

Ouverture à l'écologie

par
AMIARD Jean-Claude
Directeur de Recherche au CNRS

Première Partie Les relations entre le monde inerte et le monde vivant

1. Organisation du monde vivant : une grande unicité

1.1. Les molécules organiques

Une molécule organique est composée d'un squelette carboné constitué par des enchaînements carbonés aux formes diverses (chaîne, cycle, ...) et de groupes fonctionnels caractéristiques des fonctions chimiques (alcool, acide, amine, etc.).

Les molécules contenant du carbone et de l'hydrogène, en particulier leur structure, leurs propriétés, leur composition, leurs réactions et leur préparation (par synthèse ou autres moyens) sont étudiées par la chimie organique et la biochimie (lorsque les molécules sont fabriquées par des êtres vivants). Ces composés peuvent comprendre d'autres éléments, comme l'azote, l'oxygène, certains halogènes (fluor, chlore, brome, iode) ainsi que le phosphore, le soufre ; plus rarement, le sodium, le magnésium, le potassium, le fer, le cobalt, et le zinc.

L'acide désoxyribonucléique, ou ADN, est une molécule, présente dans toutes les cellules vivantes, qui renferme l'ensemble des informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme. C'est aussi le support de l'hérédité car il est transmis lors de la reproduction, de manière intégrale ou non. Il porte donc l'information génétique et constitue le génome des êtres vivants. L'ADN détermine la synthèse des protéines, par l'intermédiaire de l'ARN. Dans les cellules eucaryotes, l'ADN est contenu dans le noyau et une petite partie dans la matrice des mitochondries ainsi que dans les chloroplastes. Dans les cellules procaryotes, l'ADN est contenu dans le cytoplasme. Certains virus possèdent également de l'ADN dans leur capsid.

1.2. L'unité de base : la cellule

La cellule (du latin *cellula* petite chambre) est l'unité structurale, fonctionnelle et reproductrice constituant tout ou partie d'un être vivant (à l'exception des virus). Chaque cellule est une entité vivante qui, dans le cas d'organismes multicellulaires, fonctionne de manière autonome, mais coordonnée avec les autres.

La théorie cellulaire implique l'unité de tout le vivant : tous les êtres vivants sont composés de cellules dont la structure fondamentale est commune ainsi que l'homéostasie du

milieu intérieur, milieu de composition physico-chimique régulé et propice au développement des cellules de l'espèce considérée.

1.3. Les tissus

Les tissus sont, en biologie, le niveau d'organisation intermédiaire entre les cellules et les organes. Un tissu est un ensemble de cellules pas forcément identiques mais de même origine, regroupée en ensemble fonctionnel, c'est-à-dire concourant à une même fonction. En biologie, la science qui étudie les tissus est l'histologie.

1.4. Les organes

Un organe est un ensemble de tissus concourant à la réalisation d'une fonction physiologique. Certains organes assurent simultanément plusieurs fonctions, mais dans ce cas, une fonction est généralement associée à un sous-ensemble de cellules. L'étude des organes relève de l'anatomie.

1.5. Les systèmes physiologiques

Le niveau d'organisation supérieur à l'organe est le système, qui remplit un ensemble de fonctions complémentaires. Les principaux systèmes physiologiques sont les systèmes nerveux, reproducteur, circulatoire, respiratoire, moteur, digestif.

1.6. Les individus

Un individu est ce qui ne peut être ni partagé ni divisé sans perdre les caractéristiques qui lui sont propres. Chez l'homme, il désigne le plus souvent une personne dans le langage courant et peut avoir des acceptions sensiblement différentes suivant les disciplines.

1.7. La population

Un ensemble d'individus d'une même espèce vivante se perpétuant dans un territoire donné est une population biologique (ou dème). La discipline scientifique qui en fait l'étude est la biologie des populations, un champ d'études qui participe à la fois de l'écologie (dynamique des populations, démographie, écologie comportementale...), de la génétique des populations et de la biologie de l'évolution.

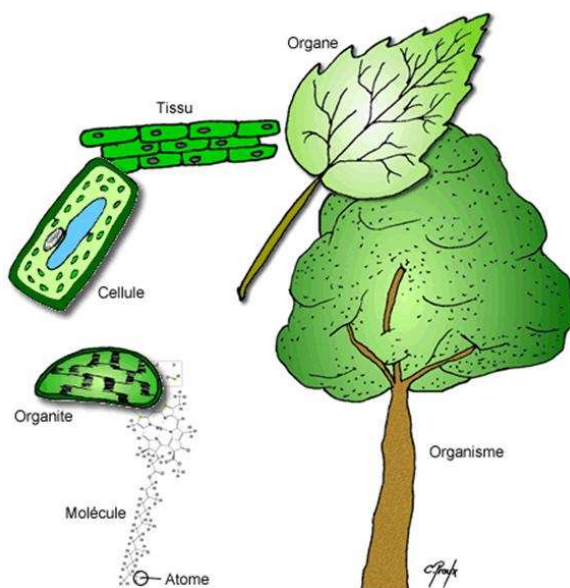


Figure 1. De l'atome à l'organisme

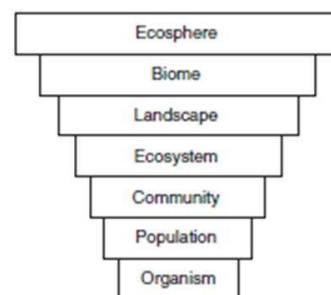


Figure 1 Most commonly recognized ecological hierarchy. The organism is the simplest level within this hierarchy while the ecosphere is the most complex.

Figure 2. De l'organisme à l'écosystème.

1.8. L'espèce

Dans les sciences du vivant, l'espèce (du latin *species*, « type » ou « apparence ») est le taxon de base de la systématique. La définition la plus communément admise est celle du concept biologique de l'espèce énoncé par Ernst Mayr (1942) : une espèce est une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent effectivement ou potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles. Ainsi, l'espèce est la plus grande unité de population au sein de laquelle le flux génétique est possible alors que les individus d'une même espèce sont génétiquement isolés d'autres ensembles équivalents du point de vue reproductif.

1.9. Le peuplement et la communauté

Le peuplement qui est un groupe d'individus, appartenant à des espèces différentes d'un même groupe systématique et vivant dans un milieu donné (aire donnée). Nous pouvons parler, par exemple, des populations d'hippopotames dans le Parc National de Virunga et du peuplement des mammifères dans la Réserve Naturelle de Tayna. La communauté, quant à elle, est un ensemble des populations vivant dans un milieu déterminé.

2. La structure de l'écosphère

L'écosphère est constitué des couches périphériques du globe terrestre. C'est un système ouvert sur le plan énergétique puisqu'il existe un apport de chaleur et de lumière par le soleil avec une restitution d'une partie vers l'espace. Il est par contre fermé chimiquement, les apports externes étant très limités aux météorites. Les éléments chimiques les plus importants sont l'oxygène (50 %), le silicium (26 %), l'aluminium (7 %) et le fer (4 %).

L'écosphère est subdivisée en trois zones la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère (Figure 3).

La lithosphère comporte les écosystèmes terrestres et sa composition est peu différente de l'écosphère globale.

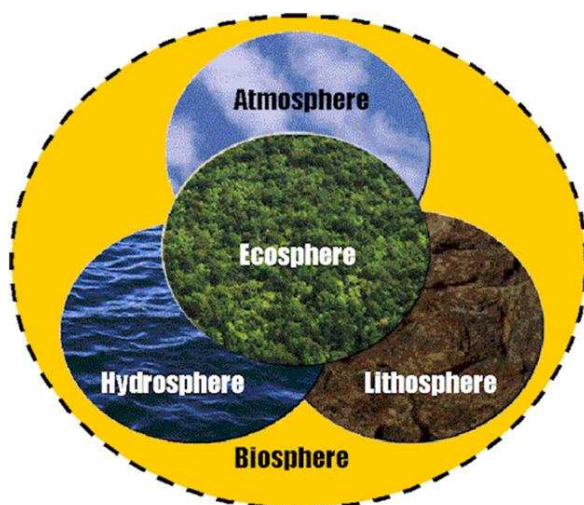


Figure 3. L'écosphère.

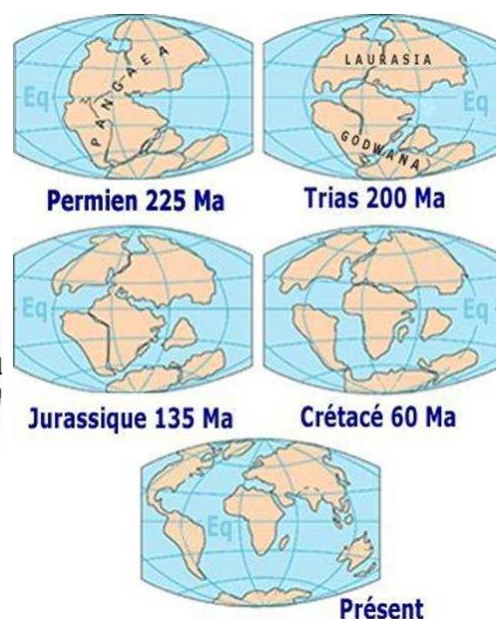


Figure 4. La dérive des continents.

L'hydrosphère est l'ensemble des milieux aquatiques, océans, mers, cours d'eau, lacs, glaces. Les océans et les mers représentent 1 400 Mkm³, les glaciers 17 Mkm³, les fleuves 250 000 km³ et les lacs 25 000 km³ soit un total de 360 Mkm³ couvrant 70 % de la surface terrestre.

Il existe trois grands océans le Pacifique (180 Mkm³), l'Atlantique (100 Mkm³) et l'Indien (75 Mkm³). Leur profondeur moyenne est de 3 800 m avec des fosses océaniques de 11 000 m avec une salinité moyenne de 34,7 g.L⁻¹ mais variant de 4 à plus de 40 g.L⁻¹.

L'atmosphère est subdivisée en troposphère et stratosphère par la couche d'inversion thermique (tropopause).

La biosphère est la zone où habitent les êtres vivants. Les dimensions sont mal définies. Ainsi aucun être vivant n'est en permanence dans l'atmosphère et ne passe que dans les dix premiers kilomètres d'altitude. La vie existe dans les fosses abyssales et dans les premiers mètres de la lithosphère dans les sols ou sédiments relativement meubles.

L'anthroposphère est un terme utilisé pour désigner la zone non individualisée également modifiée par les activités humaines. C'est le cas notamment des écosystèmes artificialisés (forêts, champs, ...) et des zones polluées.

La répartition actuelle des terres émergées et des océans est la conséquence de la dérive des continents (Figure 4) due aux déplacements des plaques lithosphériques. Une des conséquences est la répartition de la flore et de la faune dans les divers continents et à leur isolement plus ou moins ancien.

3. Les relations milieu – organisme : notions de base en écologie

Comme toute discipline, l'écologie fait appel à un vocabulaire spécifique et à quelques concepts dont les plus importants sont les notions de biocénose (Mobius) et d'écosystème (Tansley, 1935).

3.1. La biocénose

En écologie, une biocénose (ou *biocænose*) désigne l'ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace défini (le biotope).

Un biotope et sa biocénose associée sont en interactions constantes ; ils constituent un écosystème. Les limites spatiales et temporelles d'une biocénose sont celles des populations homogènes qu'elles décrivent. Un changement de population correspond à un changement de biocénose, observé sur un pas de temps suffisant.

3.2. L'écosystème

En écologie, un écosystème désigne l'ensemble formé par une association ou communauté d'êtres vivants (ou biocénose) et son environnement géologique, édaphique, hydrologique, climatique, etc. (le biotope). Les éléments constituant un écosystème développent un réseau d'échange d'énergie et de matière permettant le maintien et le développement de la vie. Le terme fut forgé par Arthur George Tansley en 1935 pour désigner l'unité de base de la nature. Unité dans laquelle les plantes, les animaux et l'habitat interagissent au sein d'un système.

3.3. Le biome

Un biome (du grec *bios* = vie), appelé aussi aire biotique, écozone ou écorégion, est un ensemble d'écosystèmes caractéristique d'une aire biogéographique et nommé à partir de la végétation et des espèces animales qui y prédominent et y sont adaptées. Il est l'expression des conditions écologiques du lieu à l'échelle régionale ou continentale : le climat qui induit le sol, les deux induisant eux-mêmes les conditions écologiques auxquelles vont répondre les communautés des plantes et des animaux du biome en question.

3.4. Qu'est-ce que l'écologie ?

L'écologie est une science relativement ancienne puisque dès les années 1800 plusieurs auteurs (Humbolt, Guseloch) élaboraient les grands concepts de cette matière sans la nommer encore, mais surtout en considérant les végétaux. Dès 1859 Darwin expose dans son ouvrage « *De l'origine des espèces* » les fondements de l'écologie, notions confirmées avec ses travaux de recherches sur les vers de terre publiés en 1881. Toutefois la première définition de l'écologie est due à Haeckel en 1866 désignant ainsi la science de l'habitat (*oikos* : maison au sens de lieu de vie). L'écologie est donc la science des études des êtres vivants et de leurs interactions, de leur milieu de vie et des influences réciproques entre le milieu de vie et les êtres vivants.

Aujourd'hui tout le monde est amené, sans forcément le savoir, à faire de l'écologie. Ainsi le pêcheur à la ligne sait quel type de poisson se capture dans un cours d'eau rapide et bien aéré, ou au contraire dans une rivière lente. Tout amateur de cueillette de champignons, de baies rouges en automne connaît intuitivement les zones favorables. De même tout jardinier souhaitant cultiver un coin de jardin, voire même un simple pot de fleur, doit satisfaire à certaines exigences écologiques des végétaux.

Pour exister dans l'esprit du public, notamment en France, il a fallu près d'un siècle (le premier ministère de l'environnement date de 1971). De nos jours la notion d'écologie a quelque peu dérivé et a été reprise par des mouvements politiques comme si la sauvegarde de notre milieu de vie et de la planète en général était une affaire de politique et non de conscience de société. D'où une grande confusion entre écologie, molysmologie (science des pollutions), protection de la nature (conséquence souhaitable de l'écologie), écotoxicologie (influence des polluants sur les êtres vivants en partie et écosystème en général).

Mais comment protéger notre environnement sans une connaissance des notions de bases ?

D'innombrables congrès scientifiques, réunions d'experts, articles de presse, contribuent à une vulgarisation d'une idée de l'écologie et à une prise de conscience par le public. Mais ceci reste éphémère. Que reste-t-il aujourd'hui de la conférence de Rio (1992) ? Nous pouvons nous demander si les autorités politico-économiques qui tardent souvent à prendre des mesures concrètes sont prêtes à inverser les processus de dégradation de notre milieu de vie dans lesquels notre civilisation technologique s'est engagée. L'échec des négociations sur le climat au niveau mondial et le récent semi-échec du Grenelle de l'Environnement au niveau français, nous fournissent des réponses malheureusement négatives.

Quoiqu'il en soit, sur le plan scientifique, nos connaissances de notre environnement ont beaucoup progressé ces dernières décennies et l'écologie est maintenant une science à part entière. Son but est une compréhension globale des relations des organismes entre eux et avec leur environnement. L'unité d'étude en écologie n'est pas l'individu isolé, mais la population dans son ensemble. C'est donc une science systémique envisageant tous les éléments d'un système dans son ensemble et non isolément (approche analytique). En tant que telle c'est donc une science pluridisciplinaire et une science de synthèse. L'écologue (pour le distinguer de l'écologiste politique) doit avoir une connaissance suffisante des diverses disciplines

touchant aux êtres vivants (biologie, animal et végétal, biologie cellulaire, microbiologie, biochimie, physiologie, génétique, ..) mais également il doit être capable d'utiliser des outils mathématiques (statistiques, modélisations, ...) et il doit être capable de comprendre l'ensemble des facteurs intéressants tant au niveau de la vie des organismes que pour modifier les caractéristiques de leur milieu de vie (physique, chimie, hydrologie, ...). Il ne faut pas oublier par ailleurs que l'Homme est un élément de l'environnement qui se révèle très perturbateur. Aussi les notions des sciences humaines comme la démographie, la géographie économique, ... ne doivent pas être négligées. Enfin l'environnement n'est pas uniquement un point de départ pour l'écologie mais également un objectif dans lequel doivent être intégrées les conséquences socio-économiques et technico-économiques des décisions si nous souhaitons leur garder une crédibilité et une chance d'application.

Aujourd'hui nous admettons trois grandes subdivisions au sein de l'écologie scientifique, même si les coupures sont un peu arbitraires et si dans la réalité les divers domaines interfèrent. Ce sont l'autoécologie, la démoécologie et la synécologie.

L'autoécologie définit les rapports d'une seule espèce avec son milieu et recherche notamment ses conditions de vie idéale. Elle développe les notions de facteurs de tolérance et de préférences. Elle est centrée sur l'espèce, isolée des autres êtres vivants, ce qui est un paradoxe mais se révèle pragmatique.

La démoécologie est la science de la dynamique des populations. C'est la base de l'écologie (la population étant l'unité de base). La démoécologie décrit la structure des populations, ses fluctuations et recherche des explications à ses fluctuations.

La synécologie est une science plus globale sur le plan de l'écologie car elle étudie la structure et le fonctionnement de la totalité de l'écosystème, c'est à dire de l'ensemble des communautés (biocénoses) et de leur milieu de vie (biotope).

Nous pouvons aussi envisager d'autres subdivisions en fonction de la nature du milieu et ainsi avoir trois grandes divisions de la biosphère avec une écologie terrestre, une écologie marine et une écologie limnique (eau douce).

Une autre classification consiste à distinguer l'écologie animale, l'écologie végétale, l'écologie microbienne et l'écologie humaine. Cette subdivision est mauvaise puisqu'elle va à l'encontre de la notion de globalité, base de l'écologie ; elle a toutefois un côté pratique pour des spécialistes de biologie animale ou végétale à condition ensuite de globaliser. D'où la conclusion par cycles biogéochimiques.

Seconde partie

L'autoécologie ou les relations entre les milieux inertes et les êtres vivants

1. Notions générales

C'est l'étude de l'influence des facteurs sur les organismes, pris isolément. Les facteurs dits facteurs écologiques peuvent être abiotiques (caractères physico-chimiques) ou biotiques (actions des organismes vivants). Les facteurs écologiques peuvent avoir une action directe sur les êtres vivants comme l'altitude ou la profondeur car ils agissent par l'intermédiaire de la température, de l'ensoleillement.

Les facteurs écologiques ont trois grands types d'actions :

- élimination de certaines espèces (action sur la répartition) ;
- modification des taux de fertilité et de mortalité (action sur la densité) ;
- favorisant des adaptations.

Tout facteur écologique agit selon la loi de Liebig (1840) qui est la loi du minimum ou du facteur limitant (Figure 5). Elle est proche de la loi de tolérance de Shelford (Figure 6). Tout facteur écologique isolé peut limiter le développement d'un être vivant soit parce qu'il est absent ou inférieur à une limite, soit parce qu'au contraire il excède le niveau maximal tolérable. Le facteur limitant conditionne le développement de l'organisme. Il peut y avoir plusieurs facteurs limitant simultanément.

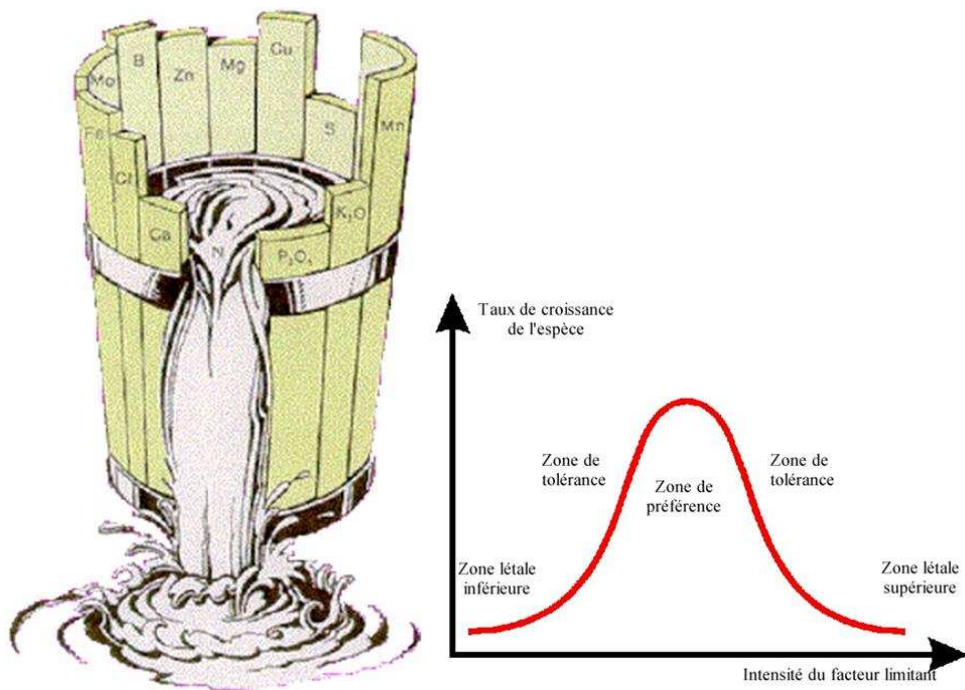


Figure 5. Loi du minimum (Liebig, 1840). Figure 6. Loi de tolérance (Shelford, 1911).

La valence écologique est la possibilité pour une espèce de peupler des milieux différents. Les espèces sténoères (ou sténooeciques) ont une faible valence écologique. Elles seront étroitement limitées dans des biotopes spécifiques et seront très sensibles aux fluctuations des facteurs écologiques. Au contraire, les espèces euryères (ou euroeciques) ont une forte valence écologique. Elles seront capables de peupler des milieux très différents ou à

caractéristiques écologiques variables. Elles seront largement réparties dans des écosystèmes différents.

Par ailleurs, les facteurs écologiques peuvent être liés entre eux comme l'augmentation de la température et de la teneur en sels minéraux et la baisse de la teneur en oxygène.

2. Les facteurs abiotiques

Ce sont principalement les facteurs climatiques, chimiques et édaphiques (liés au sol).

2.1. Les facteurs climatiques

Ce sont les facteurs énergétiques (lumière, mouvement des fluides, température), pluviométrie et hygrométrie et toutes les adaptations qui en découlent.

2.1.1. Facteurs énergétiques

Le rayonnement solaire représente la part la plus importante permettant le maintien de la vie sur terre. Il représente la source d'énergie fondamentale des deux facteurs écologiques que sont l'éclairement et la température. L'ultraviolet (UV) est absorbé en presque totalité par la couche d'ozone située vers 25 km d'altitude (stratosphère) de faible densité (donc susceptible de disparition rapide). L'infrarouge (IR) a un fort pouvoir calorifique et est absorbé par l'air, le sol et surtout l'eau. Les conséquences globales de ces absorptions sont des échauffements avec comme répercussion sur les milieux, une élévation de la température du milieu en surface, une évaporation d'eau liquide en eau gazeuse qui s'élève dans l'atmosphère, s'y recondense pour former les pluies et une mise en mouvements des fluides (eau, gaz) par les inégales répartitions des élévations de température (mouvements de convection), ceci ayant comme conséquence un transport et une dispersion de toute substance dans la totalité de la biosphère.

A. Action biologique de la lumière

La lumière intervient sur les êtres vivants par sa durée (photopériode), son intensité et la qualité de ses radiations. La lumière dépend de la latitude et de l'altitude, de la saison, de la nébulosité, du couvert végétal, ...

La plupart des plantes autotrophes sont photosynthétiques. La biomasse ainsi fabriquée est une forme de stockage de l'énergie qui sera ultérieurement libérée par les mécanismes inverses de la respiration et de la fermentation. Le rendement énergétique de la photosynthèse est faible, au maximum 1 %. Les végétaux présentent des adaptations variées aux variations de lumière notamment à l'intensité lumineuse, à la longueur d'onde

La lumière a un impact physiologique sur les animaux comme sur les végétaux et éthologique sur les animaux. Les rythmes d'éclairement, avec des rythmes jour-nuit (nycthémeraux ou circadiens) et des rythmes saisonniers suscitent des comportements périodiques et des adaptations aux différentes périodicités naturelles, sous la dépendance des phénomènes hormonaux (végétaux et animaux).

B. Mouvements des fluides

Ils assurent l'homogénéisation des masses d'air et d'eau de l'écosphère. Ils peuvent avoir une importance dans certains écosystèmes ou sur certaines biocénoses. C'est le cas des remontées d'eaux profondes océaniques (*upwelling*) qui amènent en surface des sels minéraux et entraînent une augmentation de la production primaire.

C. Température

Il est difficile de dissocier la température de la lumière solaire. La température doit toujours être considérée sous trois aspects : température moyenne, températures extrêmes et périodicité des fluctuations. La quantité de chaleur reçue est variable selon les zones du globe et peut être matérialisée par les courbes isothermes.

En règle générale, dans la limite des températures compatibles avec la vie, la rapidité des processus biologiques augmente avec la température (selon la règle de Van't Hoff) puis se produit une chute brutale et la mort des individus (altération des protéines et des enzymes). Il existe des décalages entre les réponses entre les espèces différentes ce qui explique les variétés des écosystèmes et les possibilités de substitution des proies pour un prédateur donné.

Les limites tolérables de vie permanente vont en général de quelques degrés au-dessous de 0°C (les diatomées abondent à la face inférieure de la banquise) à quelques dizaines de degrés, le maximum étant observé pour certaines bactéries des sources hydrothermales (300°C). Nous retrouvons les notions de préférendum thermique et d'intervalle de tolérance. Les eurythermes supportent des fluctuations importantes de température comme les biocénoses de la taïga des forêts boréales avec une amplitude de l'ordre de 60 à 70°C (- 50°C à + 10-15°C). Les espèces sténothermes se rencontrent dans les zones intertropicales ou les milieux océaniques.

Les êtres vivants peuvent réagir différemment aux conditions thermiques défavorables par des migrations pour les organismes vagiles ou par enfouissement comme les invertébrés et les reptiles. Mais ils peuvent également développer des adaptations particulières aux températures extrêmes.

Pour lutter contre le froid les mécanismes sont variés comme le développement du pelage ou du plumage, la constitution de couches de graisse, la protection des bourgeons végétatifs par des écailles ou des poils, la baisse des besoins énergétiques par le passage en vie ralentie pour certains végétaux, les invertébrés et les vertébrés poikilothermes ou par hibernation de certains mammifères, l'acquisition de l'homéothermie ou encore la synthèse d'électrolytes dans le milieu interne qui entraîne une baisse du point de congélation (poissons de l'Alaska).

En général c'est la cristallisation de l'eau gelant qui provoque la mort des cellules en les déchirant, donc les graines, les spores ou les kystes de certains protozoaires, les œufs des rotifères, certains insectes sont déshydratés leur permettant de résister à de grandes amplitudes de température.

Corrélativement chez les mammifères et les oiseaux terrestres des zones froides, nous assistons à une tendance à la réduction de la longueur des appendices d'autant plus accentuée que l'on se rapproche des régions polaires (règle de Allen) ce qui réduit le rayonnement de chaleur du corps vers l'extérieur (oreilles des renards, esquimaux trapus avec des membres courts à l'opposé des kenyans longilignes aux membres longs). Par contre, nous observons une tendance à l'accroissement de la taille car la surface corporelle augmente moins vite que la masse quand la taille augmente et les pertes de chaleur sont proportionnelles à la surface (manchots).

Enfin le froid est nécessaire à la levée de dormance pour certains végétaux, c'est la vernalisation (graines de céréales d'hiver, fleurs du pêcher et du lilas).

Pour lutter contre la chaleur les adaptations sont indispensables car les températures inférieures limites sont en général mieux tolérées que les températures maximales. En milieu terrestres les records sont détenus par des coléoptères déserticoles de préférendum thermique entre 49 et 50°C. Pendant les périodes de forte température, les invertébrés ont souvent un arrêt d'activité (estivation). Elle est plus rare mais existe chez les vertébrés. La mort par la chaleur est en général provoquée par une trop forte évaporation d'eau et par la dénaturation irréversible des protéines.

2.1.2. Pluviométrie et hygrométrie

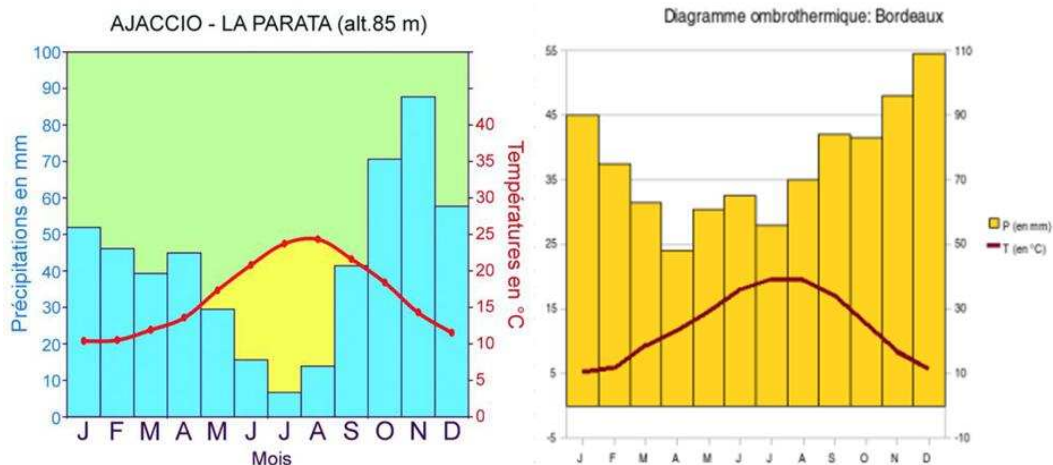
L'eau fait partie de tous les milieux de vie mais de plus représente en moyenne 80 % des êtres vivants. Le volume annuel des précipitations conditionne en grande partie la distribution des biomes continentaux (écosystèmes à l'échelle planétaire). Néanmoins une même hauteur d'eau parvenant au sol peut donner lieu à des devenir très différents (infiltrations, pertes par évaporation sur sol nu, perte par évapotranspiration, ruissellement).

L'eau peut être présente sous diverses formes dans la biosphère, liquide, gazeuse (vapeur donnant l'humidité) et solide (neige, glace, grêle). La forme liquide (pluie, rosée, brouillard, microgouttelettes) est la seule absorbée par les organismes. L'humidité, c'est-à-dire le contenu de l'air en vapeur d'eau, est exprimée en pression partielle. Les facteurs humidité et température sont donc dépendants physiquement mais également biologiquement car la résistance à l'un de ces deux facteurs et à ses variations est très dépendante de l'autre.

Pour rendre compte de la globalité du climat nous pouvons utiliser différents descripteurs empiriques car ils ne sont pas fondés sur des théories physiques. Les indices climatiques sont très nombreux comme l'indice d'aridité (I), le coefficient pluviométrique (Q) prend en compte les températures extrêmes en utilisant la moyenne des maximums annuels (M) et celle des minima (m).

Les diagrammes climatiques comprennent deux principaux types, les diagrammes ombrothermiques (Figures 7 et 8) avec en abscisse les mois et en ordonnée à la fois les précipitations et les températures et les climatogrammes où la représentation du cycle annuel du climat se fait avec la température en ordonnée et les précipitations en abscisse avec un point pour chaque mois.

Les réactions des organismes à l'humidité et à la sécheresse sont très variées car ce sont des facteurs limitant importants. Les interactions humidité – température conditionnent aussi la répartition des êtres vivants. Les adaptations des organismes aux conditions extrêmes sont aussi très variées et existent dans pratiquement tous les groupes animaux et végétaux.



Figures 7 et 8. Diagrammes ombrothermiques d'Ajaccio et de Bordeaux/

2.2. Facteurs chimiques

En milieu aquatique les facteurs chimiques prépondérants d'un point de vue écologique sont les substances dissoutes et le pH.

2.2.1. Les substances dissoutes

De très nombreuses substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, certaines d'entre elles y subissent une dissociation électrolytique. En milieu marin nous recensons 90 ions principaux en proportions constantes quel que soit la mer et la profondeur. En eau douce par contre la composition en électrolytes est très variable selon les terrains traversés (maximum au niveau des sources thermales).

Les sels nutritifs sont parmi les électrolytes indispensables à la vie des êtres vivants. Les principaux sont les anions nitrates NO_3^- , nitrites NO_2^- , phosphates PO_4H_2^- , PO_4H^{2-} et PO_4^{3-} et le cation ammonium NH_4^+ .

Les gaz dissous les plus importants en écologie sont l'oxygène (présent dans les eaux en raison de 4 à 8 mL.L^{-1}) et le CO_2 dont le taux est extrêmement variable. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend surtout de la température, il est d'autant moins soluble que la salinité augmente. La concentration du CO_2 dépend aussi de la température en eau douce mais essentiellement du pH en eau de mer. Dans l'eau nous le trouvons soit sous forme dissoute, soit sous forme de carbonates et bicarbonates.

2.2.2. Le pH

Il intervient dans de nombreux fonctionnements biochimiques et processus physiologiques. Les organismes aquatiques sont très sensibles aux baisses de pH.

2.3. Facteurs édaphiques (facteurs liés au sol)

Les principaux facteurs édaphiques sont la texture et la structure du sol, l'hygrométrie, le pH du sol, les éléments minéraux et le gaz carbonique atmosphérique.

2.3.1. La texture et la structure

La texture correspond à la composition granulométrique alors que la structure correspond à l'assemblage des éléments entre eux. L'ensemble de ces deux facteurs conditionne la porosité du sol, son pouvoir de rétention de l'eau et la circulation des gaz. La pénétration des racines des végétaux et la possibilité de fouissage par les animaux leur sont également liés.

2.3.2. L'hygrométrie

Dans le sol l'eau peut être libre (dans les fissures, le ruissellement) c'est-à-dire circulante. Elle peut être interstitielle, sa circulation se fait de façon limitée entre les grains, enfin l'eau d'inhibition est intimement liée aux particules du sol et est peu disponible. L'hygrométrie est bien sûr un facteur fondamental dans la répartition des végétaux terrestres. La migration des animaux dans le sol se fait souvent en fonction de son hygrométrie (ver de terre).

2.3.3. Le pH du sol

Il correspond au pH des eaux libres et interstitielles. Nous distinguons les sols acides (pH < 7), neutre ou basiques (> 7). L'acidification d'un sol provoque la biodisponibilité d'anions et de cations, qui peuvent être des sels minéraux mais également des métaux toxiques comme l'aluminium. En général les sols acides naturellement sont riches en silice, les sols neutres ou basiques riches en calcium. Les organismes se répartissent selon leur tolérance.

2.3.4. Eléments minéraux

Nous retrouvons les mêmes éléments qu'en milieu aquatiques, leur absorption par les plantes se faisant en solution. En milieu terrestre les éléments minéraux sont souvent un facteur limitant pour les végétaux.

2.3.5. *Le gaz carbonique atmosphérique*

Il est primordial pour la photosynthèse des végétaux terrestres. Le taux actuel de CO₂ n'a jamais été atteint durant les millénaires. Ce CO₂ est responsable de l'effet de serre donc contribue au réchauffement global de l'atmosphère.

3. Les facteurs biotiques

Ces facteurs sont dus aux êtres vivants. Ils peuvent s'exercer sur la même espèce (réactions homotypiques ou intraspécifiques) ou sur des espèces différentes (réactions hétérotypiques ou interspécifiques).

3.1. *Réactions homotypiques*

Elles sont très variées. Les principales sont les effets de groupe ou de masse et la compétition intraspécifique.

L'effet de groupe existe dans de nombreuses espèces végétales et animales avec souvent comme conséquence une accélération de la vitesse de croissance. C'est en général un effet bénéfique.

L'effet de masse est réalisé lorsque le milieu devient surpeuplé et est une conséquence de l'effet de groupe. Contrairement au précédent, c'est un effet négatif. Il en résulte une autolimitation de la population. Elle peut être réalisée de diverses façons comme le cannibalisme.

La compétition intraspécifique entre les individus d'une même espèce, peut être d'ordre alimentaire. La hiérarchie sociale avec des individus dominants et des dominés est également un exemple de compétition intraspécifique.

3.2. *Les réactions hétérotypiques*

Théoriquement la cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'elles une influence nulle, favorable ou défavorable. Nous observons huit types de combinaisons possibles : neutralisme, compétition, prédation, parasitisme, commensalisme, mutualisme, amensalisme et coopération (Figure 10). Néanmoins cette classification est réductionniste car de nombreux intermédiaires peuvent exister. Par ailleurs, la nature des coactions peut évoluer au cours du temps.

Le **neutralisme** où les deux espèces sont indépendantes sans aucune influence l'une sur l'autre. Ce cas est rare dans les faits.

La **compétition** où chaque espèce agit défavorablement sur l'autre pour la recherche d'une même ressource du milieu. La compétition peut avoir lieu pour la recherche de nourriture, les abris, les lieux de ponte, .. Les espèces sont dites compétitrices. La compétition peut être active lorsque par son comportement une espèce interdit à l'autre le site convoité (cas de nombreux vertébrés) ou passive dans le cas contraire (végétaux et la plupart des animaux). Lorsque la compétition est d'égale intensité entre les deux espèces, elle est dite symétrique et permet en général leur coexistence. Dans le cas contraire, elle est asymétrique et favorise l'exclusion d'une des espèces. C'est le principe de Gause (deux espèces ne peuvent cohabiter dans la même niche écologique) ou d'exclusion compétitive.



		Gain pour l'espèce A		
		Positif	Neutre	Négatif
Gain pour l'espèce B	Positif	Mutualisme Coopération Symbiose	Commensalisme	Prédation Parasitisme
	Neutre	Commensalisme	Neutralisme	Amensalisme
	Négatif	Prédation Parasitisme	Amensalisme	Compétition

Figure 9. Les besoins d'une plante.

Figure 10. Les relations entre deux espèces.

La **prédation** ou le prédateur est un organisme libre qui recherche une nourriture vivante, animale ou végétale et tue. Dans le **parasitisme**, le parasite lui-même ne mène pas une vie libre, il est fixé à son hôte au moins à un moment donné de son existence. Il ne tue pas. Nous distinguons les parasites de surface ou ectoparasite (sangsuie, tique) et les parasites internes ou endoparasites (ténia).

La limite entre le **commensalisme** et le **mutualisme** est difficile à déterminer. Le commensalisme concerne des animaux qui profitent de l'abri d'un hôte (ou de son gîte) dans lequel ils sont tolérés. C'est le cas des insectes des terriers de mammifères ou des nids d'oiseaux. Le mutualisme ou symbiose est une association à bénéfices réciproques comme les lichens, association de mycorhizes (champignons) et algues, racines de plantes supérieures et termites, ou encore des flagellés dans le tube digestif de nombreux animaux.

L'**amensualisme** est une interaction biologique interspécifique (entre deux espèces différentes) dans laquelle une espèce inhibe le développement de l'autre. L'amensalisme est observé le plus souvent chez les végétaux. L'individu a un effet négatif par son comportement ou son métabolisme sur un autre sans en retirer le moindre avantage.

La **coopération** est l'association de deux êtres vivants où les deux associés retirent des bénéfices d'une relation non obligatoire.

Conclusions

Bien que vus séparément, les divers facteurs écologiques n'agissent jamais isolément mais interagissent entre eux. Nous l'avons vu avec les diagrammes climatiques par exemple mais ceci est beaucoup plus varié et complexe.

Par ailleurs, les individus, les populations et les communautés toutes entières ne subissent pas de façon passive les facteurs de l'environnement mais présentent des degrés variés de plasticité écologique leur permettant de s'adapter aux fluctuations temporelles et/ou spatiales des facteurs limitants des milieux qui les abritent. C'est l'acclimatation. Certains caractères peuvent être acquis de façon héréditaire constituant des écotypes d'une même espèce. Les caractères physiologiques et morphologiques de chaque écotype sont donc héréditaires et ces écotypes peuvent ultérieurement être à l'origine de nouvelles espèces.

4. Les transferts de matière et d'énergie dans les écosystèmes

L'activité de tout être vivant nécessite l'utilisation d'une source d'énergie. Les deux principales sont la lumière pour les êtres autotrophes et les substances biochimiques (lipides, glucides, ...) pour les êtres hétérotrophes, donc la nourriture.

4.1. Les réseaux trophiques ou alimentaires

Dans un écosystème les êtres vivants dépendent les uns des autres par des relations alimentaires. Les chaînes alimentaires assurent la circulation de la matière et par conséquent le transfert d'énergie sous forme biochimique entre les divers organismes de l'écosystème. Selon leur fonction dans les écosystèmes, les êtres vivants se répartissent en trois grandes catégories : les producteurs primaires ou autotrophes, les consommateurs primaires et secondaires ou hétérotrophes (Figure 11).

Les producteurs primaires ou autotrophes. Ce sont des végétaux chlorophylliens. Ils utilisent l'énergie solaire pour élaborer des substances biochimiques à partir du CO_2 , de l'eau et des sels minéraux ; ce sont les premiers maillons des chaînes alimentaires. Les consommateurs ou hétérotrophes qui ne peuvent se nourrir qu'avec des matières organiques synthétisées par d'autres êtres vivants. Les consommateurs de premier ordre sont les phytophages ou végétariens. Ils forment le second niveau trophique. Les consommateurs d'ordre supérieur à un sont des zoophages ou carnivores. Ils forment le troisième, quatrième, ... niveau trophique. Tous les consommateurs fabriquent aussi de la matière organique, ce sont donc des producteurs secondaires.

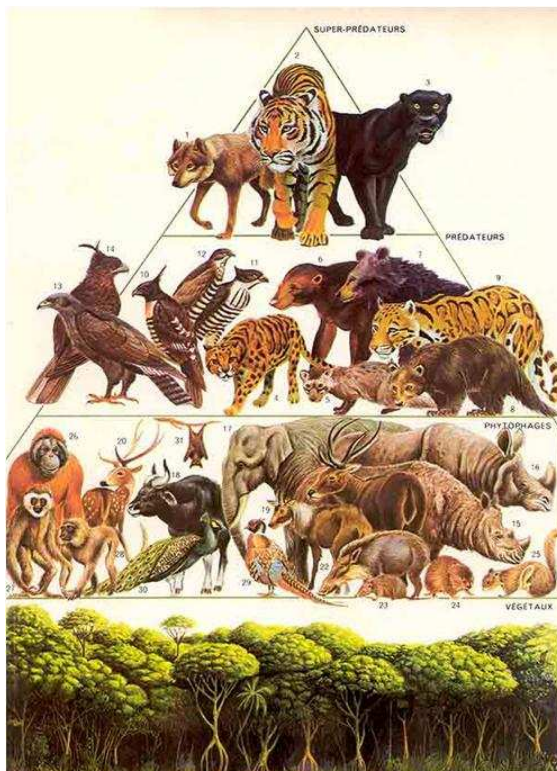


Figure 11. Les réseaux trophiques.

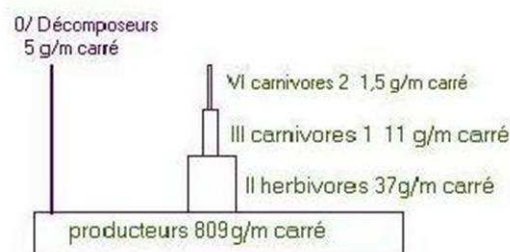


Figure 12. Une pyramide de productivité.

Généralement les chaînes alimentaires ne dépassent pas 5 à 6 maillons, en effet seul une part de la matière et donc de l'énergie est transférée d'un niveau au suivant, limitant ainsi le nombre de niveaux trophiques.

Les décomposeurs et détritivores utilisent la matière organique morte (débris végétaux, excréments, cadavres) dont ils facilitent et amorcent la décomposition puis la minéralisation, recyclant ainsi les minéraux pour les autotrophes. Ce sont également des producteurs secondaires. Les détritivores sont les vers de terre, la microfaune du sol. Les décomposeurs sont essentiellement des bactéries et des champignons.

Leur succession linéaire d'espèces constitue une chaîne alimentaire, mais dans la réalité les choses sont plus complexes avec en particulier différentes chaînes trophiques qui s'imbriquent les unes dans les autres constituant un réseau alimentaire ou réseau trophique.

4.2. Les pyramides écologiques

La structure trophique d'un écosystème ou d'une chaîne alimentaire peut se faire graphiquement par les pyramides écologiques. Les représentations peuvent se faire par des pyramides des nombres, des biomasses, des productivités et des énergies (Figure 12).

5. Ecologie végétale

Malgré leur apparente immuabilité, les écosystèmes sont en perpétuel changement. A long terme nous assistons à des modifications des peuplements appelés successions écologiques. Ces successions ont été plus particulièrement étudiées dans le cas des végétaux.

5.1. Dynamisme de la végétation

Nous appelons série, la séquence complète d'une succession caractérisée par une séquence rigoureuse de stocks comportant chacun une biocénose particulière. Ces communautés sont pionnières aux stades initiaux et constituent le climax aux stades terminaux (Figures 13 et 14).

Les stades initiaux des séries sont des groupements pionniers qui colonisent les espaces nus. Ces groupements pionniers dépendent de l'histoire de la zone. En roche nu ce sont les lichens et les mousses qui s'installent de façon isolée là où se trouvent des débris et de l'accumulation de matière organique. Dans les cultures abandonnées les espèces pionnières sont des graminées et des composées annuelles. Dans un lac oligotrophe, c'est le phytoplancton qui est pionnier.

Dans le temps s'installent des séries d'associations végétales. Nous désignons habituellement la série par le nom de l'espèce représentative au stade terminal. Par exemple la série du chêne vert, la série du hêtre, ...

En conditions écologiques stables, les séries sont dites progressives. Si rien n'est venu perturber cette évolution auparavant, la série progressive est dite primaire. C'est le cas des dunes, des vases littorales, des tourbières non exploitées. Dans le cas contraire, après une perturbation de l'évolution normale et reprise de la progression, la série est dite secondaire. C'est le cas des coupes forestières laissées à la reprise naturelle, des terrains agricoles laissés en friche.

Si les conditions écologiques ne présentent pas cette stabilité (conditions météorologiques exceptionnelles, intervention du bétail ou de l'homme, développement important de parasites, avalanche, incendie, éruption volcanique, tremblement de terre, ...), l'évolution de la végétation est stoppée et la flore se dégrade en une évolution régressive. Ce processus peut

être irréversible aboutissant parfois à la formation d'un sol nu. Dans le cas de la réversibilité nous avons une nouvelle série progressive dite secondaire.

La forêt méditerranéenne en est un excellent exemple. A l'époque romaine, elle était constituée de grandes surfaces de l'association climatique à chênes verts. Puis une série régressive s'est mis en place avec formation de garrigues en milieu acide et de maquis en milieu calcaire avec parfois des étendues rocheuses plus ou moins dépourvues de végétation.

Le stade terminal (climax) correspond à l'état d'équilibre avec arrêt progressif de l'évolution des séries de végétation. Cet état d'équilibre est une notion relative puisque des groupements apparemment stables à l'échelle humaine ne le sont sans doute pas à l'échelle millénaire.

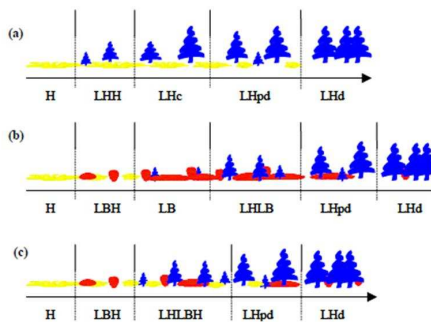
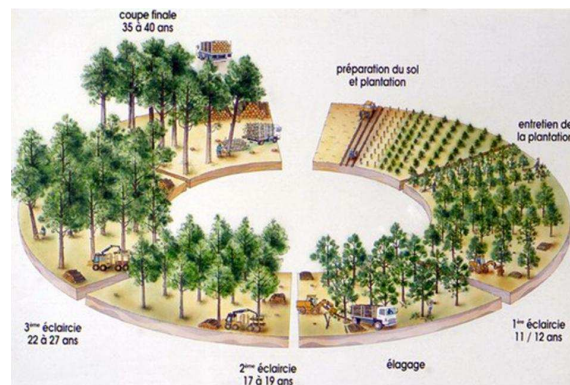


Figure 5: 3 modes de passage de la pelouse à la forêt: par accrue de pin (a), par embroussaillage (b) et par accrue sur embroussaillage (c), voir figure 4.



Figures 13 et 14. Successions végétales contrôlées par l'homme.

5.2. Analyse des populations végétales

L'analyse des populations végétales peut se faire à différentes échelles, soit à grande échelle (1/ 5 000^e, 1/25 000^e, ...) c'est-à-dire à l'échelle d'une parcelle et l'étude se fera au niveau des individus, soit à petite échelle (1/250 000^e, ...) c'est-à-dire à l'échelle d'une région toute entière et l'étude se fera sur des ensembles de plantes.

Les méthodes utilisées sont soit floristiques (établissement d'une liste des végétaux présents sur un site), soit physiologiques (photographies aériennes, images par satellites, cartes de végétation), soit encore floristico-écologiques qui tiennent compte des facteurs écologiques.

Troisième partie

La démoécologie ou dynamique des populations et la synécologie ou Structure et fonctionnement des écosystèmes

1. La démoécologie ou dynamique des populations

1.1. Les populations et leurs caractéristiques

1.1.1. Notion de population

La population est l'unité fondamentale (ce n'est pas l'individu) de toute biocénose. C'est un groupe d'individus de la même espèce appartenant au même biotope alors que le peuplement est l'ensemble d'espèces différentes d'un même écosystème. Une espèce est un ensemble d'individus interféconds et dont les descendants (F1) sont fertiles (d'où l'âne et le cheval sont deux espèces distinctes car le mulet est non fertile).

La population est un ensemble d'individus d'une même espèce se croisant librement entre eux. La population est donc l'unité de base du monde vivant. Dans la réalité, les populations sont structurées en sous-populations locales ou dèmes (d'où le terme de démoécologie). La métapopulation représente un ensemble de sous-populations interconnectées avec des cinétiques démographiques différentes.

Nous distinguons les espèces allopatriques dont les aires de répartition sont distinctes et les espèces sympatriques dont les aires de répartition se chevauchent avec une possibilité d'hybridation. L'isolement des populations tend vers l'éclatement de l'espèce en deux espèces différentes. L'isolement de deux populations peut avoir différentes origines soit une barrière géographique naturelle (montagne, mer, ...) ou artificielle (barrage, ...), soit une barrière physiologique (cycles biologiques à des périodes différentes, ...).

1.1.2. Les caractéristiques des populations

La population n'a pas une structure figée mais est en évolution permanente. Une population se caractérise par plusieurs caractéristiques comme la répartition spatiale (Figure 16), l'effectif, la croissance, la survie et la mortalité (Figure 15).

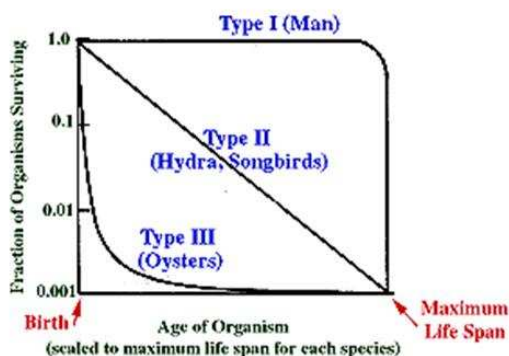


Figure 15. Courbes de survie

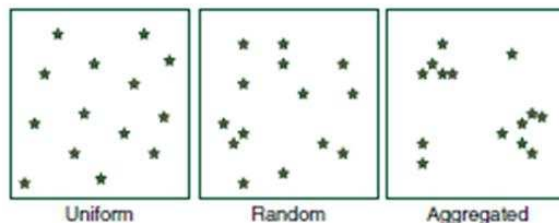


Figure 1 Various forms of dispersion in space (uniform, random, and aggregated) are depicted using red stars as individual organisms. In reality, there is a continuum of dispersion from the extremely uniform to greatly aggregated, with random in between these two forms.

Figure 16. Répartition spatiale d'une population (uniforme, hasard et regroupements)

Les pyramides des âges sont des modes de représentation d'une population par tranche d'âge et éventuellement par sexe, permettant d'observer les événements qui ont une affection sur la population.

L'étude des fonctions démoécologiques nécessite la répartition des effectifs en groupes d'âge afin de suivre leur évolution en fonction du temps. La génération correspond à l'ensemble des individus nés en même temps, éventuellement la même année. La cohorte est constituée d'individus de mêmes caractéristiques (taille, poids, ...).

1.2. Les fluctuations des populations animales en conditions naturelles

Si rien ne venait la freiner, l'augmentation du nombre d'individus d'une espèce se ferait selon une progression géométrique. Ceci représente le taux d'accroissement potentiel. Le taux d'accroissement réel est beaucoup plus faible en raison des mortalités (maladies, parasitisme, sortie hors du biotope favorable, prédation à des stades divers).

Certaines fluctuations sont irrégulières et apparaissent de façon imprévisibles, d'autres au contraire sont régulières et donc prévisibles comme les fluctuations saisonnières et les fluctuations pluriannuelles

L'introduction d'espèces dans un écosystème lui permet en général une colonisation très importante faute de prédateurs naturel. L'expansion qui se fait en général au détriment de la faune naturelle et provoque des catastrophes écologiques. Un exemple célèbre est l'introduction de quelques couples de lapins en Australie qui sont maintenant plusieurs millions.

A l'inverse l'homme peut provoquer un effondrement des stocks en effectuant des prélèvements trop important (chasse, pêche) et amener la disparition de certaines espèces.

Les causes des fluctuations sont nombreuses comme la fluctuation de la nourriture (facteur limitant), la compétition pour une même niche écologique ou le système d'interactions entre le prédateur et sa proie.

1.3. Les stratégies démographiques

La stratégie démographique d'une population se définit par un ensemble de caractères qui sont la densité, les taux de fécondité et de mortalité, l'acquisition des ressources. L'utilisation de l'énergie acquise par la nourriture sert à assurer le métabolisme de base (survie), la croissance et la reproduction. Selon Mc Arthur et Wilson (1965), il existe deux types d'espèces les stratèges r et les stratèges K.

Les stratèges r ont un fort potentiel biotique (beaucoup de gaspillage). Leur développement est rapide et leur espérance de vie courte. Ce type de stratégie est indépendant de la densité de population (optimisation du potentiel biotique). Ces espèces formeront les populations colonisatrices, dans les environnements instables (fluctuations imprévisibles). C'est le cas du zooplancton, de nombreux insectes et des rongeurs.

Les stratèges K vivent dans un environnement stable à fluctuations régulières, les populations sont stables avec plusieurs périodes de reproduction, une croissance lente et une durée de vie longue. Ce type de stratégie est densité dépendante. Plus l'âge de la maturité sexuelle est tardif, plus la fécondité est faible. C'est le cas des oiseaux et des mammifères.

2. La synécologie. Structure et fonctionnement des écosystèmes

Dans un espace défini, les organismes sont regroupés sous l'action de divers facteurs. Nous distinguons les groupements sociaux et non sociaux. Il existe quatre catégories de groupements non sociaux, les foules d'une ou plusieurs espèces ; les associations parasitaires avec une attraction unilatérale et interspécifique et un hôte plus ou moins lésé, les associations commensales ou symbiotes sans dommage et un passage vers un phénomène social et les biocénoses, ensemble des êtres vivants dont la composition spécifique (en espèces) est déterminée, occupant un biotope et dont les interactions entre êtres vivants lui confère une structure et un fonctionnement défini.

L'ensemble indissociable biotope et biocénose forme l'écosystème. Le biotope peut être inorganique (cas général) ou organique (parasites).

Les écosystèmes diversifiés sont les plus stables, dotés d'autorégulation et capables, du moins en certaines limites, de résister aux modifications du milieu et aux variations de densité de population.

2.1. Les zonations

La synthèse des diverses biocénoses étant plus avancée pour les végétaux que pour les animaux, ce sont eux qui définissent les différents écosystèmes même si la totalité de la biomasse doit être pris en compte.

Les facteurs écologiques contrôlent la distribution en latitude et en altitude des écosystèmes. Ce sont essentiellement le climat, mais aussi le sol pour les milieux terrestres, souvent dépendant du climat.

2.1.1. Les écosystèmes terrestres ou biomes continentaux

Le terme de biome correspond à des macroécosystèmes homogènes sur le plan climatologique, pédologique et biocénotique. Il est plutôt réservé au milieu continental.

La surface relative couverte par les divers types de biomes est variable, les plus étendus étant les forêts pluvieuses (ou pluviales) tropicales, les déserts et les forêts boréales. Nous remarquons une symétrie de la répartition des biomes de part et d'autre de l'équateur en fonction de la latitude, toutefois l'hémisphère sud est moins riche que le nord par l'absence quasi-totale de terres émergées au-delà du 40° de latitude sud.

Nous relevons successivement de l'équateur vers les pôles (Figure 17) :

- Les forêts vierges tropicales ou pluvieuse ombrophiles qui forment une zone quasi-continue dans la zone intertropicale, avec un maximum entre les latitudes 10°N et S, là où les précipitations sont abondantes et régulièrement réparties sur l'ensemble de l'année.
- Les forêts sèches tropicales leur succèdent en zone subtropicale avec une saison sèche plus ou moins importante mais marquée.
- Entre les deux tropiques, là où les précipitations sont insuffisantes pour les écosystèmes forestiers se développent les savanes tropicales.
- Les déserts dont les maximums d'extension se situent au niveau des tropiques succèdent aux savanes sans transition nette. Ils sont caractérisés par la faiblesse des précipitations et leur forte irrégularité. Ainsi, il peut se passer plusieurs années sans précipitations.
- Les biomes méditerranéens sont variés et complexes, et se trouvent en zone tempérée chaude avec un maximum d'extension vers la latitude 35°N ou S. Ils sont marqués par

une période de sécheresse estivale de durée variable mais souvent supérieure à trois mois. Sous l'action de l'homme (incendie, pâturage, culture) ces écosystèmes originellement forestiers se sont dégradés en maquis, garrigues ou chaparral.

- Les forêts feuillues caducifoliées caractérisent les régions de moyenne latitude de l'hémisphère nord. Ce sont des biomes absents de l'hémisphère sud par absence de terres émergées au niveau des 45° degrés de latitude S. Ils caractérisent les climats tempérés.
- Les steppes tempérées couvrent d'immenses surfaces dans l'hémisphère nord, partout où les précipitations sont insuffisantes pour assurer la croissance des arbres.
- La taïga, immense forêt boréale de conifères s'étend sans discontinuité sur l'ensemble des zones subarctiques de l'Amérique du Nord et de l'Eurasie. Les sols sont pauvres, les précipitations faibles mais réparties sur toute l'année.
- La toundra occupe les régions situées de la limite nord des arbres et la calotte glaciaire. Elle n'existe pas dans l'hémisphère sud. Le sol y est gelé en permanence en profondeur (permafrost).

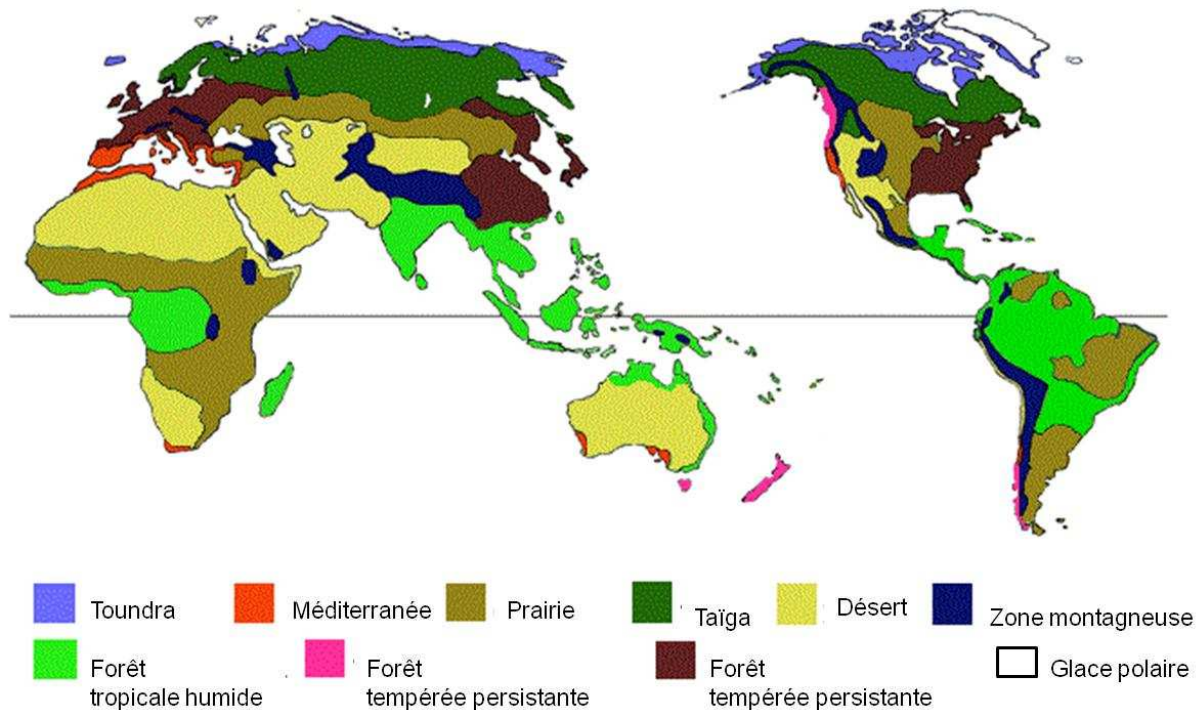


Figure 17. Les grands biomes.

2.1.2. Les macrosystèmes aquatiques

Il est plus difficile d'en définir leur répartition en latitude que pour les précédents du fait notamment des courants qui assurent une certaine homogénéisation du milieu, et à cause du fort pouvoir tampon des océans. Le terme de biome est du reste inutilisé par les océanographes. Quelques grandes biocénoses présentent toutefois une zonation nette. Ce sont les récifs coralliens dont le développement nécessite des températures de l'eau supérieure à 20°C ce qui explique leur stricte localisation des madrépores à la zone intertropicale et les biocénoses circumpolaires sont caractérisées par des espèces particulières sténothermes des eaux froides.

Les écosystèmes limniques ne présentent pas de zonation latitudinale, par contre, il y existe une stratification verticale.

2.1.3. La zonation en altitude

La zonation en altitude est encore mieux définie que les divisions en latitude. Il existe une bonne concordance entre la distribution des biomes en altitude et en latitude.

Le domaine océanique s'étend des fosses les plus profondes (-11 000 m environ) à la surface des mers. Sa profondeur moyenne est de 3 800 m. Nous distinguons une province néritique au niveau du plateau continental limité à environ - 200 m par le talus continental. Au-delà s'étend la province océanique plus pauvre en éléments nutritifs qui occupe une surface égale aux neuf dixième de la surface totale des océans.

Nous distinguons également la zone euphotique et la zone dysphotique dont la limite est à environ 100 m en eaux non polluée (large). Seule cette couche superficielle permet la production primaire en milieu aquatique. Elle est plus limitée en épaisseur notamment dans les lacs.

En milieu terrestre la zonation verticale apparaît très nettement et s'apparente à la distribution latitudinale des grands biomes (Figures 18 et 19). L'extension verticale de la biosphère est maximale dans les zones tropicales et équatoriales.

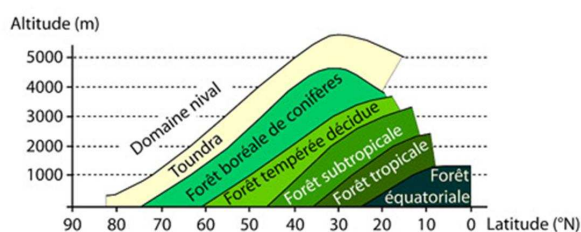


Fig. 1. Succession des végétations selon un transect en hémisphère Nord (modifiée d'après Troll C., 1956. Der Klima- und Vegetationsaufbau der Erde im Lichte neuer Forschungen. In J. Akad. Wissensch. Lit. Mainz. pp.216-229.)

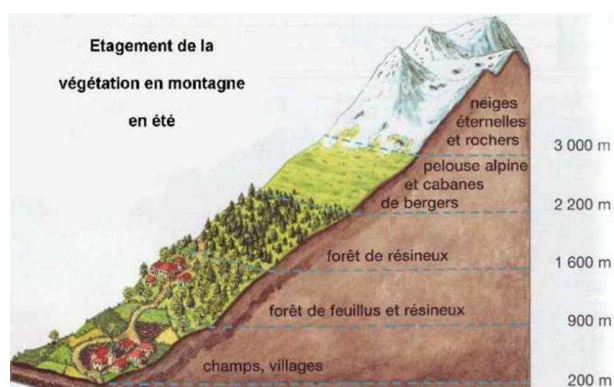


Figure 19. Zonation en altitude.

Figure 18. Concordance entre zonation en latitude et en altitude.

La limite supérieure des végétaux chlorophylliens se situe aux alentours de 6 000 m d'altitude. Au-delà c'est la zone nivale ou éolienne qui n'est fréquentée que par quelques alpinistes et les oiseaux de passage (oies, grues). La limite supérieure de l'habitat humain se situe dans les Andes dans la prairie alpine à 5 200 m d'altitude (toundra de montagne). La limite supérieure des forêts se situe vers 4 500 m mais en réalité elles dépassent rarement 4 000 m même en région équatoriale.

Les activités agricoles ne sont guères possibles au-dessus de 4 500 m même sous les tropiques. L'altitude moyenne des continents (875 m correspond à la zone d'extension optimale des forêts, prairies et cultures. Les agroécosystèmes (culture ou élevage) sont des systèmes où la quasi-totalité de la production est exportée (alimentation humaine) donc sans recyclage de matière. Cela nécessite une compensation pour éviter l'appauvrissement des sols en engrais. Les agrosystèmes sont fragiles car ils sont simplifiés à l'extrême.

L'homme modifie les écosystèmes naturels en créant des villes et donc un écosystème urbain. C'est un écosystème largement ouvert vers les écosystèmes voisins pour l'approvisionnement en nourriture et en énergie (apports) et pour des exportations (produits manufacturés, déchets, produits des combustions).

2.2. *Caractéristiques des biocénoses*

Les principales caractéristiques de la population sont l'abondance, la densité, la fréquence et la dominance. Les caractéristiques générales des biocénoses sont la richesse spécifique, le degré de dominance et la diversité spécifique et la distribution d'abondance.

3. Les subdivisions dans le règne animal

Le globe terrestre peut être divisé en 5 ou 6 régions ou empires zoologiques caractérisées par une faune particulière (Figure 20). Son découpage suit, mais pas exactement les limites des continents. Ces grandes biocénoses plus ou moins homogènes, résultant de l'évolution des espèces.

3.1. *Région australienne*

La zone la plus ancienne est la région australienne. C'est le premier continent isolé des autres il y a 90 millions d'années. Il en résulte une faune la plus originale avec les marsupiaux et l'absence, jusqu'à l'introduction par l'homme, des mammifères placentaires. Les espèces emblématiques sont les kangourous, les kiwis et l'ornithorynque.

3.2. *Région néotropicale*

Elle est située en Amérique du Sud et Centrale. Elle est caractérisée par des espèces endémiques (c'est-à-dire qui ne se retrouvent que dans cette zone). A l'opposé, une espèce cosmopolite possède une répartition géographique large, souvent liée à des capacités de déplacement supérieures. Dans la majorité des zones il y a un mélange d'espèces endémiques et cosmopolites. Seules les zones géographiques isolées ont une faune homogène endémique. Or, ici, avant l'établissement de l'isthme de Panama il y a 6 millions d'années (Pléocène), il n'y avait pas d'échanges faunistique entre les Amériques du Nord et du Sud. Les principales espèces endémiques sont les fourmiliers, le tatou, les lamas, le toucan, les paresseux et l'opossum laineux.

3.3. *Région néoarctique*

Cette région située en Amérique du Nord est caractérisée par un mélange de faune récente par apports européens par le Détroit de Béring (élan, caribou, mouflons) et d'Amérique du Sud par l'isthme de Panama (fourmiliers, tatou, opossum), à côté d'une faune endémique (castor des montagnes, antilope américaine). L'ensemble formant la faune du nouveau monde.

3.4. *Région paléoarctique*

Cette région est souvent regroupée avec la précédente en une région holoarctique. La faune de cette région est appelée faune de l'ancien monde. Cette faune a été appauvrie par les glaciations (cerfs, renards, panda). La faune du Maghreb est européenne et la limite entre faunes européenne et africaine est due aux déserts du Sahara et du Moyen-Orient.

3.5. *Région africaine (ou éthiopienne)*

Cette faune est caractérisée par le lémur, la girafe, le zèbre, l'hippopotame et le gorille. C'est une faune proche de la faune orientale dont elle s'est différenciée récemment avec l'isolement dû aux déserts et à l'ouverture de la Mer Rouge.

3.6. *Région orientale (ou indo-malaisienne)*

Comme nous venons de l'évoquer ci-dessus, la faune orientale se différencie de la faune africaine. Ainsi il existe dans les deux régions, deux espèces d'éléphants (grandes oreilles en Afrique) et de rhinocéros (2 cornes en Afrique). De même les chimpanzés et les gorilles sont en Afrique et l'orang-outan et le gibbon en Asie.

3.7. *Conclusion*

Les régions peuvent être divisées à leur tour en sous-unités. Il ne faut prendre en compte les grands événements géologiques comme la dérive des continents. De la Pangée (continent unique) formation tout d'abord de la Laurasie et du Gondwana. La fragmentation des continents constitue des barrières géographiques et une espèce éclate en plusieurs espèces (spéciation) avec des évolutions divergentes. A l'inverse un rapprochement de certains continents provoquera de possibles apports d'une faune étrangère, entraînant une homogénéisation et une baisse de la diversité.

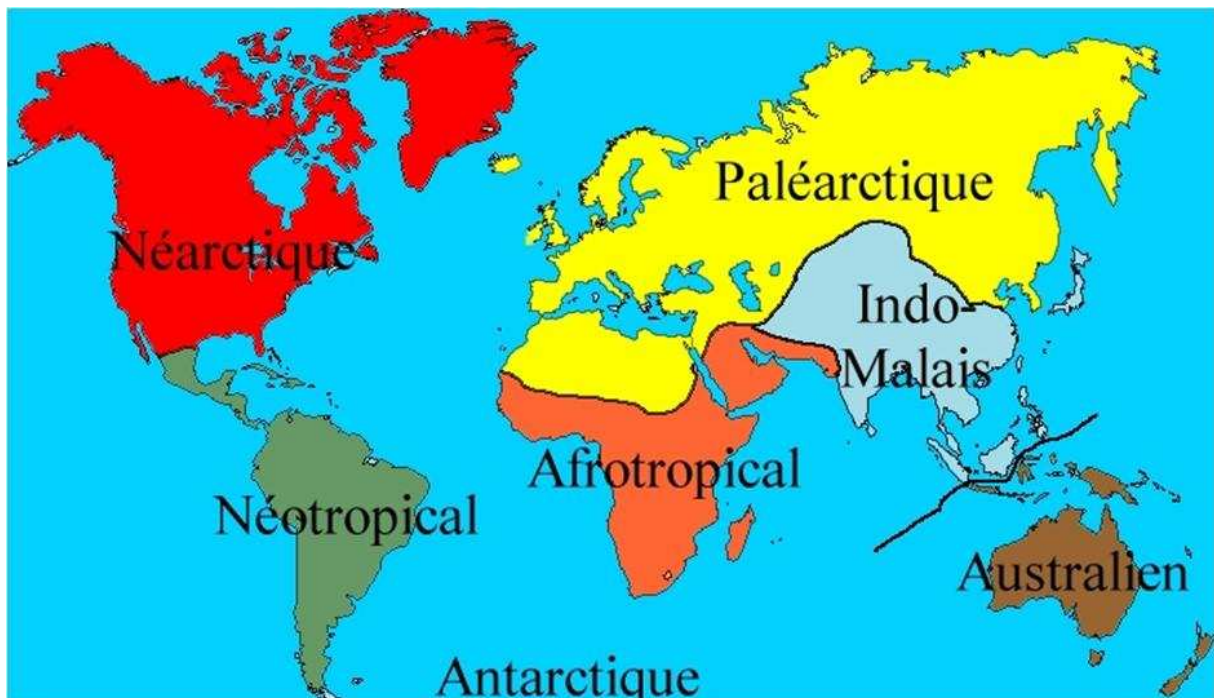


Figure 20. Les grandes régions zoologiques.

Quatrième Partie Les Applications

1. Les grands concepts

1.1. L'évolution (*transformisme versus fixisme et créationnisme*)

L'évolution en biologie est la modification des espèces vivantes au cours du temps. À l'heure actuelle, la théorie expliquant le mieux les mécanismes de l'évolution est la théorie synthétique de l'évolution (Figures 21 et 22).

La théorie synthétique de l'évolution constitue le cadre conceptuel le plus largement utilisé dans l'étude scientifique des processus d'évolution en biologie. Cette théorie est basée sur l'intégration de la théorie de l'hérédité mendélienne et de la génétique des populations à la théorie darwinienne. Cette synthèse fut menée au cours des années 1930 et 1940 par divers scientifiques. Baptisée ainsi par Julian Huxley en 1942, cette théorie est aussi appelée néodarwinisme ou synthèse néodarwinienne pour souligner le fait qu'elle constitue une extension de la théorie originale de Charles Darwin qui ignorait les mécanismes de l'hérédité génétique.

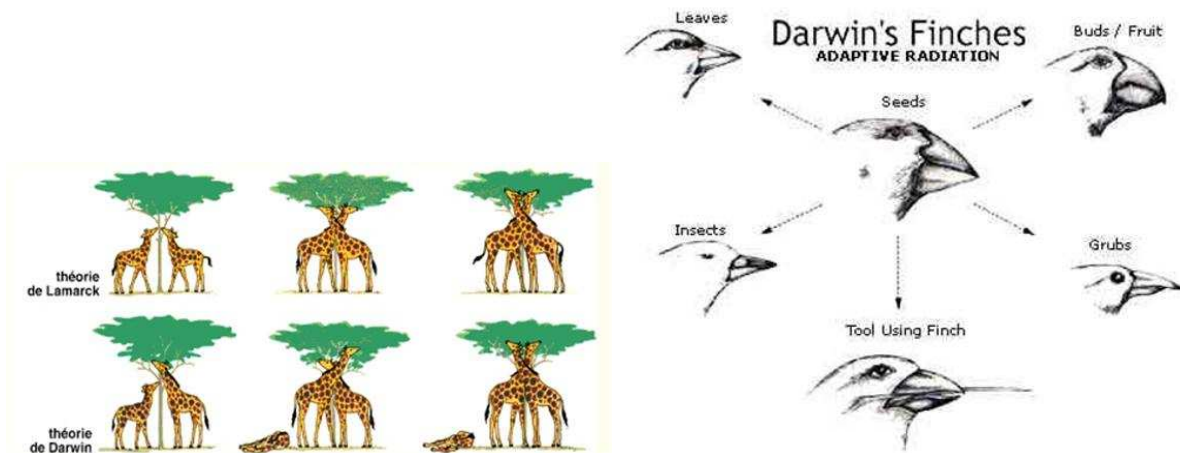


Figure 21. Transformisme versus évolutionnisme. Figure 22. Evolution selon Darwin.

1.2. La biodiversité

La biodiversité est la diversité naturelle des organismes vivants. Elle s'apprécie en considérant la diversité des écosystèmes, des espèces, des populations et celle des gènes dans l'espace et dans le temps, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes aux échelles biogéographiques. Le maintien de la biodiversité est une composante essentielle du développement durable. Le mot « biodiversité » est un néologisme composé à partir des mots bio (du grec βίος / bios, « vie ») et diversité.

Au Sommet de la Terre de Rio (1992), sous l'égide de l'ONU, au travers d'une convention mondiale sur la biodiversité, tous les pays ont décidé de faire une priorité de la protection et de la restauration de la diversité du vivant, considérée comme une des ressources vitales du développement durable.

Puis le sommet européen de Göteborg en 2001, dans l'accord sur *une Europe durable pour un monde meilleur* s'est fixé (pour l'Europe) un objectif plus strict : arrêter le déclin de la biodiversité en Europe d'ici 2010 (année mondiale de la biodiversité pour l'ONU).

Le Programme des Nations unies pour l'environnement a annoncé le 12 novembre 2008 la création (en 2010 ?) d'un *groupe intergouvernemental d'experts sur la biodiversité*, qui sera probablement nommé *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES).

Aujourd'hui 1,75 millions d'espèces, dont 1,3 million d'animaux (950 000 insectes), 288 000 plantes et 72 000 lichens et champignons, sont inventoriées. Le nombre d'espèces total est estimé à une dizaine de millions (Figures 23 et 24).



Figures 23 et 24. Illustrations de la biodiversité

1.3. *Le développement durable*

Le développement durable (traduction de *Sustainable development*) est une nouvelle conception de l'intérêt public, appliquée à la croissance économique et reconsidérée à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects environnementaux généraux d'une planète globalisée.

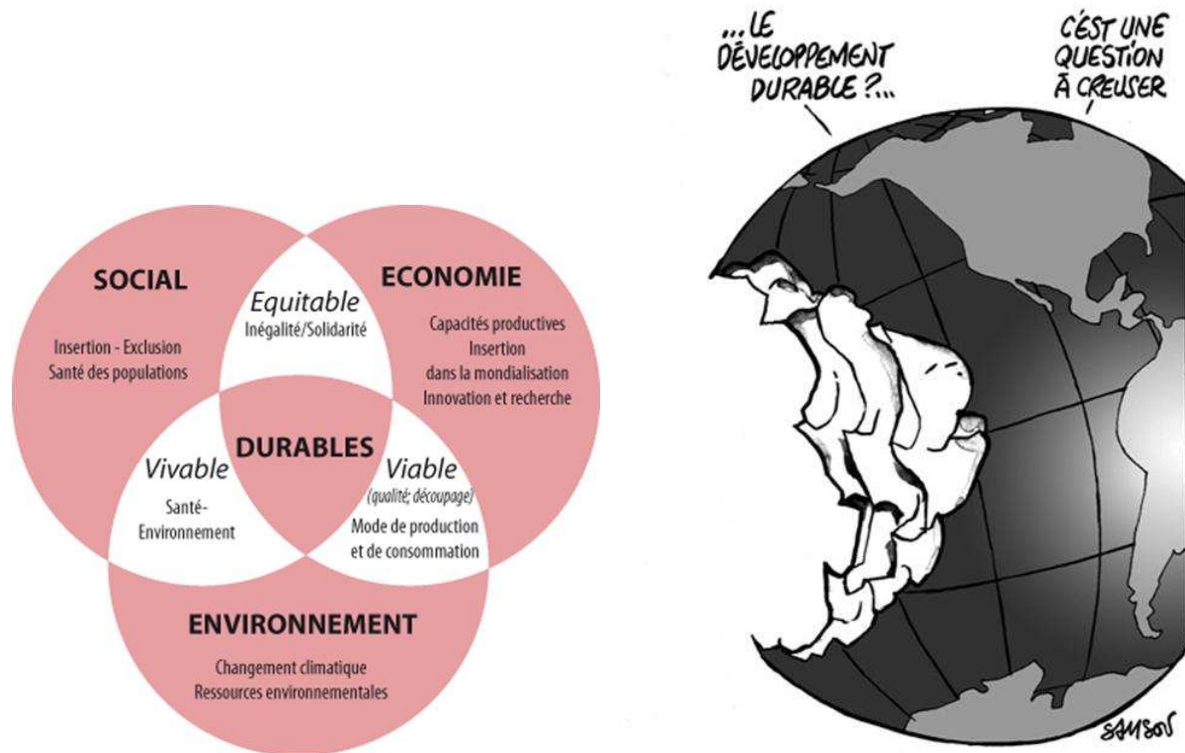
Selon la définition proposée en 1987 par la *Commission mondiale sur l'environnement et le développement* dans le rapport Brundtland (auteure de *Notre avenir à tous*) le développement durable est : « un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. » (Figures 25 et 26).

Face à l'urgence de la crise écologique et sociale qui se manifeste désormais de manière mondialisée (changement climatique, raréfaction des ressources naturelles avec en particulier le rapprochement du pic pétrolier, écarts entre pays développés et pays en développement, perte drastique de biodiversité, croissance de la population mondiale, catastrophes naturelles et industrielles), le développement durable est une réponse de tous les acteurs (États, acteurs économiques, société civile) pour reconsidérer la croissance économique à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects environnementaux et sociaux du développement.

Il s'agit aussi, en s'appuyant sur de nouvelles valeurs universelles (responsabilité, participation et partage, principe de précaution, débat ...) d'affirmer une approche double à la

fois dans le temps ou nous avons le droit d'utiliser les ressources de la Terre, mais le devoir d'en assurer la pérennité pour les générations futures et à la fois dans l'espace ou chaque humain a le même droit aux ressources de la Terre (principe de destination universelle des biens).

Tous les secteurs d'activité sont concernés par le développement durable : l'agriculture, l'industrie, l'habitation, l'organisation familiale, mais aussi les services (finance, tourisme,...) qui, contrairement à une opinion quelquefois répandue, ne sont pas qu'immatériels.



Figures 25 et 26. Le développement durable.

2. Les grandes crises écologiques

2.1. Le changement climatique

Prenant acte de la réalité du réchauffement climatique dans la décennie 1990, et de la responsabilité humaine dans ces dérèglements, les dirigeants politiques ont initié une politique de lutte contre le réchauffement de la planète. Le protocole de Kyoto, qui est entré en vigueur en février 2005, est l'exemple le plus actuel d'une stratégie de réduction des gaz à effet de serre. Cette politique n'est toutefois pas sans diviser les pays industrialisés, peu enclins à remettre en cause leur modèle de croissance, et les pays du Sud inquiets pour leurs projets de développement.

Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) (« *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* ») est un organisme chargé du suivi scientifique des négociations internationales sur le changement climatique. Fondé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations unies pour l'environnement, il joue un rôle central dans les négociations. Sa mission est de rassembler des données scientifiques, techniques et socio-économiques pertinentes afin d'envisager les

risques des changements climatiques liés aux activités humaines. Il doit également formuler et évaluer des stratégies possibles de prévention et d'adaptation.

La température moyenne de surface (moyenne de la température de l'air au-dessus des terres et de la température à la surface de la mer) a augmenté de 0.6 °C (avec une marge d'erreur de ± 0.2 °C) au cours du 20ème siècle.

Le réchauffement s'est notamment produit durant deux périodes, de 1910 à 1945 et depuis 1976. Depuis 1861, la décennie 90 a très probablement été la plus chaude et l'année 1998, l'année la plus chaude. De nouvelles analyses indiquent que le réchauffement survenu dans l'hémisphère nord au 20ème siècle a probablement été le plus important de tous les siècles du millénaire passé.

La couverture neigeuse et l'extension des glaciers ont diminué. Des données satellites montrent une diminution probable de 10% de la couverture neigeuse depuis la fin des années 60. Le niveau moyen de la mer a progressé, entre 10 et 20 centimètres au cours du 20^e siècle

Les principaux changements climatiques sont i) l'augmentation des précipitations dans les zones de moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord et l'augmentation de la fréquence des épisodes de fortes précipitations dans les mêmes zones ; ii) les épisodes chauds du phénomène El Nino ont été plus fréquents, plus durables et plus intenses depuis le milieu des années 1970 et iii) dans certaines régions, notamment dans certaines zones d'Asie et d'Afrique, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses durant ces dernières décennies (Figure 27).

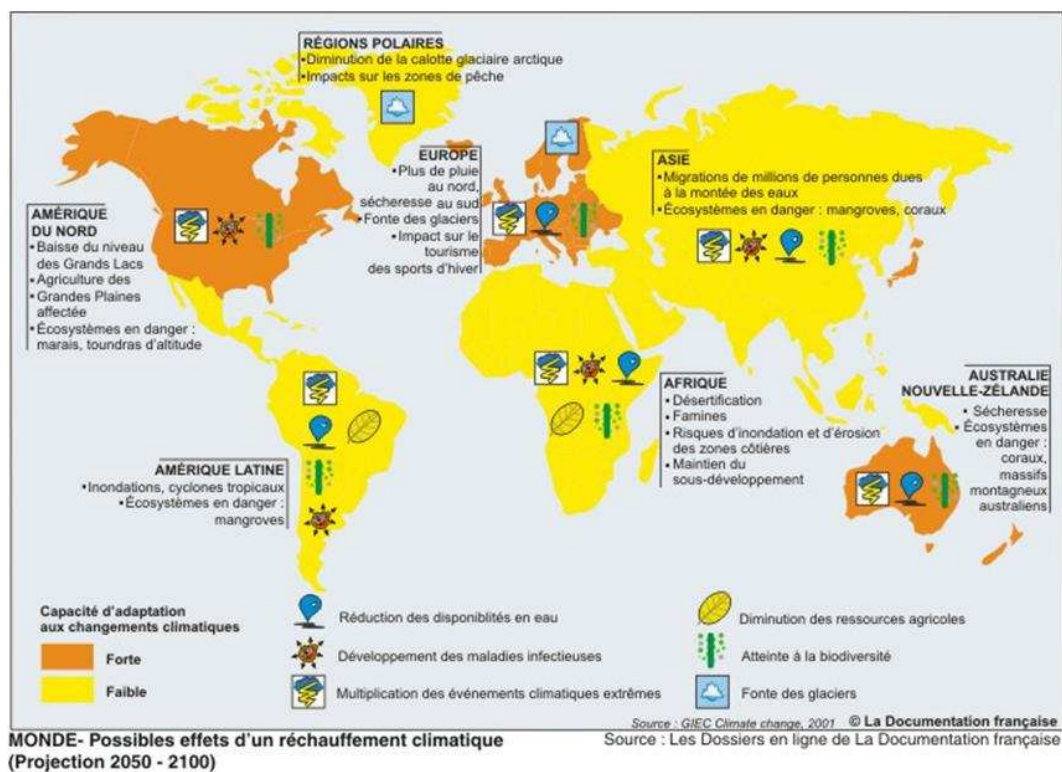
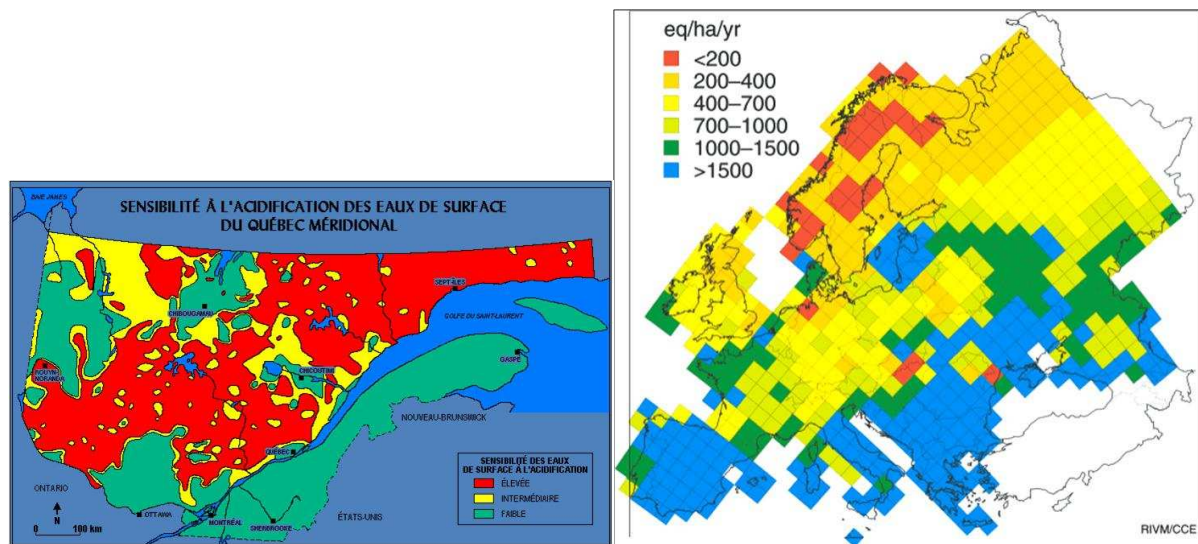


Figure 27. Le changement climatique.

2.2. Les pluies acides

Les acides nitrique et sulfurique formés lors des réactions dans la phase gazeuse vont subir des changements ultérieurs. Les deux acides sont solubles dans l'eau et en présence de gouttelettes d'eau dans l'atmosphère, ils vont s'y solubiliser. L'acide sulfurique constitue des brouillards toxiques et joue un rôle essentiel dans la genèse des smogs acides que l'on observe

dans les zones urbaines et (ou) industrielles des pays à climat humide et froid. Le temps moyen de résidence du SO_2 dans la troposphère est très bref de l'ordre de 2 à 4 jours. Il se transforme donc très vite en H_2SO_4 qui par suite de sa forte affinité pour l'eau est rapidement ramené à la surface du sol par les précipitations. Au cours des années quatre-vingt, bien que la valeur du pH des pluies se soit stabilisée, celui-ci demeure à des niveaux très faibles, le pH moyen des précipitations étant de l'ordre, voire inférieur, à 4 sur de vastes zones d'Europe centrale, de même que dans le nord-est des Etats-Unis. En Scandinavie, l'acidité des pluies a cru de plus de 200 fois en une trentaine d'années (Figures 28 et 29).



Figures 28 et 29. La sensibilité du Canada et de l'Europe aux pluies acides.

2.3. La disparition de la couche d'ozone

La déplétion de l'ozone stratosphérique est généralement attribuée à l'action de contaminants présents dans la stratosphère. L'ozone est présente dans la troposphère et joue un rôle important dans la pollution de l'air mais cela ne représente que 10% de la quantité totale d'ozone atmosphérique. Les 90% restant sont présents dans la stratosphère où ils jouent le rôle d'un filtre à l'égard des radiations UV solaires, éliminant l'essentiel des radiations de longueur d'onde $< 300\text{nm}$. Ceci a un effet protecteur essentiel pour l'homme parce que les radiations de faible longueur d'onde correspondent à des photons de plus grande énergie provoquant des brûlures et des cancers de la peau. Toute déplétion de l'ozone stratosphérique conduisant à une augmentation des radiations incidentes à la surface de la terre entraînerait donc un risque accru d'induction de cancers. Dans les années 80 on a commencé à suspecter des composés halogénés en particulier les fréons (CFC : chlorofluorocarbones) d'être des catalyseurs potentiels de la destruction de l'ozone. Les CFC ont été largement utilisés dans l'industrie dans les bombes aérosol, comme réfrigérants ou dans la production des plastiques expansés. Environ 90% étaient relâchés directement dans l'atmosphère, les 10% restant correspondant à l'usage comme réfrigérant étant relargués quand l'équipement était périmé. Les CFC sont chimiquement inertes et de ce fait ne réagissent pas à l'action des molécules, des radicaux ou des radiations existant dans la troposphère et ils ne sont pas non plus repris de façon significative dans les dépôts secs ou par les précipitations. Par contre, dans la stratosphère, les radiations UV plus énergétiques peuvent provoquer une photodissociation des CFC avec libération d'atomes de chlore susceptibles de réagir avec l'ozone et d'aboutir à sa dégradation. On pense maintenant que des atomes comme le brome ont également un rôle non négligeable dans la déplétion de l'ozone (environ 20%). Des mesures de réduction de

l'utilisation des substances responsables de la déplétion de l'ozone ont été prises au niveau international à la fin des années 80. Cependant les CFC et halons ont été complètement proscrits seulement en 2000 et le méthylchloroforme seulement en 2005.

2.4. *La mer d'Aral*

La mer d'Aral est le nom d'une mer fermée d'Asie centrale, située entre 43° et 46° de latitude nord et entre 58° et 62° de longitude est. Elle est partagée entre le Kazakhstan au nord et l'Ouzbékistan au sud. En 1960, elle couvrait 68 000 km² et était la quatrième surface d'eau salée intérieure du monde. En 2000, cette superficie était divisée par deux. Cet assèchement, dû au détournement de deux de ses principaux fleuves en vue d'effectuer des irrigations. C'est une des plus importantes catastrophes environnementales du XX^e siècle (Figure 30).



Figure 30. La mer d'Aral en 1989 et 2003.

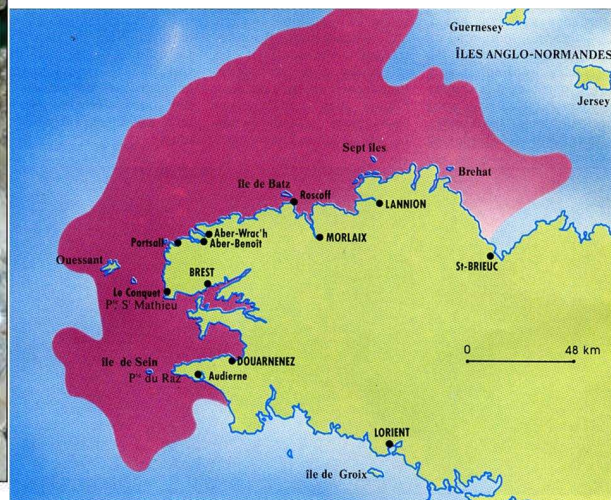


Figure 31. Accident de l'Amoco Cadiz, 1978, 228 000 tonnes de pétroles.

2.5. *Les crises liées aux accidents*

Les principales pollutions accidentelles sont dues à des erreurs humaines, à des ruptures de digue pour des bassins de stockage d'eaux polluées, à des incendies ou à des explosions et parfois à des actes de malveillance. Pour les transports, tous les vecteurs peuvent être concernés, les transports routiers, ferroviaires ou fluviaux.

Les accidents dus aux transports pétroliers sont très spectaculaire (Figure 31), même si généralement les conséquences environnementales sont moins dramatiques que certaines pollutions chimiques chroniques.

2.6. *Les extinctions massives (volcanisme, météorite, ...)*

Une extinction massive est un événement au cours duquel une proportion significative des espèces animales et végétales présentes sur la Terre disparaît. Elles ont souvent été l'occasion de transitions entre des formes de vie dominantes.

Cinq périodes d'extinctions massives : i) voilà 438 millions d'années, disparition de 70 % des espèces d'animaux marins, ii) il y a 370 millions d'années, extinction de plus de 30 % des espèces animales, iii) voici 250 millions d'années, la plus grande crise, effacement de plus de 90 % des espèces animales, iv) il y a 215 millions d'années, destruction de 75 % des espèces marines, v) il y a 65 millions d'années, perte de 70 % des espèces, dont les dinosaures.

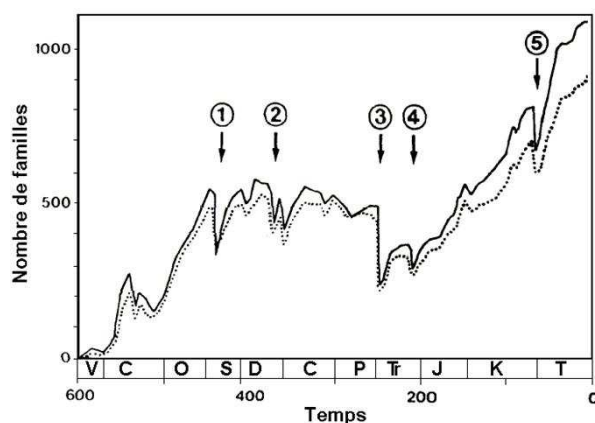


Figure 32. Les cinq extinctions massives historiques.

2.7. *La sixième extinction massive d'espèce*

Actuellement, un animal ou une plante disparaîtrait toutes les vingt minutes. Abordons-nous la sixième crise de la vie ? La disparition des espèces s'accélère. Le rythme d'extinction des vertébrés et des plantes est déjà cent fois plus important que lors des temps géologiques, il y a des dizaines de millions d'années. Cette vitesse devrait être multipliée par 100 dans les prochaines décennies, soit un rythme 10 000 fois supérieur au taux estimé comme naturel.

Depuis le XVIIe siècle, 113 espèces d'oiseaux (sur 9 900) et 83 de mammifères (sur 4 800) se sont éteintes. 9 % des espèces de vertébrés et 3 % de celles de plantes sont aujourd'hui en danger, selon l'Union internationale de conservation de la nature (UICN).

Si l'on ne compte pas ces périodes d'extinction, le taux de disparition est de 2 à 5 familles par million d'années.

Conclusions

L'environnement, aussi bien sa composante inerte que les êtres vivants, n'est pas figé mais est en perpétuelle évolution. Ainsi, les montagnes s'érodent, les estuaires se colmatent, les continents bougent, les étoiles naissent et meurent, la végétation pousse. La vitesse d'évolution est fort diverse selon le phénomène pris en compte

Références bibliographiques

- Barbault R (1997). *Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*. Masson, Paris, 286 p.
- Dajoz R (1971). *Précis d'écologie*. Dunod, Paris, 434 p.
- Frontier S, Pichod-Viale D (1991). *Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution*. Masson, Paris, 392 p.
- Jorgensen SE (2008). *Encyclopedia of ecology*. Elsevier, Amsterdam, 3834 p.
- Sacchi CF, Testard P (1971). *Ecologie animale. Organismes et milieu*. Doin, Paris; 480 p.