qualité, etc. On envisage également de sélectionner des plantes ayant de meilleures capacités de fixation de l'eau, ce qui pourrait transformer potentiellement les zones actuellement arides en jardins. De même, on peut rechercher des variétés résistantes aux basses températures. On peut également envisager de transférer des gènes animaux dans une plante pour lui conférer certaines caractéristiques. C'est ainsi qu'on a créé des plants de tabac résistants à certains insectes en incluant dans la plante une séquence d'ADN prove-

nant d'une bactérie. On peut penser qu'à terme, la biotechnologie aidera les agriculteurs à remplacer les techniques de cultures intensives par d'autres techniques nécessitant moins d'apports en pesticides et en engrais, tout en élargissant les aptitudes des plantes à résister aux facteurs de l'environnement.

Il est plus difficile de modifier des organismes multicellulaires complexes comme les vertébrés. Pourtant des souris transgéniques existent aujourd'hui. Elles sont utilisées comme modèle biologique expérimental pour améliorer nos connaissances sur les maladies humaines et leur évolution. La souris Myc-mouse a été créée en 1984 pour comprendre les mécanismes d'apparition du cancer du sein, et brevetée en 1988 aux États-Unis. Dans le domaine de l'élevage, on peut envisager de changer la qualité de la viande ou d'améliorer la lactation. Il est possible également de transférer des gènes humains contrôlant une hormone de croissance à des poissons, pour améliorer leurs performances en élevage. Mais on essaie également de rendre les organismes plus résistants à certains facteurs de l'environnement. Ainsi on tente d'insérer dans le patrimoine génétique du saumon atlantique, un gène de résistance au froid provenant de la plie rouge, un poisson de l'Antarctique. Si le transfert réussit, on pourra alors cultiver les saumons transgéniques dans les eaux froides du Canada ou de la Russie, y compris en hiver.

Les perspectives ouvertes dans le domaine de la production alimentaire sont donc importantes. Cependant, les produits alimentaire dérivés des organismes génétiquement modifiés, donne lieu à débat, pour des raisons éthiques (un végétarien doit pouvoir éviter les produits transformés par des gènes animaux), et pour des raisons de sécurité alimentaire.

2. Biotechnologies et procédés industriels. — Les micro-organismes sont utilisés traditionnellement pour la transformation et la conservation des denrées alimentaires, et jouent un rôle économique important dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique.

L'homme a très vite utilisé les potentialités des micro-organismes dans la préparation, la conservation et l'amélioration de sa nourriture (fromages), des ses boissons fermentées (bière, vins), et dans la production de certains textiles (rouissage du chanvre). Actuellement, l'exploitation des ressources génétiques des micro-organismes par les laboratoires de biotechnologies est en plein essor, comme outil du génie génétique modifiant de nombreux procédés de fabrication ou permettant l'élaboration de nouveaux produits. Ces dernières années, la maîtrise et l'exploitation commerciale des biotechnologies ont fait l'objet d'une âpre compétition entre les sociétés chimiques car la microbiologie industrielle est un secteur important de l'économie mondiale. Les micro-organismes utilisés représentent au plus quelques centaines d'espèces sur les quelque 100 000 existantes, et appartiennent essentiellement à quatre groupes : bactéries, actinomycètes, levures et moisissures.

Depuis les années 1970, la mise au point de la technique du génie génétique (recombinaison *in vitro* de l'ADN) a ouvert la voie à la production à l'échelle industrielle de substances biologiquement actives produites jusque-là à grands frais et en petites quantités. Dans le domaine de l'industrie pharmaceutique, les chercheurs savent cultiver des souches de bactéries et de levures qui contiennent des gènes d'êtres vivants, humains compris. Ainsi, l'insuline autrefois extraite des tissus du porc, s'obtient maintenant à partir d'une bactérie dans laquelle une copie du gène de l'insuline humaine a été introduite.

Les biotechnologies peuvent également jouer un rôle dans l'environnement. Ainsi, une souche bactérienne attaquant les hydrocarbures a fait l'objet d'un brevet, et d'autres agents antipollution ont déjà été utilisés pour l'élimination des déchets ou le recyclage des eaux usées.

3. Devenir des organismes génétiquement modifiés dans l'environnement. — Les scientifiques et les politiques sont préoccupés des risques éventuels pour l'environnement de la dissémination des Organismes génétiquement modifiés

(OGM) dans la nature, car une fois lâchés dans le milieu naturel, les OGM ne peuvent plus être maîtrisés. Les plantes transgéniques, par exemple, peuvent-elles modifier les écosystèmes dans lesquelles elles vivent, si les gènes greffés venaient à s'introduire sur d'autres variétés, voire d'autres espèces. Il est possible également que des plantes ou des animaux génétiquement modifiés, ayant acquis de nouvelles caractéristiques, deviennent des espèces envahissantes difficilement contrôlables au même titre que certains organismes exotiques, mais la prévision à long terme se révèle difficile.

Dans l'état actuel des connaissances, les risques ne peuvent être considérés comme négligeables, même si rien ne permet de certifier qu'il puisse y avoir des conséquences écologiques graves provenant de l'utilisation de plantes transgéniques. Selon une directive européenne de 1990, aucun produit contenant des OGM ne pourra être mis sur le marché sans avoir été soumis au préalable à des essais sur le terrain satisfaisants, dans les écosystèmes susceptibles d'être affectés par son utilisation.

IV. — Biodiversité et loisirs

La biodiversité est depuis longtemps un objet de récréation et de loisir. Cette valorisation tend à prendre une plus grande importance dans les pays développés.

1. **Plantes ornementales.** — L'industrie des plantes ornementales est particulièrement florissante, et de nombreuses espèces tropicales ont été introduites en Europe pour satisfaire la demande des collectionneurs ou la curiosité de particuliers. Le nombre d'espèces végétales cultivées à des fins ornementales est beaucoup plus élevé que celui des plantes à usage agricole. Ces plantes font l'objet d'innovations permanentes et de nouvelles espèces, issues de formes sauvages ou d'hybridations, sont régulièrement commercialisées.

Les plantes à caractère ornemental font également l'objet de nombreuses manipulations génétiques pour fournir

des souches plus attractives, aux fleurs plus belles ou plus grandes. On annonce l'apparition prochaine sur le marché de la rose bleue. Un gène responsable de la couleur bleue identifié chez le pétunia a été transféré chez la rose pour reproduire la teinte souhaitée. A quand la mythique tulipe noire dont rêvent les horticulteurs depuis des siècles !

2. **Commerce de plantes et d'animaux sauvages.** — Le commerce d'animaux vivants est important, que ce soit comme animaux d'agrément, ou pour les zoos, les aquariums, les travaux de recherche (primates), etc. (voir tableau 6). Certains produits comme l'ivoire, les écailles de tortue, les peaux de serpent ou de crocodile, les fourrures de nombreuses espèces de mammifères, les plumes d'oiseaux, etc., ont un usage décoratif et vestimentaire. Ces produits, dont le commerce a été à l'origine de massacres importants mettant en danger la survie de plusieurs

Tableau 6. — Quelques exemples
du marché de la vie sauvage
(animaux vivants ou produits issus d'animaux sauvages)¹

<i>Organismes</i>	<i>Nombre estimé d'individus commer- cialisés chaque année</i>	<i>Principaux pays exportateurs</i>
Primates vivants	50 000	Afrique centrale, Philippines
Oiseaux vivants	5 000 000	Argentine
Tortues vivantes	3 000 000	
Poissons vivants	600 000 000	Philippines
Cactus	8 000 000	Mexique
Orchidées	9 000 000	Chine, Indonésie, Thaïlande
Peaux de reptiles	10 000 000	Indonésie
Peaux de mammifères	15 000 000	Chine
Défenses d'éléphants	140 000	Hong Kong, Singapour

1. Source : TRAFFIC-USA, 1992.

espèces particulièrement recherchées, font l'objet d'un contrôle de plus en plus strict. Il en est de même pour ce qui est du marché engendré par les collectionneurs d'insectes ou de coquillages, qui recherchent les espèces rares, le plus souvent menacées de disparition si l'exploitation est trop importante.

Plus de 5000 espèces d'orchidées font l'objet d'un commerce international, de même que de très nombreuses espèces de cactus. Si nombre de ces espèces sont maintenant cultivées, une proportion importante est encore prélevée en milieu naturel et peut conduire localement à leur extinction.

Les poissons d'aquarium font également l'objet d'une forte demande d'amateurs européens ou nord-américains qui paient parfois des sommes très importantes pour des espèces rares.

3. **Écotourisme.** — La valorisation de la biodiversité, que ce soit par l'observation d'animaux sauvages ou l'attrait exercé par de beaux paysages naturels, est une source de revenus particulièrement importante pour certains pays ayant développé une politique de tourisme basée sur la valorisation de leur patrimoine naturel. Les voyageurs offrent de plus en plus de destinations vers des zones naturelles et des séjours axés sur les richesses de la nature, en particulier dans les pays en voie de développement qui offrent encore des milieux attrayants et nouveaux.

Cependant, on commence à réaliser que le tourisme est également responsable de problèmes écologiques partout dans le monde. Les parcs naturels, le trekking, attirent dans certains cas un nombre suffisamment important de visiteurs pour que l'on commence à s'inquiéter des conséquences de cette fréquentation sur la pérennité des sites. D'autre part, le tourisme peut créer une trop grande dépendance face aux revenus étrangers, donner lieu à un déplacement des systèmes de production traditionnels, accroître les disparités sociales.

Chapitre V

ENJEUX ÉCONOMIQUES DE LA BIODIVERSITÉ

Le fait marquant de ces dernières années est d'avoir pris conscience que la biodiversité était devenue un véritable enjeu industriel et commercial. Ce sont les retombées économiques que l'on peut attendre de la biodiversité, que ce soit sous forme de ressources naturelles, de molécules à usage pharmaceutique et/ou industriel, ou de gènes, qui furent au centre des discussions de la convention sur la biodiversité.

I. — Logiques économiques et logiques écologiques

L'affirmation d'une nécessaire protection de la biodiversité correspond à une évolution considérable de la réflexion économique. En effet, au début des années 1970, les économistes confrontés aux visions apocalyptiques du Club de Rome répondaient que le monde ne serait jamais à court de ressources, dans la mesure où les utilisateurs se tourneraient vers d'autres alternatives si la raréfaction d'une ressource consécutive à sa surexploitation, entraînait un accroissement important des prix. Or l'expérience a montré que la surexploitation des ressources naturelles pouvait conduire dans certains cas à la quasi-disparition de certaines composantes de la biodiversité. La régulation par le simple fait du marché n'est donc pas suffisante.

Économie de marché et écologie obéissent, de fait, à des logiques différentes. L'économie de marché privilégie une logique de productivité et de rentabilité maximales à court terme. Ainsi, dans le domaine agricole, la logique de la production a été de sélectionner quelques variétés à haut rendement qui nécessitent le plus souvent des apports en engrais et en pesticides, et d'abandonner les variétés moins productives, quoique mieux adaptées aux conditions locales. De même, pour rentabiliser les investissements, les prélèvements sur les ressources naturelles sont parfois bien supérieurs aux capacités du milieu. C'est ce que l'on observe parfois dans le domaine de la pêche, ou dans celui de l'exploitation des forêts tropicales.

Au contraire, la logique de l'écologie suppose la prise en compte du long terme, et le maintien de la diversité des écosystèmes. En ce qui concerne l'exploitation des ressources vivantes, il faut imposer des limites aux prélèvements pour maintenir une production équilibrée et ne pas compromettre les capacités de renouvellement à long terme de la ressource. Mais simultanément, il faut maintenir la qualité des écosystèmes afin que les espèces puissent continuer à s'y reproduire et à y prospérer.

Il y a donc interdépendance entre la dynamique des systèmes économiques et la dynamique des systèmes écologiques dans lesquels ils se situent. La relation entre l'importance de l'activité économique et la nature des changements dans les systèmes écologiques est d'autant plus marquée que la croissance économique s'effectue aux dépens de l'environnement et des ressources naturelles. Une analyse socio-économique de la biodiversité doit donc prendre en compte l'analyse des conséquences de la dégradation de la biodiversité sur les systèmes économiques, au même titre que l'impact des systèmes économiques sur la biodiversité.

II. — Donner un prix à la biodiversité

Les gestionnaires et les responsables politiques recherchent une légitimation de leur action via des instruments

économiques. Dans un contexte d'incertitude, de manque d'accord sur des principes éthiques, et de conflits d'intérêts, le langage économique apparaît à la fois comme un instrument de négociation, et une garantie de neutralité pour guider la décision. Les économistes jouent les médiateurs entre les écologistes et les décideurs. Ils sont sollicités par l'ensemble des acteurs pour faire émerger une norme environnementale, soit par la création de méthodes d'évaluation pour des biens jusque-là externes au marché, soit pour chiffrer les coûts et avantages liés à la protection de l'environnement, soit pour mettre en place des mécanismes incitatifs destinés à changer les comportements ou des appareils juridiques visant à favoriser la « marchandisation du vivant ».

1. Valeur de marché et coût social. — Il est utile de distinguer la valeur que des individus privés accordent à la diversité biologique, et la valeur qu'elle représente vis-à-vis de l'ensemble de la société. La valeur « privée » correspond à des usages directs tels la satisfaction de besoins de consommation, de production ou de commercialisation. La valeur des ressources peut être estimée de manière approximative par le prix du marché, et cette question ne pose pas de problèmes fondamentaux. La valeur « sociale » est par contre beaucoup plus complexe à définir et à évaluer. Elle correspond en théorie aux services directs et indirects fournis par la biodiversité à tous les membres de la société. Ce sont par exemple l'épuration des eaux, la régulation du cycle hydrologique, la production d'oxygène... C'est ce qui pose problème aux économistes car si l'on peut identifier les bénéfices d'usage direct et les mesurer, on a par contre beaucoup de difficultés à estimer les bénéfices d'usage indirect correspondant aux services rendus par les écosystèmes qui ne peuvent être évalués ni contrôlés par le prix du marché, ainsi que ce qui correspond aux valeurs sociales et éthiques que la collectivité attache à la préservation de la biodiversité.

Le véritable enjeu économique dans la gestion de la biodiversité est de pouvoir comparer les bénéfices prove-

nant de l'exploitation des ressources par des individus ou des sociétés, aux véritables coûts sociaux résultant de la perte éventuelle de la diversité des organismes et des écosystèmes. Le profit à court terme peut être important pour ceux qui exploitent le milieu naturel à titre privé, mais, de manière indirecte, coûter globalement beaucoup plus cher à long terme à la société. Or, le plus souvent, ceux qui exploitent ne fournissent pas de compensations économiques à ceux qui sont amenés à subir les conséquences des modifications apportées au milieu.

Prenons un exemple pour illustrer la complexité des interactions entre valeur de marché et coût social. Nous n'achetons pas l'air pur au propriétaire d'une forêt, ni l'eau pure au propriétaire d'une zone humide dont le pouvoir épurateur est bien connu. Il y a deux conséquences à cela :

- Les services rendus par ces écosystèmes en fournissant l'air ou l'eau pure n'apparaissent pas dans les prix du marché. On peut donc avoir l'impression que ces services n'ont aucune valeur.

- En conséquence, les propriétaires qui ne reçoivent aucune compensation économique pour les services fournis par ces écosystèmes ne sont pas incités à les préserver. Leur intérêt privé, au contraire, est de rentabiliser leur investissement sous une forme différente, par exemple couper le bois ou drainer la zone humide pour la transformer en terre agricole.

- Les effets induits du drainage des zones humides à des fins agricoles, généralisé sur une grande échelle, peuvent être une détérioration de la qualité de l'eau trop chargée en nitrates et pesticides, qui nécessite la construction de stations d'épuration pour être consommée. Ces ouvrages ont un coût de construction et d'entretien qui est à la charge de la société, non du propriétaire des terres qui ont été transformées. Il peut y avoir également, de manière indirecte, disparition des animaux associés aux zones humides, et perte d'intérêt touristique pour la région.

Le prix du marché, qui ne tient pas compte des effets secondaires consécutifs à une surexploitation ou à un mauvais usage des ressources, est donc un mauvais indica-

teur du coût social. C'est pourquoi certains économistes proposent de mieux prendre en compte ces effets externes au marché, encore appelés externalités, et de faire participer les utilisateurs des ressources au coût social de leur activité, en contribuant, par exemple, au financement d'opérations de protection de la biodiversité. Cette question est parfois présentée sous la formule « internaliser les externalités », qui signifie qu'il est nécessaire dans un système de production de mieux prendre en compte les responsabilités de chacun et notamment les effets induits de l'exploitation, pour élaborer les prix du marché.

2. Valeur d'usage, valeur d'existence, valeur écologique.

— Pour de nombreux économistes, l'évaluation de la valeur économique de la diversité biologique, y compris les ressources génétiques, s'inscrit dans le cadre d'une analyse coûts-avantages qui est un outil de décision : face à un choix, elle permet de sélectionner les différentes options possibles et de définir un optimum économique. Pour adapter cette analyse coûts-avantages au cas de la biodiversité, les économistes ont été amenés à définir une typologie des valeurs.

On reconnaît ainsi des *valeurs d'usages* qui s'appliquent à l'utilisation de la biodiversité :

- La *valeur de consommation directe* correspond à la consommation des produits des activités de chasse, de pêche et de cueillette qui représentent plus de 75% des protéines alimentaires dans de nombreux pays tropicaux. Il faut également inclure dans cette catégorie, le commerce international d'espèces sauvages, dont le chiffre d'affaires serait de l'ordre de 5 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 le tourisme, la pêche sportive, l'observation des oiseaux, etc., qui entraînent des dépenses en transport et en hébergement. Son estimation est difficile mais le chiffre d'affaire est loin d'être négligeable, notamment dans les pays qui ont encouragé l'écotourisme et valorisé leurs parcs naturels.

• La *valeur productive* 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 que quelques centaines, voire quelques milliers d'espèces.

La *valeur écologique* s'applique à caractériser le rôle joué par les espèces et les écosystèmes dans les grands équilibres biologiques, au niveau régional ou de la biosphère. Il s'agit de prendre en compte les fonctions écologiques assurées par la diversité biologique. Certains types de milieux naturels ont également des fonctions bien identifiées. 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 ou pour de nombreux oiseaux.

La *valeur de non-usage*, ou valeur de préservation, reconnaît que la valeur des actifs naturels ne dépend pas seulement de leur usage immédiat¹. On distingue divers concepts de valeur de non-usage :

• Le *prix d'option* mesure le consentement à payer pour la préservation de la biodiversité en vue d'un usage futur. Il s'agit d'une option par laquelle on reconnaît que la conservation d'une espèce encore non exploitée, pourrait se révéler économiquement intéressante dans l'avenir. Les nouvelles techniques biologiques maintenant disponibles, comme le transfert de gènes, permettent de mieux exploiter les richesses génétiques sauvages et il n'est pas impossible que des techniques encore plus performantes voient le jour, permettant d'autres valorisations de la biodiversité.

1. M. Willinger, *Nature, Sciences, Sociétés*, 1996, n° 4, p. 8-9.

● On parle également de « *valeur d'existence* » qui mesure le consentement à payer pour la préservation d'espèces et d'écosystèmes sans utilité apparente, mais qui présentent un intérêt symbolique ou attractif pour la société. Il se traduit par exemple par des dons lors de campagnes pour la sauvegarde des espèces, ou par des 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 que l'on ne verra peut-être jamais, et bien entendu au bien-être économique et à l'information de la personne interrogée.

On comprend que le souci de quantifier la biodiversité en termes monétaires, plus facilement accessibles aux décideurs que des considérations éthiques ou écologiques, se heurte à des problèmes méthodologiques importants. Les économistes ne sont pas tous d'accord, loin s'en faut, sur la démarche. Les incertitudes sont nombreuses, en particulier en ce qui concerne l'utilité future de la biodiversité. Sur le plan économique, la détermination des valeurs d'usage est difficile, celle de la valeur écologique est pour l'instant impossible. Quant aux valeurs d'existence et d'option, elles nécessitent de recourir par exemple à l'analyse contingente et aux techniques de sondage pour estimer le consentement à payer du consommateur final, ce qui est lourd à mettre en œuvre et présente des risques de biais importants. Dans la pratique, les résultats fournis par l'analyse économique restent encore très limités et, utilisée seule, elle ne permet pas d'orienter les stratégies de préservation. Elle présente néanmoins l'avantage de proposer un cadre de réflexion et d'attirer l'attention des gestionnaires sur des fonctions économiques de la biodiversité qui n'étaient pas souvent prises en compte jusqu'ici dans les projets de développement. Elle constitue alors un élément d'un processus décisionnel intégrant d'autres approches telles que les aspects moraux, culturels, et politiques.



Photo 4. — L'éléphant est un des grands mammifères actuellement menacés dans leur milieu naturel, car les populations ont fortement régressé au cours des dernières décennies. Il est chassé pour le commerce de l'ivoire, mais également à cause des dégâts qu'il cause aux cultures. C'est une des espèces emblématiques pour lesquelles les organisations de protection de la nature ont mobilisé l'opinion internationale (photo C. Lévêque).

III. — Monnayer l'accès aux ressources génétiques

L'accès et l'utilisation des ressources biologiques ont été l'enjeu central de la Convention sur la diversité biologique. Il s'agit non seulement des gènes des espèces sauvages des plantes cultivées, qui sont pour la plupart d'origine tropicale, mais également de diverses molécules à usage pharmaceutique ou industriel.

Pour l'industrie des biotechnologies qui développe actuellement des techniques permettant de transférer des gènes entre espèces différentes, la nature est une grande « librairie génétique ». Les industriels ont réclamé un libre accès à ces ressources biologiques, c'est-à-dire aux « ma-

tières premières» génétiques. Par contre, dans les pays du Sud, la biodiversité a pu apparaître comme un grand réservoir de gènes que les industriels allaient breveter et revendre avec grand profit. Les espèces sauvages pourraient ainsi acquérir une valeur économique par le simple fait des gènes qu'elles contiennent et qui seraient potentiellement utilisables pour faire évoluer le patrimoine génétique des plantes cultivées et des animaux domestiques.

Le débat porte principalement sur la répartition des bénéfices qu'il sera possible de tirer de l'utilisation des ressources génétiques grâce aux biotechnologies. De fait, en moins d'une décennie, le statut des ressources phylogénétiques a profondément changé. En 1983, l'Engagement international négocié par la FAO, reconnaissait qu'il s'agissait d'un « patrimoine commun de l'humanité, librement accessible dans l'intérêt des générations futures ». Mais les pays du Sud qui hébergent une majeure partie de la biodiversité mondiale, et qui estiment avoir fourni un grand nombre de ressources génétiques, sans réelles contreparties, remettent en cause le libre accès aux ressources génétiques, considéré comme un marché de dupes puisque les industriels vont breveter et revendre avec grand profit des ressources prélevées gratuitement sur leur sol.

Il n'est donc plus question d'appliquer la notion de patrimoine commun de l'humanité, mais de monnayer l'accès aux ressources biologiques afin d'en tirer également des profits. Chaque pays peut, sur la base d'un simple contrat, confier à une entreprise privée le soin d'explorer, puis éventuellement d'exploiter, ses ressources biologiques. On évolue donc vers le cadre classique de la souveraineté nationale sur les ressources naturelles, et vers un mode de fonctionnement économique calqué sur le mode d'exploitation-production du secteur pétrolier¹. On parle parfois dans ce dernier cas de contrats de « bioprospection ».

1. M. A. Hermitte, La gestion d'un patrimoine commun : l'exemple de la diversité biologique, p. 120-128, in M. Barrère (éd. sc.), *Terre, patrimoine commun*, Paris, La Découverte, 1992.

Une expérience basée sur ces principes est en cours au Costa Rica qui a transformé 25 % de son territoire en réserves naturelles. La firme pharmaceutique américaine Merck a passé un accord avec l'Institut national de la biodiversité du Costa Rica (INBIO), organisation nationale privée à but non lucratif créée en 1989 et chargée, en accord avec le gouvernement, de l'inventaire des espèces sauvages. 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. INBIO reverse 50 % des droits perçus au Parc national du Costa Rica pour financer des actions de conservation. On évolue donc vers le cadre classique de l'échange de matières premières contre de l'argent et des techniques, et vers un mode de fonctionnement économique calqué sur le mode d'exploitation-production du secteur pétrolier.

IV. — Droits de propriété intellectuelle

La question de la propriété a deux aspects distincts : les droits de propriété sur les ressources génétiques (propriété physique) et les droits sur les contributions intellectuelles à la mise en œuvre de la ressource (propriété intellectuelle). Autrefois ces droits de propriété intellectuelle ne portaient que sur les innovations effectuées par les sélectionneurs et les industriels de la chimie ou de la pharmacie. Actuellement, on estime que le travail de générations d'agriculteurs ayant créé et entretenu les variétés traditionnelles doit être reconnu. On évolue donc vers une double reconnaissance : celle des droits des obtenteurs d'un brevet pour une exclusivité de la vente d'une variété spécifique de plante cultivée, et celle des droits des agriculteurs qui correspond à la contribution des communautés locales dans la création et le maintien des ressources génétiques. Alors que pour les agriculteurs on peut considérer qu'il s'agit d'une forme de compensation, les pays industrialisés

avancent de leur côté que les droits de propriété intellectuelle sont un stimulant nécessaire à l'innovation.

1. Reconnaissance des droits des agriculteurs. — La révision de l'Engagement international sur les ressources phylogénétiques, conduite sous l'égide de la FAO, fait une large part au concept de « droits des agriculteurs » qui reconnaît la contribution considérable, présente et passée, des agriculteurs et des communautés rurales dans le domaine de la création, de la préservation et de la distribution des ressources génétiques. Le concept de droit des agriculteurs a été développé pour remédier au déséquilibre des rapports de force entre l'accès gratuit aux ressources phylogénétiques et les droits exclusifs sur les nouvelles variétés conférés aux industriels du nord. En vertu de ce concept, les ressources génétiques sont accessibles, mais en revanche, les agriculteurs et les communautés locales, notamment dans les pays en développement, doivent être rémunérés pour leurs contributions à la conservation, l'amélioration et la disponibilité des ressources biologiques. Cette rémunération doit être au moins égale à celle des sélectionneurs qui touchent des droits sur les plantes obtenues.

Dans cet esprit, le Fonds international pour les ressources génétiques dont la création est envisagée a pour objet de permettre l'application de ce concept de droit des agriculteurs. Il doit apporter une compensation à ceux qui ont fait don de plasma germinatif à la communauté internationale en mettant à leur disposition des technologies et les fonds nécessaires à la préservation et à l'utilisation des ressources génétiques dont ils disposent.

2. Brevets sur le vivant : un débat ouvert. — Les progrès rapides du génie génétique ont encouragé le secteur des biotechnologies à prendre des brevets sur les organismes vivants, communément appelés « brevets sur le vivant ». La protection par les brevets est un moyen de protéger et de faire reconnaître, comme leur propriété intellectuelle, des variétés ou des produits mis au point le plus souvent

après d'importants investissements. Pour certains, c'est également un moyen de stimuler l'innovation.

L'évolution récente du droit des brevets dans les pays développés a rendu possible de breveter des gènes et des organismes vivants. Jusque dans les années 1970, il était admis que les organismes n'étaient pas brevetables, dans la mesure où ils étaient assimilés à des produits de la nature. Néanmoins, les États-Unis dans le « Plant Patent Act » avaient été les premiers dès 1930 à protéger par des brevets les plantes reproduites par voie végétative. En 1977 un juge américain admet la brevetabilité d'un micro-organisme génétiquement modifié, et en 1980 la Cour suprême des États-Unis affirme que la distinction entre l'animé et l'inanimé n'est pas opératoire en droit des brevets : tout ce qui peut être créé de la main de l'homme est brevetable. Cette décision est à l'origine de la reconnaissance explicite de la brevetabilité des organismes vivants. En 1985 les États-Unis acceptent la brevetabilité d'un maïs, puis d'une huître en 1987, et d'une souris transgénique en 1988. En 1988 également l'Office européen des brevets accepte la brevetabilité des végétaux, puis en 1992, la brevetabilité d'une souris transgénique ayant acquis divers gènes du cancer. On admet ainsi que tout être vivant, à l'exception de l'homme, est brevetable pour peu qu'il soit le produit d'interventions qui satisfassent les conditions de brevetabilité : nouveauté, activité inventive, applicabilité industrielle.

Ces décisions ont été précédées de longs débats, qui se poursuivent actuellement, autour de la notion philosophique de bioéthique¹. Il est nécessaire en effet de préciser les limites de la brevetabilité, notamment en ce qui concerne l'être humain. Mais dans ces discussions, il semble que l'on ait trop souvent confondu éthique et protection juridique. Le brevet n'est pas une licence d'exploitation, mais une garantie que l'invention brevetée ne sera pas reproduite sans l'accord de l'inventeur. La réelle question est de

1. M. A. Hermitte, L'animal à l'épreuve du droit des brevets, *Nature, Sciences, Sociétés*, 1993, n° 1.

savoir si l'on doit ou non réglementer les recherches, car l'interdiction de breveter n'empêche pas actuellement la poursuite de ces recherches, ni l'utilisation et la diffusion d'organismes génétiquement modifiés dans la mesure où les travaux non divulgués ne sont pas sanctionnés¹. En bref, le refus d'accorder des brevets, en encourageant le secret, risquerait d'avoir pour effet de ne plus permettre aucun contrôle sur les produits issus des manipulations génétiques. Cependant, le courant majoritaire qui considère que les choix éthiques d'une société ne doivent pas être effectués au sein du droit des brevets mais dans des législations spécifiques est discutable, car il peut avoir pour conséquence de dresser la société civile contre l'industrie.

1. Voir A. Gallochat, Peut-on breveter le vivant ? *La Recherche*, janvier 1994.

Chapitre VI

CONSÉQUENCES DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LA BIODIVERSITÉ

Pour être efficace, une stratégie de conservation de la biodiversité doit essayer de remédier, dans toute la mesure du possible, aux causes de son érosion qui intervient à un rythme apparemment sans précédent. Sinon les actions entreprises risquent d'être inutiles et dispendieuses. Les mécanismes qui conduisent à cette érosion sont assez bien connus, et résultent le plus souvent de la manière dont l'homme use et abuse de son environnement. Mais les causes profondes sont complexes et plongent leurs racines dans le système économique mondial, des structures sociales inadaptées, et l'insuffisance de moyens législatifs et institutionnels.

I. — Appauvrissement de la diversité biologique : que savons-nous ?

Parler de destruction de la biodiversité, et mobiliser la communauté internationale autour de ce problème majeur d'environnement, implique que l'on soit capable d'apporter des éléments quantitatifs afin d'estimer l'ampleur du phénomène. Il faut donc se donner les moyens et les outils qui permettent de surveiller l'état de la diversité biologique, y compris et surtout à la suite de mesures qui pourraient être prises en vue de sa conservation.

1. Statut des espèces et livres rouges. — Le concept de « livre rouge » (ou Red Data Book) a été créé par l'UICN¹. Il s'agit d'attirer l'attention sur les espèces dont l'existence

1. Autrefois « Union internationale pour la conservation de la nature » ; actuellement « Union mondiale pour la nature ».

est menacée à court ou moyen terme, et d'en dresser la liste. De manière à évaluer le degré de vulnérabilité des espèces, et donc d'identifier des priorités éventuelles en termes de conservation, l'UICN a élaboré une classification largement utilisée¹ :

- *espèces disparues* pour lesquelles il n'y a eu aucune observation en milieu naturel depuis une période significative par rapport au groupe concerné ;
- *espèces en danger* ou en voie de disparition. Ce sont les espèces disparues d'une grande partie de leur aire d'origine, dont les effectifs sont réduits à un seuil critique, et dont la survie est peu probable si les causes responsables de la régression persistent ;
- *espèces vulnérables* dont les effectifs sont en forte régression, et qui risquent de passer dans la catégorie précédente si les facteurs défavorables persistent ;
- *espèces rares* qui ne sont pas immédiatement menacées, mais dont l'abondance est faible et la répartition géographique limitée, ce qui les rend vulnérables ;
- *espèces au statut indéterminé* : les informations sont insuffisantes pour préciser le statut.

De nombreux bilans ont ainsi été réalisés un peu partout dans le monde, dont l'inventaire des espèces menacées en France² qui est un « livre rouge » faisant l'état de nos connaissances sur la situation des différents groupes animaux, en identifiant les causes et les conséquences des menaces qui pèsent sur chacune des espèces en danger.

2. A quelle vitesse les espèces disparaissent-elles ? — Certains scientifiques, ainsi que des organisations de conservation de la nature, ont beaucoup insisté sur la destruction irrémédiable de millions d'espèces dans les décennies à venir afin de promouvoir l'idée d'une nécessaire protection de la biodiversité. Des chiffres très alarmistes ont

1. UICN : Red List of threatened animals, 1990.

2. *Le livre rouge. Inventaire de la faune menacée en France*, Nathan, Muséum national d'Histoire naturelle, Fonds mondial pour la nature (WWF-France), 1994.

ainsi été avancés, indiquant que 5 à 25% des espèces étaient menacées à moyen terme¹. Si les faits sont exacts, ils sont impressionnants. Mais la rigueur oblige à dire que tous ces chiffres ne sont que des extrapolations parfois hasardeuses et qu'il est impossible actuellement de fournir des données générales précises et irréfutables sur le présent, et encore moins sur le futur.

Même si l'érosion de la biodiversité pose quelques problèmes d'évaluation aux scientifiques, nous avons au moins une certitude : les milieux naturels sont actuellement fortement sollicités et disparaissent à une vitesse inquiétante dans de nombreuses régions du monde, ainsi que les espèces qui leurs sont inféodées. Nous avons égale-

Tableau 7. — Les espèces actuellement menacées de vertébrés en France métropolitaine, ainsi que les disparitions et introductions depuis le Moyen Age

	<i>Nombre total d'espèces</i>	<i>Espèces en danger</i>	<i>Espèces vulnérables</i>	<i>Espèces reproductrices disparues depuis 1850</i>	<i>Disparitions depuis le Moyen Age</i>	<i>Introductions depuis le Moyen Age</i>
Mammifères	116	9	15	3	7	10
Oiseaux	276	22	29	2	4	6
Reptiles	36	2	4	1	1	1
Batraciens	30	3	8	0	0	3
Poissons d'eau douce	75	2	15	2	2	15
Total	531	38	71	8	14	35

Source : Secrétariat Faune Flore.

1. Voir B. Groombridge (éd.), *Global Biodiversity. Status of the earth's living resources*, Londres, Chapman et Hall, 1992 ; N. Myers, Questions of mass extinction, *Biodiversity and Conservation*, 1993, n° 2, p. 2-17.

ment, pour certains groupes zoologiques, des bilans relativement précis. Ainsi, la faune des vertébrés de France métropolitaine compte 531 espèces qui se reproduisent sur le territoire. On estime que 109 de ces espèces, sont actuellement menacées (tableau 7). Parmi les mammifères, ce sont surtout les grands carnivores, les cétacés et les chauves-souris. Chez les oiseaux ce sont les rapaces et les grands échassiers, alors que chez les poissons, les grands migrateurs comme le saumon ou l'esturgeon ont disparu de nombreux cours d'eau.

Au niveau mondial, on estime que 654 espèces végétales et 484 espèces animales, dont 58 espèces de mammifères et 115 espèces d'oiseaux, ont disparu depuis le début du XVII^e siècle¹. Parmi les animaux, 75% des extinctions ont eu lieu dans les îles. Mais de nombreuses autres espèces sont actuellement menacées dans le monde (voir tableau 8).

Tableau 8. — Estimation du nombre d'espèces menacées dans le monde

<i>Groupes menacés</i>	<i>Espèces en danger</i>	<i>Espèces vulnérables</i>	<i>Espèces rares</i>	<i>Statut indéterminé</i>	<i>Total</i>
Mammifères	177	199	89	68	533
Oiseaux	188	241	257	176	562
Reptiles	47	88	79	43	257
Amphibiens	32	32	55	14	133
Poissons	158	226	246	304	934
Invertébrés	582	702	422	941	2 647
Plantes	3 632	5 687	11 485	5 302	26 106

Source : Global Biodiversity Assessment, 1995.

Les chiffres indiqués dans le tableau 8 doivent être considérés comme des estimations minimales. En effet, le statut d'une espèce ne peut être évalué que dans la mesure où l'on s'y intéresse et de nombreuses espèces disparaissent probablement dans l'anonymat, surtout lorsqu'elles appartiennent à des groupes peu connus ou peu attractifs, ou

1. Source : *Global Biodiversity Assessment*, 1995, *op. cit.*

plus difficiles à inventorier. Ainsi, on connaît beaucoup mieux le statut des mammifères que celui des poissons chez les vertébrés. Il est donc tout à fait vraisemblable que le nombre d'espèces menacées est largement supérieur à celui qui est pour l'instant inventorié. Les espèces endémiques¹ en particulier sont les plus menacées par la destruction des habitats naturels, et toutes ne sont pas encore répertoriées.

II. — Les mécanismes de l'érosion de la biodiversité

C'est dans les activités humaines que résident les causes principales de l'appauvrissement de la diversité biologique. En ce qui concerne les animaux, on estime que la destruction des habitats, la surexploitation, et les introductions d'espèces, contribuent chacune pour environ un tiers des extinctions connues d'espèces. Pour les végétaux, la transformation des terres joue un rôle majeur.

1. La **transformation des terres** est certainement l'une des causes les plus importantes d'érosion de la biodiversité. Les fronts pionniers, c'est-à-dire le recul de la forêt devant l'expansion des activités agricoles, est un des principaux facteurs de déforestation. C'est en grande partie la conséquence de la croissance démographique qui oblige les sociétés à rechercher de nouvelles terres agricoles au détriment des milieux naturels, et entraîne également une consommation plus importante des ressources. La réduction des forêts mondiales est symptomatique. De 1700 à 1980 on a calculé qu'environ 12 millions de kilomètres carrés (soit 20% de forêts) ont disparu au profit des terres cultivées, et cette érosion s'est accélérée depuis 1980. Les seules forêts tropicales humides ne représentaient plus que 8 millions de kilomètres carrés en 1990, soit la moitié de la superficie qu'elles occupaient durant la préhistoire². Au

1. On dit d'une espèce qu'elle est endémique lorsque sa répartition est limitée à une aire géographique particulière.

2. Selon Wilson (1993), la destruction des forêts tropicales humides serait équivalente à la superficie d'un terrain de football toutes les secondes.

Tableau 9. — Estimation de la surface des forêts et autres terres boisées et du taux de changement annuel entre 1980 et 1990, par région géographique

Régions	État 1990	Changements annuels 1980-1990	
	10 ³ ha	10 ³ ha	% annuel
Europe	194 943	190,8	0,13
Ex-URSS	941 530	51,3	0,01
Amérique du Nord	749 289	- 316,5	- 0,11
Afrique	1 136 676	- 2 828	- 0,26
Asie-Pacifique	660 270	- 999	- 0,6
Amérique latine	1 259 717	- 6 047	- 0,5

Source: FAO, 1995.

Brésil il ne reste que 2% de la forêt atlantique qui recouvrait autrefois une bonne partie de l'état de São-Paulo, et Madagascar n'a plus que 17% de ses forêts primitives.

La construction de grands barrages et le drainage des zones inondées ont eu également des impacts importants sur les milieux aquatiques en détruisant des habitats. Par exemple les détournements d'eau pour l'irrigation ont été à l'origine de l'assèchement partiel de la mer d'Aral et de sa salinisation. Aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne, moins de 4% des tourbières sont restées indemnes. En France, le marais poitevin a perdu plus de la moitié de ses prairies humides depuis les années 1970 et la Camargue, près de 40% des milieux naturels depuis les années 1950. Dans les Dombes, on comptait 2 000 étangs en 1850, couvrant une superficie de près de 20 000 ha. Ce système, bien que complètement modifié, restait néanmoins biologiquement riche. Il a été transformé récemment avec l'assèchement et la mise en culture de près de 60% des étangs. Les politiques d'assainissement et de lutte contre la malaria ont suscité également une régression spectaculaire des marécages en Europe. Cette régression généralisée des zones humides est à l'origine de la signature de conventions internationales, comme la convention de Ramsar, pour la

protection de ces milieux, de leur flore et de leur faune, notamment les espèces d'oiseaux migrateurs qui utilisent les zones humides comme aires de repos et d'alimentation.

Dans les écosystèmes agricoles également, les opérations de remembrement liées à des pratiques agricoles extensives ont conduit à détruire les haies qui délimitent les champs, et à réduire la diversité des habitats. Les pratiques traditionnelles de gestion des milieux naturels se perdent également et, dans de nombreux cas, ne sont plus adaptées de toute manière à une société en forte croissance démographique qui a de nouveaux besoins.

La superficie des écosystèmes non perturbés a donc diminué de manière spectaculaire au cours des dernières décennies. Un facteur d'inquiétude supplémentaire est le morcellement des habitats qui a des conséquences sur la diversité biologique. En effet, la théorie écologique prévoit une réduction de la richesse spécifique avec la diminution de la surface de l'habitat et certaines espèces ont besoin par ailleurs de domaines vitaux importants qui ne sont pas toujours compatibles avec la fragmentation des habitats.

2. La **surexploitation des espèces** animales et végétales a également provoqué la disparition ou la raréfaction de nombreuses espèces. Plusieurs espèces de vertébrés terrestres ont ainsi été affectées (bisons, grands pingouins, quelques espèces de baleines, etc.). Les collectionneurs à la recherche d'espèces rares ont participé à cette destruction et certaines espèces d'orchidées ou de papillons ont pratiquement disparu. L'industrie du vêtement a également été grande consommatrice de peaux, ce qui a été à l'origine d'une chasse excessive. Des espèces comme le rhinocéros ont été mises en grand danger d'extinction à cause du marché de leur corne, supposée avoir des propriétés aphrodisiaques. Le commerce international d'espèces sauvages est également responsable de la disparition de nombreuses espèces. On a calculé que 40 % des espèces de vertébrés menacées d'extinction le sont en raison de la chasse à destination de marché internationaux : baleine bleue, rhinocéros, tigre, grizzli, etc.



Photo 5. — La jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes*, plante aquatique aux jolies fleurs bleues originaire d'Amérique du Sud, est très appréciée comme plante d'ornement pour décorer les bassins. Elle a été introduite en divers endroits du monde où elle a proliféré au point de devenir l'une des plus grandes pestes, couvrant d'importantes surfaces lacustres, éliminant les espèces natives, inhibant la pénétration de la lumière, et bloquant les turbines des barrages ou la navigation (photo C. Lévêque).

La course à la rentabilité en matière de pêche est à l'origine de l'utilisation de gigantesques filets dérivants qui capturent non seulement les espèces recherchées, mais également de grandes quantités d'espèces non-cibles comme des mammifères, des poissons, des oiseaux, etc.

Les prélèvements en bois de feu et bois d'œuvre sur les massifs boisés avoisineraient respectivement 2 et 1,6 milliard de mètres cubes dans le monde. Plus de 80% de ces

prélèvements sont effectués dans les pays en voie de développement pour des usages essentiellement domestiques, sachant que le bois est le seul combustible disponible dans beaucoup de ces pays. L'exploitation de bois industriel est une des causes principales de la déforestation en Asie, mais reste encore limitée en Afrique (4% de la production mondiale). En réalité, et contrairement à des idées reçues, ce sont les pays industriels comme le Canada, les États-Unis, l'Europe, l'ex-URSS, où les forêts sont gérées, qui produisent plus des deux tiers du bois rond industriel.

3. Les **introductions d'espèces** sont responsables de nombreuses extinctions d'espèces autochtones, en particulier dans les milieux insulaires et les écosystèmes aquatiques continentaux. L'introduction dans le lac Victoria au cours des années 1960 du « capitaine », poisson prédateur de grande taille, a largement contribué à la disparition d'environ 200 espèces de poissons cichlidés endémiques du lac Victoria¹. L'introduction des lapins et des renards en Australie a eu des effets dramatiques sur la faune locale, dont l'élimination de certaines espèces. De nombreux autres exemples prouvent que l'introduction de prédateurs ou d'agents pathogènes d'origine exotique² a été à l'origine de la disparition d'espèces indigènes.

4. Les **pollutions** des sols et de l'eau perturbent également les écosystèmes et peuvent réduire ou éliminer des populations d'espèces sensibles. L'exemple du DDT, dans les années 1960, a montré que les consommateurs animaux en fin de chaîne trophique étaient sérieusement intoxiqués en raison de l'accumulation de la substance toxique dans la chaîne alimentaire. Il ne faut pas ignorer les effets secondaires de la pollution atmosphérique. Ainsi, les pluies acides ont stérilisé de nombreux lacs en Scandinavie et en Amérique du Nord, et endommagé les forêts dans toute l'Europe.

1. Voir F. Witte *et al.*, Species extinction and concomitant ecological changes in Lake Victoria, *Netherland Journal of Zoology*, 1992.

2. Une espèce exotique est une espèce étrangère à une région biogéographique dans laquelle elle a été introduite, volontairement ou non.

5. L'intensification de l'agriculture. — Dans le domaine agricole la tendance est à l'homogénéisation des systèmes de production. De vastes superficies sont plantées avec des variétés à haut rendement (monoculture) ce qui nécessite d'avoir recours à des intrants coûteux tels que l'irrigation, les engrais, et les pesticides pour maximiser la production. Les variétés locales traditionnelles de plantes cultivées, moins productives mais souvent mieux adaptées aux conditions locales, sont marginalisées et certaines ont définitivement disparu. Il en est de même pour les divers systèmes agricoles qui existaient depuis longtemps et qui font place à des systèmes intensifs standardisés. Ces pratiques ont des conséquences directes sur l'environnement, comme la contamination des eaux par les nitrates, mais également la disparition des haies pour favoriser l'utilisation des engins mécaniques. Les herbicides, souvent nécessaires à la croissance des cultivars modernes, ont éliminé de nombreux parents sauvages, ainsi que de nombreuses espèces accompagnatrices. Le bleuet et, dans une moindre mesure, le coquelicot sont ainsi devenus rares dans nos campagnes.

Dans le domaine de l'élevage, le problème à l'heure actuelle n'est pas la disparition des espèces domestiquées, mais la perte de la diversité des races au sein des espèces. En France, la loi sur l'élevage de 1966, qui organise sur des bases modernes la maîtrise de l'élevage des animaux domestiques, fut très efficace du point de vue de la productivité mais a entraîné la marginalisation des races locales au profit de quelques races et hybrides très productifs, dont les schémas de sélection sont organisés à l'échelle nationale et internationale. Cette évolution s'est traduite par un appauvrissement rapide de la diversité du patrimoine génétique du cheptel français.

6. L'aménagement du territoire, avec la construction d'infrastructures routières et ferroviaires, d'aéroports, ainsi que l'urbanisation croissante, sont également à l'origine de la destruction de divers habitats. Ils contribuent surtout à la fragmentation des milieux, facteurs d'appauvrissement de la diversité biologique.

7. **Les changements climatiques globaux.** — La déforestation et l'utilisation massive de combustibles fossiles sont à l'origine d'une augmentation de la teneur en gaz carbonique atmosphérique qui est susceptible d'entraîner un réchauffement de la planète. Ce que l'on appelle « l'effet de serre » devrait entraîner des modifications de la pluviométrie, et des changements climatiques au niveau régional, que l'on a encore beaucoup de mal à préciser. Ces émissions gaz qui contribuent à l'effet de serre ne vont pas s'interrompre rapidement, même si des mesures sont prises actuellement en vue de les limiter.

III. — Causes indirectes

L'érosion de la biodiversité est le résultat d'une exploitation de plus en plus massive des ressources naturelles pour les besoins de l'alimentation humaine, mais également dans un contexte de logique commerciale qui privilégie le profit à court terme. C'est donc dans le fonctionnement des sociétés humaines qu'il faut rechercher les causes fondamentales de cette situation.

1. **Croissance démographique.** — La pression démographique est considérée comme la cause principale d'érosion de la biodiversité et des problèmes d'environnement en général. Il faut en effet exploiter plus et occuper des espaces plus importants pour nourrir une population qui s'est fortement accrue. La « bombe P »¹ des écologistes reste une préoccupation majeure pour toutes les questions d'environnement. La population mondiale de 2 milliards d'individus en 1930 était de 4 milliards en 1975, et pourrait atteindre 8 milliards vers 2020. On prévoit cependant qu'elle devrait se stabiliser autour de 12 milliards d'individus vers la fin du XXI^e siècle, soit environ deux fois la population actuelle, mais toutes les prévisions ne sont pas concordantes. En attendant, la pression humaine pour la conquête d'espaces habitables et cultivables va sans aucun doute renforcer le processus de transformation des terres, et l'ex-

1. Terme désignant l'explosion démographique de l'espèce humaine.

exploitation des ressources vivantes, d'autant que la technologie permet maintenant d'accélérer le phénomène.

2. Systèmes économiques mal adaptés. — Dans la plupart des pays, les systèmes économiques et politiques ne prennent pas suffisamment en compte l'environnement et ses ressources. Il en résulte que la valeur économique de beaucoup de produits comestibles y compris la pêche, la chasse et la cueillette, du bois de feu et du bois d'œuvre, des plantes médicinales, etc., est le plus souvent sous-estimée car elle n'apparaît pas dans les comptes nationaux. Il n'y a pas non plus de politique élaborée pour une utilisation durable des ressources et l'on privilégie le plus souvent le profit à court terme dans le contexte d'une économie de marché. En conséquence, il peut apparaître économiquement plus intéressant d'abattre une forêt que de la conserver.

En outre, les droits de propriété sont plus facilement accordés à ceux qui extraient et commercialisent des produits comme le bois qu'à ceux qui exploitent durablement les forêts, ce qui dissuade la gestion à long terme et favorise la surexploitation. Celle-ci est également encouragée par le commerce international et la nécessité pour de nombreux pays de rembourser leurs dettes. Il ne faut pas ignorer non plus la réticence du public à accepter des directives réduisant la surconsommation des ressources.

3. Droits de propriété, droits d'accès aux ressources. — Pour certains économistes, les droits de propriété jouent un rôle critique dans l'utilisation durable des ressources naturelles qui représentent non seulement une source de nourriture, mais également une réserve financière. Ces ressources, dont la biodiversité, sont en effet considérées comme une propriété commune, des « biens publics » qui n'appartiennent à personne en particulier et que l'on s'approprie par la cueillette ou l'usage. L'imposition de règles d'usage peut créer des conflits violents. Mais par opposition, l'accès non contrôlé aux ressources en propriété commune peut être la cause d'une rapide surexploitation, connue

sous le nom de tragédie des communaux¹ : si la ressource n'appartient à personne, ceux qui l'exploitent viseront un profit maximum à court terme, n'étant pas certains de pouvoir en profiter sur le long terme. Il en résultera une course au progrès technique pour une exploitation maximum en un minimum de temps, les exploitants estimant que ce qui ne sera pas pris par l'un le sera par l'autre.

Confrontés à une telle situation, des économistes ont suggéré de privatiser la ressource ou d'octroyer des droits d'usage exclusifs. Ce courant de pensée est actuellement dominant dans les négociations internationales concernant l'environnement. Mais il est également controversé, car la propriété crée l'exclusion, souvent génératrice de drames sociaux. La propriété correspond également à la constitution d'un capital. Si ce dernier est peu mobile, l'accession à la propriété aura effectivement pour effet d'en préserver la valeur sur le long terme. S'il est mobile au contraire, et en l'absence de contraintes réglementaires, la préservation de l'écosystème ne devient plus une priorité. Ainsi, dans le cas des forêts, une gestion respectueuse de l'écosystème suppose que les investissements soient réalisés sur le très long terme compte tenu de la faible vitesse de renouvellement des ressources ligneuses. On peut en devenir acquéreur pour la transmettre en héritage, tout en maintenant une exploitation équilibrée du bois, sachant qu'il faudra beaucoup de temps pour récupérer d'éventuels investissements. Mais si le capital est mobile, on peut également acquérir une forêt pour en tirer un double profit à court terme : vendre tout le bois exploitable et transformer le terrain en lotissement. La thèse de Hardin semble vérifiée non pas lorsque la ressource est en propriété commune, mais lorsque la ressource est en accès libre. Propriété commune n'est pas synonyme de libre accès, car il existe une grande variété de modes de régulations de l'accès à la ressource. Ainsi, dans de nombreuses sociétés, des règles coutumières y compris les croyances, les my-

1. Selon la thèse développée par G. Hardin, *The tragedy of the commons*, *Science*, 1968, n° 162, p. 1243-1248.

thes, des droits historiques et des droits lignagers, permettent de réguler l'accès aux ressources naturelles là où la propriété commune a survécu¹. Ce sont les moyens par lesquels de nombreuses sociétés ont géré avec un certain succès leurs ressources naturelles jusqu'à nos jours.

Ce débat occulte en réalité les divers modes d'appropriation de la nature par les sociétés qui sont les représentations, les usages, les modalités d'accès et de contrôle de l'accès, les modalités de transfert, et les modalités de répartition ou de partage². Les lois foncières et les modèles de gestion centralisée exportés par l'Occident ont souvent été à l'origine de la disparition des modes traditionnels de gestion de l'accès aux ressources dans les pays du Sud, sans répondre pour autant aux objectifs affichés de protection de ces ressources.

4. Insuffisance des connaissances. — Les scientifiques n'ont pas toujours une connaissance suffisante des écosystèmes pour prévoir leur évolution. Les milieux les plus riches en espèces sont situés sous les tropiques, le plus souvent dans des pays pauvres qui ont d'autres priorités, en termes de financement, que le développement des connaissances sur la biodiversité. Même si le savoir existe, il n'est pas toujours transmis correctement aux décideurs et l'information ne circule pas très bien.

L'inventaire de la biodiversité est donc le plus souvent incomplet dans beaucoup de régions, et les évaluations quantitatives des impacts sont rares. Cette absence d'informations est un handicap pour guider les stratégies de conservation et évaluer les effets des mesures qui ont été prises. Dans cette situation d'incertitude, il est difficile d'apporter des éléments indiscutables sur les coûts ou les bénéfices qui pourraient résulter de certaines pratiques.

1. Voir notamment J. Weber et J.-P. Reveret, Bien communs : les leures de la privatisation, *Savoirs*, 2, Le Monde diplomatique, 1993, p. 71-73.

2. *Ibid.*

Chapitre VII

CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

Conserver n'est pas synonyme de figer en l'état. Selon une définition admise par de nombreux scientifiques¹, la conservation est la gestion et l'utilisation judicieuses de la nature et de ses ressources, pour le bénéfice des sociétés humaines ainsi que pour des motifs éthiques. La conservation de la biodiversité suppose que l'on s'intéresse non seulement à la protection des espèces sauvages, mais également à la diversité génétique des espèces cultivées et domestiquées et de leurs parents sauvages.

Il existe diverses manières de protéger la biodiversité. L'approche actuellement privilégiée, notamment par la convention sur la diversité biologique, est la conservation *in situ* qui consiste à maintenir les organismes vivants dans leur milieu. Ce type de conservation permet aux communautés animales et végétales de poursuivre leur évolution en s'adaptant aux changements de l'environnement, et concerne un grand nombre d'espèces sans nécessité d'en faire l'inventaire préalable. Cette démarche suppose bien entendu que les milieux naturels demeurent en bon état de fonctionnement écologique, et l'effort essentiel portera donc sur le maintien de l'intégrité des écosystèmes.

Cependant, la conservation *in situ* n'est pas toujours possible car de nombreux habitats sont déjà très perturbés, et certains ont même disparu. On a alors recours à la conservation *ex situ* qui consiste à préserver les espèces en dehors de leur habitat naturel. C'est l'un des rôles dé-

1. Global Biodiversity Assessment, 1995, *op. cit.*

volus aux jardins botaniques et zoologiques, mais on fait également appel à d'autres méthodes comme les banques de gènes.

L'objectif de la biologie de la conservation est de concevoir des stratégies raisonnables pour gérer les milieux naturels, leur flore et leur faune, et la diversité génétique. Ces stratégies, qui doivent conjuguer le plus souvent les conservations *in situ* et *ex situ*, s'appuient sur des connaissances scientifiques relatives à la dynamique des espèces et des systèmes écologiques soumis à des pressions d'origine climatique ou humaine.

I. — Les aires protégées

La survie à long terme de beaucoup d'espèces dépend étroitement de la protection de leurs habitats. C'est pourquoi on a mis en place des « aires protégées » qui sont des sites que l'État a jugé nécessaire de protéger et de gérer dans un objectif de conservation. Ce terme générique recouvre en réalité des situations très différentes, allant de grandes réserves de faune et de flore à de petits sites retenus pour la conservation d'espèces particulières. Il peut s'agir de réserves intégrales où l'intervention humaine est exclue, ou de zones habitées dans lesquelles la protection de la flore et de la faune est assurée par l'implication des populations locales dans la gestion du milieu et des espèces. A l'heure actuelle on estime qu'il y a environ 4 500 sites protégés représentant 3,5% des terres émergées.

1. **Des sanctuaires de la nature à une gestion participative.** — Lors de la création des premières zones protégées, à la fin du XIX^e siècle, l'idée dominante était que la conservation et l'exploitation des milieux naturels étaient deux activités incompatibles. Il était alors nécessaire de soustraire des pans entiers de nature à l'emprise de l'homme, considéré comme le facteur principal de perturbation. Seuls sont admis dans ces sanctuaires de la nature, les scientifiques surveillant l'évolution des espèces maintenant protégées des hommes, et bien entendu les visiteurs à

qui l'on montre cette nature telle qu'elle aurait toujours dû être si l'homme ne l'avait pas dégradée. Cet état d'esprit qui avait présidé à la création d'un des premiers parcs au monde, le parc national de Yellowstone aux États-Unis en 1872, a prévalu pendant longtemps et n'est pas entièrement dénué de bon sens.

Cependant la création d'aires protégées ne va pas sans poser de problèmes humains lorsqu'elles doivent être établies dans des zones habitées. Dans certains cas il a fallu déplacer les populations locales et leur interdire l'accès de zones où elles exerçaient auparavant leurs activités. Se sentant spoliées, elles ne sont guère incitées à respecter une réglementation que les administrations responsables de la gestion des parcs et réserves ont par ailleurs beaucoup de mal à faire appliquer, faute de moyens suffisants. Cette situation conduit au braconnage et engendre parfois de véritables conflits sociaux.

Après l'échec de nombreux projets concernant les aires protégées, il a donc été nécessaire de réviser les principes initiaux. La participation des populations locales à la conception et à la gestion des aires protégées est maintenant considérée comme un facteur clé pour garantir la pérennité des projets. Cette nouvelle conception témoigne d'une évolution de la science de la conservation qui intègre désormais les relations qui se sont établies entre l'homme et son environnement. Pour encourager les populations locales à mieux gérer la biodiversité, il faut améliorer leur niveau de vie en créant les conditions et les incitations économiques qui leurs permettent d'exercer une conservation efficace. Il faut également s'assurer que les personnes qui supportent le coût des projets de conservation bénéficient en retour d'avantages, comme les revenus touristiques par exemple. C'est l'objectif de projets intégrés de conservation et de développement qui s'efforcent de concilier le développement de nouvelles activités économiques, avec des activités de conservation nécessitant un changement des modes de vie.

2. Les réserves de la biosphère. — C'est cette conception sociale de la gestion des aires protégées que le Programme

sur l'Homme et la Biosphère de l'Unesco, connu sous le nom de MAB (Man and Biosphère), a développé, depuis les années 1970, sous le concept de « réserve de la biosphère »¹. Dans ces aires protégées on cherche à mettre en application une relation équilibrée entre les êtres humains et la biosphère. Ce sont des sites modèles d'étude et de démonstration des approches de la conservation et du développement durable au niveau régional, qui combinent trois types de fonctions : conservation des paysages, des écosystèmes, des espèces et de la variabilité génétique ; développement économique et humain viable sur le plan socioculturel et écologique en autorisant l'utilisation des ressources par les populations locales ; appui logistique par la fourniture de moyens pour des projets de démonstration et des activités d'éducation environnementale et de formation.

Schématiquement une réserve de la biosphère se présente sous forme de trois zones concentriques : une zone centrale strictement protégée, consacrée à la protection à long terme ; une ou plusieurs zones tampons entourant la zone centrale, où seules des activités compatibles avec les objectifs de conservation sont autorisées (tourisme et recherche par exemple) ; ces zones tampons sont à leur tour entourées de vastes zones de transition habitées, où les pratiques d'exploitation durable des ressources sont favorisées et développées.

Par opposition aux réserves intégrales, l'homme est ici considéré comme une composante des milieux à préserver. Le rôle du scientifique est de rechercher les moyens de concilier usages et préservation des équilibres de la nature. Malgré certains déboires, l'expérience des réserves de la biosphère paraît positive à condition que les populations concernées aient été associées étroitement à leur mise en place et à leur gestion. Les premières réserves de la biosphère furent créées en 1976. Actuellement, environ 300 réserves couvrant une large variété d'écosystèmes ont été reconnues par 75 pays.

1. Ce concept a été redéfini en 1995, sous le nom de « Stratégie de Séville ».

3. Difficultés rencontrées avec les aires protégées. — Un problème important pour la conservation de la biodiversité réside dans le choix de ces aires protégées. Le nombre d'espèces habitant un écosystème ou un ensemble d'écosystèmes n'est pas nécessairement déterminant car des milieux avec une faible diversité spécifique peuvent contenir des espèces rares ou endémiques.

Mais le principal problème provient du fait que les zones protégées sont souvent instables du point de vue institutionnel. Elles sont sensibles en particulier aux changements de politiques. Le financement est souvent déficient ou incertain dans les pays en développement, de sorte que la gestion et la surveillance sont insuffisantes. Dans beaucoup de pays, l'expérience a montré également que ces zones étaient très vulnérables en période de troubles sociaux ou de conflits armés. Les impératifs du développement, d'autre part, conduisent parfois à une remise en cause du statut d'aire protégée au bénéfice, par exemple, de l'exploitation minière ou de l'ouverture de réseaux routiers. En outre, le développement industriel peut provoquer une pollution sur la zone protégée qui n'est donc pas à l'abri de tout impact. Pour toutes ces raisons, on considère maintenant que les aires protégées sont un élément nécessaire mais très insuffisant d'une politique de conservation de la biodiversité.

II. — Un nouveau rôle pour les jardins botaniques et zoologiques

Pendant longtemps, le rôle essentiel des zoos et des aquariums a été de prélever des animaux en milieu naturel et de les exhiber au public jusqu'à leur mort. Aujourd'hui ils sont devenus un élément important de réseaux de conservation de la biodiversité, car ils entretiennent des populations d'espèces sauvages, rares ou menacées, qui peuvent être utilisées pour des programmes de réintroduction ou de renforcement de populations en milieu naturel. Un seul zoo ne peut héberger qu'un nombre restreint d'individus, et il est donc important d'établir des réseaux et d'entretenir des coopérations avec d'autres jardins zoologiques. Un exemple historique est l'inventaire des bisons d'Europe

lancé en 1923 par le zoo de Varsovie auprès des autres zoos, de manière à éviter la consanguinité lors de la reproduction. On a pu de cette manière reconstituer une population de bisons européens dont de nombreux individus ont été réintroduits depuis dans des habitats favorables.

Le rôle des aquariums dans la conservation de la biodiversité est plus récent, car on avait accordé moins d'intérêt jusqu'ici aux poissons qu'aux mammifères et aux oiseaux. Pourtant de nombreux organismes d'eau douce ont des aires de répartition très limitées et sont menacés d'extinction par la dégradation de leur habitat. C'est le cas par exemple pour les centaines de cichlidés endémiques des grands lacs d'Afrique de l'Est. De nombreuses espèces du lac Victoria menacées d'extinction font ainsi l'objet d'un plan de sauvetage. Quelques dizaines d'espèces sont reproduites en aquarium dans le cadre d'un réseau auquel participe des aquariums européens et nord-américains.

Les jardins botaniques ont été longtemps des annexes des facultés de médecine et de pharmacie, les jardins des simples où l'on conservait et cultivait les plantes à usage médicinal. Ils ont par la suite joué un rôle important en tant que jardins d'acclimatation des plantes exotiques ramenées par les explorateurs et dont on pensait qu'elles pouvaient être utiles aux hommes. Aux XVIII^e et XIX^e siècles de nombreux particuliers ont également introduit dans les arboretums, une grande variété d'espèces à usage ornemental. Il existe actuellement environ 1 500 jardins botaniques, arboretums et collections nationales de plantes dans le monde, qui abritent environ 15 000 espèces végétales menacées. Leur répartition inégale est le reflet de l'histoire. Ainsi, on compte un peu moins d'une centaine de jardins botaniques en Amérique du Sud où l'on a recensé près de 90 000 espèces végétales, alors qu'il y a 540 jardins botaniques en Europe et 290 en Amérique du Nord, pour seulement 28 000 espèces végétales autochtones. Un effort est donc nécessaire pour créer de nouveaux jardins botaniques dans les pays tropicaux, afin de participer localement à la conservation de la biodiversité dans des zones où elle est menacée.

III. — Conservation des ressources génétiques

La conservation des ressources génétiques nécessite différents types d'approche, *in situ* et *ex situ*.

1. **Les banques de gènes.** — En raison de la dégradation des milieux naturels, ou des besoins des industries agro-alimentaires, il est souvent nécessaire de conserver des espèces et des variétés, naturelles ou domestiquées, en dehors de leur lieu d'origine. Les gènes des plantes ne peuvent être conservés que dans des systèmes vivants, c'est-à-dire des plantes entières ou des parties de plantes qui doivent rester vivantes et en bonne santé. La plupart des plantes cultivées se prêtent à la conservation *ex situ*. Les collections de matériel génétique, appelées globalement «banques de gènes», font appel à quatre méthodes principales de conservation :

- **Les banques de graines :** la plupart des espèces végétales donnent des graines qui sont la partie de la plante la plus facile à conserver. Pour les espèces dites orthodoxes, les graines peuvent être séchées et maintenues à faible température (environ -20°C) sans perdre leur viabilité. C'est la forme de stockage à long terme la plus commode qui est utilisable pour la majorité des principales céréales. Certaines graines peuvent ainsi survivre pendant une centaine d'années.

- **Les banques de gènes au champ :** les espèces végétales qui ne donnent pas facilement de graines, ou dont les graines ne supportent pas la congélation (espèces dites récalcitrantes), sont habituellement conservées sous forme de plantes sur pied. De nombreuses espèces cultivées qui sont importantes pour les pays tropicaux se reproduisent par voie végétative (patate douce, manioc, igname) et sont d'ordinaire conservées dans des jardins botaniques, des arboretums, ou des stations de recherche. C'est également sous cette forme que l'on conserve le matériel génétique de diverses espèces telles l'hévéa, le cocotier, le manioc, ainsi que le bananier et le caféier. Les collections vivantes de populations sélectionnées demeurent la mé-

thode de conservation la plus courante pour la plupart des essences forestières.

Les banques de gènes au champ ont une importance capitale pour la conservation des variétés locales. Alors que la tendance fut pendant longtemps de produire des fruits standardisés, en privilégiant beaucoup plus l'aspect extérieur que le goût, on assiste depuis quelques années à une évolution inverse. L'association des amateurs bénévoles pour la sauvegarde des variétés fruitières régionales en voie de disparition (les croqueurs de pomme), créée en 1978, entretient des vergers conservatoires et a contribué de cette manière à sauver et à recenser de nombreuses variétés locales délaissées.

- Conservation à la ferme : l'objectif est de préserver les nombreuses variétés locales de plantes cultivées ou d'animaux domestiques qui ont été patiemment sélectionnées par les agriculteurs sur des critères d'adaptation aux conditions locales ou d'usages spécifiques. Dans de nombreux pays les agriculteurs pratiquent à la ferme la conservation de la diversité génétique en entretenant des races traditionnelles.

- Les cultures de tissus *in vitro* : la méthode consiste à conserver des parties minuscules de plantes dans des éprouvettes et à faire pousser de petits plants dans des tubes contenant un milieu nutritif. Elle convient au clonage intensif d'une espèce et à son stockage dans des conditions de croissance ralentie. Malgré ses limites c'est la seule méthode possible de conservation *ex situ* pour les plantes qui ne forment pas de graines ou qui se propagent par rhizome ou bulbe. Elle est associée parfois à la cryo-conservation qui consiste à maintenir des cultures de tissus à très faible température, par exemple dans l'azote liquide (- 196 °C).

Les banques de gènes sont pratiques pour le sélectionneur car elles permettent d'avoir rapidement accès à du matériel génétique provenant de régions très diverses. Si la régénération est effectuée régulièrement, la conservation *ex situ* est un moyen sûr de préserver les gènes pendant des siècles. Elles permettent en outre de préserver le maté-



Photo 6. — Il existe une grande variété de fruits d'aubergine (*Solanum* sp) dont beaucoup sont conservés dans des banques de gènes sous forme cultivée (collection ORSTOM en Côte-d'Ivoire, photo J. Berthaud).

riel génétique d'espèces en danger d'extinction ou dont l'habitat naturel a été détruit.

Les banques de gènes exigent cependant une logistique importante pour assurer le maintien de la chaîne de froid et sont coûteuses en fonctionnement. L'inconvénient majeur est que la viabilité des organes stockés est limitée, et qu'ils doivent être périodiquement régénérés à partir de plantes entières. En outre elles permettent seulement de conserver un matériel génétiquement figé.

Les Centres internationaux de recherche agronomique (CIRA) sont des centres de recherche spécialisés dans les principales espèces de plantes agricoles tropicales. Ils constituent l'un des réseaux de banques de gènes les plus importants au monde, chacun travaillant à l'amélioration génétique des variétés, à l'amélioration des pratiques culturales, ainsi qu'à leur conservation sous l'égide du Con-

seil international des ressources phytogénétiques (CIRP), créé en 1974 et dont le siège est à Rome. Le CIRP coordonne non seulement les 12 CIRA existants, mais également un soixantaine de centres internationaux¹.

2. Conservation « in situ » des variétés sauvages des espèces cultivées. — La conservation des ressources génétiques des plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées est indispensable pour la réalisation de programmes d'amélioration des plantes et la production de nouvelles variétés cultivées. Elle nécessite une approche spécifique car la plupart des aires protégées ont été établies pour la conservation de la faune sauvage, pour protéger un paysage renommé, ou pour sauver un mammifère ou un oiseau rare, mais rarement pour conserver une plante sauvage. En outre, une réserve de parents sauvages doit contenir des populations et des types d'habitats suffisamment variés afin de protéger une partie significative de la diversité génétique nécessaire à l'amélioration à long terme de la plante cultivée. Enfin, beaucoup de ces variétés sauvages ne sont présentes que dans des zones assez limitées. Il en résulte que les zones naturelles protégées déjà existantes ne sont pas toutes aptes à la constitution de réserves génétiques de plantes sauvages apparentées et que des réserves spécialisées sont souvent nécessaires. Il semble logique d'accorder la priorité aux espèces qui ne peuvent être conservées facilement *ex situ* tels l'hévéa en Amazonie, le cacao et l'arachide en Amérique latine, le caféier en Afrique, les agrumes en Asie, etc.

3. Plantes cultivées d'importance locale et régionale. — Si des efforts relativement importants ont été consentis pour la protection des pools génétiques d'espèces d'importance mondiale, les plantes cultivées dites « mineures », d'importance uniquement locale ou régionale, sont souvent négligées. Pourtant, elles peuvent avoir une grande importance culturelle, jouer un rôle central dans l'écono-

1. *Courrier de la Planète*, n° 7, 1992.

mie locale, et sont souvent menacées par les changements de l'utilisation des terres et l'introduction de matériel génétique exotique.

IV. — Biologie de la conservation

La biologie de la conservation est une discipline scientifique qui est née vers la fin des années 1960, avec pour ambition d'associer la science et la gestion¹. A la différence des mouvements de protection de la nature qui visaient d'abord à soustraire les espèces et les espaces à l'emprise de l'homme, par tous les moyens réglementaires, la biologie de la conservation tend à accompagner l'action en mettant en pratique la connaissance écologique. Elle utilise pour cela les acquis de la théorie écologique et de la biologie des populations. Par exemple, elle s'est fortement imprégnée de la théorie de la biogéographie insulaire et des recherches concernant les probabilités d'extinction liées aux effectifs des populations² et à la variabilité génétique, pour élaborer des stratégies de conservation des aires protégées (surface, disposition, etc.).

La réintroduction d'espèces élevées en captivité dans les milieux naturels, ainsi que la restauration et la réhabilitation d'habitats, jouent un rôle de plus en plus important dans la conservation de la biodiversité.

Les réintroductions ont pour objectif de réimplanter l'espèce dans son habitat d'origine dont elle avait été éliminée, ou de renforcer des populations devenues trop limitées. Aujourd'hui des zoos participent à plus de 200 programmes de réintroduction. Le zoo de La Palmyre (Charente-Maritime) expédie des singes tamarins-lions au Brésil. Le condor des Andes provenant du zoo de San Diego (Californie) est réintroduit au Venezuela, etc. Le

1. Voir J. Blondel, *Biogéographie. Approche écologique et évolutive*, collection d'Écologie, Masson, 1995 ; M. E. Soulé, *Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer, Sunderland, Mass., 1986.

2. Par exemple les concepts SLOSS (single large or several small) sur la superficie et le nombre des aires protégées, ou MVP (minimum viable population) sur la taille des populations.

cheval de Przewalski, l'oryx d'Arabie, seraient éteints aujourd'hui sans les interventions des zoos et réserves animalières. Dans certains cas, l'introduction d'espèces en dehors de leur zone habituelle de répartition peut se justifier si les habitats originels ont été fortement dégradés. De tels programmes coûtent chers et ne concernent généralement que des espèces emblématiques, pour lesquelles on a pu réunir les fonds nécessaires.

L'écologie de la restauration a pour objectif de réparer les dégâts causés par un mauvais usage des écosystèmes. La restauration de zones dégradées, pour les rendre à nouveau productives, consiste à reconstruire des écosystèmes afin qu'ils retrouvent un stade aussi proche que possible de leur état naturel, alors que la réhabilitation vise simplement à réparer les fonctions d'écosystèmes endommagés, afin qu'ils puissent remplir de nouveau certains services. Dans la pratique, ces deux termes sont souvent utilisés indifféremment.

Beaucoup de travaux de recherches portent sur la réhabilitation des sols miniers ou des zones fortement polluées. Ainsi, en Nouvelle-Calédonie, l'exploitation du minerai de nickel s'effectue à ciel ouvert par le décapage de centaines d'hectares. Des actions de remise en végétation des anciens sites miniers ont donné de bons résultats en utilisant des espèces locales sauvages de la famille des Cypéracées ainsi que des Casuarinacées (genres *Casuarinea* et *Gymnostoma*) et des Légumineuses comme *Acacia spirorbis* qui sont des plantes associées à des bactéries fixatrices d'azote du genre *Frankia* ou *Rhizobium*¹.

Dans cet esprit, on répare également les cicatrices laissées par les grands travaux d'aménagement sur le territoire (grands barrages, pistes de ski, lignes TGV) en utilisant les plantes les mieux adaptées pour revégétaliser ces milieux dégradés. Ce que certains appellent le « génie écologique » fait ainsi appel aux ressources, encore mal évaluées, des plantes sauvages et de leurs variétés locales.

1. La réhabilitation des sites miniers. Un exemple de recherche en faveur de l'environnement, *Bois et forêts des Tropiques*, 1994, n° 242.



Photo 7. — Certaines plantes telle la légumineuse *Sesbania rostrata*, ont la propriété de fixer directement l'azote atmosphérique en quantité importante grâce à leur symbiose avec des bactéries (*Azorhizobium*) qui forment des excroissances ou nodules fixateurs d'azote sur les tiges et les racines. Ces plantes constituent une alternative intéressante à l'épandage d'engrais chimique et peuvent constituer un engrais vert tout à fait exceptionnel pour les pays en développement (photo Dreyfus).

V. — Motivations éthiques et rôle de l'éducation

La conservation de la biodiversité ne peut se limiter aux seuls aspects techniques ou législatifs. Les responsables politiques, comme les scientifiques, ont conscience qu'elle nécessite un large soutien populaire. Ainsi, la Conférence de Rio et les débats suscités autour de la protection de la

biodiversité ont bien mis en évidence que cette question avait également une dimension morale et éthique, voire mystique pour certains groupes de pression. En réalité, le débat sur la protection de la diversité biologique poursuit le vieux débat philosophique sur les relations que l'homme entretient avec la nature. L'attitude des sociétés par rapport aux problèmes de conservation de la biodiversité en dépend.

1. Les espèces ont droit à la vie. — Pour certains par exemple, la diversité biologique est l'œuvre de Dieu et nous n'avons pas le droit de détruire ce qu'il a créé. Des défenseurs de la Nature ont également suggéré qu'il fallait susciter un sentiment de culpabilité vis-à-vis de la destruction de la Nature¹. De quel droit l'homme est-il autorisé à détruire, en quelques décennies, plusieurs millions d'espèces qui sont le produit d'une évolution qui a demandé des centaines de millions d'années? N'avons-nous pas le devoir de léguer à nos descendants un monde équivalent à celui que nous avons reçu en héritage? Ces questions sont souvent évoquées à l'occasion de campagnes de sensibilisation des organisations de protection de la Nature.

Sur le plan international, une Charte mondiale de la Nature a été adoptée par l'Assemblée générale des Nations Unies en 1982, qui reconnaît que le genre humain fait partie intégrante de la Nature, et que sa survie, donc l'héritage des générations futures, dépend du maintien des écosystèmes naturels en état de bon fonctionnement. Rappelant que toute forme de vie est unique et mérite le respect, la Charte de la Nature lance un appel à la mise en place rapide de stratégies de préservation. On a vu également se développer l'idée d'un droit de la Nature : les espèces sauvages ont le droit d'exister indépendamment des bénéfices qu'elles peuvent fournir à l'humanité. Cette Charte de la Nature n'a pas eu un grand impact car beaucoup de gouvernements ne se sont pas sentis directement

1. E. O. Wilson, *Biodiversity*, Washington DC, National Academy Press, 1988.

impliqués par ces déclarations qui n'étaient pas accompagnées de mesures contraignantes.

2. Quels rapports homme-nature ? — Pour la société occidentale, la Nature est au service de l'homme qui doit la maîtriser pour en exploiter les ressources. Les racines de cette attitude se trouveraient dans la tradition judéo-chrétienne, et les débuts de la Science européenne. Mais la domination de l'homme sur la nature s'est particulièrement affirmée lors de la révolution industrielle. Le principe selon lequel l'homme et la nature sont deux entités séparées, cette dernière pouvant être un objet d'étude et d'expérimentation, est manifeste dans l'évolution de la science écologique qui pendant longtemps s'est attachée à étudier, dans toute la mesure du possible, des milieux vierges de l'emprise humaine. On retrouve également cette attitude dans les modèles de gestion rationnelle des pêcheries des années 1960 qui ne prenaient en compte que la ressource en ignorant les acteurs sociaux. Rappelons qu'il n'y a pas si longtemps encore, certaines espèces maintenant protégées étaient considérées comme nuisibles et exterminées au nom de la productivité agricole. Cette vision utilitariste de la Nature, développée en Occident, n'est pas universelle mais s'est répandue dans le reste du monde par le biais de la colonisation et des systèmes économiques.

Pour d'autres sociétés au contraire, l'humanité qui est partie intégrante de la nature, est soumise aux mêmes lois écologiques que les autres espèces. La survie de l'espèce humaine passe obligatoirement par la conservation des grands équilibres naturels. Certaines communautés rurales de tradition panthéiste considèrent aussi que la nature est composée d'êtres avec lesquels l'homme entretient des relations parfois conflictuelles. La reconnaissance de l'homme comme élément du milieu naturel transparaît dans de nombreux modèles de gestion traditionnelle de la nature et de l'espace, dont on pense maintenant qu'ils sont beaucoup mieux adaptés à la préservation de la biodiversité que les modèles de gestion centralisée exportés par

l'Occident. Les deux types d'attitude coexistent en réalité de nos jours dans beaucoup de sociétés.

3. L'éducation. — Dans les pays occidentaux s'est développé le sentiment un peu confus mais chargé d'une certaine culpabilité, qu'il était nécessaire et urgent de protéger une nature fort dégradée par l'accroissement de la population humaine et le développement des activités économiques. Quelques scénarios catastrophes, basés sur l'idée que la diversité biologique était indispensable au maintien des phénomènes régulateurs de la biosphère, ont beaucoup aidé, il est vrai, à cette prise de conscience. Certaines institutions de protection de la nature, relayées par les médias, ont également sensibilisé le grand public sur les menaces de disparition pesant sur certaines espèces emblématiques comme les pandas, les éléphants, les baleines, et les phoques. Mais le public et les politiques sont encore relativement peu concernés par la disparition d'espèces moins charismatiques et la dégradation des milieux naturels, surtout lorsque cela se produit à l'autre extrémité de la terre. Les campagnes de sensibilisation lancées par des organisations non gouvernementales, ou certains États, participent également à convaincre nombre de citoyens de l'importance de la biodiversité sur les plans culturels et écologiques.

Mais le système économique et social continue d'afficher des valeurs qui vont à l'encontre d'une conservation durable : profit à court terme, absence de solidarité avec les générations futures, etc. Il est donc nécessaire d'intégrer le respect de la biodiversité dans l'éducation scolaire et extra-scolaire. L'enseignement peut être un outil puissant pour augmenter la prise de conscience du public concernant la protection de la biodiversité, en formant les connaissances, mais également les perceptions et les attitudes des jeunes vis-à-vis de la biodiversité.

Chapitre VIII

BIODIVERSITÉ ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

La conservation de la biodiversité ne peut se limiter à la conservation de quelques espèces ou milieux d'intérêt patrimonial. Pour de nombreux pays en développement, dont l'économie est essentiellement basée sur l'agriculture et l'exploitation des ressources naturelles, la diversité biologique est un véritable outil de production. Son utilisation durable est un corollaire indispensable au développement économique et social car elle permet d'assurer, sur le long terme, la fourniture de produits et de services.

Si l'on admet que l'érosion de la biodiversité résulte principalement d'activités liées au développement, ce sont les acteurs du développement qu'il faut convaincre de mieux gérer les écosystèmes et les ressources vivantes naturelles. Il faut rechercher les causes et les solutions possibles au problème de l'érosion de la biodiversité dans les relations que les sociétés humaines entretiennent avec leur environnement. Une vision intégrée de l'aménagement du territoire est donc nécessaire pour conserver la biodiversité non seulement dans les aires protégées, mais également dans les zones rurales ou semi-naturelles comme les forêts, les champs, les haies, les friches à divers stades du processus de succession, les écosystèmes aquatiques ou côtiers, etc.



Photo 8. — La déforestation est une des causes principales de l'érosion de la biodiversité. Cette photo d'un front pionnier dans la forêt guyanaise illustre les conflits potentiels entre la conservation de la biodiversité et la nécessité d'utiliser de nouvelles terres pour l'agriculture ou pour le développement des infrastructures (photo C. Lévêque).

I. — Le concept de développement durable

A la suite de la Conférence de Rio, il est admis que la conservation de la biodiversité ne doit pas remettre fondamentalement en cause le développement économique, notamment dans les pays en développement. Il faut donc rechercher et privilégier des modes de développement qui prennent en compte le long terme et la viabilité des écosystèmes. C'est là toute la problématique du « développement durable » qui cherche à concilier les besoins du présent avec ceux des générations futures, c'est-à-dire le nécessaire développement économique des pays avec la protection à long terme de l'environnement et des ressources.

Le terme « développement durable » est une traduction peu satisfaisante du terme anglais « sustainable development » qui est parfois traduit également par « dévelop-

pement viable ». Ce concept est une formule de compromis qui a émergé graduellement entre les militants écologistes et les partisans du développement. Il a été popularisé à l'occasion de la publication du rapport Brundtland en 1987, avec en toile de fonds la faillite des développements de nombreux pays du Sud, une croissance démographique élevée, et des menaces de dégradation de l'environnement de plus en plus inquiétantes. Il met l'accent sur la nécessité d'une approche et d'une gestion intégrées des milieux et des ressources, faisant ainsi contrepoids à une approche qui a longtemps été trop sectorielle du développement.

La notion de développement durable sert manifestement à réintégrer les politiques d'environnement dans une perspective de développement économique¹. L'idée centrale reste bien celle du développement, mais les politiques d'environnement ne doivent plus être maintenues à l'écart des principaux choix économiques et sociaux. D'autre part, ce concept tend à favoriser le décloisonnement des différentes disciplines scientifiques. Il s'agit également de prendre en compte de manière plus équilibrée des argumentaires issus de différentes traditions de pensée, par exemple en renforçant la prise en compte de préoccupations d'ordre éthiques et morales au sein des analyses économiques.

Ces notions se propagent lentement mais ne se traduisent pas encore suffisamment par des actions concrètes car elles se heurtent à la nécessité de faire face aux besoins à court terme. Les difficultés tiennent également au fait que les systèmes d'exploitation traditionnels des ressources ont du mal à répondre à des besoins accrus générés par la croissance de la population. Par exemple, la culture sur brûlis qui était possible pour une certaine densité de population, n'est plus adaptée dans un contexte démographique en pleine croissance et une exploitation de plus en plus intense des ressources forestières. Il est donc nécessaire d'inventer de nouveaux modes de développement et de rechercher des

1. Olivier Godard, *Le développement durable : paysage intellectuel*, *Nature, Sciences, Sociétés*, 1994, n° 2 (4), p. 309-322.

techniques de gestion permettant une exploitation durable. Il faut trouver un équilibre entre une nécessaire gestion centralisée devant assurer une cohérence d'ensemble, et une participation des populations concernées aux processus de décision, qui est la seule garantie d'une prise en considération de l'environnement sur le long terme.

II. — Le principe de précaution

Dans les années 1980, l'intégration de la protection de l'environnement, dans les stratégies de recherche et développement, reposait sur un principe du droit de l'environnement connu comme le « principe de prévention » qui consiste, une fois qu'un risque écologique a été établi, à prendre les mesures nécessaires pour éviter que le dommage ne se produise. Il s'agit d'agir *a posteriori* par rapport à un danger identifié et probable. Dans ces conditions, la prise en considération de la protection de l'environnement était subordonnée à celle de la preuve de l'existence d'un risque écologique.

1. Origine et conséquences du principe de précaution. —

Le principe de prévention tend à être supplanté depuis le début des années 1990 par le « principe de précaution » qui stipule que l'absence de certitudes scientifiques ne saurait être invoquée pour remettre à plus tard les mesures qui permettraient d'éviter un dommage écologique grave. Il a fait son entrée en 1987 dans le droit international, à l'occasion de la Déclaration ministérielle de la deuxième Conférence internationale sur la protection de la mer du Nord. Il est explicitement entendu comme « pouvant requérir des actions de limitation des émissions de certaines substances potentiellement dangereuses sans attendre qu'un lien de causalité soit établi de façon formelle sur des bases scientifiques ». Il devient principe fondateur du droit de l'environnement avec le rapport Brundtland en 1988. Il a été repris notamment en 1990 à l'occasion de directives communautaires relatives aux utilisations et dissémination d'organismes génétiquement modifiés.

La Convention sur la diversité biologique, quant à elle, étend le champ d'application du principe de précaution : lorsqu'il existe une incertitude scientifique concernant les effets d'une activité ou d'un processus, sur la diversité biologique, des mesures doivent être prises pour éviter le dommage. En d'autres termes, les autorités responsables de la gestion de l'environnement doivent prendre des mesures préventives lorsqu'il y a risque de dommages graves et irréversibles pour les êtres humains et, par extension, pour les ressources et l'environnement, même en l'absence de certitudes. La charge de la preuve est inversée : elle revient maintenant à ceux qui soutiennent que l'activité n'a pas d'impact ou n'en aura pas, alors que jusque-là il fallait accumuler les données scientifiques prouvant qu'il y avait une relation de cause à effet entre les activités de développement et la dégradation des milieux. Dans le domaine de l'environnement, ce principe de précaution est apparu comme la reconnaissance de l'incertitude qui affecte les études d'impacts et la gestion. Il apparaît imprudent d'hypothéquer l'avenir en prenant des décisions irréversibles.

Le principe de précaution est entré dans le droit français avec la loi du 2 février 1995 dite « loi Barnier » relative au renforcement de la protection de l'environnement.

2. Application aux pêches maritimes. — La FAO s'est préoccupée d'appliquer le principe de précaution à la gestion des pêches¹. Lorsque le doute règne quant aux conséquences d'une technique ou d'une méthode de pêche sur l'environnement et les ressources marines, l'État doit prendre des mesures préventives ou correctives, comme limiter le niveau des captures, interdire l'usage de la nouvelle technique de pêche, fermer temporairement des zones de pêche, le temps d'acquérir des données pertinentes. Ainsi, un règlement communautaire récent (27 janvier 1992) vise à réglementer l'usage de filets de pêche « maillants dérivants » dont l'impact écologique est mal

1. Precautionary approach to fisheries. Part 1 : *Guidelines on the precautionary approach to capture fisheries and species introductions*, FAO Fisheries Technical Paper, 350/1, Rome, FAO, 1995.

connu. Les filets de plus de 2,5 km sont interdits jusqu'à ce que, «à la lumière des bases scientifiques», l'absence de tout dommage écologique lié à ce type de filets ait pu être démontré.

L'approche précautionneuse suggérée par la FAO pour les ressources aquatiques vivantes est une forme adoucie du principe de précaution. Elle reconnaît implicitement que la diversité des situations écologiques et socio-économiques appelle des stratégies différentes.

III. — Le développement rural intégré

Pour bien gérer les ressources et la biodiversité, il est nécessaire de bien gérer les écosystèmes et de préserver leurs fonctions essentielles, car la biodiversité ne pourra se maintenir que dans les écosystèmes en bon état de fonctionnement. Cependant, le développement soutenable du milieu rural, garant d'une bonne gestion de la biodiversité, est nécessairement un compromis entre ce qui est socialement souhaité, économiquement intéressant, techniquement possible, et écologiquement acceptable. Pour répondre à ces préoccupations nous avons besoin de connaître les rapports que les sociétés entretiennent avec leur environnement, de comprendre les principes généraux du fonctionnement et de la dynamique des systèmes anthropisés et des ressources exploitées, de prévoir leurs réponses à de nouvelles perturbations d'origine naturelle ou anthropique.

La Révolution verte, née dans les années 1960, s'est traduite par une forte artificialisation des milieux cultivés, et la constitution de systèmes de production fondés sur la maîtrise de la variabilité du milieu physico-chimique et biologique, se substituant à l'écosystème existant¹. La sélection de variétés à haut rendement et l'utilisation massive d'engrais et de pesticides, ont permis des progrès considérables en termes de productivité, mais aux détriments

1. Voir par exemple J. Véron, *Population et développement*, « Que sais-je ? », n° 2812, 1994.

de la qualité de l'environnement et de la biodiversité. En outre la Révolution verte n'a connu un réel succès que dans les zones où l'eau est abondante, et où il existait une politique économique (incitations) et institutionnelle (services publics). Elle a connu fréquemment des succès éphémères là où les techniques étaient inadaptées, et où les prix n'étaient pas durablement incitatifs.

Le concept de « développement rural intégré » fait suite au constat des multiples échecs qui ont marqué l'application de stratégies de développement trop axées sur la seule croissance économique. Il implique la participation active et consciente des populations rurales ainsi que la décentralisation et la démocratisation du pouvoir. Il vise à satisfaire les besoins essentiels des populations grâce à l'amélioration de leurs systèmes de production. Prenant en compte l'utilisation rationnelle des ressources dans une perspective d'aménagement du territoire et de développement régional, c'est un outil pour la conservation de l'environnement et de la biodiversité.

Dans ce contexte, ce que certains appellent la nouvelle révolution verte, ou encore la Révolution doublement verte¹, cherche à tirer le meilleur parti des écosystèmes existants. Elle ajoute aux objectifs de la Révolution verte, ceux du maintien de la diversité biologique et de la viabilité des écosystèmes. Dans une perspective de gestion intégrée des ressources renouvelables, il s'agit donc de mettre en place des systèmes de production mieux insérés dans leur environnement, qui tiennent compte à la fois des objectifs des agriculteurs et des éleveurs. On cherche à utiliser les écosystèmes existants par la mise au point de systèmes de production capables de valoriser au mieux le potentiel de régions agricoles très variées. La Révolution doublement verte doit garantir la viabilité écologique (intensification viable de l'exploitation de l'écosystème), ainsi que la viabilité économique et sociale des sociétés concernées.

1. M. Griffon et J. Weber, « Les aspects économiques et institutionnels de la révolution doublement verte », Séminaire de Poitiers, novembre 1995, CIRAD.

Cela suppose une plus grande diversification des systèmes de culture et des itinéraires techniques proposés aux agriculteurs : rotation, choix des variétés, etc. Si l'obtention de rendements plus élevés et plus stables reste une priorité, de même que la résistance aux maladies, l'aptitude à résister aux stress ou la qualité des produits occupent une place croissante dans les préoccupations. Les progrès du génie génétique laissent espérer la mise au point de variétés végétales et animales résistantes à la sécheresse par exemple, ou à certaines maladies. Les espèces de grande culture ne sont plus les seules à mobiliser l'attention, et on aura recours à d'autres espèces, dont la fonction première ne sera pas forcément la production, pour une utilisation rationnelle et écologique de l'espace.

Dans cette logique de la Révolution doublement verte, on cherche à tirer parti de la connaissance des paysans pour améliorer les modèles techniques en les adaptant aux situations locales et aux capacités de résilience écologique et sociale des écosystèmes. On considère ainsi la diversité sociale et culturelle comme richesse, au même titre que la diversité biologique.

Il ne faudrait pas réduire la réflexion sur l'avenir de l'agriculture à la seule question de la sécurité alimentaire, car elle est la source de nombreux autres produits de consommation : bois d'œuvre, textiles, biomasse, cadre récréatif. En réalité, il faut prendre en compte l'ensemble des activités de transformation et des activités relatives au développement des espaces ruraux.

IV. — Savoirs traditionnels et gestion de la biodiversité

Au cours de ces dernières années, on s'est beaucoup intéressé aux savoirs naturalistes traditionnels, ainsi qu'aux relations existant entre les cultures humaines et la conservation de la biodiversité. Les hommes ont en effet utilisé une grande variété de ressources biologiques, dans des milieux très divers, en mettant en œuvre des techniques spécialement adaptées. Cet ensemble de connaissances et de

comportements constitue un patrimoine culturel qui s'est transmis de génération en génération. « Si les sociétés traditionnelles ont vécu jusqu'à présent au sein d'une nature que nous, Occidentaux, pouvons juger hostile, c'est essentiellement grâce aux savoirs et savoir-faire naturalistes qu'elles ont accumulés depuis des millénaires et dont nous reconnaissons aujourd'hui la valeur intrinsèque. »¹ Ce « regard amical » sur la nature par rapport à l'attitude occidentale, est riche d'enseignement. Car l'occident ici n'est plus en position de donner des leçons, mais se présente comme le demandeur d'un dialogue qui l'éclairerait².

Les recherches en ethnobiologie ont permis de mieux connaître les modes d'utilisation ou de gestion traditionnelle des milieux naturels, que certains estiment beaucoup mieux adaptés à la préservation de la biodiversité que les modèles de gestion centralisée d'origine occidentale. C'est ainsi que dans les îles d'Océanie, les tabous visent à contrôler les effets des activités humaines dans des milieux clos et fragiles, assurant ainsi la préservation d'espèces rares. Il en est de même des interdits qui pèsent sur les forêts sacrées en Afrique de l'Ouest.

Si de nombreux enseignements peuvent être tirés de ces savoirs populaires, il ne faut cependant pas oublier que dans de nombreuses régions du globe l'accroissement démographique, et les changements économiques et politiques, ont profondément modifié les comportements sociaux. Des systèmes de gestion qui étaient adaptés à certains types de contraintes ne le sont probablement plus dans les conditions actuelles.

1. R. Scheps, Introduction, in *La science sauvage. Des savoirs populaires aux ethnosciences*, Flammarion, Point Sciences, 1993.

2. J. Bonnemaïson, Porter sur la nature un regard amical, *Savoirs 2*, Le Monde diplomatique, 1993, p. 55-56.

Chapitre IX

CONVENTIONS INTERNATIONALES ET MESURES NATIONALES EN FAVEUR DE LA CONSERVATION

La conservation de la diversité biologique a donné lieu à de nombreux accords internationaux qui ne couvrent le plus souvent qu'un aspect limité du problème. Ils constituent néanmoins le seul cadre formel des discussions internationales. En outre, la plupart des États ont pris des mesures de portée nationale pour préserver leur patrimoine.

I. — La Convention sur la diversité biologique

1. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. — La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) s'est tenue en juin 1992 à Rio de Janeiro, dans la continuité de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement qui avait eu lieu à Stockholm en juin 1972, soit vingt ans auparavant. Les travaux de la Commission mondiale pour l'environnement et le développement, dite également Commission Brundtland¹, sont à l'origine de la Conférence de Rio. Rendus publics en 1987, ils ont popularisé le concept de développement durable et servi de base à l'élaboration de plusieurs documents.

1. Du nom de sa présidente qui était le premier ministre norvégien.

La convention sur la diversité biologique est un des volets d'une coordination internationale sur les questions d'environnement qui comprend : la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, dite charte de la Terre ; une déclaration sur la préservation de toutes les forêts comme ressources naturelles ; une convention sur les changements climatiques en vue de limiter l'émission de gaz à effet de serre ; et un programme d'action pour le XXI^e siècle, afin de mettre en œuvre le développement durable, connu sous le nom d'Agenda 21 ou d'Action 21. Il faut ajouter la mise en place d'une Commission pour le développement durable qui a pour tâche de vérifier la mise en œuvre de l'Agenda 21 et faire un état des lieux de l'environnement mondial. Plus tardivement, une convention sur la désertification a également été signée.

2. Les origines de la Convention sur la diversité biologique. — La Convention sur la diversité biologique a été signée par 153 pays à Rio. Elle est entrée en application à la fin de 1993, et la France l'a ratifiée en juillet 1994.

Pour comprendre les objectifs et les implications de la convention sur la diversité biologique, il faut savoir qu'au début des années 1980 deux processus de négociations internationales se sont déroulés parallèlement. D'un côté, la Commission des ressources phytogénétiques de la FAO est à l'origine en 1983 de l'Engagement international sur les ressources phytogénétiques. De l'autre, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) prépare la Convention sur la Biodiversité dans une optique de conservation des espèces et des milieux, selon les principes développés par des ONG internationales comme l'UICN et le WRI¹. Il s'agissait, notamment, d'en faire une convention cadre regroupant et renforçant un certain nombre de conventions internationales qui existaient déjà, telles la convention de Ramsar sur les zones humides, ou celle de la CITES sur le commerce international d'espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction. Ces deux négo-

1. World Resources Institute.

ciations avaient un même principe de base : la biodiversité est un patrimoine commun de l'humanité, qui doit être en libre accès pour tous.

La préservation des espèces sauvages ne différait pas fondamentalement de celle des espèces domestiques et de leurs formes sauvages apparentées, un premier rapprochement a eu lieu entre les promoteurs de la conservation de la nature et le secteur des ressources génétiques. Ils se sont retrouvés, en particulier, sur le thème de l'utilisation durable de la biodiversité. Mais les discussions ont également évolué de manière significative à partir du moment où les pays en développement, qui sont les premiers détenteurs de la diversité biologique, ont réalisé qu'elle était une source de revenus pour financer leur développement. Ils ne souhaitaient pas limiter la convention aux seuls aspects de la conservation *stricto sensu*, mais ont poussé à l'élaboration d'une convention fondée sur un régime de « royalties » en échange de l'exploitation de leur capital génétique par les pays industrialisés. Ils ont remis en cause la notion de patrimoine commun de l'humanité pour celui de patrimoine national. Il n'était plus question de permettre le libre accès à des ressources qui pouvaient être monnayées, sauf si des mesures compensatoires, comme le transfert de technologies par exemple, permettaient d'indemniser ceux qui s'estiment détenteurs de ces ressources¹. Les pays industriels étaient partisans au contraire d'un libre accès aux ressources biologiques mondiales, jugées essentielles pour l'avenir de l'agriculture et des biotechnologies. En outre, la conservation a un prix et les pays en développement entendaient ne pas être les seuls à supporter le coût de la conservation, mais y associer les pays plus aisés. L'objectif initial de conservation des espèces et des écosystèmes s'est ainsi trouvé fortement concurrencé par celui des transferts de technologies et de l'accès aux ressources génétiques. Partant de l'idée de développer les parcs natio-

1. M. A. Hermitte, 1992, La gestion d'un patrimoine commun : l'exemple de la diversité biologique, p. 120-128, in M. Barrère (éd. sc.), *Terre, patrimoine commun*, Paris, La Découverte.

naux, on aboutissait à une négociation sur la répartition des bénéfices du génie génétique.

Le texte final qui a été élaboré prend en compte ces différentes préoccupations. Les objectifs sont clairement définis : il s'agit « de 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 ».

3. Les grands principes de la Convention. — La Convention met en avant quelques principes importants :

— *Conservation et gestion durable de la biodiversité* : La conservation de la biodiversité doit privilégier la conservation *in situ* des écosystèmes et des habitats naturels, soit dans des zones protégées où des mesures spéciales peuvent être prises pour conserver la diversité biologique, soit par une gestion durable des milieux et des ressources exploitées. Il s'agit également de maintenir et préserver les connaissances et pratiques traditionnelles des communautés autochtones qui présentent un intérêt pour l'utilisation durable de la diversité biologique. Il faut également, si nécessaire, prendre des mesures pour conserver *ex situ* des éléments constitutifs de la diversité biologique, de préférence dans les pays d'origine de ces éléments.

— *Principe de la souveraineté sur les ressources biologiques* : Il est rappelé que les États ont des droits souverains sur leurs ressources naturelles et que la législation nationale détermine les conditions d'accès aux ressources génétiques. Les États sont également responsables de la conservation de la diversité biologique présente sur leur territoire. Ils doivent faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ne causent pas de dommages à l'environnement dans d'autres États. La convention reconnaît explicitement que le développement économique et social et l'éradication de la pauvreté sont

les premières priorités des pays en développement, mais doit se faire dans toute la mesure du possible dans un contexte de développement durable.

— *Accès et transfert de technologies* : Le principe d'un partage juste et équitable des résultats de la recherche industrielle est posé. Les avantages résultant de la mise au point de produits issus de ressources génétiques fournies par une des parties doivent faire l'objet d'accords négociés. Les pays signataires s'engagent à faciliter le transfert et l'accès aux technologies nécessaires à la conservation et à l'utilisation durable de la diversité biologique.

4. Application de la Convention. — Rapidement, cette Convention s'est avérée difficile à gérer. D'une part elle concerne la diversité de l'ensemble du monde vivant et il est difficile de traiter de la même façon les éléphants, les tomates et les micro-organismes. D'autre part il n'y pas de réponses simples et admises par tous sur les questions concernant la propriété de la biodiversité, ou la possibilité de breveter les espèces ou les gènes. La Convention a même été perçue comme dangereuse par certains pays développés car elle se situe au carrefour d'enjeux économiques considérables concernant la propriété intellectuelle. Ces difficultés expliquent que la signature de la Convention ait donné lieu à bien des débats et bien des hésitations.

Sur le plan juridique, la Convention sur la diversité biologique comporte un certain nombre d'obligations, mais elle n'engage pas concrètement les pays à la différence de la Convention sur le climat. Le texte reste assez vague et fait souvent référence au principe de souveraineté nationale, précaution inhabituelle en matière de traités internationaux¹. La Convention présente néanmoins l'avantage d'être le premier accord international à offrir un cadre juridique pour proposer une approche intégrée de la conservation et de l'exploitation durable des ressources biologiques de la planète. Elle incite les pays à élaborer des

1. M.-L. Tanon, Deux conventions peu contraignantes, *Savoirs 2*, Le Monde diplomatique, 1993, p. 27-28.

stratégies nationales pour atteindre cet objectif, sur la base de coopérations bilatérales ou internationales. Il reste néanmoins à définir ce que devront être les relations entre la Convention sur la diversité biologique et les conventions préexistantes dans le domaine de la protection des espèces et des espaces. Enfin, la Convention sur la diversité biologique a conduit chacun à reconnaître la valeur économique, culturelle et écologique de la biodiversité, et participe à la prise de conscience générale que le développement ne peut se faire sans le maintien d'un environnement de bonne qualité.

Actuellement, la mise en œuvre de cette Convention reste partielle. Une priorité est accordée aux négociations du protocole sur la sécurité des biotechnologies (1996-1997), ainsi qu'au droit de propriété intellectuelle (droits des agriculteurs et droits des communautés locales et autochtones).

II. — Autres accords internationaux

1. **Les conventions internationales**¹. — Le problème de la protection de la nature se pose au niveau international, car espèces et milieux ne connaissent pas les frontières. Au cours des dernières décennies, plusieurs conventions spécialisées ont été signées, visant à garantir une meilleure protection de la nature. Nous citerons ici :

— La *Convention de Ramsar*, du nom d'une ville d'Iran où un traité international fut signé en 1971, a pour objet la conservation des zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau. En y adhérant, les pays s'engagent à créer des réserves dans les zones humides et à désigner au moins l'une d'entre elles sur la liste des zones humides d'importance internationale.

— La *Convention de Washington* ou Convention sur le Commerce international des espèces de flore et de faune

1. G. Humbert, *Principaux textes internationaux relatifs à la protection de la nature*, Ministère de l'Environnement, Muséum national d'Histoire naturelle, 1995.

sauvages menacées d'extinction (CITES) a été signée en 1973. L'objectif est de contrôler le commerce international portant sur les animaux et végétaux, morts ou vivants, et sur toutes leurs parties ou dérivés reconnaissables.

2. Textes communautaires. — La Convention de Berne du Conseil de l'Europe (1979) sur la conservation de la faune sauvage et des habitats naturels de l'Europe avait pour objectif de promouvoir la coopération entre États. Elle a inspiré l'Union européenne pour sa Directive du 21 mai 1992 (encore appelée « Directive Habitats ») qui a pour objet d'assurer le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels sur le territoire européen des États membres. Les mesures visent à assurer le maintien ou le rétablissement, dans un état de conservation favorable, « des habitats naturels et des espèces de faune et de flore sauvages d'intérêt communautaire » en tenant compte « des exigences économiques, sociales et culturelles, ainsi que des particularités régionales et locales ».

Pour y parvenir la Directive définit :

- Une liste de types d'*habitats naturels d'intérêt communautaire* dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation (annexe I).

- Une liste des habitats d'espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation (annexe II).

- Une liste d'espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite une protection stricte (annexe IV) ou des mesures de gestion pour l'exploitation et le prélèvement (annexe V).

La Directive crée un réseau écologique européen cohérent de zones spéciales de conservation, dénommé « Natura 2000 ». La grande innovation est certainement d'imposer la protection de milieux nommément désignés, ce qui a nécessité d'établir une typologie des milieux naturels d'Europe (programme « CORINE biotopes »).

Les États membres doivent désigner les sites qui sont d'importance communautaire comme zones spéciales de

conservation, et prendre les mesures nécessaires pour assurer leur protection.

3. Gestion des ressources phytogénétiques. — Depuis 1983, la FAO participe à la mise en place d'un système mondial pour la conservation et l'utilisation des ressources phytogénétiques. Dans ce cadre, la Commission des ressources phytogénétiques (CRPG), créée en 1983, constitue un forum où les pays, qu'ils soient donateurs ou utilisateurs de plasma germinatif, peuvent débattre des questions relatives aux ressources phytogénétiques et trouver des consensus.

L'Engagement international sur les ressources phytogénétiques, adopté en 1983, n'a pas de caractère contraignant. Il est basé sur le principe que les ressources génétiques végétales sont un patrimoine commun de l'humanité, tout en affichant les principes de la souveraineté nationale, de la reconnaissance du rôle joué par les agriculteurs et les autres inventeurs, et de la compensation de leurs services. Cet Engagement est actuellement en cours de révision à la lumière de la Convention sur la diversité biologique.

Le Système mondial actuellement mis au point par la FAO a pour objectifs de promouvoir la conservation, l'accessibilité et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques au profit des générations présentes et futures, en mettant en place un système suffisamment souple pour le partage des avantages et des charges à supporter. Il contient des dispositions relatives à un code de conduite concernant la collecte et le transfert des ressources phytogénétiques, un projet de code pour les technologies végétales et des accords internationaux sur les banques de gènes. Il comporte également des dispositions sur le droit des agriculteurs (cf. chap. V) et sur les modalités de financement du Système mondial.

III. — Quelques mesures concernant la conservation des espèces et des milieux naturels en France

Outre l'application des conventions internationales, la France a mis en place un certain nombre d'activités et de mesures visant à protéger la biodiversité sur le territoire métropolitain. On en donnera ici quelques exemples.

1. **Les inventaires patrimoniaux.** — La connaissance du patrimoine naturel de notre pays a justifié la création en 1979, par le ministère de l'Environnement et le Muséum national d'Histoire naturelle, du Secrétariat de la Faune et de la Flore. Il a pour mission de collecter et de gérer la synthèse des données relatives aux espèces et milieux. Son action a concerné, en particulier, l'inventaire des *Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique* (ZNIEFF). Il s'agit d'un recensement des milieux remarquables du patrimoine français. Les ZNIEFF ne font pas l'objet d'obligation réglementaire impliquant une protection particulière, mais constituent un outil d'aide à la décision pour les projets d'aménagement et de gestion du territoire.

2. **Les protections réglementaires des sites naturels.** — La première réserve métropolitaine fut créée dans le massif de Fontainebleau en 1861, suivie par celle des Sept Îles en 1910, et la Camargue en 1927. Depuis les années 1960 et 1970, la protection des espaces s'est développée sous diverses formes.

Les *parcs nationaux* protègent un patrimoine naturel exceptionnel. Il y en sept en France métropolitaine¹.

Un certain nombre de *réserves naturelles* (128 en 1995)² sont placées sous la responsabilité du ministère de l'Environnement. Elles sont destinées à protéger des milieux na-

1. La diversité des espaces protégés en France, *Données de l'environnement*, n° 21, IFEN.

2. *Ibid.*

turels particulièrement intéressants par leur richesse faunistique ou floristique.

Les *parcs naturels régionaux*, au nombre de 30, couvrent 8% du territoire. Ils ont pour but de protéger un patrimoine naturel, culturel et paysager, tout en contribuant au développement économique, à l'accueil, à l'éducation et à l'information du public. A la différence des parcs nationaux, pratiquement inhabités, l'objectif des parcs naturels régionaux est de concevoir un développement original pour la région en l'appuyant sur la préservation et la valorisation du patrimoine.

Les arrêtés préfectoraux de conservation des biotopes instaurés par le décret de 1977, ou *arrêtés de biotope*, visent à la conservation de l'habitat d'espèces protégées.

Instituées dans le cadre du programme MAB (Man and Biosphere) de l'Unesco, la vocation des *réserves de la biosphère* est de mettre en place une gestion fondée sur la concertation de toutes les parties prenantes dans une perspective de développement durable. Sept réserves ont été instituées en France.

3. Droit du paysage. — La loi du 8 janvier 1993, sur la protection et la mise en valeur des paysages, s'intéresse au paysage dans sa globalité et sous ses différents aspects, naturel, urbain, rural, banal ou exceptionnel, et intègre la notion d'intérêt paysager dans les études d'aménagement et d'occupation des sols. La loi « Paysages » vient parachever les dispositions déjà engagées avec la loi relative au développement et à la protection de la montagne (loi « Montagne du 9 janvier 1985) et celle relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du paysage (loi « Littoral » du 3 janvier 1986). L'État se voit attribuer un rôle important par la possibilité de prendre des directives de protection et de mise en valeur sur des « territoires remarquables par leur intérêt paysager », devenant ainsi le garant de la protection des paysages. Les communes doivent, quant à elles, intégrer ces préoccupations de protection et de mise en valeur dans l'aménagement de leur espace sous le contrôle du préfet. La protection du

paysage devient ainsi un des éléments de la politique de gestion du territoire dont il faudra tenir compte lors de chaque opération d'aménagement.

4. La maîtrise foncière. — Des associations se sont créées afin d'acquérir des espaces naturels à protéger. C'est le cas pour le *Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres*, établissement public administratif, créé en 1975, dont la mission est définie par le Code rural. Aux terrains acquis, le Conservatoire confère un statut particulier qui les protège dans l'avenir contre toute aliénation intempestive. Le Conservatoire a acquis près de 300 sites représentant près de 600 km de linéaire côtier, maritime et lacustre, et plus de 40 000 ha.

Les *conservatoires régionaux d'espaces naturels*, associations de type loi 1901, s'inspirent du Conservatoire du littoral. Ils ont pour but d'assurer la préservation des richesses biologiques et des milieux naturels les plus menacés en intervenant sur la maîtrise foncière. En 1993, la fédération «Espaces naturels de France» regroupait 20 conservatoires régionaux. Ils tirent la plus grande part de leurs moyens d'action de leur partenariat avec les collectivités locales, l'Union européenne et l'État.

CONCLUSION

La question de l'érosion de la biodiversité ne doit susciter ni catastrophisme ni indifférence. Il faut s'organiser de manière à conserver un patrimoine, qui est également une ressource au même titre que l'eau ou l'air. Pour cela, la société doit être pleinement informée de l'état et de l'évolution de la diversité biologique, et des conséquences inhérentes à certains choix sociaux et économiques. De cette manière, elle pourra prendre les mesures de conservation et déterminer les modes de gestion appropriés avec leur cortège de dispositions réglementaires.

Alors que les spécialistes des sciences de la nature ont largement contribué à sensibiliser l'opinion publique sur les raisons de protéger la diversité biologique, les véritables solutions ne sont pas entre leurs mains. Les causes de l'érosion de la diversité biologique résident en effet dans les rapports que les sociétés entretiennent avec la nature, ainsi que dans les modes de développement et les modèles économiques qui leurs sont associés. Il faut pouvoir remédier à ces causes si l'on veut ralentir le rythme des destructions. Cependant, si les sciences écologiques peuvent réunir les éléments nécessaires à une prise de décision, il n'est pas de leur ressort de faire les choix sociaux et économiques qui demeurent de la seule responsabilité du pouvoir politique.

Pour que les mesures de conservation de la biodiversité soient efficaces, il est indispensable que les décisions soient acceptées et approuvées par la société. L'éducation doit préparer les futurs citoyens à ces responsabilités, en les informant sur les enjeux économiques, mais également éthiques et moraux qui sont associés à la protection de la biodiversité. Certes, ce qui a été détruit l'est pour tou-

jours, mais ce qui est en danger peut encore être sauvé. Les scientifiques, qui pendant trop longtemps ont assisté en spectateurs impuissants aux grandes catastrophes écologiques alors qu'ils avaient des compétences à faire valoir, ont un rôle important à jouer dans la conservation de la diversité biologique mais aussi dans la restauration des milieux dégradés. Plutôt que d'assurer la chronique nécrologique des espèces disparues, c'est autour de la promotion du génie écologique et de la biologie de la conservation qu'ils sont appelés à se mobiliser.

BIBLIOGRAPHIE

- Angel M., Glachant M. et Lévêque F., La préservation des espèces : que peuvent dire les économistes, *Économie et statistique*, 1992, n° 258-259, p. 113-119.
- Barbault R., *Écologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*, Paris, Masson, 1990, 270 p.
- Barbault R., *Des baleines, des bactéries et des hommes*, Éditions Odile Jacob, 1994.
- Blondel J., *Biogéographie. Approche écologique et évolutive*, Paris, Masson, Collection d'Écologie, 1995.
- Chauvet M. et Olivier L., *La biodiversité, enjeu planétaire. Préserver notre patrimoine génétique*, Paris, Éditions Sang de la Terre, 1993, 415 p.
- Deléage J.-P., *Histoire de l'écologie. Une science de l'homme et de la nature*, Paris, La Découverte, 1992.
- Di Castri F. et Younès T., Fonction de la diversité biologique au sein de l'écosystème, *Acta Oecologica*, 1990, 11 : 429-444.
- FAO, *Évolution des ressources forestières 1990, Synthèse mondiale*, Étude FAO Forêts, 1995, n° 124.
- Gallochat A., Peut-on breveter le vivant ?, *La Recherche*, 1994, 261, vol. 25, p. 56-60.
- Glachant M. et Lévêque F., *L'enjeu des ressources génétiques végétales. Aspects scientifiques, écologiques et économiques*, Les Éditions de l'Environnement, 1993.
- Gould S. J., *Le livre de la Vie*, Paris, Éditions du Seuil, 1993.
- Groombridge B. (éd.), *Global Biodiversity. Status of the Earth's living resources*, Londres, Chapman and Hall, 1992.
- Hermitte M. A., La gestion d'un patrimoine commun : l'exemple de la diversité biologique, p. 120-128, in M. Barrère (éd. sc.), *Terre, patrimoine commun*, Paris, La Découverte, 1992.
- Hoyt E., *La conservation des plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées*, Bureau des Ressources génétiques, 1992, 52 p.
- Lévêque F. et Glachant M., Diversité génétique, *La Recherche*, n° 239, janvier 1992, p. 114-123.
- Lovelock J., *Les âges de Gaïa*, Paris, Éditions Robert Laffont, 1990.
- Solbrig O. T., *From genes to ecosystems: a research agenda for biodiversity*, Paris, IUBS, 1991.
- Weber J. et Reveret J.-P., Bien communs : les leurres de la privatisation, *Savoirs 2*, Le Monde diplomatique, 1993, p. 71-73.
- Wilson E. O., *La diversité de la vie*, Paris, Éditions Odile Jacob, 1992.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	3
Chapitre I — Qu'est ce que la biodiversité ?	5
I. Origine et définition, 5 — II. La diversité du monde vivant : des gènes aux écosystèmes, 7 — III. La pierre angulaire : les relations homme-nature, 10 — IV. Vers une conception intégrée de la diversité biologique, 11.	
Chapitre II — Origine, inventaire et distribution de la biodiversité	13
I. La longue histoire de l'évolution, 13 — II. Les mécanismes de l'évolution, 18 — III. La notion d'espèce, 22 — IV. La spéciation, 23 — V. L'inventaire des espèces : connaissances et incertitudes, 25 — VI. Distribution géographique de la diversité biologique, 26.	
Chapitre III — Diversité biologique et fonctionnement des systèmes écologiques	29
I. Caractéristiques des écosystèmes et richesse des peuplements, 30 — II. Rôle écologique de la diversité des espèces : les espèces clés, 31 — III. Fonctionnement des systèmes écologiques, 34 — IV. Diversité biologique et stabilité des écosystèmes, 37 — V. Diversité biologique et productivité des écosystèmes, 39 — VI. Les fonctions de régulation des écosystèmes et l'hypothèse Gaïa, 40.	
Chapitre IV — Usages et valorisation de la biodiversité	43
I. Ressources vivantes naturelles, 44 — II. Ressources génétiques et agriculture, 47 — III. Biotechnologies, 54 — IV. Biodiversité et loisirs, 58.	
Chapitre V — Enjeux économiques de la biodiversité	61
I. Logiques économiques et logiques écologiques, 61 — II. Donner un prix à la biodiversité, 62 — III. Monnayer l'accès aux ressources génétiques, 68 — IV. Droits de propriété intellectuelle, 70.	
Chapitre VI — Conséquences des activités humaines sur la biodiversité	74
I. Appauvrissement de la diversité biologique : que savons-nous ?, 74 — II. Les mécanismes de l'érosion de la biodiversité, 78 — III. Causes indirectes, 84.	

Chapitre VII — Conservation de la biodiversité	88
I. Les aires protégées, 89 — II. Un nouveau rôle pour les jardins botaniques et zoologiques, 92 — III. Conservation des ressources génétiques, 94 — IV. Biologie de la conservation, 98 — V. Motivations éthiques et rôle de l'éducation, 100.	
Chapitre VIII — Biodiversité et développement durable	104
I. Le concept de développement durable, 105 — II. Le principe de précaution, 107 — III. Le développement rural intégré, 109 — VI. Savoirs traditionnels et gestion de la biodiversité, 111.	
Chapitre IX — Conventions internationales et mesures nationales en faveur de la conservation	113
I. La Convention sur la diversité biologique, 113 — II. Autres accords internationaux, 118 — III. Quelques mesures concernant la conservation des espèces et des milieux naturels en France, 121.	
Conclusion	124
Bibliographie	126

Imprimé en France
 Imprimerie des Presses Universitaires de France
 73, avenue Ronsard, 41100 Vendôme
 Avril 1997 — N° 43 628

Que sais-je?

COLLECTION ENCYCLOPÉDIQUE
fondée par Paul Angoulvent
dirigée par Anne-Laure Angoulvent - Michel

Derniers titres parus

- | | |
|--|--|
| 3186 Le cybermarketing
A DUFOUR | 3202 Moïse Mendelssohn
M-R HAYOUN |
| 3187 L'incertitude
G BRONNER | 3203 Histoire sanitaire et sociale
V-P COMITI |
| 3188 La pensée japonaise
P LAVELLE | 3204 Le droit international de la
santé
M BELANGER |
| 3189 Les territoires de l'État
J-L MARX | 3205 La logistique combinatoire
J-P GINISTI |
| 3190 La coopération Nord-Sud
S BRUNEL | 3206 L'apprentissage moteur
R THOMAS |
| 3191 Le tourisme urbain
G CAZES et F POTIER | 3207 Les Français de l'étranger
A VIVIEN et M RAUNET |
| 3192 Histoire de l'école primaire éle-
mentaire en France
J COMBES | 3208 Athènes des origines a 338
avant J-C
C BONNET |
| 3193 L'illettrisme
R GIROD | 3209 Les Républiques sœurs
J-L HAROUEL |
| 3194 Humanisme et technique
B JARROSSON | 3210 Histoire de Geneve
A DUFOUR |
| 3195 L'inspection du travail
P RAMACKERS et L VILBŒUF | 3211 Le sang humain et le droit
J-M AUBY |
| 3196 La devise « Liberté, Égalité,
Fraternité »
M BORGETTO | 3212 Histoire de la Catalogne
M et M-C ZIMMERMANN |
| 3197 La littérature indienne de langue
anglaise
M RENOUEAU | 3213 Tocqueville
J COENEN-HUTHER |
| 3198 Le sport et les collectivités ter-
ritoriales
P BAYEUX | |
| 3199 La didactique des langues étran-
gères
P MARTINEZ | |
| 3200 La timidité
C ANDRE | |
| 3201 Calcul économique et électricité
W VAROQUAUX | |

