

Éléments d'écologie

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

François Ramade

Éléments d'écologie

**Écologie appliquée : action
de l'Homme sur la biosphère**

7^e édition

DUNOD

Du même auteur

Éléments d'Écologie. Écologie fondamentale, 4^e éd., Dunod, 2009.

Dictionnaire encyclopédique des Sciences de la Nature et de la biodiversité,
Dunod, 2008.

Des catastrophes naturelles ?, Dunod, 2006.

Dictionnaire encyclopédique de l'Écologie et des Sciences de l'environnement,
Dunod, 2002.


Introduction à l'Écotoxicologie, Lavoisier tec & doc, 2007.

Dictionnaire encyclopédique des Pollutions, Ediscience International, 2000.

Dictionnaire encyclopédique des Sciences de l'eau, Ediscience International, 1998.

Illustration de couverture :

© 1Xpert – Fotolia.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	 <p>DANGER LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---	--

© Dunod, Paris, 2005, 2012

Ediscience International, Paris, 1995, pour la cinquième édition

ISBN 978-2-10-057981-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^e et 3^e a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

PRÉFACE DE LA 4^e ÉDITION



Quatre éditions en quinze ans ! Aucun autre ouvrage biologique n'a égalé ce record depuis un demi-siècle, et l'on est en droit de s'interroger sur les raisons d'un tel succès.

Les qualités de l'auteur y sont certes pour beaucoup. Point n'est besoin de souligner une fois de plus la façon dont François Ramade sait si bien combiner clarté du discours et solidité de l'argumentation. Par ailleurs, chacune des éditions successives d'« Écologie appliquée » a été soigneusement tenue à jour, l'auteur réussissant à se tenir remarquablement au courant de l'énorme littérature mondiale sur le sujet. Enfin, et ce n'est pas la moindre qualité de son œuvre, son approche équilibrée de problèmes souvent épineux ne peut que lui attirer la sympathie de tous ceux que le catastrophisme *a priori* de trop de vulgarisateurs a rendus méfiant sinon allergiques à l'écologie.

Mais les talents de François Ramade ne rendent pas compte à eux seuls du succès grandissant de son livre. La prise de conscience de l'importance des problèmes d'environnement par un public toujours plus vaste y est aussi pour beaucoup : c'est elle qui explique en grande partie pourquoi plus de 20 000 exemplaires d'un ouvrage scientifique de haute tenue ont pu trouver acquéreur entre 1974 et 1986 sur le marché hélas restreint de l'édition francophone.

Dans les premières années de l'après-guerre, les préoccupations pratiques des pionniers de l'écologie se limitaient pour la plupart à la protection des espèces végétales et animales sauvages dont l'avenir était menacé par l'industrialisation croissante et la surpopulation. C'est ainsi qu'en 1948 fut créé le premier organisme international chargé d'étudier les meilleurs moyens d'éviter la disparition des espèces menacées, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. Très rapidement cependant, les spécialistes concernés se rendirent compte que ce n'était pas seulement un petit nombre d'espèces de plantes et d'animaux rares dont l'avenir était en péril mais tout le potentiel de production biologique de la planète. Ceci amena dès 1956 l'UIPN à se transformer en UICN l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature de ses Ressources. Mais les pays industrialisés ont le plus souvent à se soucier d'excédents agricoles que de carences alimentaires, et le « Tiers-monde » garde toujours pour eux un parfum d'exotisme. La conservation des ressources naturelles renouvelables resta donc encore quelque temps la préoccupation de cercles restreints d'initiés. Ce fut l'apparition des premières pollutions massives, radioactives ou non, qui commença véritablement à inquiéter un public que le risque de disparition de quelques « petites bêtes » avait laissé jusqu'ici indifférent – ceci d'autant plus que l'on s'aperçut à cette occasion que les négligences du voisin pouvaient aussi avoir de fâcheuses répercussions sur notre santé. C'est alors que certains gouvernements créèrent leurs premiers Ministères de l'environnement et que la Conférence de la Biosphère organisée en 1968 par l'Unesco, puis celle de Stockholm (1972) qui marqua la naissance du programme des Nations Unies pour l'Environnement (l'UNEP

des anglophones) commencèrent à faire prendre nos problèmes au sérieux par un public toujours plus large. Cette prise de conscience s'accrut encore au cours des deux dernières décennies. Comme l'économie, l'écologie s'est maintenant globalisée. Impossible désormais de continuer à regarder nos problèmes par le petit bout de la lorgnette. L'augmentation progressive et régulière de la teneur en CO₂ de l'atmosphère, conséquence d'une industrialisation croissante et d'une déforestation massive et anarchique, la découverte de « trous d'ozone » au-dessus des pôles, l'accumulation de certains polluants dans les chaînes alimentaires, et les pluies acides commencent déjà à faire sentir leurs effets climatiques et biologiques sur tout le globe, menaçant notre santé, notre économie et le futur de nos enfants. Pour une fois, riches et pauvres risquent d'être mis dans le même sac — et ceci dès le siècle prochain. La politique de l'autruche, qui a trop souvent prévalu jusqu'ici, est de ce fait devenue de moins en moins défendable quoiqu'il puisse en coûter à certaines de nos aises. Cette réalisation de la magnitude du phénomène, et de l'urgence de certaines révisions déchirantes de nos illusions les plus chères, continue à faire des progrès mais encore faut-il passer à l'action, que le diagnostic une fois posé, la thérapeutique puisse être mise au point, puis appliquée aux différents niveaux : individuel, régional, national et planétaire.

La tâche n'est pas facile, car cela commence par la nécessité absolue de maîtriser rapidement l'accroissement explosif de la population du globe qui continue à aggraver sans cesse le déséquilibre entre populations et ressources, rendant de plus en plus problématique une amélioration du niveau de vie des trois-quarts de la population humaine. François Ramade a eu mille fois raison de consacrer son premier chapitre à cette question cruciale. Que le lecteur commence à se pencher sur les chiffres du tableau de la page 44. Il y constatera qu'en mettant les choses au mieux, il y aura dans un siècle 9,5 milliards d'hommes au lieu des 5 milliards qui y vivent actuellement, et que la population des pays industrialisés (1,1 milliard) restera plus ou moins la même, alors que celle des pays du « Tiers-monde » aura doublé (6,3 milliards au lieu de 3,2). Qui plus est au train où vont les choses, cette hypothèse basse a bien peu de chances de se réaliser et c'est l'hypothèse haute que les démographes considèrent comme probable, c'est-à-dire un total de ± 14 milliards d'hommes vers la fin du XXI^e siècle. Ce n'est qu'ensuite que la population serait susceptible de se stabiliser voire de diminuer. Lors de ma première visite en Inde en 1953, la population totale du pays était de 360 millions d'habitants ; elle est aujourd'hui de plus du double ! Doit-on alors s'étonner que malgré les grands efforts de ses gouvernants, une abondance de cadres et de scientifiques qualifiés que bien des pays lui envient, et en dépit de l'aide internationale, le niveau de vie de la plupart des Indiens ne se soit guère amélioré et que Calcutta soit toujours fidèle à sa légende. Pourtant une telle évidence n'empêche pas certains chefs religieux de continuer à prôner le « Croissez et Multipliez » de la Genèse comme si nous étions encore au néolithique. Faudra-t-il devant tant d'aveuglement, attendre que les mécanismes régulateurs traditionnels des populations animales entrent d'eux-mêmes en jeu pour ramener les effectifs d'Homo dit sapiens à un niveau compatible avec la production de ressources nécessaires à leur simple survie ? Famines, épidémies et guerres fratricides seraient-elles le seul recours ? Ce serait à désespérer de l'intelligence humaine alors que le Japon, Singapour et à un moindre niveau la Chine, nous ont montré qu'il était possible de contrôler l'explosion démographique.

La suppression des retombées néfastes de certaines technologies modernes est, a priori, plus facile à mettre en œuvre. Dans la plupart des cas, les techniques de remplacement existent, mais il faut tenir compte de contraintes économiques et politiques puissantes. Tout contrôle de pollution par une entreprise implique un « surcoût » et si les concurrents n'appliquent pas les mêmes méthodes l'entreprise non polluante sera automatiquement

mise en difficulté et sa survie menacée. Les mesures antipollution doivent donc être adoptées en même temps par tous les industriels de la branche concernée et si possible au plan international — ce qui est toujours difficile. Il n'est pas étonnant que les gouvernements et les industriels en cause n'arrivent que lentement à s'entendre. Les premiers accords sur l'interdiction des fréons ainsi que de l'addition de plomb tétra-éthyle aux supercarburants auxquels les ministres sont parvenus au sein de la Communauté Économique Européenne sont néanmoins de bon augure.

Il est tout aussi difficile de remplacer certaines pratiques traditionnelles mais dangereuses pour le maintien de la productivité biologique des écosystèmes, qui sont répandues dans bien des pays tropicaux. Si le vaqueiro brésilien continue à brûler les forêts du Mato Grosso ou de l'Amazonie pour élever ses vaches étiques et si les nomades du Sahel coupent les derniers arbustes pour se procurer le bois de feu, ce n'est pas par simple manie de la déforestation. Ces éleveurs n'ont tout simplement aucun autre moyen de survie pour l'instant.

Toute mesure de protection de l'environnement naturel, là comme ailleurs, doit s'accompagner de programmes de développement adaptés aux conditions écologiques et culturelles locales permettant aux populations concernées d'entrevoir une amélioration de leurs conditions. Dans ce domaine, beaucoup reste à faire pour que l'aide internationale et les désirs des gouvernements locaux tiennent compte des contraintes écologiques incontournables.

Nous-mêmes, peuples « développés » bénéficiant de grands moyens et des bienfaits des sciences et de la technique devrions être un peu plus modeste avant de nous poser en exemple au reste du Monde. Que l'on se souvienne seulement de la difficulté de faire appliquer en France les normes européennes sur la chasse.

L'action pour une meilleure gestion de la biosphère doit être entreprise à trois niveaux : les associations, les gouvernements et les institutions internationales. Le rôle des associations est capital, et encore très insuffisant dans beaucoup de pays dont le nôtre. C'est à leur niveau en effet que la réflexion doit s'approfondir, et le dialogue nécessaire entre écologistes, économistes et « décideurs » se développer. Il ne faudrait en effet pas croire que nous en savons actuellement assez pour résoudre tous les problèmes d'environnement qui se posent — dans les tropiques en particulier. Beaucoup de recherches de base restent encore à accomplir avant que nous puissions maîtriser tous les « compartiments » épigés et surtout endogés des écosystèmes. Pour cela, des programmes tels le « Global Change » de l'ICSU, ne suffisent pas. Le travail de terrain et de laboratoire ne doit pas seulement se poursuivre mais se développer, car le plus sophistiqué des satellites ne nous dira jamais pourquoi, par exemple, tel parasite est inféodé à telle espèce d'hôte et non à telle autre. Les aspects culturels sociaux et économiques de la protection de la Nature méritent aussi plus d'attention que l'on ne leur en accorde généralement : la plus logique des solutions au plan écologique restera toujours lettre morte, si elle est économiquement irréaliste, ou tout simplement incompatible avec les traditions locales. Ce sont enfin les associations qui par leur sérieux et leur représentativité, seront susceptibles de jouer le rôle de ces groupes de pression, toujours nécessaire pour « faire bouger » les organismes professionnels, les gouvernements et les agences supranationales.

Je suis persuadé que cette nouvelle édition d'« Écologie appliquée » enrichie comme elle l'est de plus de 100 pages d'informations supplémentaires, et comportant au total 250 pages de texte nouveau contribuera beaucoup à améliorer l'image de notre discipline que trop de « décideurs » de tous bords considèrent toujours comme un simple refuge de rêveurs irréalistes, nostalgiques du passé ou de naturalistes du dimanche. Si la noire prophétie de Léonard

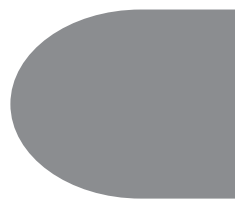
Préface de la 4^e édition

de Vinci placée en exergue de ce livre ne se réalise finalement pas, ce sera pourtant aux écologistes de ce siècle qu'on le devra !

Professeur François BOURLIÈRE¹
*Président Honoraire de l'Union Internationale pour
la Conservation de la Nature et de ses Ressources
(UICN) et de l'Association Internationale d'Écologie (INTECOL)*

1. Professeur de Physiologie à la Faculté de Médecine de Paris, François Bourlière (1913-1993) fut un chercheur en biologie aux multiples compétences qui fut très tôt considéré par la communauté scientifique internationale comme un pionnier de l'Écologie tropicale et de ce que l'on dénomme aujourd'hui l'« Écologie de la conservation ». Cette discipline inclut à la fois les aspects fondamentaux et appliqués de l'Écologie permettant la mise en œuvre concrète de la Protection de la Nature et de sa biodiversité.

PRÉFACE DE LA 1^{re} ÉDITION



Un très grand nombre d'articles, de revues spécialisées, des livres alertent chaque jour le public des menaces qui pèsent sur l'avenir de nos conditions de vie, par suite de la croissance inquiétante des populations humaines, de la dilapidation de nos ressources naturelles, de la dégradation et de la pollution de nos milieux. Tout cela pour satisfaire aux exigences sans cesse renouvelées d'une civilisation industrielle dont le but, améliorer les conditions de vie, demeure cependant prisonnier d'une conception étriquée du bien-être. En effet, améliorer les conditions de vie de l'individu, de la famille et de la société ne signifie rien si demain, leurs descendants sont ruinés dans leur santé, perdu l'essentiel de leurs biens naturels et de leur raison de vivre, et si la société voire l'espèce même, est menacée de déclin. Cela rappelle la formule bien connue : « c'est le père qui boit et c'est l'enfant qui trinque ».

Tout cela est si dramatiquement ressenti que quantité de jeunes sont aujourd'hui désespérés devant le fossé qui se creuse entre leur désir de plénitude de vie et l'avenir incertain qu'ils perçoivent.

On a taxé de sensiblerie l'inquiétude manifestée parfois avec beaucoup de talent par de nombreux écrivains. Mais les risques sont réels, ils doivent être perçus, analysés, expliqués et c'est la tâche de l'écologiste d'en parler froidement en technicien.

C'est de cette façon qu'est né l'ouvrage de François Ramade. Un ouvrage qui repose sur une documentation scientifique tenue à jour et cella dans des disciplines très variées. Un ouvrage qui enseigne et qui renseigne ; qui enseigne, car on y trouve exposé dans la première partie un exposé des principes écologiques fondamentaux qui gèrent la biosphère ; qui renseignent, parce que partout le raisonnement s'appuie sur des faits, des chiffres qui sont rapportés par des expériences qui sont décrites, sur des témoignages qui sont cités.

Un ouvrage écrit avec fermeté et compétence par un écologiste qui a en même temps reçu une formation d'ingénieur, par un enseignant qui est en même temps un chercheur.

Un ouvrage qui ne fait pas appel à la sensiblerie, mais qui se lit cependant avec passion, qui doit intéresser en même temps l'étudiant et l'homme cultivé.

Il est un public à qui je recommanderais volontiers ce livre, c'est celui des étudiants dont la formation scientifique ne comporte pas ou insuffisamment d'Écologie générale et appliquée. Je pense aux futurs cadres administratifs et financiers, aux juristes, économistes, sociologues, aux architectes et urbanistes, aux ingénieurs futurs industriels et surtout peut-être aux futurs politiciens... mais pourquoi pas à nos hommes politiques du jour.

Préface de la 1^{re} édition

Le lecteur, quel qu'il soit, appréciera l'effort de synthèse de l'auteur et la documentation considérable qu'il a rassemblée. Il appréciera également la présentation soignée et moderne de l'ouvrage.

Paul PESSON
*Professeur d'Écologie et de Zoologie
à l'Institut National Agronomique*¹

1 Paul PESSON (1912- 1990), fut l'un des fondateurs et un ancien Président de la Société française d'Écologie. Son œuvre scientifique a concerné l'étude anatomique, physiologique et écologique des insectes. Il fut le premier à introduire un enseignement d'Écologie dans une Grande École d'Ingénieurs française, l'Institut National Agronomique de Paris, et cela dès la fin des années 1940.

AVANT-PROPOS

Quelques 39 années se sont écoulées depuis la première rédaction de nos *Éléments d'Écologie Appliquée*, ouvrage qui portait déjà en sous-titre : *action de l'Homme sur la biosphère* intitulé repris depuis lors par d'autres ouvrages d'écologues francophones publiés de nombreuses années après notre première édition¹. Au cours de cette période, la science écologique a beaucoup progressé au plan conceptuel et le champ de ses applications s'est considérablement étendu et approfondi au point que la profession d'ingénieur écologue a connu un développement spectaculaire dans les pays développés, confirmant son émergence en tant que discipline majeure de la biologie.

Hélas, pendant les dernières décennies du xx^e siècle, il a fallu simultanément déplorer une considérable augmentation de l'action négative de notre espèce sur les ressources naturelles dont dépend pourtant sa survie, et de façon plus générale de l'impact néfaste qu'elle exerce sur l'ensemble de l'écosphère. L'étendue et la gravité des dommages déjà perceptibles à une échelle maintenant planétaire, montrent quelles dimensions inquiétantes sont aujourd'hui atteintes par ce que l'on a pu dénommer à juste titre la crise globale de l'environnement. Toutefois, à ce constat — certes réaliste mais pessimiste — de la situation présente peut être opposé celui, positif, de la prise de conscience incontestable et de plus en plus généralisée de l'impact dramatique de l'espèce humaine sur son propre environnement. Cela s'est déjà traduit par le fait que de nombreux pays développés, ainsi que les institutions internationales spécialisées dépendant des Nations unies, ont adopté, surtout depuis le début des années 1980, un corpus de plus en plus étoffé de lois et de conventions internationales destinées à limiter les pollutions, à protéger plus efficacement les espèces et leurs habitats, à prendre en compte et à mieux évaluer les contraintes écologiques propres à toute opération d'aménagement. Il s'en est suivi l'apparition de nouveaux besoins — en croissance incessante — tant de généralistes que de spécialistes, bénéficiant d'une formation supérieure, certes en droit et gestion de l'environnement, mais surtout en écologie, capables de répondre à la demande afférente en expertise scientifique et technique. Ces besoins de formation sont d'autant plus nécessaires que des problèmes scientifiques et technologiques très complexes sont souvent impliqués dans la mise en œuvre des mesures réglementaires précitées, dans celle de ce que l'on dénomme le « principe de précaution », et plus généralement dans tout ce qui se rapporte aux diverses activités industrielles, agricoles et à la gestion des ressources naturelles.

Ces diverses considérations nous ont conduits à effectuer une révision et une actualisation approfondies — voire à une refonte — de cet ouvrage. Bien plus qu'une réédition, cette 7^e édition d'*Écologie appliquée* constitue donc un livre en partie nouveau. En effet, nous avons dû tenir compte du fait qu'au cours de la dernière décennie, quelques-uns des problèmes évoqués dans les éditions précédentes ont été quasiment résolus par la mise en œuvre effective de

1. À partir de la 3^e édition (1983), cet ouvrage a été scindé en deux volumes *Éléments d'Écologie : Écologie appliquée* et *Éléments d'Écologie : Écologie fondamentale* (McGraw-Hill 1^{re} édition 1984) dans lequel a été reprise et considérablement développée toute la partie générale et conceptuelle contenue dans la première partie des premières éditions d'*Éléments d'Écologie appliquée*. Une 4^e édition d'*Écologie Fondamentale*, entièrement revue et considérablement augmentée, a été publiée par Dunod Sciences en octobre 2009.

mesures appropriées. À l'opposé, de graves problèmes écologiques qui se manifestent souvent à une échelle planétaire ont donné lieu à de nouveaux développements. Ces derniers se sont amplifiés, ou même sont parfois apparus en date encore récente, alors qu'ils étaient jusqu'à présent méconnus ou tenus comme négligeables.

En conséquence, nous avons procédé à une nouvelle rédaction d'une grande partie de l'ouvrage et modifié de façon importante plusieurs chapitres. C'est en particulier le cas de ceux sur la pollution de l'air, des sols et de la pollution nucléaire ainsi que de leurs conséquences aux plans écotoxicologique et de celui de l'Écologie globale, et du chapitre sur la pollution des eaux. Par ailleurs, dans la seconde partie de l'ouvrage, qui concerne les problèmes de dégradation et de conservation de la biosphère, le chapitre relatif à l'utilisation rationnelle des ressources naturelles pour un développement durable, a été entièrement réorganisée et modifiée.

Enfin, toutes les données statistiques relatives soit aux processus écologiques naturels soit à des activités humaines présentant un impact environnemental (rejets de polluants, utilisation de l'énergie, quantités de ressources naturelles non renouvelables ou biologiques exploitées annuellement, etc.) ont été actualisée pour 2010 et même jusqu'en mars 2012 quand ces données étaient disponibles dans les publications spécialisées¹. En définitive cette présente édition d'*Écologie appliquée* comporte plus de 400 pages de texte nouveau ou modifié et une cinquantaine de figures nouvelles ou très modifiées par rapport à l'édition précédente, la 6^e ! À l'opposé les 36 planches N et B dans le texte des éditions antérieures à la 6^e avaient été supprimées pour des raisons de coût d'impression... suppression pro parte compensée par huit planches en couleur hors texte : l'une comportant deux cartes du monde sur les changements climatiques futurs et 7 autres photographiques.

Ce livre est avant tout destiné aux étudiants en biologie des universités et des grandes écoles d'ingénieurs. La majorité des chapitres qui le composent a été rédigée à partir de nos notes de cours en second cycle de biologie et/ou dans des séminaires et conférences que nous donnons dans divers enseignements de 3^e cycle (DEA et DESS). C'est bien sûr le cas de nos cours au Mastère 2 PCGE de l'Université de Paris-Sud (ex-DESS pollutions chimiques et environnement que nous avons créé à la Faculté des Sciences d'Orsay) et de ceux donnés dans d'autres universités françaises, en particulier au DEA national de Toxicologie de l'Environnement à l'université de Metz. Nous avons aussi utilisé pour cette rédaction les notes correspondant à nos enseignements dans diverses universités étrangères et autres institutions scientifiques internationales dans lesquelles nous avons été conviés à donner des conférences ou des séminaires en écologie appliquée. Toutefois, nous en avons délibérément simplifié l'exposé, autant que faire se peut, afin que celui-ci demeure accessible aux étudiants du premier cycle des universités ainsi qu'au lecteur disposant d'une formation scientifique mais non-spécialiste.

Enfin, nous espérons que cet ouvrage soit utile aux ingénieurs, en particulier à ceux qui travaillent dans les secteurs chimique ou agronomique, aux médecins, et aux responsables de diverses administrations nationales, régionales, départementales et municipales (DIREN, DRIRE, DDE, DDA, DASS), intervenant d'une façon ou d'une autre dans la gestion de la nature et de ses ressources et/ou dans la protection de la santé publique. De façon plus générale, cet ouvrage s'adresse à quiconque s'intéresse d'une façon ou d'une autre aux problèmes d'environnement... et aussi, pourquoi pas, aux hommes politiques, qu'ils soient au pouvoir ou dans l'opposition, qui trop souvent parlent d'Écologie et depuis quelque temps de développement durable, en faisant preuve, de façon trop générale, d'une confondante ignorance de ce qu'en réalité ces termes signifient...

1. Il convient à ce sujet de noter que les statistiques mondiales présentent en général une année de retard. Certaines peuvent même retarder de voire 4 ans. On citera par exemple le « *Fisheries yearbook* » de la FAO qui donne les tonnages des prises des pêcheries mondiales (en 2011 ont été publiées les données de 2008...).

TABLE DES MATIÈRES



Préface de la 4^e édition	V
Préface de la 1^{re} édition	IX
Avant-propos	XI
Introduction	XVII
Chapitre 1. Les facteurs de dégradation de la biosphère : leur nature et leur importance	1
1.1 L'impact de la technologie	2
1.1.1 Altérations de l'environnement engendrées par des hommes primitifs	2
1.1.2 L'agriculture, première cause de déséquilibre due à l'action de l'Homme	3
1.1.3 La société technologique contemporaine et son impact sur la biosphère	7
1.2 L'explosion démographique contemporaine	12
1.2.1 La croissance démographique humaine au cours du Quaternaire	26
1.2.2 Prospectives démographiques : catastrophe ou transition démographique puis stabilisation ?	33
Chapitre 2. Le problème des pollutions et ses implications écologiques	47
2.1 Nature et modalités de pollution de la biosphère	47
2.1.1 Historique	47
2.1.2 Les causes actuelles de pollution de la biosphère	49
2.1.3 Définition des pollutions	54
2.1.4 Classification des pollutions	56
2.2 Dispersion et circulation des substances polluantes dans la biosphère	56
2.2.1 Circulation atmosphérique des polluants	58
2.2.2 Incorporation des polluants dans la biomasse	62
Chapitre 3. Pollution atmosphérique	73
3.1 Origines et modalités de la pollution atmosphérique	73
3.2 Les principaux polluants atmosphériques	75
3.2.1 Principaux polluants gazeux	79
3.2.2 Polluants particuliers (« aérosols »)	106
3.3 Effets de la pollution atmosphérique sur les climats	122
3.3.1 Les variations climatiques du passé et leurs causes	123
3.3.2 Effets de la pollution atmosphérique sur le climat global	129
3.3.3 Effets sur les mésoclimats	152

Table des matières

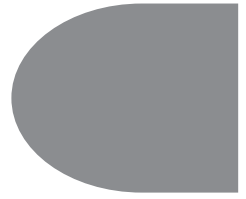
3.4	Perturbation des cycles biogéochimiques par la pollution atmosphérique	158
3.4.1	Perturbation du cycle du carbone	159
3.4.2	Perturbation du cycle de l'oxygène	168
3.4.3	Perturbation du cycle de l'azote	169
3.4.4	Perturbation du cycle du soufre	170
3.5	Conséquences écotoxicologiques de la pollution atmosphérique	173
3.5.1	Impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes forestiers	174
3.5.2	Impact de la pollution atmosphérique sur les agro-écosystèmes	190
3.5.3	Impact de la pollution de l'air sur les populations humaines	192
3.5.4	La protection de la qualité de l'air	195
Chapitre 4. La pollution des sols		197
4.1	Modalités et conséquences de la pollution des sols par l'agriculture moderne	198
4.1.1	Pollution par les engrais	199
4.1.2	Pollution par les pesticides	210
4.2	La pollution des sols par les contaminants d'origine industrielle	256
4.2.1	Principales causes et importance de la pollution des sols d'origine industrielle	256
4.2.2	La protection des sols agricoles contre les pollutions	260
Chapitre 5. La pollution des eaux continentales et océaniques		263
5.1	Nature et importance de la pollution des eaux	265
5.1.1	La pollution biologique des eaux	270
5.1.2	La pollution chimique des eaux	272
5.1.3	La pollution thermique des eaux	303
5.2	Conséquences écologiques de la pollution des eaux	308
5.2.1	Effets de la pollution organique des eaux	308
5.2.2	Effets écotoxicologiques de la pollution chimique des eaux	335
5.2.3	Conséquence de la pollution chimique des eaux pour les biocénoses aquatiques	342
5.2.4	Conséquences de la pollution par les polluants organiques persistants	357
5.2.5	Conséquences écologiques de la pollution thermique des eaux	359
Chapitre 6. La pollution nucléaire		371
6.1	Notions de radiobiologie	374
6.2	Conséquences écologiques des retombées radioactives	395
6.2.1	Le comportement des radionucléides dans les biotopes et les biocénoses	395
6.2.2	Contamination de l'océan par les retombées radioactives	401
6.3	Conséquences écologiques de la pollution par l'industrie nucléaire	404
6.3.1	Le cycle du « combustible »	404
6.3.2	Le comportement des radionucléides produits par l'industrie nucléaire dans les écosystèmes	417

6.3.3	Les risques d'accidents dans l'industrie nucléaire et leurs conséquences radioécologiques	423
6.3.4	Contexte environnemental et économique propre au développement de l'énergie nucléaire	436
Chapitre 7. La dégradation des écosystèmes et la ruine de la biosphère		439
7.1	La destruction des écosystèmes terrestres	439
7.1.1	La déforestation	440
7.1.2	La dégradation des boisements ouverts et des formations herbacées	470
7.1.3	La désertification	478
7.1.4	La destruction des sols	483
7.1.5	L'érosion des sols	491
7.1.6	La dégradation de l'espace rural	502
7.2	La dégradation des écosystèmes aquatiques continentaux	503
7.2.1	L'assèchement des zones humides	503
7.2.2	L'altération des hydrosystèmes fluviaux	506
7.3	La dégradation des écosystèmes côtiers et marins	512
7.3.1	La dégradation des écosystèmes côtiers terrestres et supralittoraux	512
7.3.2	La dégradation des récifs coralliens	515
Chapitre 8. L'éradication de la biodiversité		523
8.1	Les épisodes d'extinction massive des temps géologiques passés	524
8.1.1	Les principaux épisodes d'extinction	526
8.1.2	Les causes des extinctions massives	528
8.2	Les extinctions depuis la préhistoire humaine	529
8.2.1	Les disparitions d'espèces du début de la préhistoire à la fin du néolithique	530
8.2.2	Les extinctions depuis le début de la période historique jusqu'à nos jours	531
8.2.3	Variations de la vitesse d'extinction au cours des époques géologiques : les rythmes d'extinction actuels	537
8.3	Les mécanismes des extinctions	538
8.3.1	Les causes intrinsèques de l'extinction	539
8.3.2	Concepts fondamentaux démoécologiques relatifs aux extinctions	539
8.3.3	Principales modalités par lesquelles l'homme compromet la stabilité des populations naturelles	542
8.4	L'évaluation du degré de menace d'extinction	546
8.4.1	L'échelle des risques concernant les espèces en danger	546
8.4.2	Quantification des risques d'extinction	546
8.5	Les causes et les mécanismes actuels de disparition des espèces vivantes	548
8.5.1	La surexploitation de la faune et de la flore	550
8.5.2	Les introductions de plantes ou d'animaux exotiques	588

Table des matières

8.5.3 Le rôle des modifications biocœnotiques et de la destruction des écosystèmes	596
8.5.4 Effets des pollutions sur la biodiversité	602
Chapitre 9. La conservation de la nature	609
9.1 Une impérieuse nécessité : la protection de la biosphère	609
9.2 Pourquoi protéger la nature ?	611
9.2.1 La conservation des espèces	611
9.2.2 La conservation des espaces naturels : écosystèmes et paysages protégés	625
9.3 Bases scientifiques et conditions prioritaires de la conservation	627
9.3.1 Le maintien des processus écologiques fondamentaux	628
9.3.2 L'exploitation rationnelle des ressources naturelles	630
9.3.3 Préservation de la diversité génétique et de la biodiversité	631
9.4 La mise en œuvre de la conservation	631
9.4.1 La sauvegarde des espèces menacées	631
9.4.2 La conservation des écosystèmes	636
Chapitre 10. Limites des ressources de la biosphère et développement durable	653
10.1 Les limites énergétiques	656
10.1.1 Les ressources en combustibles fossiles	657
10.1.2 Les limites à l'utilisation des combustibles fossiles ou de l'énergie nucléaire	670
10.1.3 Économies d'énergie et recours aux énergies naturelles	673
10.2 Les limites des ressources en matières premières minérales	690
10.3 Les ressources en eau	692
10.3.1 Importance des ressources en eau disponibles à l'échelle globale	692
10.3.2 La crise contemporaine de l'eau	698
10.3.3 Comment satisfaire les besoins futurs en eau ?	705
10.4 Les limites de la production alimentaire	706
10.4.1 L'insuffisance de la production alimentaire mondiale	706
10.4.2 Les limitations à l'accroissement de la production alimentaire	710
10.5 Quel effectif maximal d'hommes compatible avec un développement durable serait supportable par la biosphère ?	726
10.5.1 Limitations en matière de production alimentaire	727
10.5.2 Stabilisation des effectifs humains et développement durable	730
Bibliographie	735
Index taxonomique	755
Index général	763
Légendes des planches hors texte	789

INTRODUCTION



La seconde moitié du xx^e siècle a été marquée par la récurrence à une fréquence croissante d'événements dont l'impact a été défavorable voire même souvent désastreux sur l'environnement, et qui ont affecté de vastes étendues – depuis celle d'un pays pris dans son ensemble jusqu'à la biosphère tout entière. Parmi ces derniers, le réchauffement climatique global, dont les effets commencent à devenir perceptibles même par le profane, a contribué - au premier rang des phénomènes catastrophiques majeurs auquel on assiste depuis plusieurs décennies - à faire comprendre à un nombre croissant de responsables politiques, et de citoyens des pays développés que la civilisation industrielle ne saurait longtemps encore s'affranchir des contraintes écologiques.

Cette prise de conscience des conséquences dramatiques qui résultent à la fois du fait que l'humanité a développé des activités industrielles susceptibles de compromettre la pérennité de la biosphère tout entière, et de la façon irréfléchie par laquelle elle a fait de tout temps usage de la nature et de ses ressources, s'est de plus en plus affirmée au cours des toutes dernières décennies. Il est ainsi devenu évident, grâce à diverses recherches effectuées par de nombreux scientifiques, qu'en ces débuts de xxi^e siècle, l'action conjuguée qu'exercent sur les ressources naturelles à la fois le gaspillage propre aux nations industrialisées et la croissance démographique littéralement suicidaire du Tiers-Monde, constitue la cause essentielle de cette « crise » écologique globale, à laquelle l'espèce humaine est aujourd'hui confrontée.

En réalité, la destruction des forêts tropicales et tempérées, l'érosion des sols, la désertification de vastes territoires autrefois fertiles, l'épuisement des pêcheries maritimes, la crise mondiale de l'eau, celle du pétrole et des autres hydrocarbures fossiles, la raréfaction des matières premières minérales, et *last but not least* les pollutions globales (avec en corollaire les bouleversements climatiques que certaines sont en train de provoquer) constituent autant de faits concrets qui mettent en évidence l'action pernicieuse de l'espèce humaine sur la pérennité de la biosphère.

La prise de conscience des conséquences catastrophiques induites par ce comportement irréfléchi et irresponsable de l'ensemble de l'humanité conduisit dès la fin des années 1970 les Nations Unies à demander à l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources (UICN) de préparer un document, à l'usage des États concernés, dans lequel seraient précisées les bases sur lesquelles doit se fonder l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. Publiée en mars 1980, cette « Stratégie mondiale de la conservation », qui avait déjà pour sous-titre « la conservation pour un développement durable », montrait alors que seul le recours aux grandes lois de l'écologie dans l'organisation de l'économie humaine – en particulier en ce qui se rapporte à la fois à l'utilisation des ressources naturelles et à celle de l'espace – pouvait permettre à notre civilisation d'accéder à une forme de développement garantissant le bien-être des générations futures.

Ce changement d'attitude face aux graves menaces écologiques qui préfiguraient la crise contemporaine et globale de l'environnement avait déjà été marqué, au tout début des

Introduction

années 1960, par la mise en œuvre de diverses mesures de préservation par les pouvoirs publics de certains pays pionniers en la matière tels la Suède, la Norvège, le Canada et dans une moindre mesure les États-Unis¹.

Il s'était traduit ultérieurement, en 1972, par la conférence de Stockholm sur l'environnement de l'homme qui conduisit à la création du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Ultérieurement, la publication, en 1987, du Rapport Brundtland², intitulé « Notre Avenir commun », réalisé par la Commission des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement, reprenait avec une plus grande diffusion l'essentiel des idées et concepts originaux développés auparavant par la Stratégie Mondiale de la Conservation de l'UICN. Ce rapport attirait solennellement l'attention des hommes d'État de toute la planète sur la nécessité urgente de mettre en œuvre une active politique de protection de l'environnement global et d'utilisation rationnelle des ressources naturelles, devenue en cette fin de xx^e siècle une ardente obligation pour l'ensemble de l'humanité et un préalable catégorique non seulement à un développement durable mais à tout développement digne de ce nom.

Les conclusions du rapport Brundtland furent amplement reprises et développées par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio en juin 1992. L'impact « médiatique » de cette réunion internationale gouvernementale fut tel que les profanes et même des experts impliqués dans ces problèmes d'écodéveloppement ont attribué de façon profondément erronée à cette conférence de Rio la paternité du concept même de développement durable ! Au cours de cette Conférence, dont les résultats furent fort loin d'être à la hauteur de l'attente, trois conventions internationales de grande importance furent tout de même entérinées : celle sur les changements globaux, prenant en considération l'impact climatique de l'utilisation de l'énergie fossile, celle sur la préservation de la Diversité biologique et celle sur la prévention de la désertification.

En dépit des carences et des échecs sur bien d'autres thématiques environnementales d'importance cruciale, il s'agissait là d'une remarquable prise de conscience des hommes politiques. Songeons en effet au fait que dans un passé encore peu éloigné, à la fin des années 1960, les propos et les écrits de quelques biologistes clairvoyants qui déployaient dans de nombreux pays, dont le nôtre, de louables efforts pour convaincre leurs concitoyens de l'impérative urgence d'une protection de la biosphère se perdaient encore dans l'indifférence générale. Parfois même, de bons esprits les qualifiaient d'« ennemis du progrès » lorsqu'ils osaient évoquer l'antinomie qui oppose une certaine conception de la rentabilité économique et les exigences qu'implique la protection de l'environnement de l'homme.

Des catastrophes révélatrices

Comment expliquer ce changement d'attitude des gouvernements et aussi de l'opinion publique, dont les prémices remontent tout de même aux années 1960 et qui est allé en s'amplifiant au cours des dernières décennies du xx^e siècle ? Certes la Conférence Internationale organisée en septembre 1968 par l'Unesco sur l'« Utilisation rationnelle et conservation de la biosphère » puis celle de Stockholm, déjà citée, conduisirent à faire comprendre à des chefs d'États et autres hommes politiques, à certains industriels et une fraction de la société civile

-
1. Ce pays avait créé, dès 1964, le *Council on environmental Quality*, constitué par un ensemble de scientifiques, qui a pour objet de conseiller la Maison-Blanche sur toutes les mesures à prendre pour protéger l'environnement de l'Homme. Dans les pays Scandinaves, de nombreuses directives et lois ayant pour but mettre en œuvre une protection efficace de la nature et de l'environnement de l'Homme ainsi que la lutte contre les pollutions avait été édictée bien auparavant, certaines dès la fin du xix^e siècle.
 2. Par suite du fait que M^{me} Gro H. Brundtland, ancien premier ministre de la Norvège, fut la présidente de la commission des Nations Unies chargée d'élaborer ce rapport.

des pays développés, à comprendre quels risques présentent pour les générations futures bien des processus sur lesquels se fonde le fonctionnement de la civilisation moderne.

Cependant, l'intérêt croissant manifesté par le profane pour la protection de la nature — à tout le moins dans les pays de l'OCDE — ne résulte pas d'une activité d'information sinon de propagande des Associations, aussi intense et récente soit-elle. Plusieurs événements ont contribué, au cours des dernières décennies, à porter l'attention des foules sur des problèmes dont seuls les biologistes saisissaient depuis quelque temps l'importance. Dès la fin des années 1950, de nombreux habitants des pays occidentaux s'étaient alarmés pour la première fois d'un problème de pollution globale, celui des retombées radioactives consécutives aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère... ce qui conduisit à la ratification en 1962 par les États-Unis et l'URSS d'un traité international prohibant de tels tests.

Ultérieurement plusieurs naufrages de pétroliers eurent un énorme retentissement dans l'opinion publique, de l'ensemble de l'Europe occidentale. La première de ces catastrophes remonte au 10 mars 1967 lorsqu'un « super tanker », s'échoua dans l'archipel des Îles Scilly à l'extrême Sud-Est de l'Angleterre. En quelques jours 117 000 tonnes de pétrole s'échappèrent des soutes de l'épave générant une gigantesque « marée noire » qui atteignit les côtes Nord-Ouest de la Bretagne. Les moyens de lutte les plus divers furent mis en œuvre, de façon parfois intempestive, comme le bombardement de l'épave par la RAF, ou le déversement de quelque 15 000 t de détersifs (produits purs)... ce qui empira les dommages au lieu de les restreindre, les effets des détergents s'étant avérés ultérieurement plus nocifs pour la faune marine que ceux du pétrole brut... L'ampleur des dégâts fut très considérable : parcs à huîtres détruits, fonds marins riches en Crustacés et poissons démersaux stérilisés, régression draconienne des effectifs de diverses espèces d'oiseaux marins en particulier des Macareux moines (*Fratercula arctica*).

Une décennie plus tard, le naufrage de l'*Amoco Cadiz*, en mars 1978, à proximité de Port-sall, dans le Finistère, fut la plus importante « marée noire » ayant à ce jour affecté l'Europe occidentale avec quelque 220 000 t de pétrole brut déversées dans l'ouest de la Manche. Il contamina des centaines de kilomètres de côtes bretonnes et anglaises causant encore plus de dommages écologiques aux communautés marines côtières que le *Torrey canyon*. Après un procès-fleuve, qui dura près de quinze années, les compagnies responsables furent condamnées à payer 50 millions de francs de dommages, somme en réalité bien en deçà des pertes à long terme qu'avait induites ce sinistre.

Beaucoup plus près de nous, deux catastrophiques « marées noires » celle de l'*Erika* et celle du *Prestige*, la première survenue le 17 décembre 1999, la seconde en novembre 2002 affectèrent gravement les côtes espagnoles et françaises du golfe de Gascogne, celle du *Prestige* ayant plus particulièrement contaminé le littoral de l'extrême Nord du Portugal et de la Galice, au Nord-Ouest de l'Espagne. Dans un cas comme dans l'autre il ne s'agissait pas de pétrole brut mais de fuel lourd n° 2, qui constitue le pire des polluants parmi les diverses fractions extraites du pétrole brut. Bien que les tonnages « perdus » par l'*Erika* et le *Prestige* fussent moindres que dans les deux cas précédents, respectivement de l'ordre de 20 000 t et de 50 000 t, la considérable écotoxicité de la substance en question fit que les dommages observés, tant au plan des effets aigus qu'à long terme, excédèrent nettement l'ordre de grandeur de ceux qui furent provoqués par la « marée noire » de l'*Amoco Cadiz* !

Mais à côté du risque quantitatif que présente pour les écosystèmes terrestres et aquatiques diverses activités industrielles modernes existent un aspect qualitatif non moins préoccupant. On peut, en effet, opposer au déversement dans l'atmosphère ou dans les eaux de grandes quantités de substances modérément nocives celui de faibles quantités de composés chimiques, en particulier de polluants organiques persistants dont les dioxines sont devenues

Introduction

tristement célèbres, même du profane, ou encore de radio nucléides, doués d'une considérable dangerosité ; dans un cas comme dans l'autre le risque écotoxicologique est sans rapport avec les faibles masses de matière dispersées dans les biotopes contaminés.

Il a fallu attendre les années 1960 pour que l'importance de la radio contamination globale due aux essais d'armes nucléaires soit estimée dans toute son ampleur par la communauté scientifique internationale. Ultérieurement, le désastre de Tchernobyl montra à quel point la plus grande rigueur constituait un préalable catégorique à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

Cet accident catastrophique survint le 26 avril 1986 dans ce parc de centrales électronucléaires situé dans le nord de l'Ukraine, alors l'un des plus puissant du monde avec 5 réacteurs de chacun 1 100 MW (el) de puissance installée ! Une explosion thermodynamique due à une grave erreur de manipulation détruisit le « toit » du réacteur n° 5 et endommagea gravement son système de refroidissement. Cet accident provoqua la mort immédiate d'une quarantaine de personnes et en irradiia gravement plusieurs centaines d'autres. En outre le désastre de Tchernobyl s'est traduit par la pollution pour une durée indéterminée de quelque 3 000 km² de terres situées autour du réacteur incendié. Le nuage radioactif contamina plusieurs centaines de milliers de personnes vivant en Ukraine et en Biélorussie et ses retombées provoquèrent une pollution radioactive en Europe occidentale à des niveaux excédant localement les CMA jusqu'à plus de 2 000 km du site accidenté !

D'autres événements concernant le risque chimique firent aussi saisir les immenses dangers associés à des pollutions, apparemment faibles par la valeur absolue des masses rejetées dans l'environnement, dues à des substances de toxicité redoutable. Ce fut le cas en particulier de l'accident de Seveso, en juillet 1976 près de Milan, où l'explosion dans un réacteur chimique de synthèse du trichlorophénol libéra dans l'environnement 2 kg de Tétrachlorodibenzo-Dioxine ce qui, en dépit de la faible masse apparente de substance chimique à l'origine de cette contamination, conduisit par suite de son extrême toxicité à l'évacuation forcée de 1 300 enfants vivant dans la zone la plus contaminée et l'interdiction de l'usage agricole des sols dans une zone couvrant 1 700 ha peuplée de 30 000 personnes. Plus de 10 000 personnes, parmi lesquelles on distingua 1 200 cas d'intoxication aiguë, furent l'objet d'un suivi médical prolongé ! La destruction des écosystèmes et de leur biodiversité

En sus des pollutions accidentelles, indirectes... et parfois délibérées l'homme moderne a entrepris de ruiner non seulement son propre environnement mais, s'il n'y prenait garde, l'ensemble même de la biosphère par la surexploitation des écosystèmes et de leur biodiversité voire dans bien des cas par leur destruction pure et simple.

La surexploitation inconsidérée des ressources naturelles — relevant parfois même du vandalisme — qui affecte forêts, sols, flore et faune, la stérilisation de surfaces considérables et sans cesse accrues par le béton et le bitume, l'utilisation anarchique des terres par l'industrialisation « sauvage » ou par l'appropriation privée à des fins immobilières (souvent touristique) de sites vierges et d'habitats de grande importance écologique car peu ou pas altérés par l'Homme, constituent autant de modalités majeures par lesquelles notre civilisation organise le pillage de la biosphère.

La destruction des forêts pluvieuses tropicales, constitue une des menaces les plus préoccupantes parmi les différents écosystèmes terrestres dégradés par l'homme. Elles pourraient quasiment disparaître d'ici la fin du présent siècle si aucune mesure contraignante n'est prise au cours des toutes prochaines décennies afin d'assurer leur préservation. En outre, elles constituent le plus grand réservoir de biodiversité terrestre, et en sus de leur rôle économique, au travers par exemple de la production de bois précieux, jouent un rôle majeur dans

la régulation du climat de ces zones, en particulier de celle des pluies, au point que l'on a pu écrire que l'éradication de la forêt amazonienne ferait passer cette partie du continent sud américain de « l'enfer vert » au « désert rouge » ! Que dire aussi de l'érosion des sols de steppes ou des terres cultivées après défriche de la forêt, catastrophe silencieuse dont le taux demeure constant depuis trois décennies et qui fera disparaître si rien n'est fait 30 % des sols cultivables de la planète d'ici 2040 alors que sévissent déjà de façon récurrente et avec une fréquence accrue des crises alimentaires mondiales ?

La situation est tout aussi inquiétante pour les écosystèmes océaniques quand on sait, par exemple, que 20 % des récifs coralliens, le type d'écosystème ayant la plus haute biodiversité de l'océan mondial, a déjà disparu et que 70 % de ceux qui subsistent pourraient aussi s'éteindre d'ici 2060 ?

L'explosion démographique

Tout autant et parfois même plus que des technologies mal contrôlées, l'explosion démographique contemporaine constitue la cause primordiale de dégradation de la biosphère. En fin 2011, l'humanité a atteint l'effectif gigantesque de 7 milliards d'hommes. Ce nombre pourrait doubler au cours du présent siècle si rien n'était fait pour accélérer la réduction de son taux d'accroissement actuel afin de permettre la stabilisation définitive des populations humaines. La quasi-totalité de cette augmentation anarchique des populations humaines s'effectuera dans le Tiers-Monde avec pour conséquence la surexploitation et l'anéantissement pur et simple d'immenses étendues d'écosystèmes terrestres et marins côtiers. En outre cette démentielle explosion démographique s'accompagne d'une déforestation et d'une désertification dramatique, d'une désastreuse érosion des sols et d'une surexploitation massive de la faune océanique dues à la nécessité de nourrir ces effectifs humains pléthoriques. Ainsi, d'ici 2060, la production agricole mondiale devrait doubler, simplement pour maintenir un niveau de production alimentaire per capita constant, alors que sa valeur présente est déjà insuffisante eu égard aux besoins en nourriture de la population humaine actuelle !

La déforestation et la désertification représentent une conséquence immédiate de la surpopulation croissante du Tiers-Monde.

L'abattage des arbres afin de procurer des devises fortes aux gouvernements concernés par l'exportation de bois exotiques, mais surtout la défriche afin d'utiliser les terres ainsi récupérées pour l'élevage ou l'agriculture, confèrent à la destruction des forêts tropicales une ampleur sans précédent. Ses conséquences en matière de perte de biodiversité tant végétale qu'animale s'avèrent déjà calamiteuses à l'échelle globale.

En Asie du Sud-Est, la déforestation a pris les dimensions d'une immense catastrophe écologique au cours des deux dernières décennies, d'immenses incendies de forêts pluvieuses tropicales ayant à plusieurs reprises dévasté cette région du monde avec la destruction en Indonésie de près de 10 millions d'hectares de boisements dans la seule année 1998 !

Quant à la « mise en valeur » de l'Amazonie, dont à peine 3 % de la surface totale est constituée de sol qui pourraient supporter en permanence la mise en culture, elle se traduira par la destruction en quelques décennies du plus grand massif de forêts ombrophiles tropicales du globe avec pour conséquence des désordres climatiques d'ampleur catastrophique pour les pays appartenant au bassin-versant de ce fleuve.

Dans les zones tropicales à saison sèche prolongée tant de l'Ancien que du Nouveau Monde, la destruction des forêts de mousson qui y croissaient, puis des végétaux ligneux propres aux savanes leur ayant succédé, s'est traduite par un recul de l'ensemble des boisements, accentué dans les zones semi-arides par la quête incessante du bois de chauffe lequel fait cruellement

défaut dans ces régions. Ainsi, peu à peu, la conjonction des diverses causes de dégradation du couvert végétal par l'exploitation humaine se traduit par une aridification croissante. De la sorte s'installent inéluctablement l'érosion éolienne des sols et l'avancée du désert. Dans de telles régions marginales, ainsi dégradées par l'utilisation anarchique des ressources naturelles, et en outre de plus en plus surpeuplées, le moindre caprice climatique peut se traduire par une catastrophe d'ampleur internationale comme l'ont à plusieurs reprises montré depuis le début des années 1980, outre la grande famine en Éthiopie, l'occurrence de disettes épisodiques en Afrique subsaharienne.

Les changements globaux et les menaces afférentes

Au cours des dernières décennies, l'opinion publique tant dans les pays développés que dans ceux du Tiers-Monde a peu à peu pris conscience du risque majeur de déstabilisation de la biosphère associé à divers processus de dégradation de l'environnement dus à l'action de l'Homme qui se manifestent à l'échelle globale.

Ainsi, la découverte à la fin des années 1970 d'un « trou » dans la « couche » d'ozone antarctique, suivie à la fin des années 1980 de l'apparition de son homologue dans la stratosphère arctique, a fait saisir au profane que la technologie moderne pouvait par son usage intempestif rendre à terme impossible l'existence de toute vie à la surface des continents émergés. Depuis la fin de la dernière décennie, l'opinion publique a de même pris conscience des dangers liés aux changements climatiques globaux provoqués par la pollution atmosphérique due au rejet de gaz de serre d'origine industrielle, par suite de nombreux phénomènes météorologiques extrêmes advenus dans diverses régions du monde tant tempérées que tropicales, comme la vague de chaleur caniculaire qui affecta l'Europe occidentale dans l'été 2003. Longtemps niées par les lobbies internationaux de l'énergie, en particulier par celui du pétrole et... par les hommes politiques à leur solde¹, les conséquences climatiques du rejet sans cesse accru de CO₂ et d'autres gaz de serre dans l'atmosphère terrestre ont commencé à se manifester avec assez d'intensité pour inquiéter le profane. Outre la hausse continue des températures moyennes superficielles de la Terre, l'occurrence d'étés caniculaires, d'épisodes de plus en plus fréquents de sécheresses prolongées, de pluies diluviennes, de tempêtes d'une violence jusqu'alors méconnue et en régions tropicales de cyclones d'intensité majeure, constituent autant de signes avant-coureurs d'une catastrophe écologique globale dont l'espèce humaine sera la seule responsable. Pourtant, les avertissements des scientifiques concernés n'auront pas manqué, des groupes d'experts de grande compétence ayant attiré l'attention des pouvoirs publics sur les risques climatiques majeurs associés à la pollution atmosphérique dès le milieu des années 1960 ! Outre le désastre que représenterait un accroissement des épisodes de sécheresse dans les régions les plus productives au plan agricole de la planète, ou encore la montée des eaux dans des zones côtières les plus peuplées du monde, on a pu récemment estimer que ce réchauffement provoquerait l'anéantissement d'immenses écosystèmes comme la grande barrière de corail australienne et provoquerait en milieu terrestre une perte de biodiversité catastrophique par la disparition de deux millions d'espèces vivantes !

Malheureusement, face à cette chronique d'un désastre annoncé, la réponse des gouvernements et des organisations internationales paraît jusqu'à présent bien dérisoire... On songera

1. Il est de nos jours difficile de ne pas corrélérer le refus par le Président des États-Unis G. Bush, de ratifier le protocole de Kyoto limitant les rejets de gaz de serre dans l'atmosphère avec ses liens notoires à l'industrie pétrolière texane et au-delà aux groupes d'intérêts internationaux impliqués dans l'industrie des hydrocarbures gazeux et liquides.

simplement aux attermoissements de certains grands pays industrialisés, et au refus même du plus important d'entre eux, les États-Unis, d'entériner le protocole de Kyoto dont l'objet est de plafonner puis de réduire les rejets de CO₂ dans l'atmosphère en application de la convention de Rio sur les changements globaux.

Comprendre la menace

Les exemples précédents montrent à quelle multiplicité de dangers la stabilité de la biosphère est exposée et les considérables difficultés actuelles que l'humanité se doit de surmonter pour mettre en œuvre les mesures qui s'imposent afin de sauvegarder les conditions de vie des générations futures.

Les écologues et autres scientifiques ont certes déjà décrit et analysé, avec parfois une grande précision, l'importance et les modalités des multiples effets destructeurs qu'exerce l'humanité contemporaine sur son propre environnement, dont certains sont inattendus. Il apparaît cependant qu'en dépit de l'importance des acquis dans les domaines tant biologiques que géophysiques et géochimiques propres à l'étude de l'impact de l'Homme moderne sur l'écosphère, un immense besoin en recherche s'impose pour mettre en évidence des effets jusqu'à présent méconnus voire ignorés. Cet effort est encore plus indispensable afin d'évaluer les conséquences à long terme qui en résultent, pour mettre au point des contre-mesures et des méthodes de gestion rationnelle des ressources naturelles, lorsque ces dernières sont encore mal explorées voire nécessitent d'être créées *de novo*, enfin des technologies qui permettraient de restaurer les écosystèmes dégradés.

En réalité, et comme le soulignait déjà Max Nicholson (1970) dans son ouvrage la *Révolution de l'environnement*, cette dernière, à laquelle l'ensemble des populations humaines se trouvent aujourd'hui confrontées, présente deux aspects. Elle se caractérise tout d'abord par un bouleversement de la biosphère, dont la seule responsabilité incombe à notre espèce. Mais elle peut être envisagée sous un autre aspect, celui de l'absolue nécessité d'un changement d'attitude de nos semblables à l'égard des milieux naturels. La dégradation de la biosphère ne menace pas seulement les richesses esthétiques de la nature — que Von Humboldt désignait déjà au début du XIX^e siècle sous le terme de monuments naturels — ou encore les espèces représentant les éléments les plus rares de sa flore et de sa faune, aussi précieux soient-ils. Au-delà de la conservation des écosystèmes peu ou pas altérés par l'homme, sinon vierge, et de la biodiversité végétale et animale, se profile une question redoutable soulevée par la disparition des ressources naturelles minérales et biologiques indispensables au développement durable des générations futures. Celle-ci implique de façon impérative un ajustement des effectifs humains aux ressources naturelles disponibles

À une époque où selon toute apparence, les effets de l'explosion démographique ne préoccupent encore qu'une minorité des « décideurs » de la planète¹, *a fortiori* des citoyens concernés, il serait temps que les autorités politiques de chaque pays mettent rapidement en œuvre une coopération internationale efficace afin de stabiliser définitivement la population mondiale puis d'ajuster ses effectifs à un niveau compatible avec celui qui permettrait d'utiliser rationnellement et de préserver les ressources de la biosphère afin d'assurer le bien-être des générations futures par un développement durable.

1. Il est assez remarquable à cet égard que lors des réunions du G7, de l'OMC ou encore du Forum Économique International de Davos n'aient jamais été évoqués jusqu'à présent les rapports entre l'explosion démographique, la dégradation de l'environnement planétaire et la dilapidation des ressources naturelles pourtant indispensable au développement durable des populations humaines.

Introduction

Il est de toute évidence impossible en ces débuts de XXI^e siècle de prétendre assurer l'avenir de l'espèce humaine sans sauvegarder avec la plus grande rigueur la nature et ses ressources. En ce domaine, seuls les biologistes et en premier lieu les écologues peuvent apporter une démonstration scientifique de cette inéluctable nécessité. C'est ce que nous avons entrepris d'accomplir dans ce qui suit.

*À Gif-sur-Yvette,
Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse
Le 30 août 2012*

LES FACTEURS DE DÉGRADATION DE LA BIOSPHÈRE : LEUR NATURE ET LEUR IMPORTANCE

PLAN

- 1.1 L'impact de la technologie
- 1.2 L'explosion démographique contemporaine

« Aveugle à la nécessité de coopérer avec la nature, l'Homme passe son temps à détruire les ressources de sa propre vie. Encore un siècle comme celui qui vient de s'écouler et la civilisation se trouvera en face de la crise finale. Bien que la conscience terrifiée du danger tende à se faire de plus en plus largement sentir... il n'en reste pas moins que nulle part on n'est encore maître de la situation. »

F. Osborn, *Our plundered planet*, 1948

L'homéostasie de la biosphère n'a jamais été menacée par aucune des innombrables espèces vivantes qui l'ont peuplée jusqu'à l'époque très récente, eu égard à la durée des temps géologiques, où se différençia, avec le genre humain, le pire des ravageurs que l'univers ait connu. Celui-ci n'apparut qu'à la fin du Tertiaire. Les plus anciens fossiles connus du genre *Homo*, ceux de l'*H. rudolfensis* du site du lac Turkana au Kenya, sont vieux de quelque $2,6 \cdot 10^6$ ans¹. Cependant, près de 2 millions d'années s'écoulèrent avant que nos lointains ancêtres Paléanthropiens n'aient assez évolué et atteint une densité de population suffisante pour prendre une importance significative par rapport aux autres mammifères, et avant qu'ils n'exercent une influence perturbatrice réelle sur les écosystèmes.

Avec l'*Homo sapiens* apparut, voici au moins 200 000 ans, la première espèce animale dont l'impact sur la biosphère constituait une source potentielle de déséquilibre suffisante pour compromettre sa pérennité. Depuis lors, le progrès incessant de la technologie associé

1. Le plus vieil *Homininae* connu à l'heure actuelle, *Ardipithecus ramidus*, du site d'Aramis, en Éthiopie, remonterait à 4,5 millions d'années (White et coll., 1994).

à un vertigineux accroissement démographique, exercèrent sur le milieu naturel une action destructrice sans égale dans l'histoire de la Terre. L'homme apparaît donc aujourd'hui comme l'unique responsable de la dégradation de la biosphère contemporaine, laquelle, de l'avis des écologues et des paléontologues, n'a pas encore atteint l'apogée de son évolution.

Au fur et à mesure du développement de la pensée réfléchie et des autres progrès biologiques associés à l'hominisation, notre espèce a mis au point de nouvelles méthodes d'exploitation de la nature, de nouveaux outils, des technologies sans cesse plus perfectionnées, qui lui ont permis d'altérer, à un degré inégalé, la surface du globe. À l'opposé des espèces animales qui auraient pu l'avoir précédé en cette voie, ces dégradations ont été effectuées par l'homme de façon délibérée. Les progrès de l'intelligence chez les hommes primitifs, les archanthropiens, puis chez l'*Homo sapiens*, se sont accompagnés, non sans quelque paradoxe, d'une acquisition de comportements psychologiques néfastes, inconnus ou rarissimes chez les autres animaux. Ceux-ci l'ont conduit par cupidité, par imprévoyance sinon par vandalisme, à entreprendre la ruine de son propre environnement. Loin d'avoir disparu dans la civilisation contemporaine, le désir de profit immédiat, au moindre effort et (ou) à cours terme s'est traduit au cours des temps par une exploitation irréfléchie, exagérée, voire par une authentique dilapidation des ressources naturelles. Il conduit peu à peu de nos jours à une inexorable destruction de la biosphère, s'il n'est pas mis un terme, dans un proche avenir, à de telles pratiques.

1.1 L'IMPACT DE LA TECHNOLOGIE

1.1.1 Altérations de l'environnement engendrées par des hommes primitifs

Le feu constitua certainement le premier acquis technologique majeur de l'humanité. Jusqu'à ce qu'il s'en assure la maîtrise, l'Homme vécut en parfaite harmonie avec la nature à l'image des autres espèces animales, à tout le moins au plan écologique. En ce sens les hommes du paléolithique inférieur faisaient partie intégrante des écosystèmes et ne représentaient qu'un des multiples éléments qui constituent les biocénoses, incorporés comme toutes les autres espèces au cycle de la matière et au flux de l'énergie dans la biosphère. Ils occupaient dans les écosystèmes qu'ils peuplaient, une niche écologique d'étendue somme toute modeste¹. Mais aussitôt que les chasseurs paléolithiques disposèrent du feu, probablement depuis au moins 800 000 ans, ils se mirent à exercer sur les divers écosystèmes auxquels ils étaient inféodés une action dégradante hors de proportion avec leurs faibles effectifs². Nous avons aujourd'hui la certitude que l'usage du feu pour faire fuir et traquer le gibier provoqua il y a plusieurs centaines de milliers d'années un profond bouleversement dans les communautés végétales en diverses régions de l'ancien monde. Si l'Afrique fut sans doute la plus affectée, nous possédons la preuve que d'immenses incendies ravagèrent au Paléolithique les phyto-cénoses climaciques tant en Asie du sud qu'en Europe centrale.

Dans les régions tropicales, et peut-être tempérées, ces incendies causèrent la destruction de vastes surfaces de forêts primitives et interdirent leur régénération ultérieure. De plus, le couvert végétal spontané fut aussi, un peu plus tard, dégradé de façon intentionnelle pour contrôler les zones de boisement ouvert en diverses régions d'Afrique, d'Asie puis d'Amérique.

1. On dispose actuellement de preuves paléontologiques que les *Homo erectus* étaient certes des prédateurs, mais que leur régime alimentaire comportait une part significative de sarcophagie...

2. On estime que l'effectif total de l'humanité était, il y a quelques 500 000 ans, d'environ 200 000 individus.

Ces pratiques avaient aussi pour but de favoriser la constitution de steppes graminéennes qui supportent une faune d'ongulés beaucoup plus dense que celle des forêts primitives. Ainsi, ces incendies volontaires du couvert forestier ont déterminé l'extension des savanes en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud-Est. Voici une dizaine de millénaires, les Indiens d'Amérique du Nord ont étendu de la même façon la « prairie », en brûlant les forêts afin d'aménager des terrains de parcours pour les bisons¹. Si, dans ce dernier cas et dans quelques autres, cette modification du couvert végétal ne s'accompagna pas d'une perte de productivité pour les biotopes ainsi transformés, la dégradation systématique des phytocénoses par le feu a souvent amoindri la capacité biologique des milieux, comme en atteste l'étude des savanes de Côte d'Ivoire, du Brésil et des Guyanes.

Mais les chasseurs paléolithiques n'ont pas seulement modifié ou dégradé les communautés végétales sur de vastes surfaces. Toujours à l'aide du feu, combiné à l'emploi de diverses techniques de chasse, ils ont aussi appauvri de façon sensible la composition spécifique de la grande faune de Vertébrés qui peuplait diverses régions du globe.

Nous possédons aujourd'hui les preuves paléontologiques de cette extermination de plusieurs espèces animales géantes, témoins attardés de la riche faune du Néogène. Ainsi a-t-on pu parler des grands massacres du Pléistocène (Martin, 1967) qui, en Afrique tropicale, firent disparaître de la sorte, il y a environ 50 000 ans, plus de la moitié des grandes espèces de mammifères survivants des lointaines époques Tertiaire (cf. chapitre 8, p. 530 et 551). De même, les chasseurs du Paléolithique supérieur exterminèrent au Maghreb, il y a environ 12 000 ans, au moins 60 % de la grande faune mammalienne qui peuplait cette région.

Les Paléo-indiens d'Amérique du Nord ont éliminé le mammoth et le bison antique (*Bison antiquus*), dont ils anéantissaient des troupeaux entiers vers la même époque. On a ainsi découvert des charniers de ces animaux qui, cernés par les chasseurs et effrayés par le feu, allaient se précipiter dans des ravins ou des tranchées creusées à cette fin.

La disparition des Xénarthres géants d'Amérique du Sud, comme les Glyptodontes, pourrait avoir été accélérée par les Amérindiens primitifs. Enfin, les paléontologues ont aussi apporté la preuve du rôle joué par l'homme dans l'extinction des Dinornithides, ces Ratites géants de Nouvelle-Zélande et des Aepyornithides, leurs homologues de Madagascar.

1.1.2 L'agriculture, première cause de déséquilibre due à l'action de l'Homme

Au début du Néolithique, l'impact de l'Homme sur la biosphère s'est accru de plusieurs ordres de magnitude, avec la découverte de l'agriculture et l'accroissement démographique sans précédent qui en est résulté. Cette dernière constitue, sans conteste, après la découverte du feu, la seconde révolution technologique de l'humanité et a conditionné toutes les structures sociales adoptées par les civilisations qui se succédèrent depuis cette époque jusqu'à une date récente, et persistent encore en bien des pays du Tiers-monde.

Le développement de l'agriculture constitue aussi la première grande perturbation de la biosphère causée par l'homme. Il accéléra les modifications des zoocénoses évoquées ci-dessus en accroissant la vitesse d'élimination de la grande faune que les pasteurs considéraient souvent comme concurrente des animaux domestiques. Mais partout, l'extension de l'agriculture se caractérisa par des substitutions d'écosystèmes.

1. Il en est de même des aborigènes australiens de la Terre d'Arnhem qui brûlent les boisements ouverts afin de favoriser le développement de la végétation herbacée donc la densité de kangourous, leur gibier principal et la base de leur alimentation carnée.

Chapitre 1 • Les facteurs de dégradation de la biosphère : leur nature et leur importance

La série régressive : *sylva* → *saltus* → *ager* évoquée par Kuhnholz-Lordat se traduit par des substitutions d'écosystèmes car les biomes forestiers climatiques furent remplacés par des pâturages puis par des cultures.

L'agriculture se caractérise en effet par l'élimination, définitive et sur de vastes étendues, du couvert végétal primitif qui est détruit pour céder la place à un tout petit nombre d'espèces végétales cultivées que l'homme a choisi parmi celles qui conviennent le mieux à son alimentation. Outre cette perte considérable de biodiversité, l'extension de l'agriculture a exercé une influence catastrophique sur bien des écosystèmes terrestres. La déforestation massive effectuée sans discernement, la mise en culture intempestive des sols fragiles des régions tempérées et tropicales, ruinèrent irrévocablement d'immenses territoires.

L'horror sylvanum du Moyen Âge exprime bien cette attitude destructrice à l'égard de l'arbre. Elle s'est manifestée sous toutes les latitudes et dans des civilisations aussi éloignées de la nôtre que celle de la Chine antique. Faut-il rappeler que seulement 8 % de la surface de ce pays est actuellement boisée alors que les forêts en couvraient au moins 70 % au début du Néolithique ?

Outre la création d'agroécosystèmes — dans lesquels la diversité biologique est des plus réduites puisque l'homme y élimine, de façon artificielle, toute concurrence interspécifique pour favoriser un petit nombre de plantes cultivées — l'agriculture s'est accompagnée de la domestication d'un petit nombre d'espèces animales dont certaines furent utilisées pour le trait. Elle eut aussi pour conséquence essentielle d'accroître considérablement la masse de nourriture produite par unité de surface, et la quantité d'énergie mécanique dont l'homme pouvait disposer. La figure 1.1 illustre bien la modification des rapports entre l'homme et le milieu naturel qui accompagne le développement de l'agriculture.

L'agriculture permit aussi une certaine sédentarisation de l'habitat et l'apparition de concentrations humaines avec la création des premières cités. Alors que le chasseur paléolithique avait besoin d'une vingtaine de km² pour survivre, ce qui impliquait une forte dispersion des peuplements et donc une faible densité de population, l'agriculteur néolithique se satisfaisait de quelques hectares par personne. Par ailleurs, la découverte de la conservation des céréales dans des silos étanches permit la constitution de réserves et favorisa la transition du nomadisme au sédentarisme.

Malheureusement, la mise en culture intempestive de terres marginales et l'irrigation systématique de sols dont la structure pédologique ne pouvait pas supporter ces pratiques, eurent des conséquences catastrophiques sur la productivité des milieux ainsi modifiés. La destruction des communautés végétales naturelles fut souvent le prélude à l'aridification ou à la désertification totale de bien des territoires livrés à la culture ou transformés en pâturages. L'usage accru du feu par les pasteurs protohistoriques, afin d'aménager des terrains de parcours pour les animaux domestiques, en particulier la pratique du brûlis dans les régions méditerranéennes — incendie volontaire des forêts ou des maquis afin d'obtenir une repousse d'herbe verte — détruisit de nombreux boisements primitifs dont la disparition remonte à plusieurs millénaires en divers points du bassin méditerranéen.

L'irréversible altération du milieu naturel était déjà accomplie en bien des régions dès le début de l'ère chrétienne. Tel est, entre autres, le cas du croissant fertile. Ce territoire, berceau de la civilisation, s'étend en arc de cercle depuis le sud de la Palestine vers le nord de la Syrie, l'est de la Turquie et en Mésopotamie, où il se prolonge même dans la partie orientale de l'Irak. C'est là que fut inventée l'agriculture, voici plus de 10 000 ans : on a pu mettre en évidence le stockage du grain et l'élevage du mouton dès le IX^e millénaire dans les vestiges de Zawi Chemi en Irak. Aujourd'hui, le désert de sable s'étend sur bien des sites

préhistoriques du Moyen-Orient où prospéraient, il y a 8 000 ans, de florissantes civilisations agricoles néolithiques. L'exploitation abusive de ces biotopes détruisit peu à peu les forêts, la couverture végétale secondaire, puis les sols.

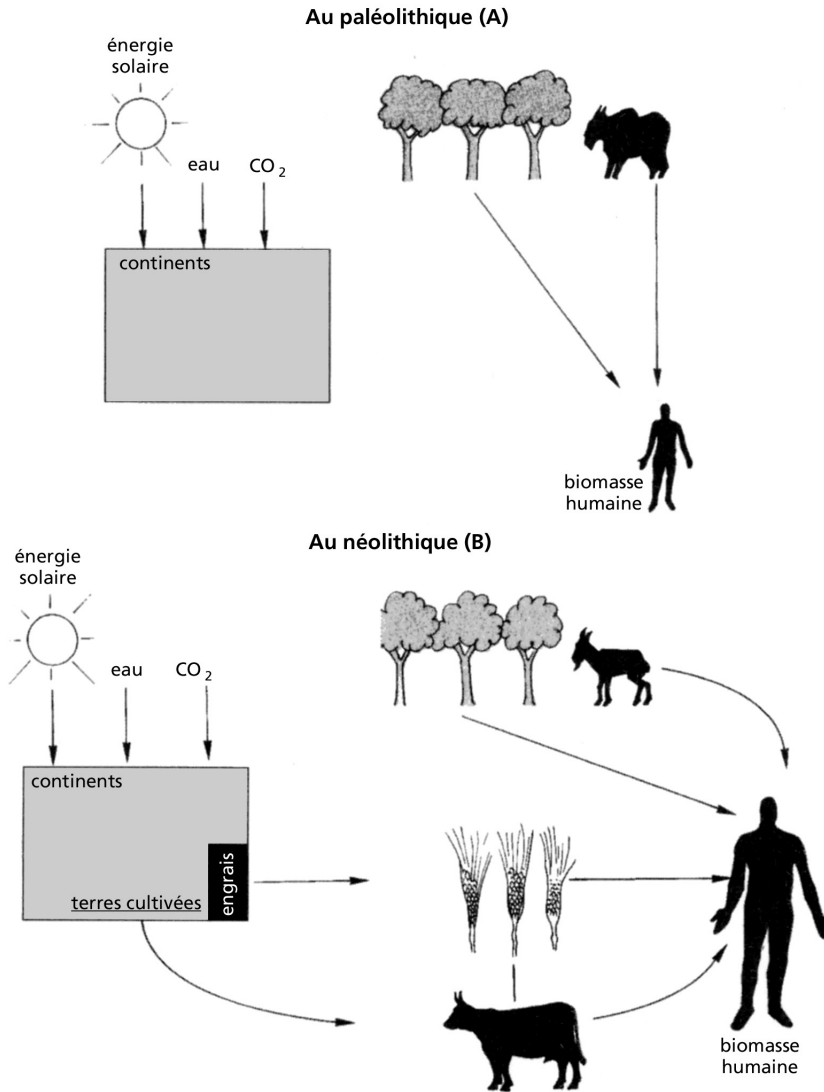


Figure 1.1 – Modification des rapports entre l'homme et la biosphère à la suite de l'invention de l'agriculture au Néolithique.

En A), les chasseurs prédateurs paléolithiques utilisaient toute la surface disponible pour la cueillette et la capture du gibier, et ne pouvaient survivre qu'à de faibles densités de population.

En B), la biomasse humaine a présenté un considérable accroissement démographique grâce à la découverte de l'agriculture. Celle-ci a concentré l'activité de production alimentaire sur une fraction de la surface des continents émergés où la fertilisation, d'abord avec les fumures organiques (déchets végétaux, fumier, etc.) puis avec les engrais minéraux, a permis une augmentation très importante de la quantité de nourriture disponible. Notons qu'en B), l'homme fait aussi appel à d'autres sources d'aliments que l'agriculture, en particulier grâce à la pisciculture.

(D'après Brown, *op. cit.*, p. 162, mais modifié.)

Chapitre 1 • Les facteurs de dégradation de la biosphère : leur nature et leur importance

Jusqu'à une date récente et malgré les progrès de la culture et de la technologie, les diverses sociétés qui se succédèrent au cours des temps conservèrent un fondement commun remontant au Néolithique. Quelles que soient leurs bases socio-économiques, elles présentaient toute une structure essentiellement agricole.

Malgré le développement croissant des villes et l'apparition de secteurs d'activité industrielle, la majorité de la population vivait de l'agriculture. En ce sens, l'impact de l'homme sur la nature est resté fondamentalement identique dans son essence, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, où la mise en pratique de diverses découvertes scientifiques par le grand capitalisme naissant caractérisa l'avènement de la civilisation technologique contemporaine.

En définitive, la civilisation agraire n'a pas modifié de façon irréversible le cycle de la matière et le flux de l'énergie dans la biosphère, on peut même dire que l'écosystème humain, dans cette forme de société, s'intègre à l'ensemble des processus écologiques naturels.

Quel que soit le degré d'évolution d'un groupe humain, on peut schématiser son organisation, son fonctionnement, ses rapports avec le biotope et le reste des biocénoses qui l'entourent selon un modèle analogue à celui d'un écosystème naturel. On peut donc construire un diagramme général du flux de l'énergie et du cycle de la matière dans une civilisation agraire, qui présentera une grande homologie fonctionnelle, quoique simplifiée à l'extrême, avec celui des autres écosystèmes.

Depuis l'apparition des premières civilisations agraires, au début du Néolithique, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, même en Europe, l'« écosystème humain » était avant tout fondé sur l'exploitation de l'espace rural, où vivait la grande majorité de la population, avec un artisanat limité employant surtout des matériaux d'origine végétale, donc biodégradables et une faible quantité de métaux corrodables.

La diversité de cet écosystème, bien que simplifié, était encore élevée : prairies spontanées, friches, forêts, parcelles de faible surface en polyculture constituaient autant d'habitats peu ou pas modifiés.

Par ailleurs, un tel écosystème comportait des producteurs primaires (végétaux cultivés ou spontanés), dont l'homme s'alimentait soit directement, soit par l'intermédiaire de producteurs secondaires (animaux d'élevage, gibier, etc.) et qui lui fournissaient la plupart des matériaux qu'il utilisait (bois, fibres végétales) (figure 1.2). L'énergie disponible était donc diluée, provenant de celle accumulée au cours d'une saison végétative par les producteurs primaires, ou tout au plus en quelques décennies, lors de la croissance des arbres servant de bois de chauffe. De plus, la quantité d'énergie disponible pour chaque individu était fort limitée. On l'estime à 12 000 kcal.personne⁻¹.j⁻¹ au Néolithique et à 24 000 kcal.personne⁻¹.j⁻¹ à la fin du Moyen Âge.

L'homme était le principal consommateur de cet écosystème dans lequel pouvait se développer encore une biomasse considérable d'animaux sauvages. Toute la production que consommait notre espèce était transformée en déchets biodégradables détruits par la 3^e catégorie d'organismes de la biocénose, les décomposeurs. Ceux-ci dégradent entièrement les déchets et les minéralisent en composés simples (phosphates, nitrates et autres nutriments) qui sont réutilisés par les autotrophes dans la photosynthèse, de même que le CO₂ dégagé. Ainsi le pouvoir auto-épurateur des eaux et des sols jouait pleinement et le cycle de la matière dans l'écosystème n'était pas perturbé. Le flux de l'énergie provenait uniquement de la lumière solaire et traversait les êtres humains via le métabolisme des substances biochimiques apportées par une alimentation abondante (environ 4 000 kcal.personne⁻¹.j⁻¹), auquel s'ajoutaient des quantités d'énergie équivalentes, utilisées par l'homme sous forme thermique (combustion du bois dans les foyers domestiques) et mécanique (traction animale).