

Écologie

par Philippe Lebreton et Pierre Samuel

LA SCIENCE ÉCOLOGIQUE

Les considérations écologiques sont fort anciennes. Dès l'Antiquité grecque, on en trouve mention dans les écrits d'Aristote et d'Hippocrate, dont un des ouvrages porte un titre significatif : « De l'air, de l'eau et des lieux. » Vers 1700, le Hollandais Antonie Van Leeuwenhoek entama l'étude des chaînes alimentaires et de l'équilibre des populations. Mais le mot « écologie », bien que forgé il y a plus d'un siècle par l'Allemand Ernst Haeckel, n'est tombé que depuis peu dans le domaine public. Il signifie « science de l'habitat », en donnant à ce terme un sens large qui inclut le milieu vital des plantes et des animaux : l'écologie étudie les relations entre les êtres et leur milieu vital. Cette définition s'est progressivement enrichie et diversifiée jusqu'à signifier la science des environnements, naturels ou modifiés par l'homme.

Un premier point de vue, dit « autécologique », envisage une espèce, végétale ou animale, ses relations avec son milieu et ses exigences vis-à-vis de celui-ci. Ainsi, le milieu vital du héron pourpré est l'étang, qui lui fournit nourriture (poissons, invertébrés) et site de nidification (roseaux, saules). Les facteurs de milieu favorables à une espèce constituent ce qu'on appelle sa « niche écologique », notion introduite par l'Anglais Elton vers 1925. Cette niche comprend :

— des facteurs non vivants (abiotiques), matériels (sol, eaux, minéraux, etc.) ou climatiques (lumière, température, humidité, etc.);

— des facteurs vivants (biotiques), végétaux et animaux, servant en particulier à l'alimentation de l'espèce.

On peut inclure aussi dans l'expression « niche écologique » les comportements nutritif, migratoire, social, etc., de l'espèce considérée, ajoutant ainsi à l'aspect « habitat » l'aspect « fonc-



Philippe Lebreton
Docteur-ingénieur chimiste, professeur de biologie et d'environnement à Lyon 1, chargé de cours d'écologie à l'École des mines, président du Mouvement écologique Rhône-Alpes, membre du Comité scientifique du parc national de la Vanoise.
A publié *l'Énergie, c'est vous* (Paris, Stock, 1974).



Pierre Samuel
Ancien élève de l'E.N.S.-Ulm, professeur à l'université de Paris-Sud. Secrétaire des Amis de la Terre. Auteur d'ouvrages sur les mathématiques, l'écologie, les centrales nucléaires et la vigueur féminine.

Ecologie

Energie

Economie

DOUCES

planétaires (les biomes), caractérisés par des formations végétales d'aspect et de structure déterminés.

La Terre elle-même est un écosystème appelé écosphère. Il faut inclure dans tout écosystème le flux d'énergie solaire, qui, seul, lui permet de fonctionner.

◆ La toundra circumpolaire, la forêt tempérée, la savane tropicale, la forêt équatoriale, etc.

Qui mange quoi ?

Esquisons un exemple : l'écosystème formé par un étang de Sologne. Outre le sol de l'étang, son eau et les matières minérales dissoutes ou en suspension, il comprend des organismes végétaux microscopiques (le phytoplancton), des poissons, des insectes, des oiseaux, comme le héron pourpré, et diverses bactéries ou autres micro-organismes décomposeurs. Le fonctionnement d'un tel écosystème est dominé par les relations nutritives, dites dépendances trophiques : « qui mange quoi ? » La source initiale de nourriture est ici le phytoplancton (plus généralement les végétaux) qui, en utilisant l'énergie solaire, crée sa matière vivante à partir de corps chimiques dissous ou suspendus dans l'eau (phénomène de la photosynthèse). Ce phytoplancton sert (directement ou indirectement) de nourriture à des poissons dont se repaît à son tour le héron. C'est ce qu'on appelle une chaîne alimentaire, ici : phytoplancton → poisson → héron.

Le nombre de maillons qui relie une espèce aux producteurs primaires s'appelle son niveau trophique. Mais l'histoire ne s'arrête pas aux hérons : du phytoplancton aux hérons, les êtres vivants finissent par mourir ; beaucoup, aussi, rejettent des déjections ; cadavres et déjections servent de nourriture à des organismes décomposeurs qui les transforment en matières non vivantes — ici un apport ammoniacal — qui alimentent les réactions de photosynthèse effectuées par le phytoplancton et les plantes aquatiques ; le processus est rarement direct et il y a des chaînes de décomposeurs. Dans un écosystème un tant soit peu complexe, les chaînes alimentaires se ramifient, les divers individus d'une même espèce servant de nourriture à plusieurs autres, et certaines espèces ayant des nourritures éclectiques ; il existe ainsi de véritables réseaux alimentaires.

Dans les écosystèmes stables, la plus grande partie des éléments chimiques dont sont composées les nourritures sont constamment recyclés ; il y a, bien sûr, des apports et des pertes de matière, mais l'apport extérieur essentiel est celui de l'énergie solaire qui fait fonctionner l'écosystème, directement par les réactions de photosynthèse, indirectement par les transports de matières qu'effectuent les vents et la circulation des eaux.

On a tendance à appeler aussi écosystèmes les systèmes semi-

◆ Voir les trois schémas page suivante.

◆ Les producteurs primaires sont le phytoplancton et les végétaux capables de se nourrir eux-mêmes sans l'aide d'aucun autre être vivant.

tion » ; cet élargissement est nécessaire car l'espèce agit sur son milieu. On verra plus loin qu'une espèce est bien caractérisée par sa niche : le principe « une espèce, une niche » a une validité générale.

Un niveau supérieur d'étude autécologique est fourni par la démoécologie qui étudie une population d'espèce donnée et les relations sociales (compétition, coopération) à l'intérieur de celle-ci, et en fonction des espèces voisines et du milieu commun.

Mais l'approche qui, dans un milieu, considère préférentiellement une espèce donnée, occulte les relations et interactions mutuelles des autres espèces et néglige ainsi des phénomènes intéressants et importants, même pour l'espèce étudiée. A l'autécologie s'oppose ainsi la synécologie, qui envisage les groupements d'espèces, sans accorder de préférence à l'une plus qu'à l'autre. L'ensemble des organismes vivant en équilibre s'appelle une biocénose ; le milieu accueillant ces êtres vivants prend le nom de biotope⊕.

L'ÉCOSYSTÈME

Ces deux termes se réfèrent plutôt à l'aspect descriptif et statique de l'étude : liste des espèces et des éléments abiotiques, évaluation des nombres et des masses, etc.

Lorsqu'on s'occupe de leur ensemble en fonctionnement, des échanges et des interactions qui se produisent et qu'on introduit le facteur temps, on emploie plutôt le mot écosystème. Ici, « système » a le sens que lui donnent les sciences physiques : ensemble relativement homogène, délimité par rapport au reste du monde matériel et étudié dans son fonctionnement. D'ailleurs, l'analogie entre un écosystème et un système thermodynamique n'a rien de formel ; elle est parfaitement fonctionnelle car ce sont des flux d'énergie obéissant aux lois de la thermodynamique qui font fonctionner les systèmes vivants (mais ces derniers ont, de plus, des modes particuliers de régulation).

La délimitation des écosystèmes pose quelques problèmes

Presque toujours, il y a des échanges de matière et d'énergie entre l'écosystème et l'extérieur. Sans oublier ces échanges, on peut cependant trouver des délimitations raisonnables : ainsi une forêt, un lac, une mare peuvent être valablement considérés comme des écosystèmes. Ces écosystèmes restreints sont « emboîtés » dans des écosystèmes plus vastes, par exemple de grandes zones relativement homogènes à l'échelle des climats

⊕ Voir, outre les ouvrages cités dans cet article, E.T. Odum: *Fundamentals of Ecology* (Philadelphie, Saunders, 1971) ; F. Ramade: *Éléments d'écologie appliquée* (Paris, Ediscience, 1974).

naturels et artificiels créés par l'homme, au moins depuis l'invention de l'agriculture. Un champ de blé, un élevage de poissons, une culture de serre ou de laboratoire, une ville même peuvent être qualifiés d'écosystèmes. Dans un écosystème semi-naturel, comme un ensemble agro-pastoral cultivé de façon traditionnelle, l'homme a remplacé des plantes et des chaînes alimentaires par des plantes et des chaînes voisines mais plus profitables pour lui, la maintenance du nouvel écosystème étant effectuée grâce à de l'énergie extraite de celui-ci (travail de l'homme et de ses animaux domestiques). Les écosystèmes artificiels, au contraire, ne peuvent fonctionner que grâce à des apports d'énergie importée soit d'écosystèmes semi-naturels voisins (villes antiques ou médiévales), soit des stocks de combustibles fossiles (presque tous les écosystèmes artificiels contemporains dans les pays industriels). La question sera reprise plus loin.

♦ Voir l'article Agriculture.

BUTS DE LA SCIENCE ÉCOLOGIQUE

Les buts de la science écologique sont à la fois scientifiques et sociaux. Le but scientifique général est de comprendre comment fonctionnent les écosystèmes, de découvrir et de démontrer les lois qui gouvernent leur fonctionnement. Plus précisément, l'étude porte, entre autres, sur :

- les trajets que suivent les composants chimiques importants à travers l'écosphère (cycles du carbone, de l'azote, de l'eau, du phosphore, du soufre, etc.) ;
- les flux d'énergie qui font fonctionner les écosystèmes, ainsi que l'évaluation des masses de matière vivante (les biomasses) à leurs divers niveaux trophiques ;
- l'influence de divers facteurs abiotiques (lumière, température, humidité et leurs composantes climatiques) ;
- l'évolution avec le temps des écosystèmes, en particulier les successions de végétation, ce qui donne des aperçus sur le comment et le pourquoi de l'évolution par sélection naturelle ;
- les relations entre espèces vivantes (symbiose, parasitisme, compétitions, saprophytisme, etc.) ;
- les voies de la régulation des populations des diverses espèces présentes dans un écosystème.

Un intérêt à la fois théorique et pratique

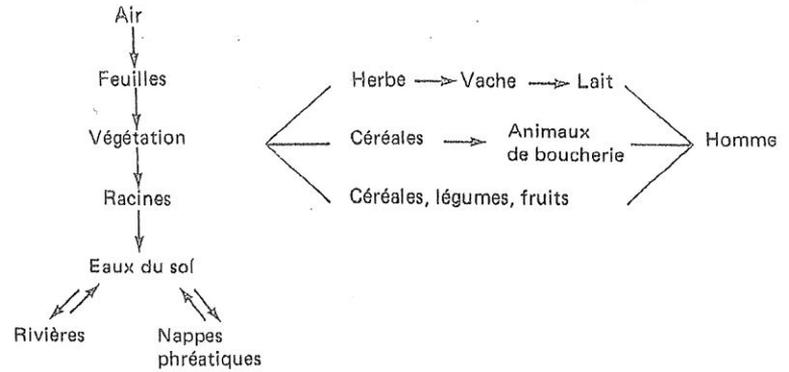
L'intérêt théorique de ces études est considérable. Elles peuvent d'ailleurs partir de questions fort concrètes, comme le comportement du rossignol ou la forme d'animaux et de plantes, ou les raisons qui font que le blé pousse mieux dans un champ que dans un autre.

Énergie

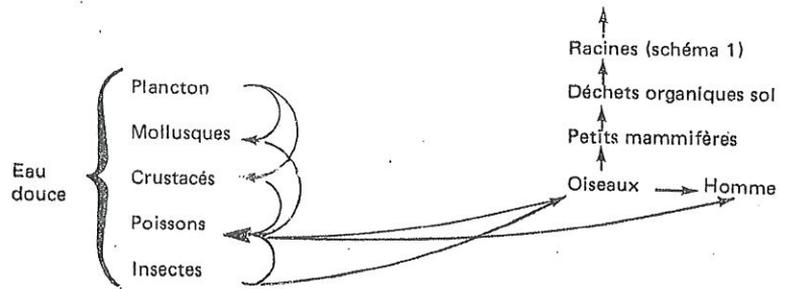
Économie

Douces

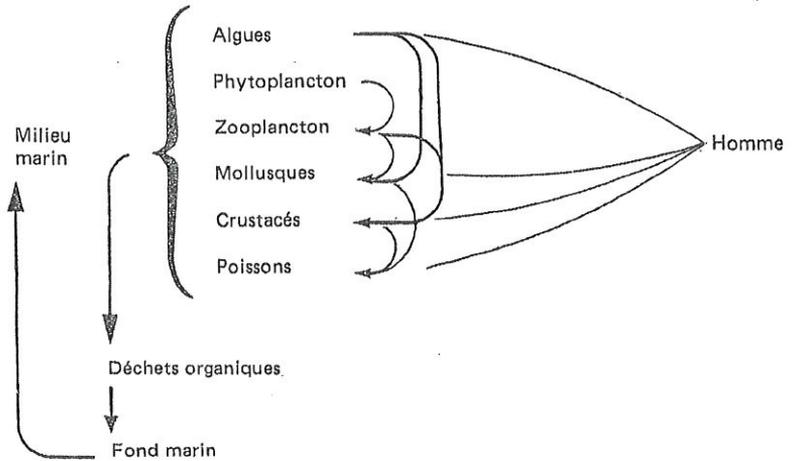
1. CHAÎNE ALIMENTAIRE D'ORIGINE VÉGÉTALE TERRESTRE



2. CHAÎNE ALIMENTAIRE EN EAU DOUCE



3. CHAÎNE ALIMENTAIRE EN MILIEU MARIN



science de synthèse, comme une « science toiture » coiffant l'ensemble des connaissances nécessaires. Plus que pluridisciplinaire, l'esprit écologique doit être interdisciplinaire, voire transdisciplinaire.

QUELQUES PRINCIPES ÉCOLOGIQUES

Barry Commoner a popularisé certains principes écologiques importants :

Tout est lié à tout. Ce principe exprime la complexité du monde vivant, par exemple de ses réseaux alimentaires, et la subtilité de ses mécanismes de régulation. Avec du temps, l'isolement et la distance ne sont pas des obstacles, comme le montre la présence de D.D.T. dans la chair de certains animaux polaires.

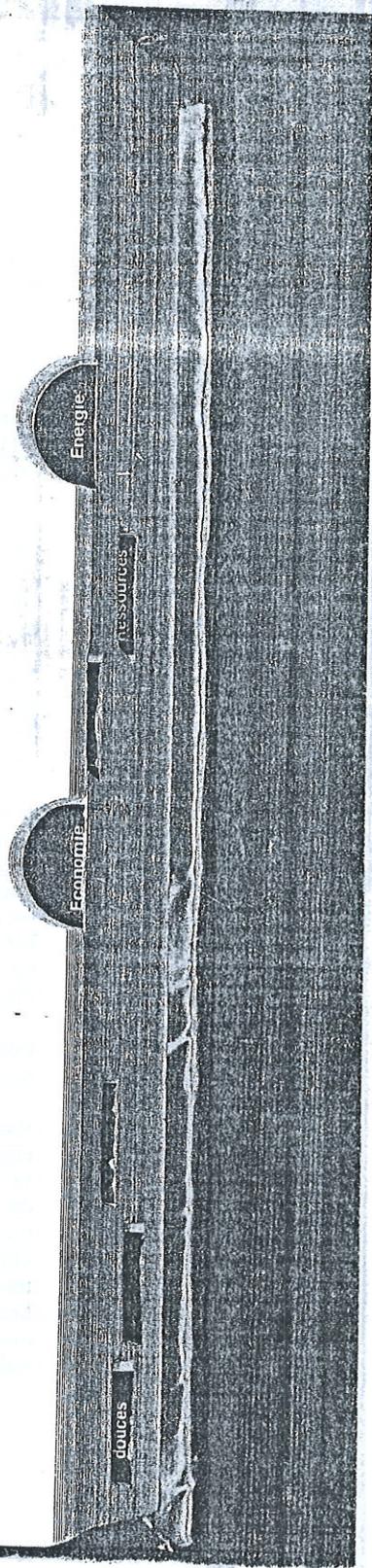
Toute chose doit aller quelque part. Ce principe n'est autre que celui de la conservation de la matière au sein des cycles. Mais l'inconscience avec laquelle l'homme contemporain traite ses déchets et ses scories montre qu'il a en général oublié cette loi fondamentale de la physique ; si on l'interroge sur le sort de ces produits, il répond en général : « A l'égout... à la poubelle... à la rivière », et — même s'il est un dirigeant industriel ou technocratique — il sera bien en peine pour dire où ils vont ensuite.

Il n'y a pas de repas gratuit. Ici, le contenu de ce principe est énergétique : il faut de l'énergie pour faire fonctionner les écosystèmes, de l'énergie importée si ceux-ci sont artificiels, et toute ponction opérée quelque part se traduit ailleurs par un déficit.

La nature en sait plus. L'homme industriel est souvent très fier de ses créations et de ses connaissances scientifiques et il se croit capable de mieux organiser l'écosphère qu'elle n'est. Or, l'examen détaillé de l'écosphère et des écosystèmes montre que, laissés à eux-mêmes, ils fonctionnent avec des rendements thermodynamiques honorables et qu'ils sont très productifs, à leur manière, raisonnablement stables et admirablement régulés. Cela ne doit pas nous étonner, car, sinon, ils n'auraient pas survécu à des millions d'années d'évolution par sélection naturelle. Au contraire, la gravité de la crise écologique, par exemple les méfaits inattendus des insecticides, montre la fragilité des écosystèmes créés par l'homme, fragilité que ni les efforts de recherche, ni les apports d'énergies stockées ne sont encore parvenus à pallier.

Une niche, une espèce. Chaque espèce a sa niche, plus ou moins vaste, plus ou moins complexe, la plus étendue et la plus complexe étant celle de l'espèce humaine. Mais on a constaté

♦ B. Commoner :
l'Encerclement
(Paris, Le Seuil, 1973)



Mais l'écologie a aussi un considérable intérêt, à la fois pratique et philosophique. Après des millénaires pendant lesquels l'homme et la nature ont vécu, sinon en bonne intelligence, du moins en « bonne mésentente » écologique, la maîtrise des énergies stockées a permis depuis deux siècles à notre espèce une véritable explosion ; son impact sur l'écosphère a été multiplié par trente en moins de cent ans, soit trois générations seulement. Il en résulte une crise écologique, marquée par le déséquilibre croissant de notre société expansionniste : disparition accélérée d'espèces animales ou végétales ; présence de D.D.T. et de plomb dans les glaces de l'Antarctique ; dangers radioactifs ; pollution croissante des rivages et des produits de la mer ; suralimentation quantitative des uns et sous-alimentation des autres ; tendance à la diminution de l'espérance de vie masculine après soixante ans dans certains pays développés ; enlaidissement de l'environnement et du cadre de vie ; criminalité et désordres psychosociaux croissants ; etc. Au-delà de la description des signes et des effets, au mieux des palliatifs et des remèdes immédiats, il s'agit de dénoncer les causes profondes, de détecter les processus naturels et les principes écologiques enfreints. Les quatre thèmes suivants sont ici d'une importance considérable :

- l'énoncé de lois naturelles, biologiques ou non (notamment la notion de cycle), auxquelles l'homme est soumis à moyen et à long terme, quoi qu'il puisse en avoir ;
- la mise en relief de la complexité des équilibres et de la fragilité de bien des mécanismes régulateurs de ce tout dont nous sommes partie intégrante ;
- l'absolue nécessité d'une formulation énergétique des problèmes : bien plus que le franc ou le dollar, la calorie se montre en fin de compte la meilleure unité capable de mesurer la portée des phénomènes écologiques ;
- la dénonciation du mythe de l'expansion matérielle indéfinie, non-sens écologique pourtant élevé au rang de dogme socio-économique.

Comprendre et savoir

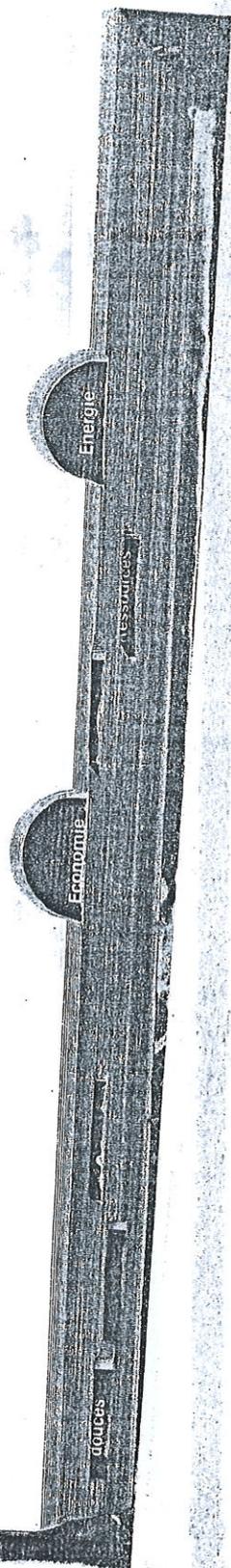
Essayer de résoudre la crise écologique actuelle revient à comprendre autant qu'à savoir. L'approfondissement de certains domaines est moins important que la tentative de prise de conscience globale des phénomènes. Ce n'est pas le moindre danger, en effet, de notre société industrielle que de favoriser le cloisonnement des connaissances, donc l'imperfection des jugements, alors que la complexité croissante de la situation rend l'esprit de synthèse absolument nécessaire. L'écologie est plus encore un état d'esprit qu'une somme de connaissances, une culture plus qu'une spécialité ; elle se présente comme une

appelle la biosphère. Pondéralement, la biosphère comprend 1 % de minéraux, 3 % de protéines (qui contiennent environ 16 % d'azote) et, surtout, 96 % de composés organiques ternaires glucidiques de formule $(CH_2O)_n$, ce qui traduit la prépondérance du règne végétal. Ainsi, un mètre carré de biosphère contient en moyenne 10,5 kg d'oxygène, 7,8 kg de carbone, 1,3 kg d'hydrogène, 0,1 kg d'azote et 225 g d'autres éléments. Ces éléments constitutifs de la biosphère sont constamment échangés avec les autres parties de l'écosphère et, comme la biosphère a une composition à peu près constante, ils y entrent à peu près au même rythme qu'ils en sortent. Cette circulation se fait donc en cycles et nous allons en décrire quelques-uns. Pour ce qui suit, il est bon de savoir que la principale réaction de photosynthèse s'écrit $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ et que la réaction de respiration est inverse.

Le cycle du carbone

Le carbone présent dans la biosphère sous la forme de composés organiques est constamment échangé, par les réactions de photosynthèse et de respiration principalement, avec le carbone de deux «réservoirs» où il se trouve sous la forme de gaz carbonique (CO_2): le réservoir atmosphérique, où le gaz carbonique est présent à la faible teneur de 325 p.p.m. (parties pour un million, en volume), et le réservoir marin, où environ 50 fois plus de gaz carbonique est présent sous la forme d'ions bicarbonatés dissous. Outre sa participation aux échanges avec la matière vivante aquatique, le réservoir marin de gaz carbonique sert de régulateur au réservoir atmosphérique. - Des quantités bien plus importantes de carbone se trouvent dans la lithosphère, soit sous forme de carbonates minéraux (3/4), soit sous forme de combustibles fossiles (1/4). Jusqu'à l'exploitation par l'homme des combustibles fossiles, les échanges avec le carbone organique de la biosphère semblent avoir été à peu près équilibrés. La vitesse de renouvellement du gaz carbonique atmosphérique est de l'ordre de dix ans. Sa teneur subit des variations quotidiennes et saisonnières, suivant la prépondérance momentanée de la photosynthèse ou de la respiration: ainsi, en un lieu donné, la teneur en gaz carbonique passe par un minimum au milieu de la journée (prépondérance de la photosynthèse) et par un maximum en fin de nuit.

Bien que dominantes dans les échanges de carbone, les réactions opposées photosynthèse-respiration ne sont pas les seules: il faut y ajouter les fermentations. Il y a aussi la dé-



que deux espèces distinctes ne peuvent occuper la même niche. Les modèles mathématiques qui rendent compte de la compétition de deux espèces pour une même niche montrent que, dans presque tous les cas, la compétition tourne rapidement au désavantage de l'une des deux espèces, qui est éliminée ou qui doit chercher une niche légèrement différente. Les observations confirment cette théorie, à condition de ne pas confondre deux niches superficiellement identiques mais distinctes en réalité. Les mêmes prairies d'Afrique orientale nourrissent des zèbres, des gazelles et des gnous, mais les premiers mangent les longues tiges d'herbes à fleurs, les secondes, les feuilles inférieures et toutes sortes de fruits, et les troisièmes, les feuilles latérales ; la bouche et les dents de chacun sont adaptées pour son type de nourriture. Mieux, lorsque deux espèces sont très voisines, l'évolution (par déplacement des caractères) les fait diverger jusqu'à ce qu'elles occupent des niches distinctes : les individus d'une espèce qui sont le plus éloignés de l'autre sont favorisés par la sélection naturelle \diamond . La conclusion philosophique est que la compétition à un même niveau trophique, tant vantée par une partie des chantres de la société industrielle, est, dans la nature, un phénomène rare et temporaire.

\diamond Voir Oiseaux pour d'autres exemples.

La nature a horreur du vide

Inversement, lorsqu'un écologiste détecte une niche exploitable, il finit généralement par découvrir l'espèce qui l'occupe, car une niche est rarement inoccupée : la nature aurait-elle, là aussi, « horreur du vide » \diamond ? De telles questions se posent lors de l'introduction (volontaire ou non) d'espèces étrangères : ou l'espèce est rapidement éliminée par « l'occupant légal », ou elle prospère en nuisant aux espèces en place (lapin en Australie, rat musqué en Europe), faute de prédateurs ; rarement elle s'acclimata sans heurts (cas du faisan en Europe).

\diamond Avec les précautions qui s'imposent lorsqu'on utilise le vocabulaire mathématique dans des situations incomplètement formalisées, un mathématicien est tenté de dire qu'il y a une bijection entre niches et espèces.

QUELQUES CYCLES ECOLOGIQUES

Rien ne se crée, rien ne se perd, toute chose doit aller quelque part. Dans l'écosphère, les éléments chimiques subissent des réactions variées et circulent, mais ils sont toujours là. Les plus légers, hydrogène, carbone, azote, oxygène, ont un rôle biologique quantitatif. Les éléments de poids moyen (phosphore, soufre, cuivre, fer, cobalt, iode...) ont une grande utilité qualitative. Quand aux éléments les plus lourds (plomb, mercure, cadmium, radon, uranium, plutonium...), ils ont en général une action nocive sur la vie.

L'écosphère est formée des roches proches de la surface terrestre (lithosphère), des eaux marines et douces (hydrosphère), de l'atmosphère et de cette mince pellicule de vie qu'on

geable par rapport aux variations naturelles du climat : la récurrence de « petits âges glaciaires » est un fait historique. Plus importants, probablement, seront les effets sur la photosynthèse. Le gaz carbonique est un de ses importants facteurs limitants « par le bas » en milieu aérien. Un doublement de la teneur en gaz carbonique accroîtra donc la production de matière vivante, ce qui peut paraître « a priori » favorable pour l'alimentation des 6 à 10 milliards d'êtres humains qui seront présents sur Terre au siècle prochain. Mais nous ignorons quelles espèces vivantes seront favorisées. Les actuels écosystèmes terrestres sont habitués aux teneurs qu'ont subies leurs ancêtres, et il est très probable qu'ils s'adapteront mal à un aussi rapide doublement de cette teneur♦.

Le cycle de l'oxygène

Comme le montre l'équation de photosynthèse-respiration, l'oxygène a un rôle symétrique de celui du carbone. Au contact de la biosphère, son principal réservoir est l'atmosphère, qui en contient, en volume, 21 %, soit $1,2 \cdot 10^{15}$ tonnes ; il est impressionnant de penser que cette énorme masse est essentiellement issue du processus biologique qu'est la photosynthèse. En milieu aérien, l'oxygène n'est donc nullement un facteur limitant pour la respiration. Il n'en est pas de même en milieu aquatique, où la quantité d'oxygène dissous est faible : 9 mg par litre à 20 °C teneur théorique, décroissante lorsque la température augmente (d'où l'un des aspects nocifs de la pollution thermique)♦ ; cependant, l'agitation mécanique des eaux et l'activité photosynthétique des plantes immergées peuvent localement tripler, voire quadrupler les teneurs théoriques (phénomène de sursaturation). La teneur en oxygène est fonction décroissante de la profondeur de l'eau ; les lacs, peu mobiles et souvent profonds, sont particulièrement sensibles à ce phénomène, qui peut entraîner une véritable asphyxie des couches inférieures. En cas d'eutrophisation, la quantité de matière organique peut réclamer, pour sa respiration, une quantité d'oxygène supérieure à l'offre du milieu aqueux ; il en résulte la formation de vases, masses anaérobies sujettes à fermentation.

Les échanges d'oxygène entre la biosphère et les deux réservoirs, atmosphérique et aqueux, sont symétriques des échanges de carbone. Les variations journalières et saisonnières des teneurs sont symétriques aussi de celles du carbone. Le renouvellement de l'oxygène atmosphérique prend environ deux mille ans, celui de l'oxygène combiné dans l'eau, plus de deux millions d'années. Une source mineure d'oxygène atmosphérique

♦ Citons l'écologiste américain Paul Colinvaux : « Nous nous embarquons dans la plus colossale expérience écologique de tous les temps : doubler la concentration dans l'atmosphère de toute la planète d'un de ses gaz les plus importants. Et nous n'avons, en fait, aucune idée de ce qui pourrait arriver. » (*Introduction to Ecology*, New York, Wiley, 1973.)

♦ Voir Eaux (Pollution des).

composition incomplète, notamment en milieu partiellement ou franchement anaérobie, de matières végétales mortes (cellulose, lignine) ; elle conduit aujourd'hui à la formation de l'humus, complexe organique à caractère acide, dont le rôle est primordial pour la fixation et la libération des ions minéraux arrachés à la roche mère (phénomène de pédogenèse), naguère à celle des tourbes et lignites, autrefois à celle des charbons et pétroles.

◊ Voir Sols.

La faible teneur en gaz carbonique de l'atmosphère est un facteur limitant de la photosynthèse terrestre : celle-ci n'est possible qu'à partir de 100 p.p.m. et la teneur effective n'est que de 325 p.p.m. Par contre, en milieu aquatique, les ions bicarbonatés dissous sont abondants ; le gaz carbonique est rarement un facteur limitant et il peut même atteindre des teneurs nocives pour certains animaux ou quelques plantes.

L'histoire du cycle du carbone a un intérêt fondamental

Cumulée sur des millions d'années, une légère prépondérance de la photosynthèse sur la respiration a produit une accumulation de matières organiques dans diverses formations sédimentaires : ce sont les formidables dépôts de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz), ainsi que de calcaire en milieu aquatique. Mais, depuis deux siècles, l'homme s'est mis à brûler les combustibles fossiles à un rythme accéléré. Ainsi, en un siècle environ, la teneur moyenne de l'air en gaz carbonique est montée de 280 à 325 p.p.m. ; elle augmente actuellement de 0,8 p.p.m. par an ; cela correspond à un tiers du gaz carbonique produit par la combustion des combustibles fossiles ; les deux tiers restants sont en majeure partie absorbés par le réservoir marin, une petite fraction revenant peut-être à un accroissement de la photosynthèse. Le régulateur qu'est le réservoir marin ne fonctionne donc pas assez vite par rapport aux combustions provoquées par l'homme. Si les tendances actuelles se poursuivent, l'abondance des réserves de carbone fossile (charbon surtout) pourrait amener en peu de décennies à un doublement de la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique.

On peut s'interroger sur les effets d'un tel dérèglement du cycle du carbone. L'augmentation de « l'effet de serre » dû au gaz carbonique tendrait à provoquer un réchauffement des climats. Mais les combustions dégagent aussi des poussières et des aérosols qui réfléchissent la lumière solaire incidente vers l'espace et ont ainsi un effet de refroidissement. Malgré l'apport des énergies déstockées par combustion, de récents calculs laissent prévoir que l'effet de refroidissement pourrait l'emporter. Mais il est difficile de dire si cet effet sera ou non négli-

en plus souvent, elle est soit inutilisable (car salée ou polluée), soit ailleurs que là où il faudrait. Ainsi, les tendances actuelles raccourcissent dangereusement le cycle de l'eau, par exemple, par la canalisation et la rectification des fleuves ; en période de sécheresse, l'eau utilisée pour l'arrosage est plus vite revenue à la nappe phréatique que celle que les officiels conseillent de réserver aux utilisations « sanitaires ».

Le cycle de l'azote

Passons maintenant à des corps chimiques simples qui, bien que constituant une part minime de la matière vivante (1,5 % environ), sont néanmoins fondamentaux pour l'élaboration de certaines substances, de sorte que leur pénurie est un facteur limitant des processus vitaux. Il y a plus d'un siècle, le chimiste allemand Justus Liebig avait mis en évidence la nécessité de l'azote, du phosphore et du potassium pour la croissance des plantes ; ce sont ces éléments qui leur sont apportés par les engrais chimiques, et ils sont des facteurs essentiels de la productivité. Mais au-delà, il y a plusieurs éléments minéraux, dits oligo-éléments, présents dans le sol en quantités de l'ordre du millionième, et dont l'absence provoque des carences. Apparentés aux vitamines, ils catalysent souvent des réactions essentielles ; parmi eux, il y a le molybdène, le cuivre, le manganèse, le cobalt, etc. ; ils semblent encore mal connus de certains agronomes.

Il peut sembler paradoxal que l'azote, qui constitue 79 % de l'atmosphère, puisse être souvent un facteur limitant de la vie. Mais il ne faut pas oublier que ce corps entre difficilement en réactions chimiques, qu'il faut beaucoup d'énergie pour le composer avec d'autres. Dans l'écosphère, il circule donc surtout déjà composé, sous forme minérale dans les nitrates, les nitrites et l'ammoniac, sous forme organique dans les acides aminés, composés quaternaires dont sont formés les protéines et l'A.D.N., substances fondamentales pour la vie.

Les acides aminés des déchets et cadavres des organismes vivants sont minéralisés par un ensemble de micro-organismes décomposeurs, qui les transforment en ammoniac, en nitrites, puis en nitrates. Les nitrates ainsi formés, très solubles dans l'eau, se prêtent bien à l'assimilation de l'azote par les plantes vertes, qui utilisent pour cela le surcroît d'énergie que leur confère la photosynthèse.

**Le cycle semble bouclé,
mais la réalité n'est guère satisfaisante**

Le cycle paraît bouclé, mais dans la réalité les choses sont moins simples et moins satisfaisantes. Des nitrates, particu-

est la décomposition à très haute altitude, de molécules d'eau sous l'effet de rayons ultraviolets de haute énergie.

La lithosphère contient — sous forme de carbonates, de sulfates, d'oxydes — environ quinze fois plus d'oxygène qu'il n'en circule dans la biosphère. Cette masse d'oxygène a été élaborée au cours des temps géologiques. Les multiples réactions chimiques auxquelles participe l'oxygène donnent lieu à des cycles secondaires au contact de la lithosphère et des autres milieux.

Le cycle de l'eau

Si l'on tient à ce que les cycles soient attachés à des éléments chimiques, on peut dire que le cycle de l'eau est essentiellement celui de l'hydrogène : en effet, la rupture de la liaison chimique oxygène-hydrogène demande une énergie considérable, qu'une seule réaction biologique sait maîtriser, la photosynthèse, en utilisant à cette fin l'énergie solaire. Si les végétaux sont nombreux et largement distribués, on ne peut oublier que toute la vie terrestre est en fin de compte suspendue à l'existence d'une seule molécule, la chlorophylle.

Fluide écologique par excellence, l'eau de l'écosphère se trouve surtout dans le réservoir océanique, 97,2 % ($1,4 \cdot 10^6 \text{ km}^3$) ; restent 2,5 % pour les glaces, 0,02 % pour les eaux douces de surface, 0,6 % pour les eaux douces du sol et 0,01 %, seulement, pour la vapeur d'eau atmosphérique. C'est cependant cette dernière qui joue le rôle essentiel dans le cycle biogéochimique de l'eau. Le réservoir de vapeur d'eau atmosphérique est alimenté par l'évapo-transpiration des êtres vivants et par l'évaporation des eaux de surface, douces et salées. Une partie minime est dissociée dans la haute atmosphère en oxygène et hydrogène sous l'action des rayons ultraviolets, et l'hydrogène s'échappe dans l'espace. Le reste de l'eau retombe à la surface sous forme de précipitations, dont 2/9 atteignent les continents. Là, les eaux de ruissellement alimentent les cours d'eau et reviennent ainsi assez directement à la mer ; les eaux d'infiltration hydratent le sol au profit de la végétation et alimentent nappes phréatiques et rivières souterraines, dont l'eau est partiellement recyclée par la nature et surtout par l'homme.

Il est dangereux de raccourcir le cycle de l'eau

Les quantités d'eau requises par les êtres vivants sont considérables : il faut ainsi cent tonnes d'eau pour produire une tonne de matières végétales. Les activités humaines, domestiques et industrielles, ont multiplié les usages de l'eau. Les « manques d'eau » créent des situations angoissantes. Non que l'eau soit globalement absente de l'écosphère ! Mais, de plus

rejets d'origine domestique ou agricole — la teneur en nitrates est convenable et sujette à un rythme saisonnier. En mer, la teneur en nitrates est faible en surface et augmente assez rapidement avec la profondeur.

Le cycle du phosphore

Le phosphore est le maillon le plus faible dans la chaîne de vie qui permet l'existence des hommes. Bien que peu abondant dans la biosphère (environ 100 kg par hectare) il joue un rôle énergétique, catalytique et génétique fondamental par ses composés organiques, comme les nucléotides ou les phosphatidyl-lipides. On a constaté que sa pénurie est un facteur limitant important dans les écosystèmes.

Quelques réservoirs de phosphore sont dans la lithosphère, sous forme de minerais phosphatés, comme les apatites. Par lessivage et dissolution dans les eaux continentales, il est introduit dans les écosystèmes terrestres et absorbé par les végétaux, qui le transforment en composés organiques. A la sortie des réseaux alimentaires, des micro-organismes, bactéries ou champignons, minéralisent ces composés organiques, les transformant en orthophosphates à nouveau disponibles pour les végétaux.

Mais ce cycle est ouvert du côté aquatique. Les eaux de ruissellement y transportent du phosphore. Une partie, certes, y est utilisée par le phytoplancton, mais, peu à peu, les phosphates (et certains déchets organiques phosphorés) viennent s'accumuler dans les profondeurs lacustres et océaniques. Un recyclage partiel vers les écosystèmes terrestres a lieu par la pêche en mer et par l'exploitation des gisements de guano, excréments d'oiseaux marins piscivores. D'autre part, aucun processus géologique de remontée vers les terres des sédiments phosphatés accumulés au fond des océans n'est assez rapide pour assurer un recyclage total.

Les pertes de phosphore sont accélérées

Pour compenser ces pertes de phosphore vers les fonds océaniques, l'homme s'est mis à puiser dans les stocks de la lithosphère continentale, par exemple par l'utilisation locale de cendres volcaniques et par l'exploitation des gisements d'Afrique du Nord. Certains processus sidérurgiques fournissent des sous-produits phosphatés utilisables à des fins agricoles. Mais l'agriculture est ici en concurrence avec d'autres utilisations des composés du phosphore (détergents, par exemple). De plus, et surtout, notre tendance à rejeter nos déchets dans les eaux accélère les pertes de phosphore. On estime qu'il s'en perd 3 à 4 millions de tonnes chaque année.

♦ Voir Phosphates.

Energie

Economie

DOUCES

lièrement solubles, s'échappent de la partie terrestre de la biosphère, de par le lessivage pluvio-fluvial. D'autre part, des bactéries concurrentes de celles qui assurent la minéralisation des déchets et cadavres azotés en rejettent l'azote sous forme gazeuse ; cette dénitrification rejette 60 kg d'azote par hectare et par an dans nos régions. Quelques processus contrebalancent ces pertes, au moins dans les écosystèmes naturels :

— la formation d'oxydes d'azote dans l'atmosphère sous l'influence du rayonnement solaire et des décharges électriques des orages (5 à 10 kg N/ha/an) ;

— des micro-organismes comme les *Azotobacter* et des « algues bleues » assimilent directement l'azote atmosphérique (de 2 à 5 kg N/ha/an).

— une flore bactérienne particulière — genre « *Rhizobium* » —, logée dans des nodosités des racines des légumineuses, assimile directement l'azote atmosphérique et en fait profiter la légumineuse ; c'est là un phénomène de symbiose, car ni les légumineuses ni les bactéries « *Rhizobium* » ne peuvent fixer isolément l'azote atmosphérique. Ainsi les légumineuses sont riches en protéines importantes et les assolements céréales-luzerne permettent de renitrifier périodiquement les sols ; on obtient jusqu'à 400 kg N/ha/an ;

Les méthodes de l'agriculture rompent l'équilibre naturel

Mais les méthodes contemporaines de l'agriculture viennent rompre cet équilibre. Les produits alimentaires ne reviennent plus guère à leurs écosystèmes producteurs sous forme de fumure organique. Au lieu d'être compostés, nos déchets organiques sont le plus souvent enterrés en milieu abiotique, brûlés ou rejetés dans l'hydrosphère dont ils finissent, sous une forme ou une autre, par gagner les profondeurs. Cette exportation d'azote hors de la biosphère est considérable : jusqu'à 120 kg N/ha/an dans les champs de maïs les plus productifs.

Le déficit est pour l'instant comblé par l'industrie des engrais. Des apports annuels de 130 kg N/ha/an sont maintenant chose courante, sous forme de sulfate d'ammonium, de nitrate d'ammonium, d'urée, etc. Enfin 50 millions de tonnes d'azote sont annuellement fixées par l'industrie des engrais, le temps de doublement de la production étant de six ans seulement. Mais cette fixation — synthèse chimique de l'ammoniac à partir de l'azote atmosphérique et de l'hydrogène fourni par le pétrole ou le gaz naturel — est un processus qui demande beaucoup d'énergie ; où la trouvera-t-on à long terme ? Que va devenir l'agriculture du « Quart Monde » ?

Ces considérations concernent surtout les écosystèmes terrestres. Dans les eaux douces — souvent eutrophisées par les

synthèse, ce pourcentage monte entre 2 et 6 %. La lumière n'est donc pas en général un facteur limitant, et il reste une large marge pour la captation non biologique de l'énergie solaire. En fait, l'analyse de la réaction de photosynthèse montre qu'elle a un rendement théorique maximal de 20 à 25 %. D'ailleurs, des rendements de l'ordre de 6 % sont courants dans des conditions de laboratoire ; on a même atteint 20 % avec des cultures d'algues « *Chlorella* » faiblement éclairées. La différence entre la Terre et le laboratoire tient à des causes variées : existence de facteurs limitants (CO_2 , phosphore, etc.) ; pertes par réflexion de la lumière sur le sol ou sur la surface des plantes (phénomène de l'albédo) ; enfin, une part importante de l'énergie solaire qui arrive à la surface du globe est utilisée pour l'évaporation de l'eau.

♦ Voir l'article Eau.

Le stockage de l'énergie biochimique fournie par la photosynthèse est surtout assuré par deux types de molécules :

- pour les « placements à long terme », ce sont surtout les formes glucidiques telles que l'amidon (végétal) et le glycogène (animal), ou lipidiques (graisses), d'où l'énergie n'est pas instantanément disponible ;

- pour les « placements à court terme », la molécule la plus parfaite, quasi unique, est l'adénosine-tri-phosphate (ou ATP), dont les liaisons résonnantes de groupements phosphate permettent le stockage et la fourniture rapide d'une quantité assez importante d'énergie ; elle illustre le rôle biologique fondamental du phosphore.

Sans qu'il soit possible d'entrer dans les détails, il faut noter que les réactions biochimiques — photosynthèse, respiration ou fermentations en milieu anaérobie — se font en un grand nombre d'étapes, chacune très proche de la réversibilité thermodynamique. Ces paliers successifs et progressifs permettent aux organismes de disposer de « menue monnaie » énergétique. Multiplier ainsi les circuits et les intermédiaires n'alourdit en rien le coût de l'opération, mais, bien au contraire, en augmente le rendement.

A travers les chaînes et les réseaux alimentaires, l'énergie est transmise d'un chaînon à un autre sous forme de nourriture. Les relations alimentaires sont, fondamentalement, des transferts d'énergie. Si l'on considère, pour simplifier, une chaîne alimentaire dans un écosystème, diverses méthodes d'observation et de mesures permettent d'obtenir trois données numériques souvent exprimées sous forme graphique :

- Une « pyramide des nombres », où sont inscrits le nombre d'individus des espèces qui constituent la chaîne ; c'est inté-

Le cycle du soufre

Dans la biosphère, le soufre a l'ordre de grandeur quantitatif du phosphore, mais — tout en entrant dans de nombreuses combinaisons organiques♦ — cet élément a une importance qualitative plus limitée. Son cycle est assez complexe. Les « sorties » de la biosphère sont opérées par des bactéries qui produisent surtout de l'hydrogène sulfuré H₂S ; elles ont surtout lieu en milieu littoral. Contrairement à celui du phosphore, le cycle du soufre est bien fermé, et la biosphère ne risque pas de souffrir d'une pénurie de soufre.

Les activités humaines — l'utilisation de combustibles fossiles surtout — dégagent chaque année quelque 150 millions de tonnes de soufre ; c'est beaucoup en regard des 500 millions de tonnes qui transitent annuellement dans la biosphère.

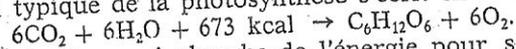
Comme pour le gaz carbonique et l'azote, l'intervention de l'homme atteint désormais l'ordre de grandeur des phénomènes naturels, et l'on ne sait guère ce qui pourra en résulter à long terme. Quant à la pollution à court terme par le soufre, elle est considérable♦.

♦ Par exemple, celle d'amino-acides indispensables, comme la méthionine.

♦ Voir Anhydride sulfureux.

LES FLUX D'ÉNERGIE DANS L'ÉCOSPHÈRE

Réduite aux transformations de matières, une équation chimique est incomplète ; il faut y faire intervenir l'énergie. Ainsi l'équation typique de la photosynthèse s'écrit en réalité :



Une telle réaction, qui absorbe de l'énergie pour se produire — ici de l'énergie solaire — est dite endergonique. La réaction opposée, celle de respiration, dégage de l'énergie et est dite exergonique. L'énergie se rencontre sous diverses formes : lumineuse, chimique, nucléaire, mécanique, thermique, etc. ; elles se transforment les unes en les autres avec conservation de la quantité totale d'énergie♦. Ainsi, la réaction de photosynthèse transforme l'énergie lumineuse en énergie de liaison chimique et en chaleur parente. A son tour, l'énergie dégagée par la réaction de respiration est transformée en diverses autres formes, dans des processus qui sont essentiels pour la vie♦.

L'intensité du flux solaire, dont dépend la photosynthèse, varie évidemment avec la latitude, la saison et la nébulosité. La portion d'énergie solaire transformée en énergie chimique par la photosynthèse est faible : entre 0,1 et 1,6 %, avec des maxima d'environ 2 % dans les meilleurs écosystèmes productifs de la planète (marais côtiers de Californie, plantations de canne à sucre de Java). Si l'on tient compte seulement de l'énergie transportée par la bande spectrale qui peut stimuler la photo-

♦ Voir l'article Energie.

♦ Par exemple, sous forme :
— mécanique dans le cas des mouvements des animaux ;
— thermique lorsque l'organisme doit se maintenir à une température supérieure à celle du milieu ;
— chimique s'il faut alimenter d'autres réactions biochimiques, endergoniques cette fois ; ainsi, la légumineuse fournit, sous la forme de glucides, de l'énergie au *Rhizobium* logé dans ses racines et lui permet ainsi d'effectuer la fixation de l'azote atmosphérique.

une prairie de plantes annuelles peuvent avoir des productivités annuelles voisines (environ 40 quintaux de matière sèche à l'hectare), alors que leurs biomasses sont respectivement de 400 et de 3 tonnes à l'hectare en belle saison. On distingue la productivité primaire, biomasse (ou énergie) élaborée par les végétaux grâce à la photosynthèse, et la productivité secondaire, mesurée par l'accroissement de biomasse (ou d'énergie) des consommateurs animaux et des décomposeurs. La productivité primaire varie avec les écosystèmes : faible dans les déserts et les océans, moyenne dans les lacs, elle est forte dans les forêts, dans les marais et la plupart des cultures pour atteindre des maxima dans les forêts tropicales et les plantations de canne à sucre

Il paraîtra maintenant évident que la productivité primaire d'un écosystème impose des limites strictes à sa productivité secondaire. Quel que soit le nombre d'alevins introduits dans un étang, la production de celui-ci restera sensiblement constante : le poids moyen des poissons décroît en raison inverse de leur nombre. Mais cette évidence est souvent ignorée, comme en témoignent les néfastes pratiques du surpâturage et de la surpêche (« overfishing »)♦.

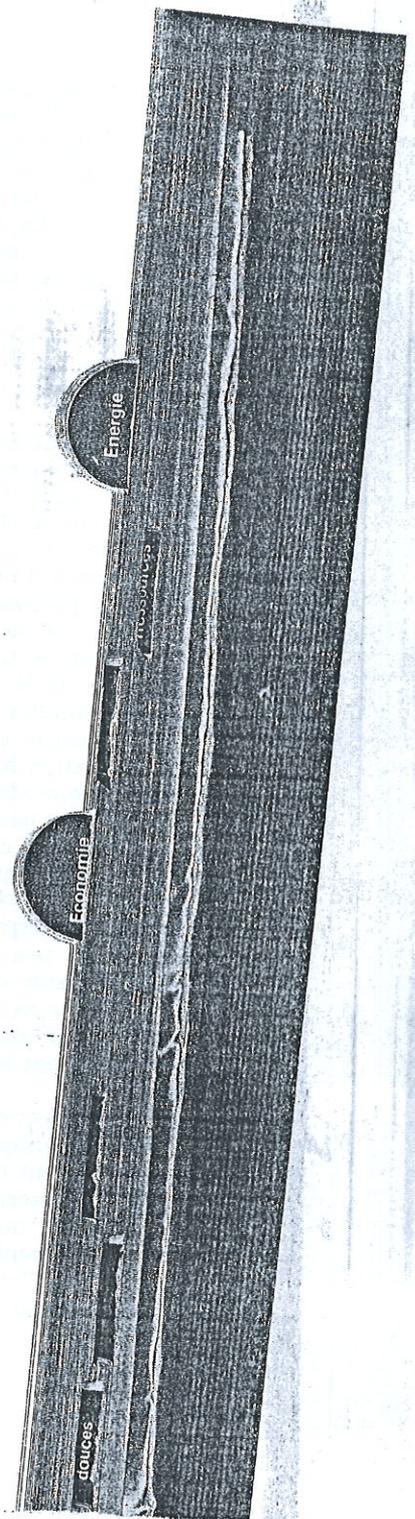
Dans la productivité secondaire, il est utile de pouvoir distinguer la part des animaux consommateurs de celle des décomposeurs. Cela peut avoir un intérêt pratique, par exemple à propos de l'importation d'espèces animales dans des écosystèmes. Dans les cas assez rares où la comparaison a été possible, elle a conduit à des conclusions à première vue surprenantes, mais économiquement dignes d'attention : ainsi, les prairies d'Afrique noire (Kenya, Congo) ne supportent que difficilement plus de 5 tonnes de bétail domestique au km², alors que des densités 2 à 4 fois plus fortes en ongulés sauvages sont enregistrées dans les milieux homologues de savane. En effet, outre que ces espèces sont plus résistantes, elles exploitent mieux les diverses niches écologiques du système♦. Avec les ongulés sauvages, il y a donc moins de production primaire disponible pour les décomposeurs.

♦ Voir Surexploitation.

♦ Par exemple, spécialisation dans l'utilisation des strates de végétation, de l'antilope naine à la girafe.

Les écosystèmes artificiels

Ce sont ceux qui produisent « des pommes de terre partiellement faites avec du pétrole ». On a calculé, par exemple, que l'agro-industrie américaine dépense 375 kcal de combustibles fossiles pour obtenir 1 000 kcal en maïs ; avec des bœufs nourris de ce maïs, l'opération est énergétiquement déficitaire et le « bifteck de pétrole » serait plus efficace ! En fait, la situa-



ressant pour la démoécologie, mais peu significatif si l'on ignore la taille respective de ces individus.

— Une donnée plus significative est la « pyramide des biomasses » qui, pour chaque espèce de la chaîne, indique sa masse totale de matière vivante.

— Enfin, la « pyramide des énergies » indique, pour chaque espèce de la chaîne, la quantité d'énergie biochimique totale que contiennent ses individus ; elle se déduit d'une pyramide des biomasses par pondération des différents constituants de la matière vivante : 4 kcal/g pour le glucose, 9 kcal/g pour les lipides, 4,7 kcal/g pour les feuilles vivantes (ce qui se compare assez favorablement aux 11 kcal/g pour le pétrole).

La loi des 10 % : une approximation satisfaisante

Un fait expérimental frappant et universel est que la pyramide des énergies (comme celle des biomasses) s'affine très rapidement. Cela a conduit R.L. Lindemann à énoncer en 1942 la « loi des 10 % » : c'est l'ordre de grandeur moyen du rendement des transferts énergétiques d'un chaînon à un autre dans des conditions naturelles. Ainsi, une tonne de végétaux permettra la présence d'un quintal d'insectes, eux-mêmes provende de 10 kg de passereaux pourchassés par un kilo d'éperviers. En fait, on trouve des rendements de 12,7 % de la luzerne au bœuf, de 17 % du phytoplancton au zooplancton, de 4,5 % du zooplancton au poisson carnivore, et de 9 % de ce dernier au poisson supercarnivore. La loi des 10 % est donc une approximation biologique satisfaisante permettant certaines prévisions commodes, dont l'économie de certaines catastrophes !

Cette perte d'énergie biologique dans les transferts alimentaires est un cas particulier du second principe de la thermodynamique, qui veut que toute conversion d'une forme d'énergie en une autre n'est jamais parfaite, et que toute énergie finit par être dégradée en chaleur. Plus précisément, un organisme n'utilise pas toute l'énergie dont il dispose à « faire de la matière vivante » ; il dépense aussi de l'énergie pour sa reproduction, pour sa défense, pour le maintien d'une température propice, pour ses mouvements. Prenons l'exemple d'un mouton qui revient à son point de départ après une montée dans un alpage : la dépense d'énergie faite pour effectuer la montée lui permet, certes, de trouver une nourriture convenable, mais l'énergie mécanique potentielle qu'il a acquise par sa montée est entièrement dissipée en chaleur par les frottements et les chocs de la descente.

Ni la notion de biomasse ni sa parallèle énergétique ne font intervenir le facteur « temps », pourtant essentiel. C'est pourquoi l'on a introduit la notion de productivité, biomasse (ou énergie) produite chaque année. Ainsi, une forêt de chênes et

rature, puis l'évaporation, ce qui déclenche nébulosité puis précipitations, lesquelles diminuent en retour l'insolation et ses effets thermiques♦.

La lumière

Le rôle biologique majeur de la lumière se trouve dans la photosynthèse, qui permet à la fois le maintien de toute vie terrestre et la lente complexification de son degré d'organisation. Le niveau d'éclairement ne présente pas la même signification pour les quelque trois cent mille espèces végétales qui peuplent la biosphère. Certaines, dites « plantes de lumière » (céréales, arbres), s'accommodent d'un éclairement maximal ; quelques-unes, même, supportent et utilisent les suppléments d'énergie lumineuse qui leur sont fournis dans les expériences de laboratoire. D'autres, dites « plantes d'ombre », ne supportent pas la lumière intense. Et il y a toute une gamme d'intermédiaires. Les rythmes saisonniers jouent un grand rôle dans l'éclairement et l'effet est parfois inverse de ce qu'indique l'inégalité des jours et des nuits : le sol d'une chênaie reçoit 2 % seulement de la lumière solaire en été, mais 60 % en hiver après la chute des feuilles.

En milieu marin, l'intensité et la composition spectrale de la lumière varient avec la profondeur. On trouve d'abord des algues vertes dont la composition pigmentaire est étonnamment voisine de celle des plantes terrestres. En grande profondeur, les algues rouges présentent tout un stock de pigments particuliers qui, par transfert interne d'énergie, suppléent les déficiences qualitatives du peu de lumière qui leur parvient. Aux profondeurs moyennes, il y a des algues brunes de couleur intermédiaire.

Les plantes sont aussi adaptées aux longueurs relatives du jour et de la nuit et à leurs variations suivant les saisons. La transplantation au nord de son aire normale de la variété de tabac « Maryland Mammoth » inhibe sa floraison. Fréquent est le phénomène de dormance hivernale des bourgeons foliaires et floraux de bien des plantes ligneuses et des graines de nombreuses espèces, notamment herbacées et annuelles. Le bourgeon et la graine passeront l'hiver sous forme peu hydratée, protégés d'un froid qui préparera pourtant leur réveil printanier.

Les animaux sont parfois attirés par la lumière (papillons de nuit attirés par une lampe) ou repoussés par elle (blattes chassées par une lumière vive). Mais la lumière agit aussi sur eux par le biais de ses variations cycliques. Plus que la privation

♦ Ce système complexe et bien autorégulé est décrit dans *Climats*. Nous nous bornons ici aux rôles écologiques directs de la lumière, de la température et de l'humidité.

Énergie

mesures

Économie

douces

tion est plus complexe et, schématiquement, deux cas sont à considérer :

— L'apport d'énergie fossile sert à surmonter des facteurs limitants de la photosynthèse. Alors l'accroissement de productivité primaire dépasse largement l'apport énergétique extérieur. Ce peut être le cas des apports de phosphore (à condition de ne pas en laisser partir une part importante avec les eaux de ruissellement). Un autre exemple est la construction d'un système d'irrigation durable si l'eau est limitante (à condition de ne pas voler l'eau à un autre écosystème utile).

— L'homme muni de ses énergies fossiles prend en charge des fonctions précédemment assurées par l'énergie photosynthétique sans que la productivité primaire totale soit beaucoup changée. Avec les variétés « à haut rendement », on a surtout agrandi la partie de ces organismes qui intéresse notre alimentation, au détriment des parties servant à d'autres fonctions (défense contre les maladies, les parasites, les compétiteurs ; variabilité génétique, etc.) ; ces fonctions sont alors prises en charge par un vaste appareil énergivore d'industries, de transports, d'administration et de recherche. Alors l'amélioration de la production alimentaire en bout de chaîne correspond tout juste à l'apport d'énergie fossile.

L'industrialisation ne peut augmenter la production alimentaire

Un aspect inquiétant de cette situation est que les dirigeants et l'opinion publique se rendent en général mal compte de l'ampleur des apports d'énergie fossile, car il n'est pas immédiatement évident que certains de ces apports servent, directement ou indirectement, à la production alimentaire. Ainsi l'on a placé de grands espoirs dans la culture d'algues de l'espèce « *Chlorella* » : l'installation expérimentale de l'Arthur D. Little Company montrait qu'elles utilisaient 4,2 % de la lumière incidente pour la photosynthèse ; mais, par une analyse détaillée de cette installation, l'éco-énergéticien américain Howard T. Odum ♦ a prouvé qu'il y entraît plus d'énergie fossile (sous forme d'engrais, de brassage, de confinement, de contrôles et de concentration pour la récolte) qu'il n'en sortait sous forme biochimique. Ainsi, la possibilité d'augmenter la production alimentaire par une industrialisation intensive est en grande partie une illusion, probablement encore pire pour le Tiers Monde que pour les pays déjà industrialisés.

♦ H.T. Odum:
*Environment,
Power and Society*
(New York, Wiley, 1971).

QUELQUES FACTEURS ÉCOLOGIQUES

Les trois facteurs abiotiques que nous considérons ici — lumière, température et humidité — influent en réalité les uns sur les autres. Ainsi un fort ensoleillement augmente la tempé-

est distinct de celui de la lumière, mais il existe cependant un parallélisme écologique entre latitude et altitude. Si l'on gravit une montagne, on trouve successivement des zones très voisines de celles que l'on trouve lorsqu'on se rapproche du pôle : forêts de résineux des pays froids ; pelouses alpines homologues de la toundra nord-urasienne, zones de neiges et de glaces avec quelques lichens et autres cryptogames.

L'humidité

Les écosystèmes aquatiques et terrestres présentent quelques différences importantes. D'abord, les écosystèmes aquatiques ont, d'ordinaire, un meilleur rendement photosynthétique dû à l'ampleur de la troisième dimension. A cause de la forte chaleur spécifique de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont thermostates, c'est-à-dire qu'ils subissent de moindres variations de température. Enfin (surprenant miracle !), l'eau y est pléthorique ♦.

♦ En jargon : l'hydricité n'est pas un facteur limitant de la productivité primaire agricole.

L'eau est un facteur fondamental pour les écosystèmes

Pour différencier entre eux les écosystèmes aquatiques, ce sont d'autres facteurs qui jouent : la salinité, la lumière, la température, l'oxygénation. Cependant, des facteurs liés à l'eau elle-même peuvent jouer un rôle écologique non négligeable :

— Les variations saisonnières des débits des cours d'eau, auxquelles est ancestralement adaptée toute une gamme d'espèces végétales et animales, trop souvent oubliée par les aménageurs qui ne pensent qu'à « régulariser » les cours d'eau.

— Les marées, qui oscillent sur une zone dont la richesse biologique est souvent très grande (plage bretonne à marée basse), et dont les espèces sont soumises à un double rythme (24 h par jour-nuit, 24 h 50 pour deux marées), fort intéressant pour les biologistes attachés à l'étude des rythmes ; la remontée de la marée dans les rivières à faible pente est très productive elle aussi (formation de vastes vasières découvertes à marée basse qui alimentent certains oiseaux).

— Les mouvements de l'eau, la distinction fondamentale entre eaux courantes et stagnantes avec, à l'extrême, le phénomène des marais, qui sont hautement productifs, et dont l'évolution spontanée vers des formes plus terrestres est passionnante pour l'amateur de flore et de faune.

L'eau est aussi un facteur fondamental pour les écosystèmes terrestres. Ce qui compte pour les plantes n'est pas tellement la quantité d'eau livrée par les précipitations que le reliquat après intervention de phénomènes tels que le ruissellement, la percolation et surtout l'évaporation. Un hectare de forêt évapore de 5 000 à 15 000 tonnes d'eau par an, soit 30 fois la

Energie

Ressources

Economie

Douces

de nourriture ou la diminution saisonnière de la température (cette dernière « a priori » mise en cause par notre anthropocentrisme d'animal frileux à température constante), c'est le raccourcissement des jours qui joue le rôle de synchroniseur pour la migration d'automne des oiseaux ou l'entrée en rut, en octobre-décembre, des grands mammifères (cerfs, chamois, bouquetins). L'allongement des jours au printemps a aussi des effets bien connus, notamment sur les oiseaux.

Respecter les rythmes biologiques

Devant des phénomènes aussi généraux, aussi rigoureusement conditionnés, de portée biologique aussi grande (notamment par leurs effets sur la reproduction), on peut s'interroger sur les problèmes de « photo-écologie » que pose à l'homme l'emploi généralisé de l'éclairage artificiel et les changements fréquents de fuseau horaire par le biais des voyages aériens. La question rejoint celle du respect des rythmes biologiques ; même une espèce éminemment adaptable comme la nôtre ne peut les violer impunément.

La température

Sauf accidents, provoqués ou non par l'homme, on ne trouve pas de lieux sur la Terre où la température ne devienne nocive par ses effets destructeurs de la structure protéique vivante (au-delà de 60 °C par exemple). L'effet principal des températures élevées s'exerce par la dessiccation qu'entraînent l'évaporation et la transpiration.

De son côté, le froid entraîne un ralentissement des réactions biochimiques : ralentissement de la photosynthèse, donc de la productivité végétale, marqué par exemple par les anneaux de bois ; engourdissement des animaux à température variable. Comme la glace occupe un plus grand volume que l'eau dont elle est issue, le gel est un agent mécanique de mort de la matière vivante ; la déshydratation et l'enrichissement en substances dissoutes sont, pour le végétal, un moyen d'abaisser le point critique.

Mais le froid peut être aussi un facteur positif. Les variétés de « blé d'hiver » — semées à l'automne — résistent bien au froid ; si on les sème au printemps, elles ont une saison végétative trop courte et elles ne fleurissent pas ; mais, si l'on place les graines germées pendant quelques semaines à une température de 0,5 °C et qu'on les sème au printemps, le blé pousse et fleurit normalement. Le procédé est intéressant dans les régions où l'on craint des gélées que les variétés de blé dit « de printemps » ne supporteraient pas.

Une constatation simple montre que l'effet de la température

◆ Tandis que d'autres, comme les mammifères et les oiseaux, ont des mécanismes — énergivores — de régulation de leur température interne.

— Vient alors un ralentissement dans le processus de croissance, un palier plus ou moins prolongé.

— Il est possible que survienne ensuite une quatrième phase, dite de sénescence, celle de l'écroulement et de la mort de la majorité de la population. Deux causes principales : l'épuisement des ressources (notamment nutritives) et du milieu (où l'espace de chacun tend à se restreindre), et la production de déchets, de « toxines », dont l'accumulation empoisonne le milieu ambiant.

Abstraction faite de la phase de sénescence (qui peut heureusement être absente si une régulation démographique est survenue à temps), la courbe représentative de ces phénomènes a un aspect en S et porte le nom de courbe logistique. La croissance, d'abord accélérée, se ralentit au-delà d'une certaine valeur critique. Ce « blocage » résulte de la contre-réaction milieu-espèce, par le jeu de divers facteurs limitants présents ou produits dans le milieu.

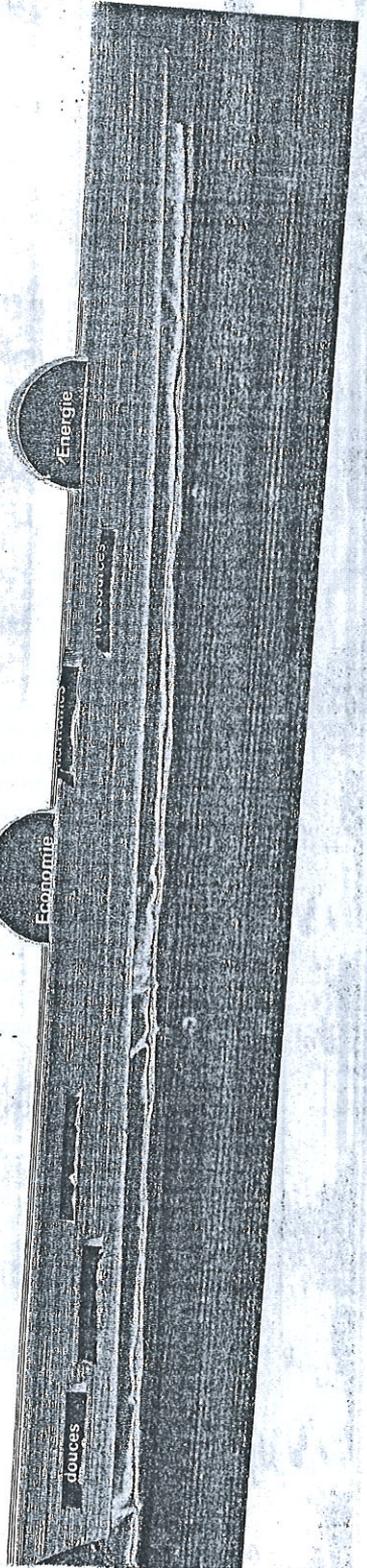
♦ Voir l'article Population.

Parmi ces facteurs limitants de la croissance, certains agissent sur la natalité, d'autres sur la mortalité. Mais il est plus intéressant de les classer en facteurs dépendants et facteurs indépendants de la densité de la population étudiée.

Les seconds sont souvent des facteurs abiotiques, notamment climatiques. Leur pression s'exerce sur les individus présents indépendamment du niveau absolu de la population. Au bord d'un étang, inondation ou gel frapperont dans la même proportion des populations de vanneaux denses ou clairsemées.

Une population est d'autant plus touchée qu'elle est plus dense

En général biotiques, très souvent alimentaires ou sanitaires, les facteurs dépendant de la densité frappent d'autant plus une population qu'elle est plus dense. Ce sont eux qui déterminent le plus souvent, en fin de compte, le niveau moyen finalement atteint par les populations. Une population d'herbivores (cerfs) « libérée » de ses prédateurs (loups) verra initialement augmenter ses effectifs ; mais cette croissance ne sera que transitoire, car le surpâturage résultant entraînera une réaction du milieu sur la morbidité ou la fécondité de l'espèce. Corrigeant lui-même ses erreurs, le système oscille autour d'une valeur moyenne correspondant à l'exploitation la plus raisonnable du milieu. Dans des systèmes prédateurs-proies très simplifiés, les oscillations sont particulièrement brutales, comme dans l'exemple classique des lièvres et des lynx du nord du Canada. Les régulations plus fines des systèmes plus complexes rendent les oscillations plus limitées, voire imperceptibles. La propagation d'une épidémie, comme dans le cas du virus de la myxomatose frappant les lapins, est aussi une action biotique dépendant de la densité. Le phénomène est analogue pour les



biomasse utilisatrice ; en une journée d'été, un arbre à feuilles caduques transpire de 3 à 8 fois le poids frais de ses feuilles, et 10 à 30 fois leur poids sec. L'eau peut ainsi être un facteur limitant important de la vie, d'où les arrosages et les irrigations, mais au prix d'une consommation d'énergie. Certaines espèces, cependant, sont adaptées à la sécheresse[◆], ainsi les chameaux — qui n'ont pas de réserve d'eau dans leurs bosses d'après les travaux de Schmidt-Nielsen — ont une très grande tolérance à la sécheresse, une fourrure qui est un excellent isolant thermique et la capacité d'absorber rapidement de grandes quantités d'eau dès que l'occasion s'en présente.

◆ Voir l'article Eau.

DYNAMIQUE DES POPULATIONS

Une population est constituée de l'ensemble des individus d'une même espèce qui habitent une surface donnée : population de rouges-gorges d'une forêt, population bactérienne d'un bouillon de culture. Dénombrer sur le vif une population donnée est d'ordinaire une opération délicate, sur laquelle nous n'insistons pas. La chose est plus aisée dans les nombreuses expériences de laboratoire qui ont été faites pour étudier l'évolution avec le temps de populations soumises à des conditions diverses ; ici, la variation et le contrôle des paramètres possibles de l'évolution démographique ont conduit à des résultats très intéressants. Mais il n'y a pas de théorie générale simple en dynamique des populations : bien des facteurs peuvent entrer en jeu suivant les espèces et les écosystèmes. Les dénombrements raffinés donnent la répartition des populations par âge et par sexe.

La dynamique des populations connaît trois principaux modes : la croissance exponentielle (à caractère « explosif »), la stabilité (ou « croissance zéro », malgré l'horreur que cette expression inspire à certains), l'oscillation, plus ou moins ample et régulièrement périodique autour d'une valeur moyenne. Stabilité et oscillation sont des cas extrêmes de la situation plus générale de palier soumis à fluctuation.

D'une manière générale, quatre phases peuvent être distinguées dans l'évolution d'une population en fonction du temps :

— La première, plus ou moins longue, traduit une certaine « hésitation » de l'espèce à utiliser ou envahir le milieu offert ; il s'agit sans doute, en partie, d'une adaptation aux conditions ambiantes, et on l'appelle phase de latence.

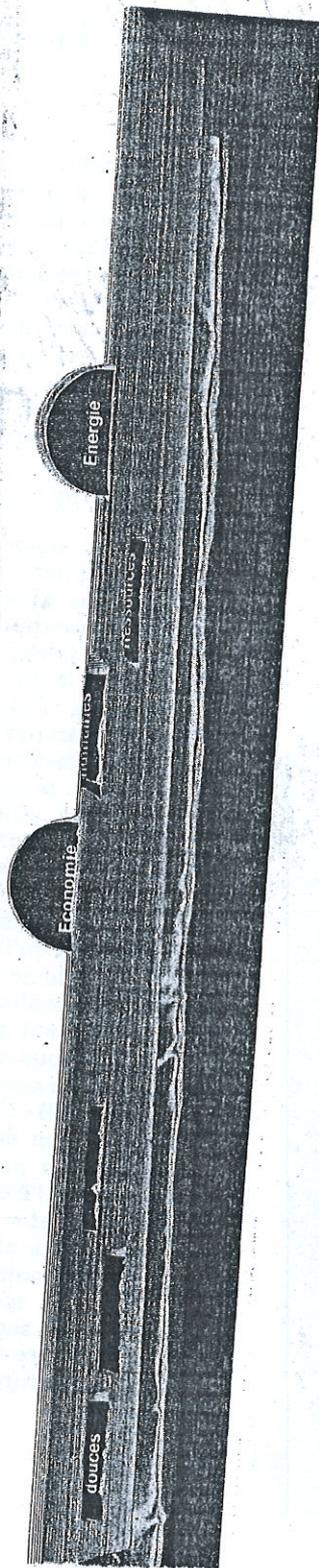
— La deuxième, très générale, correspond à la période la plus active de la multiplication de la population ; il s'agit de la phase dite exponentielle.

va de la plage surpeuplée ou de la piste de ski aux forêts (encore) désertes, de la pelouse où pétaradent et fument les tondeuses à gazon dominicales au calme de la rivière sur laquelle pèse le brouillard matinal ou vespéral. Bref, pour le citadin, la nature c'est la « chlorophylle », la détente, la santé physique et/ou morale, le lieu de satisfaction d'un nombre croissant de « hobbies ». La nature est devenue une valeur commerciale et, dans certains pays, électorale. Sur un registre plus calme et moins destructeur, il y a l'attrance vers une nature reposante, assagie, domptée — écho du souvenir ancestral d'une nature souvent redoutable et terrifiante — bref, vers la campagne, avec le sens assez précis donné à ce terme.

Pour l'écologiste, la nature n'est pas l'ennemie

Pour le naturaliste et l'écologiste, la nature n'est pas l'ennemie. Ils la trouvent belle, avec un ordre et une géométrie bien plus raffinés que l'ordre et la géométrie primaires du parc du château de Versailles. Pour eux, sauver un marais ou un vallon montagnard est une joie que ne saurait égaler ou ternir quelque récompense. A leurs yeux, la modeste églantine des haies est plus belle, « naturellement » parlant, que la rose — création qui, par son caractère artificiel, relève d'une tout autre esthétique, valable en soi, mais qu'on ne peut qualifier de naturelle. Face à l'utopie d'un monde « parfait », débarrassé des « nuisibles » et autres pestes, purifié de toute nuisance par une gestion rationnelle et pourvu par la grâce d'urbanistes enfin compétents d'un habitat adéquat et bien climatisé, ils soupçonnent fort qu'il s'en dégagerait un mortel ennui, pareil à celui que secrètent les enfants (ou les nations) trop bien élevés. Pourquoi ? Parce que, pour qu'il y ait échange et inspiration, il faut qu'il y ait différence.

Les plus rigoureux des naturalistes insistent donc sur l'importance et la nécessité de la nature sauvage pour chacun d'entre nous. L'on est aussitôt d'accord lorsqu'il s'agit de la protection absolue des espèces en danger et des espaces encore vierges... ce qui inclut de strictes mesures pour limiter leur destruction ou leur invasion par les hommes. Mais ces espaces sont d'étendue limitée dans nos pays et ils ne seront donc accessibles qu'à une minorité. Comment envisager le retour à l'état vierge d'écosystèmes actuellement semi-naturels ou artificiels ? C'est biologiquement possible, et l'on connaît bien les « séries de végétation » qui s'installent sur les champs abandonnés. Mais, si cette mesure doit porter sur de vastes étendues, elle présentera de graves obstacles pratiques, alimentaires et autres. Il est vrai que, d'après le préhistorien Marshall Sahlins, il y eut des « sociétés d'abondance » paléolithiques, fondées sur la



populations végétales et constitue une raison supplémentaire pour se méfier de la monoculture ; elle rend fragile en effet le système en le simplifiant et favorise la propagation des parasites (chenille processionnaire du pin, chenille tordeuse du mélèze) ainsi que celle du feu (notamment chez les résineux). Les facteurs biotiques dépendant de la densité proviennent également des phénomènes de concurrence entre espèces qui occupent des niches ayant beaucoup d'éléments en commun. Cette concurrence porte souvent sur la nourriture, mais aussi sur les sites de reproduction ou de nidification. Elle est évidemment proportionnelle à la densité des divers concurrents♦.

♦ Quelques détails sur les modes de régulation intraspécifiques sont donnés dans l'article Population.

NATURE ET ENVIRONNEMENT

Il est assez facile de définir le mot « environnement » : c'est l'écosphère (ou un écosystème) telle qu'elle est vue du point de vue autécologique de l'espèce humaine. La « protection » de l'environnement comprend donc aussi bien le maintien d'une zone boisée que l'amélioration des transports en commun. Mais le mot « nature » a des sens bien plus vagues et plus divers. Dans une conception réaliste, mais limitée, c'est la réunion des écosystèmes pas ou peu touchés par l'homme. Dans une tentative d'élargissement, ce peut être un objet imaginaire : ce que serait l'écosphère sans l'intervention massive de l'homme. Ou un objet historique : ce qu'était l'écosphère avant cette intervention massive ; il faut alors préciser si cette intervention date de l'introduction de l'agriculture — au début de l'ère néolithique — ou de celle d'une industrie amplement alimentée en combustibles fossiles — au milieu du XIX^e siècle. Certains disent qu'il est mauvais d'opposer l'homme à la nature, qu'il fait partie d'elle ; mais on est alors conduit à l'équation nature = écosphère, malgré le sentiment intuitif que les deux mots ne signifient pas la même chose.

Ici, nous entendrons « nature » dans le sens réaliste et limité : les étendues rapidement rétrécissantes de nature sauvage. Et, avec B. Charbonneau, nous entendrons par « campagne » la réunion des écosystèmes semi-naturels, peu touchés industriellement par l'homme ; cela exclut les domaines de l'agriculture et de l'élevage industrialisés, qui relèvent alors de l'« environnement ».

Pour la plupart de nos contemporains, le mot nature a un sens bien moins précis. Celle-ci se définit par l'alternative ville-campagne, marquée dans le temps (pour les citadins) par l'opposition semaine-week-end ou travail-vacances. Elle ne fait que traduire et renforcer l'aspect schizophrénique de notre société. La nature, c'est la maison de campagne et la ferme ; elle

la biosphère ou par se décomposer en substances moins offensives. On comprend donc que « l'inaction » — arrêter de — soit parmi les mesures utiles !

— Mais la situation est irréversible, et les dégâts sont irréparables, lorsque les polluants ne sont pas biodégradables et agissent autant et plus par leur nature que par leur masse. C'est le cas pour les insecticides (comme le D.D.T.), les défoliants, les corps chimiques cancérigènes ou mutagènes, les métaux lourds, l'amiante et les corps radioactifs à longue période. Le mécanisme des chaînes alimentaires fait que ces poisons sont dans la biosphère pour y rester et même s'y reconcentrer♦.

— Lorsque les actions humaines atteignent l'ordre de grandeur des phénomènes naturels, les effets seront sûrement importants et probablement graves. On a vu que c'est le cas pour les rejets de gaz carbonique et c'est aussi le cas du soufre♦. Les rejets de chaleur provenant d'énergies stockées créent déjà des « îles de chaleur » autour des grandes agglomérations et, si les « déstockages » d'énergie continuent à s'accélérer, des effets climatiques globaux sont à craindre.

— Laissant l'examen détaillé du problème des ressources naturelles pour un autre article, remarquons simplement qu'elles deviendront insuffisantes si la population continue à augmenter au rythme actuel. La plupart des écologistes pensent ainsi que la plus grave des menaces est celle de la surpopulation. Sans une limitation volontaire des naissances, nous aurons à faire face à la combinaison de deux phénomènes : d'une part, une restriction de notre niche écologique (restrictions, vie entièrement consacrée à la production de nourriture...), d'autre part, des facteurs écologiques — dépendant de la densité — qui tendent à stopper ou à renverser les croissances démographiques et qui pourront prendre pour nous la forme de famines, de guerres et d'épidémies.

L'ÉCOLOGIE ET LES CITOYENS

Ces considérations font comprendre pourquoi les citoyens doivent être plus concernés par l'écologie que par les autres sciences, que ce soit — malgré leur intérêt — l'acoustique, la géométrie algébrique, la physique des solides ou l'histoire grecque. Comme « tout est lié à tout » dans l'écosphère, l'écologie est en jeu à chaque instant de notre vie, que nous travaillions, que nous consommons, que nous procréons. Elle l'est encore plus dans nos entreprises collectives : la construction d'une centrale nucléaire, celle d'une autoroute, la plantation d'un espace vert, l'établissement d'une ligne de métro, un

♦ Voir Concentration biologique.

♦ Voir Anhydride sulfureux.

cueillette (chasse et pêche incluses), dans des écosystèmes naturels. Mais leur densité d'occupation humaine était d'un tout autre ordre de grandeur ! Dans l'état actuel, ou hélas prévisible, de la population, la mesure envisagée impliquerait une dichotomie marquée entre les espaces de nature vierge et des écosystèmes hautement artificiels dont la productivité alimentaire (mais non le rendement) serait portée à son plus haut degré par des injections massives d'énergie (nucléaire ?). Des « îles de productivité » au milieu d'une nature vierge ? Le danger psychologique d'une telle dichotomie quasi technocratique a été souligné♦.

Par contre, la solution semi-naturelle de la campagne — des écosystèmes de type néolithique enrichis par les technologies douces et intermédiaires — n'est pas irréaliste pour les pays de vieille civilisation. Comme semble le montrer l'exemple chinois, elle est compatible avec les ordres de grandeur actuels et prévisibles de la population si la limitation des naissances est généralement appliquée. Et, comme la nature assagie paraît psychologiquement satisfaisante pour la plupart des hommes, il peut s'agir d'une solution de transition vers un meilleur équilibre homme-nature♦.

♦ L'article Energie décrit les dangers et les limites des conversions énergétiques massives.

♦ Voir aussi Nature.

LA CRISE ÉCOLOGIQUE

Les principaux symptômes de la crise écologique ont déjà été énumérés en vrac. Elle est due, on l'a vu, à l'accroissement des moyens d'action de l'homme et à leur application irréfléchie. En vue des actions à entreprendre, qu'elles soient d'intervention ou d'abstention, il est utile de classer ces symptômes :

- Il y a quelques fausses craintes, par exemple celle de manquer d'oxygène : l'arrêt de la photosynthèse nous ferait mourir de faim bien avant. D'ailleurs — sauf guerre nucléaire générale — cet arrêt n'est pas à envisager avec les actuels moyens de l'homme. Mais de profondes modifications des espèces végétales (et donc animales) ne peuvent pas être exclues.
- Certains dégâts commis sont réparables à condition qu'on arrête de les commettre. Par exemple, si l'on arrête de déverser dans un lac eutrophisé des déchets organiques et phosphorés, les abondantes boues formées de cadavres et de détritiques tombent vers le fond et s'y enfouissent en une dizaine d'années par un processus parfaitement naturel ; c'est ce qui est arrivé au lac Washington, près de Seattle, aux Etats-Unis, ville qui avait l'avantage de pouvoir déverser ses déchets eutrophisants dans la mer. D'autres processus naturels font disparaître la pollution atmosphérique du type « smog ». Même nos rejets sulfureux, sulfuriques et nitriques finissent par disparaître de

Économie et écologie

par Ignacy Sachs

Nicholson a raison de parler d'une « révolution de l'environnement » en cours, à la fois conceptuelle et pratique. La prise de conscience écologique qui en constitue un élément essentiel est appelée à bouleverser la théorie économique.

Un faux débat : croissance ou qualité du milieu

Le débat s'est engagé dans une mauvaise direction sous l'effet de la publicité assurée aux prévisions apocalyptiques du Club de Rome au sujet de l'épuisement de certaines ressources et de la catastrophe écologique prétendus imminents. A partir de là, les « zégestes » (partisans du taux zéro de croissance) se sont laissés piéger dans une fausse alternative : croissance ou qualité du milieu. Par surcroît, ils ont confondu deux problèmes très différents : le taux de la croissance (le taux égal à zéro n'ayant en soi aucune vertu stabilisatrice) et le taux d'exploitation de la nature. Certes, une stratégie, écologiquement consciente, de développement socio-économique à long terme doit aspirer à minimiser les prélèvements opérés sur les stocks en dernière instance limités des ressources non renouvelables et s'attacher à ne pas mettre en cause les équilibres thermiques de la planète par un usage excessif d'énergies fossile et nucléaire. Mais elle peut et se doit de tirer le meilleur parti possible du flux de l'énergie solaire et des ressources renouvelables obtenues par la bioconversion de cette énergie tout en veillant au déroulement normal des cycles écologiques qui assurent précisément leur renouvellement.

C'est le caractère sauvage de la croissance qu'il faut remettre en cause

Dès lors, il est possible de concevoir de façon diamétralement opposée, d'une part, des styles de développement caractérisés à



Ignacy Sachs
Economiste,
né à Varsovie le
17 décembre 1927.
Naturalisé français.
Etudes d'économie au
Brésil, en Inde puis
en Pologne. Ancien
directeur du Centre
de recherche sur
les économies sous-
développées, à Varsovie.
Depuis 1968,
professeur à l'Ecole
des hautes études
en sciences sociales
(E.H.E.S.S.) et
directeur du Centre
international de recherche
sur l'environnement
et le développement
(C.I.R.E.D.).
Auteur de plusieurs
livres, dont *La Découverte
du Tiers Monde*
(Paris, 1971).
Consultant du programme
des Nations unies
pour l'environnement
et membre du Groupe
interministériel
d'évaluation de
l'environnement.

Energie

Planifications
humaines

Economie

épandage de défoliants, une modification du droit de chasse, tout cela a des effets écologiques — néfastes ou bénéfiques — pour nous, pour nos descendants, pour toute l'écosphère.

On commence à s'en rendre compte. Les associations de citoyens à but écologique — localisé ou mondial, spécialisé ou général — se multiplient. Leurs adhérents, en France, se chiffrent par centaines de milliers. Certaines, comme cri d'alarme et comme entreprise pédagogique, ont même présenté un candidat aux élections présidentielles de 1974. C'était un geste « politique ». Mais il convient de donner à « politique » son sens étymologique, qui est très noble : tout ce qui concerne la cité, la prise des décisions qui intéressent de larges groupes de citoyens. Les décisions à prendre à propos des entreprises collectives énumérées ci-dessus — et de bien d'autres — sont éminemment politiques.

On constate que ces décisions ne dépendent pas en général d'un organisme spécialisé — dans « l'Environnement » ou « la Qualité de la Vie » — mais qu'elles se rapportent à presque tous les secteurs classiques de la politique et de l'économie. Rien d'étonnant à cela : notre niche écologique est vaste et multiforme. Il faut donc souhaiter que le plus grand nombre possible de citoyens acquièrent la tournure d'esprit écologique et que l'écologie vienne intimement imprégner la politique.

Philippe Lebreton et Pierre Samuel.

