

L'écologie et l'homme : biosphère, noosphère et sophiosphère

Paul Duvigneaud

L'homme a depuis toujours pratiqué l'écologie sans même le savoir, pour survivre. L'écologie est l'étude des relations entre les êtres vivants et leur milieu. Elle est devenue une science vers la fin du **XIXe** siècle, avec les travaux de **HAECKEL** et de **REITTER**. L'écologie classique étudie la nature et les effets sur elle de l'activité humaine.

De nos jours, l'évolution du monde préoccupe bien des esprits, et de plus en plus l'on se rend compte que notre planète n'est qu'un seul et même grand **écosystème**, dans lequel l'homme est une composante vitale. Ainsi, d'une part l'activité humaine **oriente** l'évolution de la planète, mais d'autre part, l'homme est néanmoins soumis, comme tous les êtres vivants, aux lois de la nature qui **gouvernent** le fonctionnement des écosystèmes.

Qu'est-ce qu'un écosystème? Nous essayerons, pour les **non-écologistes**, de résumer ou de définir ici quelques notions et termes généraux tels qu'ils s'appliquent aux communautés végétales. avant de chercher à étendre leur application à l'homme.

NOTIONS GENERALES

Les caractéristiques du milieu (lumière, chaleur, eau, substrats minéraux ou organiques) déterminent des biotopes, où des organismes vivants de toutes sortes et quantités se retrouvent pour former des **biosystèmes**. En d'autres termes, ceux-ci sont des mélanges de populations appartenant à des espèces différentes.

Au sein d'un biosystème, les plantes, les animaux et les microorganismes s'associent pour former des communautés, ou

biocénoses. Pour l'écologie **moderne**, selon la conception holistique ou holocoenotique, l'intégration des biocénoses et des facteurs de leur environnement en biogéocénoses ou écosystèmes fonctionnels, dans lesquels ils s'influencent les uns les autres, est indispensable au maintien de la vie sur la terre.

Les **plantes** et les animaux – et donc les biocénoses – se métamorphosent, c'est-à-dire changent de physionomie sous l'influence du milieu. Ainsi, une biocénose de forêt **peut** exister, selon l'environnement, en différentes formations, telles que la forêt **tempérée** à feuilles caduques, la forêt méditerranéenne à feuilles dures persistantes, la forêt boréale de **conifères**, etc...

Les formations végétales passent par une succession dynamique de stades pionniers puis intermédiaires, et **arrivent** à un climax, c'est-à-dire à une formation en équilibre stationnaire avec le climat de l'époque. Ce climax peut régresser, à cause de perturbations naturelles ou dues à l'homme; dans les clairières créées par le feu, les tempêtes ou les parasites, la succession recommence à zéro. Un biome est une botanogéocénose climax, incluant aussi les animaux et les microorganismes qui s'y trouvent.

Dans le monde **moderne**, l'homme est un composant important de beaucoup d'écosystèmes variés. L'ouvrage *Essai d'une écologie de l'homme*, de M. **SORRE** (1947), montre la diversité et la complexité de l'action de l'homme sur la nature, action classifiée aussi par **ELLENBERG** (1984) dans son étude sur la construction des fermes en Europe occidentale.

FONCTIONNEMENT D'UN ECOSYSTEME NATUREL

Un écosystème naturel est structuré dans l'espace et dans le temps. Il implique des chaînes trophiques (qui mange quoi ?), avec, au départ, des producteurs végétaux, qui produisent une biomasse par **photosynthèse** ou chimiosynthèse, suivis de consommateurs (herbivores, carnivores de plusieurs ordres, parasites, charognards), de décomposeurs, de reminéralisateurs, de **symbiotes** (organismes fixateurs d'azote, mycorrhizes). Pour fonctionner, l'écosystème a besoin d'énergie, d'eau et de quelques substances minérales indispensables à la vie. Une part importante du travail écologique consiste à déterminer les flux, les cycles et les équilibres de ces éléments.

La source principale d'énergie des écosystèmes est le rayonnement solaire, dans une vaste gamme de longueurs d'onde exprimées en microns (μ). Ce rayonnement comprend:

- les rayons ultra-violet de grande longueur d'onde (0,29 à 0,38 μ), qui sont bactéricides; les rayons UV de plus courte longueur d'onde, plus toxiques, sont arrêtés à environ 25 km d'altitude par une couche d'ozone;
- la lumière visible (0,38 à 0,78 μ); pour la photosynthèse, les plantes absorbent surtout les rayons bleu-violet et orange-rouge;
- les rayons infra-rouges proches ou courts (0,78 à 3,0 μ); ils n'ont qu'un rôle mineur dans le fonctionnement des écosystèmes;
- les rayons infra-rouges lointains ou longs (3,0 à 100 μ); ils constituent les radiations thermiques et ont un haut pouvoir calorifique.

13% du rayonnement solaire total sont absorbés par la vapeur d'eau, l'anhydride carbonique et la poussière, et sont transformés dans l'atmosphère en rayons infra-rouges longs. Une autre fraction de ce rayonnement est réfléchi sur la surface de la terre : c'est l'albedo. Le coefficient d'albedo est le plus élevé pour les infra-rouges courts et pour la lumière jaune et verte (les couleurs les moins absorbées par les plantes). Pour la radiation thermique, le coefficient d'albedo s'élève à environ 4% pour la végétation ou l'eau, contre 11% pour le sable nu.

Une partie du rayonnement est absorbée par les biocénoses, et une autre par le sol: les deux sont, en gros, converties en énergie thermique. Cette chaleur doit être renvoyée dans l'espace si l'on veut éviter un réchauffement continu du système incompatible avec la vie. L'air chaud monte dans l'atmosphère par convection; son remplacement par de l'air froid est à l'origine des vents, une autre forme d'énergie disponible pour les écosystèmes (énergie éolienne). L'évaporation de l'eau et la transpiration des plantes permettent également de dissiper la chaleur. La condensation de la vapeur d'eau en pluie est directement liée au degré de cette évapotranspiration, d'où le rôle vital des forêts pour la répartition des pluies.

En général, un équilibre s'établit entre l'importation d'eau – pluie,

neige, brouillard – et son exportation par évapotranspiration, ruissellement, infiltration dans le sol vers la nappe phréatique et enfin, par écoulement dans les rivières et les fleuves.

La circulation de l'eau dans les écosystèmes terrestres et aquatiques apporte aux organismes l'eau dont ils ont besoin, et crée des flux et cycles d'éléments nutritifs minéraux ou organiques – mouvements de sève, pluviollessivage des feuilles, etc.. .

ELEMENTS NUTRITIFS MINÉRAUX; **FLUX** ET **CYCLES** BIOGEOCHIMIQUES

Les éléments nutritifs minéraux sont distribués dans le sol, les eaux, l'air, et dans la biomasse de la biocénose. Au cours de l'année, ils circulent avec la sève, depuis les racines qui les absorbent dans le sol jusqu'aux divers organes de la plante où ils sont retenus; ils circulent aussi le long des chaînes trophiques, puis sont restitués au sol par lessivage, par chute de parties mortes, et par l'action des décomposeurs-reminéralisateurs.

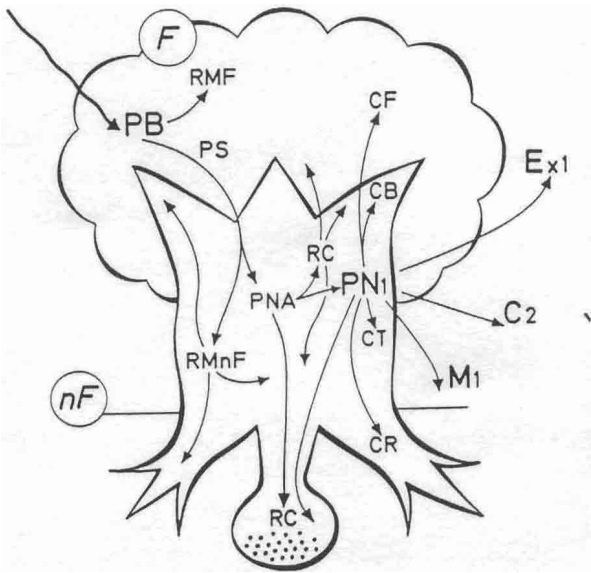
En dehors de ce schéma cyclique interne (absorption = rétention + restitution), l'écosystème importe aussi des éléments, tant nutritifs que toxiques – plomb, cadmium, cuivre, etc.. . – de la roche-mère ou de l'atmosphère. Certaines importations sont exportées à nouveau, par écoulement dans les rivières, les lacs ou la mer, ou par érosion éolienne. Les composés gazeux, ammoniac ou hydrogène sulfuré, se volatilisent à cause de l'action des bactéries dans les débris organiques qui fermentent sur le sol. Dans un écosystème en état stationnaire, les exportations équivalent à peu près aux importations.

PRODUCTIVITE ET BIOMASSE (voir figure 2.1)

Le fonctionnement d'un écosystème aboutit à la production d'une certaine quantité de **biomasse** (poids sec de matière organique); le taux de production de la biomasse, par hectare et par an, est la **productivité**.

FIGURE 2.1 FLUX D'ÉNERGIE ET PRODUCTION DE MATIÈRE ORGANIQUE:

En partant d'en haut à gauche : Les feuilles des plantes vertes (F), par la photosynthèse, convertissent le CO₂ de l'air et l'eau du sol en assimilats organiques (glucides) et en oxygène. PB est la productivité brute (quantité d'assimilats par ha par an). Une partie de ces assimilats



est «brûlée» (par respiration, avec dégagement de CO_2) pour fournir l'énergie nécessaire au maintien du système de feuilles F . Le surplus (PS) fournit l'énergie pour entretenir nF , la partie non-photosynthétique du système (branches, tiges, racines). Ce qui reste (RC) est utilisé pour la construction de nouvelles feuilles, fleurs, fruits et graines (CF), de nouvelles branches (CB), tiges (CT), racines (CR), et pour la constitution de réserves. L'ensemble des matériaux produits (biomasse) en un an sur un ha de la biocénose est la productivité primaire nette ($PN1$).

$Ex1$ représente la part de la biomasse exportée par le vent ou la pluie (feuilles, pollen, graines, résines volatiles).

$C2$ est la partie consommée par les prédateurs (herbivores, granivores, etc...).

$M1$ représente la matière morte, soit attachée à l'arbre (écorce, bois mort), soit tombée sur le sol (feuilles, brindilles, inflorescences, fruits, etc...). Une grande quantité de racinelles est aussi abandonnée dans le sol.

L'accroissement total de la biomasse, après élimination des pertes en $Ex1$ et $C2$, se compose des incréments de la phytomasse et de la zoomasse; si on y ajoute l'augmentation de la nécromasse (litière et humus), on obtient la productivité nette de la biocénose (PNB); le bilan annuel de l'organomasse s'obtient en soustrayant de la PNB les nécromasses des organes produits au cours des années précédentes.

DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES : REACTIONS AU STRESS, DU A DES PERTURBATIONS NATURELLES OU A L'HOMME

Dans la nature, un écosystème peut subir des perturbations liées à l'énergie – tempêtes, incendies, sécheresses, froids anormaux – qui modifient son développement. Mais un stress nocif à un niveau de l'écosystème peut être bénéfique à un autre: ainsi les incendies périodiques dans une steppe ou une forêt méditerranéenne sont un stress pour les organismes qu'ils blessent ou tuent, mais non pour l'écosystème qui est adapté au feu et qui ne pourrait survivre sans lui.

Les stress naturels sont généralement aigus, c'est-à-dire périodiques, et les écosystèmes s'y sont adaptés soit par une résistance élevée, soit par une redondance permettant le remplacement d'espèces sensibles par d'autres mieux adaptées, soit enfin par une résilience qui permet aux systèmes de se reconstruire en un temps très bref.

Dans la société industrielle, les stress dûs à l'homme sont, au contraire, plutôt chroniques, c'est-à-dire continus, et liés à un type de pollution chimique inconnue dans l'écosystème original. Les écosystèmes stressés de cette façon ont tendance à modifier leur fonctionnement normal: la respiration s'accroît, et donc la productivité décroît, et les flux géochimiques augmentent par rapport aux cycles biologiques. Suivant le degré de pollution, l'écosystème présente alors une **série** de stades de dégradation, allant de l'insignifiant à la débâcle, et à la perte **définitive** du pouvoir **d'auto-réparation**.

HIERARCHISATION AU SEIN DES ECOSYSTEMES: ECOPAYSAGES, ECOREGIONS, BIOSPHERE.

Dans les limites de leur environnement, les populations s'intègrent à différents groupes aux dimensions assez floues, dans le temps et dans l'espace: par exemple, une biogéocénose forestière se compose d'une intrication de groupes écologiques, comprenant des bioindicateurs de lumière, de température, d'humidité, de type de sol, de fertilité etc. . . Une mosaïque de biogéocénoses forestières diverses forme un paysage forestier. Les forêts, les champs et les **prés** forment des **géopaysages** ruraux; les écopaysages urbains et industriels sont extrêmement complexes. Une mosaïque de géo- et d'écopaysages

forme une écorégion, et la somme des écorégions, continentales et océaniques, forme la **biosphère**, à l'échelle de la planète, selon le géochimiste russe W. VERNADSKY, que beaucoup considèrent comme le père de l'écologie moderne.

L'écologie des paysages devrait tendre à créer des paysages ruraux équilibrés, avec de la *silva* sur les sommets, du *saltus* sur les versants, et de l'*ager* dans les vallées, pour éviter l'appauvrissement des sommets, l'érosion des pentes et l'inondation des vallées, et pour promouvoir des équilibres salutaires dans les cycles de l'eau et des éléments nutritifs. Lorsqu'un système édifié sur des traditions culturelles, agricoles et industrielles, et des facteurs économiques et sociaux favorables, correspond à un écopaysage équilibré, le fonctionnement correct de l'écorégion peut alors être appelé écodéveloppement.

INTERVENTION DE L'HOMME DANS LA BIOSPHERE : LA NOOSPHERE

La biosphère a été étudiée en profondeur par VERNADSKY (1924-1929). Son travail est une remarquable synthèse des connaissances de l'époque en sciences naturelles, vues sous l'angle de la philosophie matérialiste.

Pour lui, **la vie** est la force géologique la plus puissante sur terre. Elle agit à la fois chimiquement – métabolisme des êtres vivants – et mécaniquement – décomposition de la roche-mère, action des mélangeurs, perceurs, transporteurs etc... A la surface de la sphère minérale se forme une couche géologique complexe faite de matériaux biogéniques, c'est-à-dire formés par les processus de la vie, qui comprennent:

- la matière vivante (pas plus de 1% du total);
- la matière morte d'origine biologique : soit minérale (squelette des sols, leur fraction argileuse, les ions échangeables qu'ils contiennent), soit organique (litière végétale ou animale, humus, tourbe).

Au cours des périodes géologiques, les êtres vivants évoluent et se transforment, les biosphères se succèdent, et forment, ensemble, la métabiosphère. Les processus taphologiques, ou de fossilisation, ont conservé jusqu'à nos jours les restes de biosphères révolues. Ils ont transformé certaines substances biogéniques en pétrole, en charbon,

en lignite ou en gaz naturel, qui sont actuellement nos principales sources d'énergie.

Il y a environ 3 millions d'années, l'homme apparaît dans la biosphère, dont il est d'abord un élément naturel, vivant de chasse et de cueillette. Mais son emprise sur la nature ne cesse de s'étendre, grâce au feu, aux outils et à la domestication des animaux, surtout lorsque voici 60 000 ans à peu près, il devient Homo sapiens. Il applique son intelligence et son savoir de plus en plus vaste à transformer davantage la biosphère naturelle (agriculture, industrialisation, urbanisation). L'homme devient ainsi la force géologique la plus puissante de la planète : les découvertes de l'esprit humain (noos, en grec), appliquées au bien-être de l'humanité, ont transformé la biosphère en noosphère.

Dans les années 1920, le mathématicien et philosophe E. LE ROY et le paléontologue P. TEILHARD DE CHARDIN employèrent aussi le concept de noosphère, mais dans un sens plus spiritualiste, voire religieux. Pour eux, la noosphère est une sorte d'atmosphère pensante se déployant à l'extérieur de la biosphère et au-dessus d'elle.

La noosphère selon VERNADSKY comprend d'une part l'**agrosphère** – cultures, plantations, pâturages, parcs et jardins, serres, drèves, piscicultures, etc... – et d'autre part la technosphère – zones bâties, usines et manufactures, aéroports, routes, etc... .

DANSEREAU a proposé (1985) une classification rationnelle des espaces de la noosphère et de ce qui reste de la biosphère. Les catégories définissent les étapes successives de l'emprise de l'homme sur son environnement. Les espaces peuvent être:

- indigènes : nature vierge, inaltérée
- colligènes : l'homme vit de cueillette, chasse et pêche
- agrigènes : agriculture et sylviculture
- fabrigènes : mines, fabrication, production d'énergie
- urbigènes : résidence, commerce, services, plus ou moins verdurisés
- cybernigènes : transports, administration, contrôle etc... .

LA PRODUCTIVITE DE LA NOOSPHERE :

CAPACITE DE CHARGE ET CAPACITE CULTURELLE

Si l'on considère la noosphère actuelle (y compris les quelques éléments de biosphère ayant subsisté dans des endroits inaccessibles

à l'homme), comme un gigantesque écosystème, on peut calculer – connaissant la surface relative des différents biomes, leur biomasse et leur productivité – la biomasse totale et la productivité de la noosphère. Cette productivité, de l'ordre de 150 milliards de tonnes de matière organique, pourrait en théorie nourrir 160 milliards d'êtres humains végétariens, ou 40 milliards d'humains à régime mixte. Ceci représente la **capacité de charge du système**, suffisant tout juste à la survie (environ 1200 kcal/homme/jour). Mais chaque homme a droit à une bonne vie: il lui faut de la matière et de l'énergie supplémentaires pour se vêtir, être en bonne santé, se loger confortablement, se chauffer et cuire ses aliments, se mouvoir, se distraire; nous devons évaluer ici la **capacité culturelle** (HARDIN, 1986) mesurée en kgs d'équivalent charbon dépensés *per capita per annum*: la moyenne annuelle atteint 59 fois celle de l'Ethiopien (le chiffre est de 304 fois pour un citoyen des Etats Unis). Si l'on admet que chaque citoyen du monde a droit à «une bonne vie», nous devons reconnaître que la première estimation ci-dessus du nombre possible de ces citoyens était bien trop forte.