COURS

ÉCOLOGIE GÉNÉRALE II

SVI- S5 -
Année universitaire: 2021-2022

Pr. *Ali* ***SKALLI***

Introduction générale

L'ECOLOGIE DANS LE CHAMP DES SCIENCES DE LA NATURE

Définie comme une science qui étudie les organismes (leur distribution et leur abondance), toutes les interactions qu'ils ont avec leur milieu (milieu biotique et abiotique) ainsi que les conséquences de ces interactions.

l'étude des relations des organismes avec leur environnement, ou bien comme l'étude des interactions qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes, ou encore comme l'étude des écosystèmes, l'écologie couvre un large champ, de la physiologie à la biogéographie. Sous cet angle, c'est une sorte de biologie générale des organismes, une approche naturaliste du monde vivant.

On peut dire que, au-delà du polymorphisme qui fait sa richesse et de sa large ouverture sur d'autres disciplines, l'écologie moderne se structure autour de deux axes fondamentaux qui s'incarnent l'un dans l'étude de la dynamique et du fonctionnement des populations et des peuplements et l'autre dans celle de la dynamique et du fonctionnement des écosystèmes et des paysages.

Comme science appliquée, l'écologie développe et met en œuvre les connaissances théoriques et pratiques à partir desquelles devraient être posés, puis résolus, la plupart des problèmes liés à la sauvegarde, à l'aménagement ou à l'exploitation des écosystèmes et des ressources renouvelables de la biosphère.

I- LA NOTION DE SYSTEME ECOLOGIQUE

L'objet immédiatement donné ou accessible au naturaliste est un individu. Les individus, que l'on perçoit d'abord comme isolés dans la nature, n'ont de sens, pour l'écologue, qu'au travers du système de relations qui les lient, d'une part à d'autres individus, et d'autre part à leur environnement physico-chimique (figure 1).

L'unité fondamentale, la pièce élémentaire de ces systèmes écologiques est *la population,* ensemble des individus de même espèce coexistant dans le milieu considéré.

La délimitation concrète des systèmes écologiques dépend de l'objectif de l'étude et de l'état des connaissances dans le domaine. On peut, par exemple, s'intéresser à la dynamique d'une population particulière et définir alors le système à

étudier par le réseau des relations, directes ou indirectes, que celle-ci présente avec les autres composantes, biotiques et abiotiques, de son environnement. Dans un lac par exemple le système doit inclure l'ensemble des populations en présence, regroupées là aussi en compartiments définis selon une base fonctionnelle ; il s'agit d'un véritable écosystème. En pratique, une telle représentation de la structure de l'écosystème peut négliger, dans un premier temps au moins, les facteurs et processus jugés d'importance secondaire par rapport au problème étudié (qualité de l'eau, productivité en poissons, etc.).

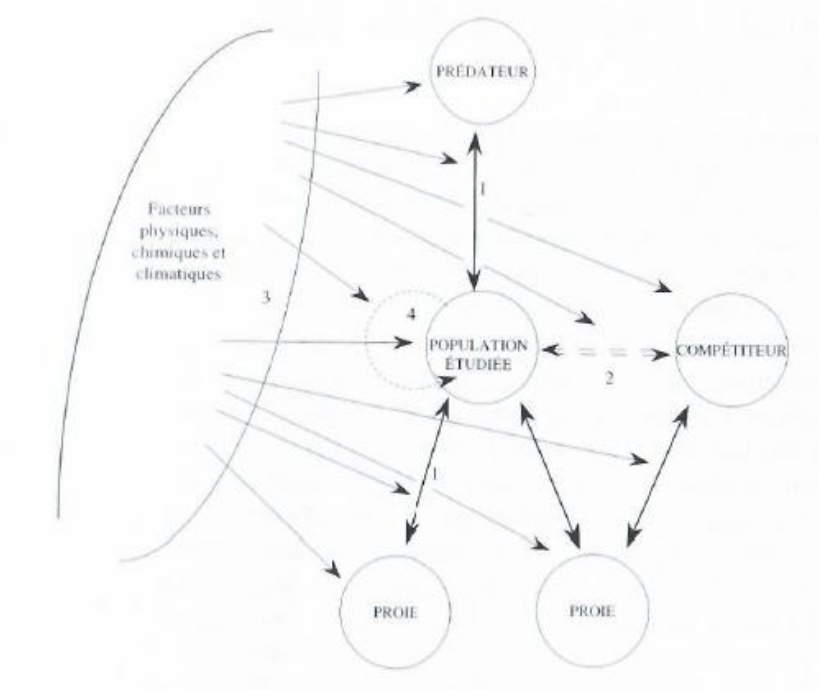


Figure 1. Représentation schématique d'un système écologique

Les populations naturelles ne sont jamais isolées : elles peuvent présenter entre elles des interactions diverses — de prédation (1), de compétition (2), de coopération (non figurées) — et sont soumises aux facteurs physico-chimiques du milieu (3).

I-1- Dynamique des systèmes écologiques et évolution

Les systèmes écologiques ne sont pas des structures immuables. Ils peuvent changer au cours du temps, se transformer ou disparaitre. Les populations qui constituent la trame biologique des écosystèmes ne sont pas en effet des entités figées, variables seulement dans leurs effectifs ou leurs structures démographiques. Reflets d'une longue histoire, dont leur pool génétique garde la trace, les populations naturelles restent exposées à des pressions sélectives multiples et sont donc soumises à l'évolution. L'écologiste peut ainsi avoir à connaitre de la génétique des populations, de même que les spécialistes de

cette discipline doivent se préoccuper de la dynamique des systèmes écologiques ou se développent les populations qu'ils étudient. La variabilité génétique des populations naturelles apparait ainsi comme une propriété fondamentale des systèmes écologiques. Celle-ci doit être prise en compte tant sur le plan des considérations théoriques que sur celui des applications, qu'il s'agisse de conservation, de gestion ou d'exploitation de populations ou d'écosystèmes.

I-2- Dynamique des écosystèmes et équilibre de la biosphère

Parmi toutes les espèces apparues à la surface du globe l'une occupe aujourd'hui une position tout à fait particulière : l'espèce humaine. De fait, par suite de son succès démographique et économique et en raison de ses compétences, elle se trouve confrontée à une responsabilité sans précédent dans l'histoire : gérer la planète Terre, et particulièrement la biosphère dont les équilibres apparaissent menacés. Les changements qui se profilent, climatiques et autres (pollutions, déforestations, déprise rurale), liés à l'explosion démographique et économique de notre population, affectent la biosphère dans son ensemble.

Si l'on veut comprendre cette dynamique complexe il est nécessaire de prendre en compte deux grands types de processus qui en constituent la trame :

1) les processus biodémographiques, qui s'expriment, à travers des fluctuations de nombres d'individus au sein des populations animales ou végétales, par des flux d'espèces (extinction, colonisation, spéciation) ;

2) les processus biogéochimiques, qui se traduisent par des cycles d'éléments chimiques (libération ou fixation de gaz, décomposition de la matière organique) et les flux d'énergie.

Ainsi, la dynamique des écosystèmes – pièces élémentaires de la biosphère- apparait étroitement liée à la dynamique des espèces. Cette approche renouvelle ce qui est devenu aujourd'hui une véritable science, la biologie de la conservation et se traduit par la nécessité d'analyser la diversité biologique à travers ses deux composantes, richesse spécifique et variabilité génétique en relation avec la dynamique des systèmes plurispécifiques qui l'organisent (compétition, prédation, parasitisme).

I-3- Domaine d'intervention

Les études écologiques portent conventionnellement sur trois niveaux :

L'individu, la population et la communauté.

- Un **individu** est c´est une espèce unité minimale de l´écosystème.
- Une **population** est un ensemble d´individus d´une même espèce qui occupent un espace déterminé à un moment donné.
- Une **biocénose** est l'ensemble des populations d'un même milieu, peuplement animal (zoocénose) et peuplement végétal (phytocénose) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu et au voisinage les uns des autres.

Chacun de ces trois niveaux fait l'objet d'une division de l'écologie :

- l'**autoécologie :** c'est la science qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu. Elle définit les limites de tolérances et les préférences de l'espèce étudiée vis-à-vis des divers facteurs écologiques et examine l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et l'éthologie.
- la population concerne **l'écologie des populations** ou **la dynamique des populations** : c'est la science qui étudie les caractéristiques qualitatives et quantitatives des populations : elle analyse les variations d'abondance des diverses espèces pour en rechercher les causes et si possible les prévoir.
- la **synécologie** : c'est la science qui analyse les rapports entre les individus qui appartiennent aux diverses espèces d'un même groupement et de ceux-ci avec leurs milieux.

L'organisation biocénotique :

La structure respective, puis la combinaison des diverses communautés développées au sein d'un même biotope, tant végétales (phytocénose) qu'animales (zoocénose), sans omettre les micro-organismes (microbiocénose), y induit obligatoirement une extrême complexité de l'organisation biotique. La prise en compte de certains critères ou paramètres, ou encore l'établissement de représentations graphiques, tendent à traduire cette dernière, mais d'une manière cependant toujours simplifiée.

Richesse et diversité spécifique :

Ces deux paramètres permettent d'exprimer la biodiversité d'une communauté ou d'une biocénose à partir de sa composition en espèces, soit simplement en fonction de leur nombre (richesse), soit en tenant également compte de leurs effectifs respectifs (diversité). Mais, logiquement, leurs valeurs n'ont une réelle signification – qu'elles soient secondairement converties ou non par unité de surface (m^2) – que lorsqu'elles sont déterminées sur un espace au moins équivalent à l'aire minimale, estimée ou calculée, de al ou des communautés composantes considérées.

- La richesse spécifique

Très globalement, la richesse spécifique S décroit progressivement avec la latitude, des biocénoses équatoriales aux biocénoses arctiques, de même qu'en fonction du gradient altitudinal, cela en rapport avec l'accentuation corrélative des contraintes climatiques. En revanche, S s'accroit en principe au cours des successions, par exemple des stades initiaux aux stades terminaux d'une même série dynamique de végétation. Mais il apparait préférable et plus significatif, dans ces comparaisons, d'utiliser la richesse moyenne, calculée par exemple pour un syntaxon donné (à partir des valeurs respectives de communautés qui s'y rapportent) Ainsi, pour des communautés.

- La diversité spécifique

Dans l'évaluation de la diversité spécifique, interviennent en principe les abondances (traduisant le nombre d'individus ou effectif) des espèces constitutives de la biocénose (ou de communauté). Parmi les nombreux indices de diversité proposés, l'indice de Shannon, sans doute le plus connu, se formule ainsi :

$$H = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

où $p_i = \frac{n_i}{N}$, c'est-à-dire l'abondance relative de l'espèce *i* (effectif *i*/effectif global). Elle rend compte indirectement de la probabilité de « voisinage » – autrement dit de compétition – des individus de l'espèce i avec ceux des autres espèces.

Selon le type de communauté, les valeurs de cet indice varient dans une fourchette approximative de 0.5 à 5, dans le même sens que la richesse spécifique et en fonction des mêmes paramètres dynamiques et environnementaux. Toutefois, pour un même nombre d'espèces, cette valeur sera d'autant plus élevée que leurs abondances respectives seront mieux équilibrées.

Distribution des abondances

Compte tenu de la précédente remarque, cette distribution fournit une image plus précise de la structure spécifique du peuplement et, en définitive, des modalités de partage du biotope. Pour une valeur donnée de S, celles-ci et par conséquent la diversité spécifique- seraient maximales si l'équirépartition des abondances était réalisée, c.-à-d. si les espèces composantes avaient des effectifs sensiblement équivalents. On peut estimer le degré d'équitabilité (ou de régularité) par un indice :

$$e = \frac{H}{\log_2 S}, \text{ variant de 0 à 1,}$$

II. LES PRINCIPAUX ECOSYSTEMES DU GLOBE

II.1. Les principaux biomes terrestres

La répartition des grandes formations végétales ou biomes est sous le contrôle du macroclimat car les facteurs édaphiques interviennent rarement à cette échelle. Les biomes ont donc fréquemment une distribution zonale en bandes plus ou moins parallèles à l'équateur. Il peut y avoir des exceptions dues, par exemple, au relief. Cette disposition zonale est mieux marquée dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère sud ou les terres émergées ont une superficie plus réduite, surtout dans les régions à climat froid et tempéré. Dans la majorité des cas la végétation fournit les traits essentiels de la physionomie des biomes, les animaux ayant une biomasse bien moins importante. C'est la raison pour laquelle les grandes lignes de la division du globe en biomes sont surtout établies à partir de l'étude de la végétation (Fig. 2).

Les grandes formations climaciques sont des forêts, sauf dans les régions désertiques ou semi-désertiques, dans les régions arctiques et dans les hautes montagnes.

II.1.1- LES BIOMES DES REGIONS TEMPEREES ET FROIDES:

- **Les forêts de Conifères des régions boréales. La taïga**

La taïga est une ceinture de forêts qui borde la toundra au sud et qui constitue 31% des forêts du globe. Elle est bien développée au Canada et dans le nord de l'Eurasie. Son climat est caractérisé par 2 à 4 mois dont la température moyenne est supérieure à 10 ²C ce qui permet l'installation de la forêt. Mais les hivers sont longs : six mois à moins de 0 ²C, et l'enneigement dure de 160 à 200 jours par an. Le sol le plus fréquent est un podzol boréal. La taïga est installée dans les régions qui, pour la plupart, étaient recouvertes de glaciers au quaternaire. La fonte de la glace s'est produite il y a moins de 5500 ans en Scandinavie. Les biocénoses de la taïga sont donc récentes et pauvres en espèces. Les arbres sont adaptés au froid. Ce sont surtout des Conifères : pin, sapin, … Le sous-bois est riche en chaméphytes et en particulier d'Ericacées des genres *Vaccinium* et *Empetrum*. La décomposition de la litière est lente ainsi que la croissance des arbres, et la productivité primaire faible. Du nord au sud de la taïga russe, la biomasse varie de 100 à 300 t/ha et la productivité primaire de 4,5 à 8,5 t/ha.

La taïga est un milieu hétérogène (inégalités du relief). Le foret colonise les zones un peu élevées tandis que des tourbières à sphaignes, joncs et Carex s'installent dans les dépressions. Le feu joue un rôle important dans le maintien de l'hétérogénéité de la

taïga. Des incendies s'étendant sur de très grandes surfaces surviennent à des intervalles de temps de l'ordre de plusieurs décennies. Les zones humides permettent le développement de nombreux insectes aquatiques dont les moustiques. Les vertébrés sont représentés par quelques grandes espèces de Cervidés, le renne qui se nourrissent de bourgeons, d'écorces et de Lichens. Les petits mammifères végétariens sont des écureuils et plusieurs espèces de lemmings. Les oiseaux sédentaires sont peu nombreux car beaucoup émigrent en hiver. Les espèces granivores sont dominantes. Les fluctuations d'abondance des populations sont fréquentes dans la taïga.

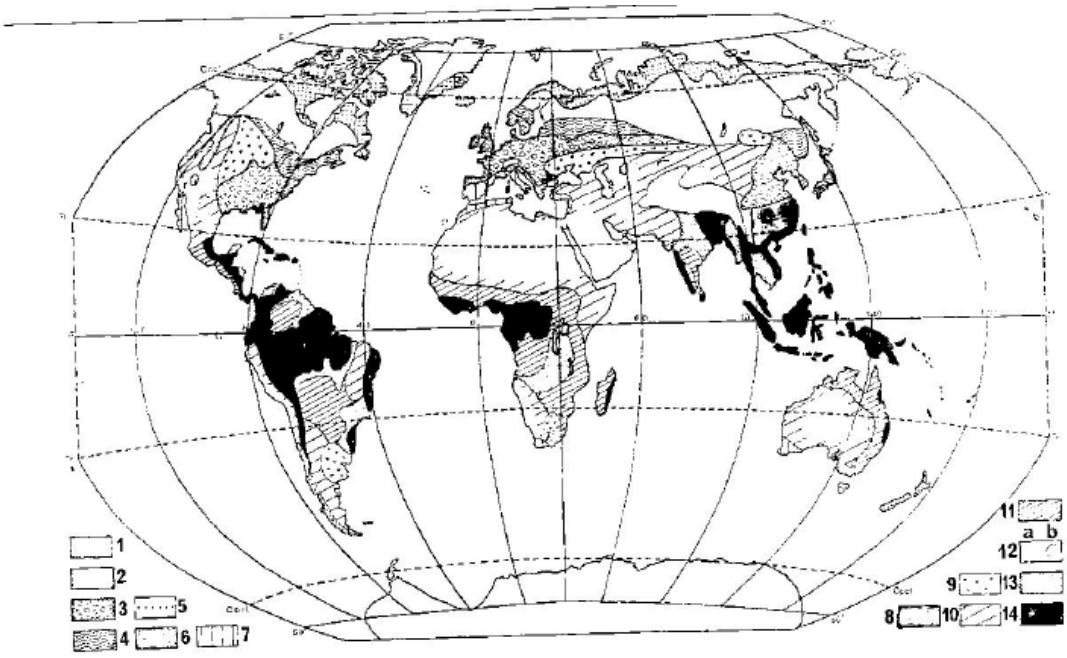


Figure 2.
Les principales formations végétales du globe
L'échelle ne permet pas de représenter certaines formations peu étendues mais cependant importantes comme les formations littorales halophiles ou la végétation de haute montagne. 1 : Toundra ; 2 : Forêt boréale de Conifères ou taïga ; 3 : Forêt caducifoliée tempérée ; 4 : Forêt mixte de feuillus et de Conifères ; 5 : Forêt ombrophile tempérée de l'hémisphère Sud ; 6 : Forêt de Conifères de l'Ouest américain ; 7 : Forêt méditerranéenne, maquis et chaparral ; 8 : Laurisylve et forêt mixte des côtes orientales des régions subtropicales ; 9 : Prairie ; 10 : Steppe ; 11 : Savane ; 12 a : Déserts ; 12 b : Inlandsis ou zone alpine d'Asie centrale ; 13 : Forêts sèches ; 14 : Forêt sempervirente équatoriale.

- **La forêt de Conifères du littoral Pacifique de l'Amérique du Nord**

Cette forêt qui s'étend de la Colombie britannique au nord de la Californie est parfois qualifiée de forêt pluviale tempérée, mais aussi quelques portions du sud de l'Australie, de la Nouvelle Zélande, du Chili. Ces forêts couvrent environ 30 millions d'hectares dont les deux tiers sont en Amérique du Nord.

La forêt du littoral Pacifique de l'Amérique du Nord est liée à un climat tempéré humide favorisant une longue saison de végétation, et des écarts thermiques faibles. Les précipitations sont de l'ordre de 800 à 3000 mm par an dont 80% concentrés sur l'hiver.

Cette forêt qui s'installe sur des sols acides, froids, gorgés d'eau est parcourue par des réseaux denses de rivières. Contrairement à la taïga, les perturbations par le feu ou par les insectes ravageurs y sont rares. Les incendies y apparaissent à des intervalles de temps de plusieurs siècles. La végétation y est exubérante et dominée par des conifères de grande taille avec une grande longévité.

Les feuillus rares et peu nombreux en espèces dans ces forêts ont une biomasse 1000x moins grande que celle des conifères. La biomasse moyenne est de l'ordre de 500 à 1000 tonnes/ha, soit 2 à 4 fois plus que ce qui existe dans les forêts tempérées ou tropicales. La masse des débris ligneux au sol, qui varie de 75 à 100 t/ha joue un rôle important car elle permet le maintien d'une faune originale. La productivité élevée varie de 6,4 à 15 t/ha/an avec un max. de 36,2 t/ha/an mesuré dans un peuplement jeune (26 ans) de *Tsuga heterophylla.*

L'humidité du climat est révélée par la richesse en épiphytes (mousses, fougères, Lichens) qui recouvrent les arbres. La faune de ces forêts est riche en Mammifères (cerfs, ours noir américain, le puma et aussi des oiseaux, reptiles et amphibiens. Les insectes sont également nombreux.

- **Les forêts caducifoliées des régions tempérées**

Quatre types principaux peuvent être distingués.

La chênaie acidophile (chêne pédonculé ; *Quercus pedunculata* et le chêne sessile ; *Quercus sessiliflora*. La chênaie neutrophile qui s'installe sur des sols calcaires et à climat relativement chaud et sec en été. La chênaie pubescente est caractérisée par le chêne pubescent *Quercus lanuginosa* et elle a une répartition plus méridionale que les deux précédentes. Sud-ouest de la France. La hêtraie ou chênaie-hêtraie s'installe dans les régions à climat suffisamment humide (900 à 1500 mm et T°C annuelle moyenne de 8 à 10°C. La productivité de forêts caducifoliées d'Europe a été très étudiée. Les chiffres suivants (en t/ha ou en t/ha/an/de matière sèche) sont relatifs à 2 types de forêt caducifoliés de Belgique, une hêtraie ou *Fagetum* et une chênaie-charmaie ou *Querceto-Carpinetum,* et à un type de forêt artificiel d'épicéa ou *Piceetum* :

	Querceto-Carpinetum	***Fagetum***	***Piceetum***
Biomasse aérienne	204-260	374,8	200,7
Biomasse souterraine	38,9-55,4	75,2	55,5
Biomasse totale	243,1-316,2	450	256,2
Litière	2,8-3,0	3,0	2,5
Productivité nette	10,6-15,5	14,8	17,3

- La structure des forêts de feuillus des régions tempérées :

Dans toute l'Europe, il ne reste presque plus de forêts vierges non modifiées par l'homme. L'étude de celles qui subsistent montre que ces forêts avaient une structure et une biodiversité bien plus complexes que les forêts aménagées actuelles.

- Faune et flore de la forêt tempérée :

La forêt n'est pas seulement un ensemble d'arbres. De nombreux autres organismes y sont représentés et jouent un rôle considérable. Le rôle des champignons, et en particulier celui des Basidiomycètes, est considérable et trop souvent méconnu.

Les champignons parasites attaquent les jeunes semis, les feuilles ou le bois. Le blanc du chêne *Microsphaera alphitoides* est un ascomycète qui attaque les jeunes chênes et qui forme sur leurs feuilles un feutrage blanc qui peut tuer les arbres. Les champignons lignivores attaquent le bois vivant qu'ils transforment en une pourriture.

Les grandes espèces de mammifères qui hantaient jadis la forêt européenne sont disparues (loup, lynx) ou très menacées (ours, bison d'Europe). Il ne reste plus comme grandes espèces que le cerf, le chevreuil et le sanglier qui n'ont plus de prédateurs naturels pour contrôler leurs effectifs. Les faunes entomologiques varient selon les essences. Les insectes xylophages qui attaquent les arbres vivants mais aussi et surtout le bois mort appartiennent essentiellement aux ordres de coléoptères, puis des diptères. Au sol, de très nombreux invertébrés exploitent la litière de feuilles mortes. Les insectes défoliateurs sont surtout des lépidoptères, et secondairement des coléoptères. D'autres espèces sont des suceurs de sève ou des consommateurs de fruits et de graines. Un cycle saisonnier très marqué existe dans la forêt tempérée. Beaucoup d'insectes se réfugient en hiver dans la litière ou dans le sol et émigrent en été dans les strates herbacée et arbustive.

- **Les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes**

Les régions à climat méditerranéen sont caractérises par une T²C annuelle moyenne de l'ordre de 17 °C. Les étés y sont secs et chauds, ce qui entraine un arrêt de la croissance de la végétation. Les hivers sont doux et humides et les gelées exceptionnelles. Dans le bassin méditerranéen proprement dit, la limite de la région méditerranéenne correspond à peu près à celle de l'olivier et de quelques autres plantes comme le chêne vert, kermès, l'arbousier. En dehors de la région méditerranéenne au sens strict, des régions à climat analogue existent en Californie, au Chili, en Afrique du Sud et en Australie.

- La région méditerranéenne proprement dite :

Le climat et la végétation permettent de distinguer 4 ensembles dans cette région.

L'étage thermoméditerranéen est défini par une température moyenne annuelle supérieure à 16²C. Il se trouve au sud d'une ligne qui suit approximativement le 41° parallèle en Méditerranée occidentale et le 39° parallèle en Méditerranée orientale. Cet étage de végétation qui borde les cotes (sauf celles de la Libye et l'Egypte qui sont arides) est caractérisé par l'olivier sauvage ou oléastre et le caroubier, auxquels s'associent le laurier-rose et le palmier nain. Cette association dite *Oleo-Ceratonion* était représentée aux environs de Nice par un lambeau peu étendu qui est aujourd'hui détruit par l'urbanisation.

L'étage mésoméditerranéen, caractérisé par une T²C moyenne de 13 à 16 °C, se rencontre en Provence et dans une grande partie de l'Europe méditerranéenne. On y trouve deux associations principales ; celle du chêne-liège sur les sols siliceux et celle du chêne vert qui occupe les sols calcaires. Les espèces compagnes sont des pins d'Alep, pin parasol, pin maritime, l'érable de Montpellier, le genévrier oxycèdre, le chêne kermès.

L'étage supraméditerranéen situé plus au nord assure la transition avec la végétation médio-européenne. C'est l'étage du chêne pubescent qui peut remonter loin au nord sur des pentes calcaires bien exposées au sud. Dans cet étage se placent aussi les peuplements, surtout espagnols, de pins de Salzmann représentés en France par de rares stations reliques dans les Cévennes et les Pyrénées-Orientales et qui possèdent une faune entomologique remarquable.

Dans les montagnes qui parsèment la région méditerranéenne des facies particuliers de végétation représentent l'étage oroméditerranéen bien représenté en Espagne et en Afrique du Nord. Au Maroc, le cèdre forme des forets ou il est accompagné par le

genévrier thurifère. La forêt de pins laricio de Corse appartient aussi à l'étage oro-méditerranéen.

La faune de la région méditerranéenne est originale. Parmi les reptiles, le grand lézard ocellé côtoie le lézard vert; les couleuvres sont abondantes et les vipères rares. Les grands mammifères sont moins nombreux que dans les forets tempérées; le cerf et le chevreuil absents. Les insectes sont nombreux (coléoptères Buprestidés et Ténébrionidés, ainsi que des orthoptères. Une caractéristique des écosystèmes méditerranéens est l'existence dans le sol d'une faune hygrophile abondante et diversifiée formée surtout d'arthropodes.

- **Les formations herbacées naturelles : prairies et steppes**

Les prairies d'Amérique du Nord :

Cette formation s'étend depuis le sud de Canada jusqu'aux montagnes du Mexique central et elle couvre près de 3 millions de km^2. La végétation formée essentiellement par des graminées vivaces à appareil souterrain très développé (racines peuvent descendre jusqu'à 2,5 m de profondeur).

La prairie orientale à herbes hautes ou tall grass qui s'installe dans une région de basse altitude bien arrosée (700 à 1000 mm d'eau) et dont la T°C moyenne est de 11°C. Elle possède des Graminées comme *Andropogon gerurdi* qui dépassent 2m de hauteur.

La prairie occidentale à herbes courtes (short grass prairie) s'installe dans une région dont l'altitude est de 1100 à 1500 m, plus sèche (300 mm/an) et plus froide (T°C moyenne 8 °C). Elle comprend des espèces comme l'herbe à bison qui dépassent rarement 40 cm. Lorsque la sécheresse augmente des buissons d'armoise *Artemisia tridentata* s'installent au milieu des Graminées. La faune est devenue rare car une grande partie de ce biome a été mis en culture ou transformé en pâturages. Dans la prairie à herbes hautes à Andropogon du Missouri la productivité primaire nette est de l'ordre de 12,8 t/ha/an et la biomasse de 25 t/ha. Comme dans toutes les formations herbacées la majorité de la biomasse est souterraine. La prairie est riche en invertébrés dont les insectes, les orthoptères abondent, les coléoptères du sol sont représentés par de nombreuses espèces (Famille des Carabidés et Ténébrionidés). La vie animale de la prairie dépend étroitement de la végétation.

Les steppes d'Eurasie :

La région des steppes commence en Ukraine et se prolonge presque sans interruption jusqu'à la Mongolie. Les sols de steppe sont des terres noires dont l'épaisseur peut atteindre 1,5 m. Le climat est de type tempéré continental relativement sec et froid. Ceci entraine l'existence, pour la végétation, de deux périodes critiques: l'été à cause de la sècheresse et l'hiver à cause du froid. La végétation commence à la fonte des neiges et se termine au mois de juin. Comme dans la prairie, la biomasse souterraine est supérieure à la biomasse aérienne. La biomasse varie selon les types de steppes de 10 à 27 t/ha dont 65 à 95% sont sous la forme de racines et autres organes souterraines.

La faune de la steppe comprend, comme dans la prairie, beaucoup de mammifères fouisseurs (marmotte bobak, l'écureuil souslik, le grand hamster, le rat taupe). Les grands mammifères sont des Ongulés très mobiles comme l'antilope saïga, l'âne sauvage, le cerf maral et le cheval de Praewalski.

II.1.2- LES BIOMES DES REGIONS TROPICALES HUMIDES :

- **Les forêts équatoriales sempervirentes**

Forêts denses ou forêts ombrophiles, occupent des régions chaudes, bien arrosées toute l'année, sans saison sèche (ou à saison sèche très courte). Elles existent dans trois régions principales: (a) l'Amazonie; (b) l'Afrique occidentale et centrale avec deux blocs indépendants dont l'un correspond au Liberia et à la Côte d'Ivoire et l'autre au Cameroun, au Gabon et au bassin du Congo; (c) l'Indo-Malaisie. Des fragments moins importants de forêt équatoriale subsistent sur la Côte orientale de Madagascar, dans le sud de l'Inde et à Ceylan.

La forêt équatoriale est formée par des arbres sempervirents avec une grande diversité spécifique. Il existe 600 espèces en Côte d'Ivoire et 2000 en Malaisie. Les diverses espèces représentées par des individus très dispersés ce qui oppose la forêt équatoriale à la forêt tempérée.

Dans la forêt équatoriale on distingue divers types d'arbres : (a) des arbres jeunes, de petite taille, à couronne de forme elliptique, qui sont ombragés et dominés par des arbres géants ce qui les empêche de grandir ; (b) des arbres géants et vivants atteignant 40 m et plus, dont la forme de la couronne a été comparée a celle d'un chou-fleur et qui forment la voute forestière ou canopée ; (c) d'autres arbres appelés « arbres du futur » auront l'occasion de grandir lorsque l'ombre des arbres géants ne les inhibera plus, ce

qui se produira après une tornade qui créera de nombreux chablis ; (d) les arbres géants morts sur pied sont les « arbres du passé ».

Le spectre biologique des végétaux de la forêt équatoriale est caractérisé par la dominance des phanérophytes suivis par les épiphytes et quelques chaméphytes. Les autres catégories biologiques sont presque absentes. La forêt équatoriale montre également une grande hétérogénéité horizontale qui est entretenue par des perturbations comme les tornades ou les incendies qui créent à des intervalles de temps variables des clairières plus ou moins étendues dans lesquelles la forêt se reconstitue (fig. 3).

La faune des forêts équatoriales renferme beaucoup de groupes reliques comme les Onychophores (ou péripates), ainsi que des groupes aquatiques comme les planaires qui profitent du microclimat humide du sous-bois pour coloniser le milieu aérien.

Une petite saison sèche existe dans presque tous les forêts équatoriaux ce qui crée une périodicité dans l'activité de la faune qui est moins marquée que dans les forêts tempérées mais qui n'est pas nulle.

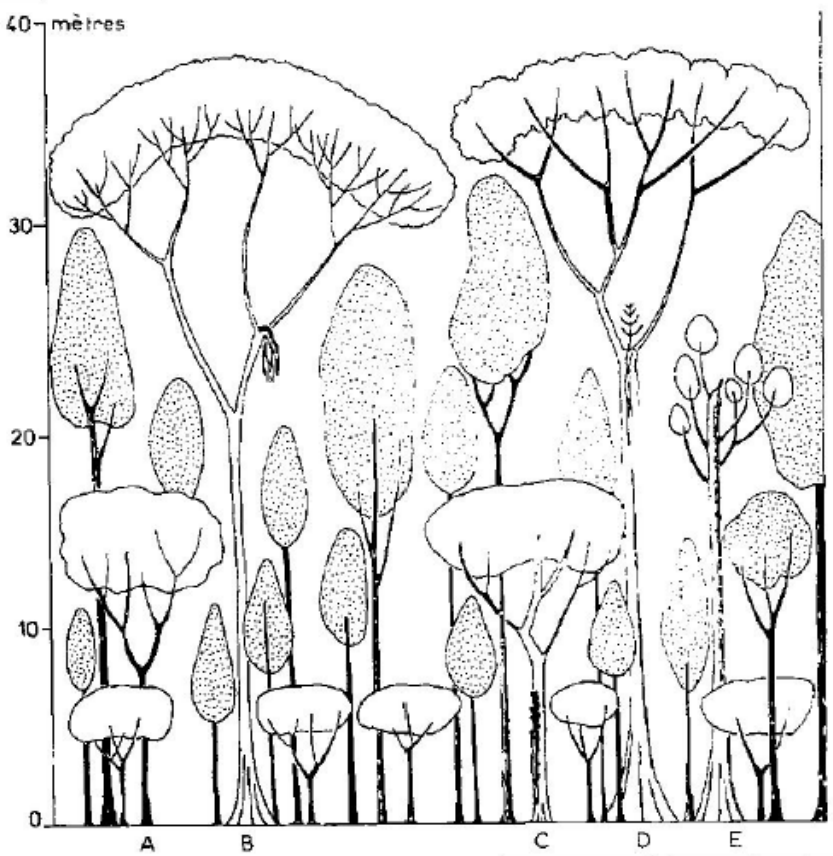


Figure 3.
Représentation schématique de la structure d'une forêt équatoriale montrant les « arbres du présent » de grande taille **b** et **d** et ceux de petite taille **a** et **c** ; un « arbre du passé » **e** ; les « arbres du futur » dont la couronne est en pointillés (Hallé *et al.*, 1978)

La productivité primaire de la forêt tropicale est élevée mais cette végétation est installée sur un sol pauvre en réserves. Une grande partie de la minéralomasse est stockée dans la végétation et, lorsque la forêt est éliminée pour faire place à l'agriculture, la biomasse est réduite à presque rien et les réserves minérales sont

épuisées avant même que les parcelles cultivées soient abandonnées. La forêt secondaire qui s'installe une trentaine d'années plus tard n'a plus grand-chose à voir avec la forêt originelle.

- **Les laurisylves**

Les laurisylves sont des forêts caractérisées par l'abondance d'arbres sempervirents à feuilles coriaces, cireuses, grandes et allongées rappelant celles du laurier. Situées sur les côtes orientales dans les régions subtropicales. Elles existent en Chine du sud et dans le sud-est des Etats-Unis. Le climat est caractérisé par des hivers doux assurant une longue saison de végétation, des étés chauds et humides, une pluviosité élevé (1600 mm). La température chaude moyenne de 21,1°. La richesse floristique rappelle celle des forêts équatoriales.

- **Les savanes**

Formations végétales intertropicales couvrant des surfaces très étendues dans des régions à climat ensoleillé, chaud en été, dont la température annuelle moyenne dépasse 26 °C et ou la pluviosité est faible (fig. 4).

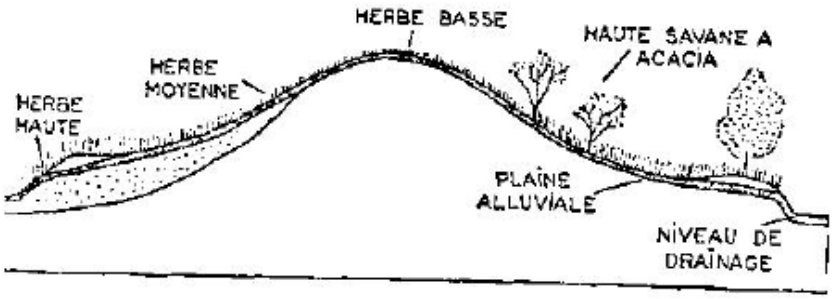


Figure 4. Représentation schématique de la topographie caractéristique des savanes du parc national de Serengeti et d'une grande partie de l'Afrique. Les ondulations de terrain sont la cause de la formation de catena dont la végétation est caractéristique (Bell, 1971).

Les sols de savane appartiennent à deux types principaux. Dans les régions peu arrosées (moins de 1 m de pluie) et à longue saison sèche ce sont des sols ferrugineux. Dans les régions plus arrosées et à saison sèche moins longue ce sont des sols ferrallitiques. Ces derniers diffèrent des sols de la forêt par la présence fréquente d'une cuirasse latéritiques très dure qui s'installe dans l'horizon B.

Les savanes herbeuses, bien représentées en Afrique, sont caractérisées par une végétation formée de Graminées dures, hautes de 80 cm à plusieurs mètres, à rhizomes développés. Le tapis herbacé ainsi formé est dense et difficilement pénétrable.

Les savanes arbustives sont caractérisées par la présence d'arbres +/- dispersés (*Acacia*, le baobab ou le palmier rônier en Afrique, les eucalyptus en Australie et les Cactées en Amérique du sud). Ces arbres sont de taille inférieure à 15 m avec des branches dès la base, une écorce épaisse renfermant beaucoup de liège et résistante au feu.

La faune des savanes comprend beaucoup de grands herbivores vivant en troupeaux surtout en Afrique (antilope, gazelle, zèbre, girafe, éléphant, rhinocéros) et des carnivores (lion, léopard, guépard). Les oiseaux coureurs représentés par l'autruche en Afrique, le nandou en Amérique, l'émeu en Australie. Les termites sont omniprésents dans la savane et ils jouent un rôle important dans les processus de la pédogenèse.

II.1.3- LES FORMATIONS DES REGIONS ARIDES ET SEMI-ARIDES :

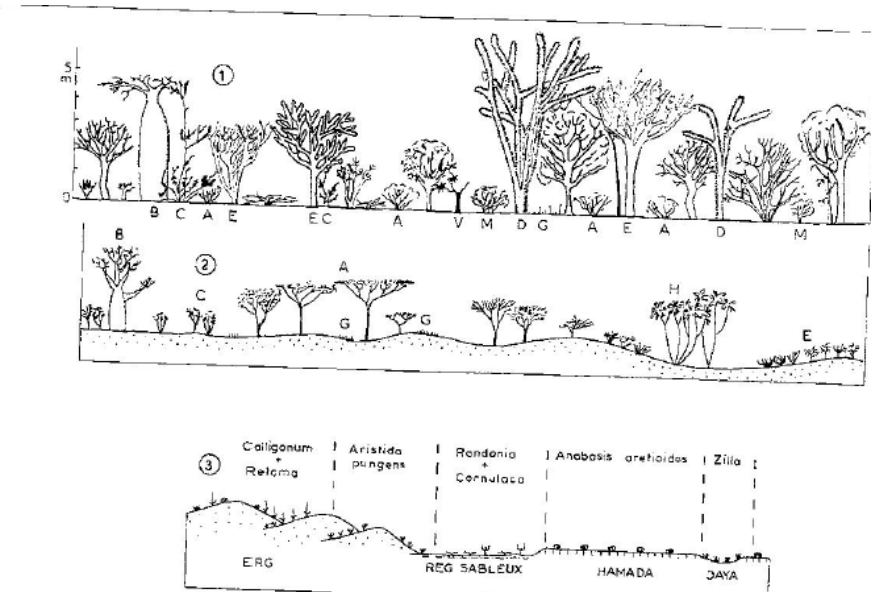


Figure 5.

Profils de la végétation de régions arides ou semi-arides

1 : La végétation semi-aride du sud-ouest de Madagascar, région de Tuléar, où la pluviosité est inférieure à 400 mm. Acanthacées ; B : Baobabs ; C : Cucurbitacées et V. Vitacées (lianes) ; M : Mimosées ; E : Euphorbes arborescentes ; *Didiereа* : G : Graminées rares laissant le sol nu sur une grande surface.

2 : La steppe sahélienne. A : Acacia ; B : Baobab ; C : Combrétacées ; G : touffes de Graminées très espacées ; H : Bouc d'*Hyphaena thebaica* ; E : Buissons de *Commiphora africana*.

3 : La végétation de la région de Beni-Abbès au contact du Grand Erg et de la Hamada.

- **Les déserts**

34% de la surface des terres émergées sont des déserts ou des semi-déserts dans lesquels 1/5 de la population mondiale essaie de survivre. La moitié des nations ont tout ou partie de leur territoire dans des régions arides. Dans beaucoup de régions les déserts

s'étendent sous l'action combinée de processus naturels et des activités humaines. L'Europe est le seul continent dépourvu de déserts bien que le sud de l'Espagne aux environs d'Almeria soit déjà une zone aride ou la pluviosité est inférieure à 200 mm/an. On estime que 820 millions d'ha ont été désertifiés depuis 50 ans, surtout au sud du Sahara.

On appelle déserts ou zones arides les régions ou la pluviosité annuelle moyenne est inférieure à 10 mm et très irrégulière. On connait au Sahara des périodes de 8 ans sans pluie et le désert d'Atacama au Chili n'a reçu que 1,6 mm d'eau en 19 ans. Selon un degré d'aridité croissante on distingue : (a) les zones semi-arides ou steppes désertiques couvrant 30 millions de km^2 et recevant de 200 à 500 mm d'eau/an ; (b) les zones arides ou déserts vrais couvrant 18 millions de km^2 et ou la pluviosité varie de 80 à 150 mm ; (c) les zones hyperarides ou déserts extrêmes couvrant 6 millions de km^2 et recevant moins de 50 mm d'eau. Le Sahara est un désert vrai; le désert d'Atacama un désert extrême et les déserts d'Amérique du Nord des semi-déserts.

Comme tous les biomes, les déserts ne sont pas immuables. Il a existé au Sahara 5 périodes pluviales au quaternaire et une faune de grands herbivores qui habitait la région à ces époques. Par contre le désert du Namib est un désert ancien qui existait déjà à l'ère tertiaire. On distingue habituellement des zones sableuses ou ergs couverts de dunes; des zones de cailloux, les regs ou hamadas (bajadas en Amérique); des dépressions +/- humides. Le sel et le sable sont fréquents et jouent un rôle important de même que les rares points d'eau qui subsistent isolés en plein désert.

Les relations entre le sol et la végétation sont nettes dans les régions arides. Il est possible de distinguer les groupements suivants :

(a) Les champs de dunes et les ergs sont colonisés par l'association à *Aristida pungens*, Graminée connue localement sous le nom de drinn. Un genet sans feuilles, le retam (*Retama retam*) est associé à la Graminée. Une faune assez riche d'insectes vit dans le sable au pied de ces plantes.

(b) Les hamadas et les regs rocheux ont une végétation éparse avec de rares Graminées et des buissons comme la Chénopodiacée; *Halorylon salicormium* et des *Acacia*.

(c) Les dépressions salées ou chotts ont une végétation halophile qui rappelle un peu celle des bords de la mer avec des salicornes, *Limonium* et même Tamaris. La faune y est particulièrement pauvre et ne comprend guère que quelques fourmis.

(d) Les dépressions non salées à humidité permanente ou dayas et les lits des oueds sont le domaine de *Pistacia atlantica* et de diverses Graminées. La faune est plus riche avec des Rongeurs qui sont favorisés par la relative abondance de la nourriture.
Les réseaux trophiques dans les régions désertiques sont plus complexes qu'on le croit généralement. Des interactions inhabituelles entre espèces, comme le cannibalisme ou la prédation intra-guilde, ne sont pas rares.

- **La toundra**

La toundra est la zone de végétation située au-delà de la limite naturelle des arbres. Cette limite passe à peu près, dans l'hémisphère Nord, au niveau du cercle arctique. Le climat est caractérisé par une période sans gelées inférieure à 3 mois et par la moyenne du mois le plus chaud inférieure à 10 °C. Les températures très froides moyennes de –6,0°. Pluviométrie faible (260 mm/an). Gel casi permanent. Le sol ne dégèle que sur quelques décimètres de profondeur pendant le bref été et il existe une partie gelée en permanence, le *permafrost*, qui empêche le drainage des eaux et qui provoque la formation de vastes marécages. La végétation, dans la partie sud de la toundra qui confine à la limite des forets, comprend des arbrisseaux nains mêlés de tourbières à Sphaignes. Plus au nord apparaissent des pelouses et des tourbières à *Carex*, puis des tapis de mousses et de Lichens qui subsistent seuls dans la partie la plus septentrionale. L'Islande possède 415 espèces de mousses et 135 Hépatiques et l'Alaska environ 500 espèces de mousses. La fréquence du gel et des sols polygonaux donnent à la végétation une structure spatiale particulière. Dans l'hémisphère Sud le climat plus humide et plus froid fait remonter la limite des arbres vers 45° de latitude au Chili et 53° en Nouvelle-Zélande. La région antarctique renferme 400 espèces de Bryophytes, plus de 300 lichens et de 70 champignons supérieurs.
Les conditions thermiques dures expliquent que la croissance des plantes soit très lente et leur longévité très grande.
Les Mammifères de la toundra comprennent 61 espèces dont 8 Insectivores (musaraignes), 14 rongeurs et lagomorphes (écureuils, campagnols et lemmings, marmottes, castor), des carnivores (loutre, vison, ours brun et blanc, loup, coyote, renard bleu, lynx) et 5 Ongulés (élan, renne, mouflon de Dall, bœuf musqué, caribou).
Les insectes sont capables de résister aux basses températures. Ils entrent en activité dés que le dégel survient et certaines espèces peuvent pulluler, surtout parmi les Diptères et les Collemboles qui sont les ordres dominants.

La faune est plus pauvre dans l'Antarctique que dans l'Arctique car les Mammifères sont absents et les oiseaux sont surtout représentés par les manchots qui dépendent du milieu aquatique et non du milieu terrestre pour se nourrir.

II.1.4- LES MONTAGNES

Les hautes montagnes sont des formations azonales (contrairement à la plupart des autres grands biomes) qui offrent aux êtres vivants des conditions de vie très spéciales. Gaussen (1955) distingue des montagnes xérothères qui ont une période de sécheresse durant laquelle la pluviosité moyenne annuelle en mm est inférieure au double de la T°C et des montagnes hygrothères qui n'ont pas de période de sécheresse. Les premières se rencontrent sous les Tropiques ou en Afrique du Nord (Atlas Marocain) ; les seconds sont les montagnes de l'Europe.

- **Le climat des montagnes des régions tempérées**

L'altitude provoque une baisse rapide de la pression atmosphérique. La composition moyenne de l'air (4/5 d'azote et 1/5 d'oxygène) ne changeant pratiquement pas, il s'ensuit une baisse importante de la pression partielle de l'oxygène avec l'altitude, particulièrement ressentie par l'homme et les animaux homéothermes. L'installation de l'homme en haute altitude a comme conséquences la mise en jeu de toute une série de mécanismes adaptatifs. Les deux plus importants sont l'accélération du rythme respiratoire due en partie à une plus grande sensibilité du centre respiratoire bulbaire au gaz carbonique, et à l'augmentation du nombre d'hématies qui peut passer de 4,8 millions à 7 millions/mm^3. Cette acclimatation se produit en quelques jours chez les sujets qui viennent de la plaine.

La raréfaction de l'air en altitude affecte des facteurs climatiques comme le rayonnement solaire, la T°C et l'humidité relative de l'air.

- **Les montagnes de l'Europe tempérée**

Dans les Alpes, les étages suivants ont été distingués.

- L'étage collinéen, jusqu'à 600-800 m, est la région des cultures ainsi que celle des chênaies lorsqu'elles ont été conservées.
- L'étage montagnard, jusqu'à 1200-1500 m, est occupé par des arbres à feuilles caduques (hêtres). Il coïncide avec l'augmentation des précipitations et des brouillards et avec une influence accrue de la neige et du gel. 3 subdivisions peuvent être faites

dans cet étage : celle des hêtraies submontagnardes (étage montagnard inférieur); celle de la hêtraie-sapinière (étage montagnard moyen) et celle de la hêtraie sapinière à érable et épicéa (étage montagnard supérieur).

- L'étage subalpin, qui s'étend jusqu'à 2000-2200 m, est un étage complexe.
- L'étage alpin offre des conditions climatiques encore plus défavorables à la vie.

Il est compris entre 2000-2300 m et 2700-3000 m selon les régions et il est caractérisé par l'absence d'arbres et la présence de chaméphytes et hémicryptophytes formant des pelouses continues protégées en hiver par la neige.

- L'étage nival ne renferme plus guère que des lichens (dont 104 espèces dépassent 3000 m) et il ne possède que 150 espèces de phanérogames dans toute la chaine alpine.

La flore alpine d'Europe est caractérisée par un taux d'endémisme élevé mais variable d'un massif à l'autre

- **Les montagnes de l'Amérique du Nord**

Les montagnes rocheuses et la Sierra Nevada représentent les deux principales chaines de montagne. Ces chaines orientées nord-sud créent des obstacles aux vents chargés d'humidité et entrainent la formation de zones arides sur leur versant est. Un transect ouest-est réalisé dans la Sierra Nevada en Californie met en évidence les étages de végétation et l'aridité du versant est (fig.6). Le versant ouest humide est le refuge de la seconde espèce de séquoia, *Sequoiadendron giganteum* qui atteint seulement 85 m de haut mais qui est beaucoup plus trapue que le *Sequoia sempervirens* du littoral.

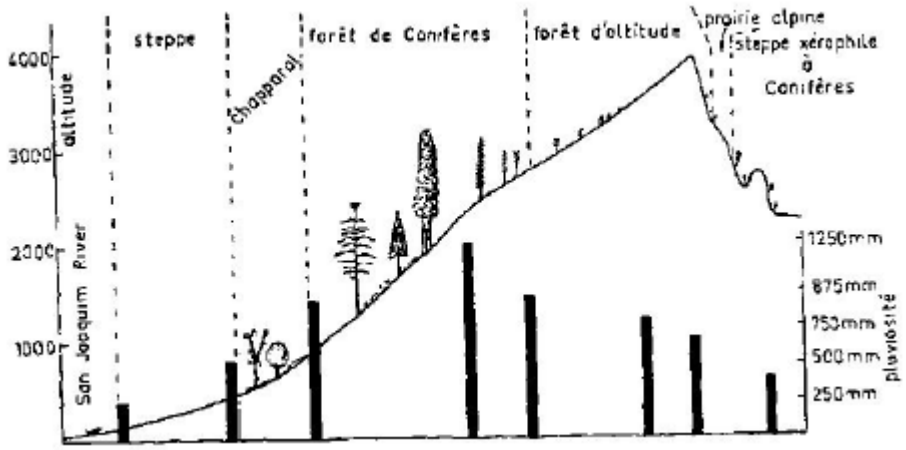


Figure 6. Coupe schématique ouest-est de la Sierra Nevada de Californie, à la hauteur du Sequoia National Park, montrant les principales formations végétales

- **Les montagnes des régions tropicales**

Les montagnes sont bien représentées dans les régions tropicales, 46% des montagnes ont des sommets de plus de 5000 m. On y observe un étagement de la végétation comme dans les régions tempérées.

Dans l'Himalaya on rencontre les étages suivants : Etage tropical jusqu'à 1000 m; étage sub-tropical jusqu'à 1600 m; étage tempéré à chênes et conifères jusqu'à 3000 m; étage forestier de haute montagne à *Betula* et *Abies spectabilis* jusqu'à 4000 m; étage alpin à *Rhododendron arboreum* jusqu'à 5000 m; étage nival au-dessus de 5000 m.

En Afrique orientale le massif du Kenya qui culmine à 5200 m peut servir d'exemple. Jusqu'à 1500 m un plateau est occupé par une végétation steppique caractérisée par des Euphorbes arborescentes et de Acacia ainsi que par des terres cultivées. A partir de 2400 m la forêt de montagne est remplacée par un foret formé par le bambou *Arundinacea alpina* qui atteint 20 m de haut et plusieurs décimètres de diamètre et qui fleurit tous les 40 ans environ. Dans les hautes montagnes tropicales le climat froid et sec est le facteur écologique principal. La végétation s'y est adaptée en donnant des types morphologiques très spéciaux comme des phanérophytes scapeux mégaphylles (plantes de grandes tailles ayant une rosette terminale de grandes feuilles comme les *Labelia*.

La faune des hautes montagnes d'Afrique présente, comme la végétation, un étagement qui est fonction de l'altitude. Dans la zone des bambous vit le gorille de montagne *Gorilla beringii* qui fait de cette Graminée sa nourriture principale, et d'autres singes comme les colobes. On y rencontre aussi l'éléphant qui monte jusqu'à 3500 m, le buffle *Syncerus caffer* et l'hylochère. Les invertébrés sont innombrables. Les insectes sont soit des reliques de faunes anciennes qui se sont différenciées sur place (coléoptères Carabidés), soit des espèces d'origine lointaine ayant atteint l'Afrique tropicale lors des périodes ou le climat était plus humide comme les nombreux *Trechus* qui pullulent sur le mont Elgon à partir de 3000 m et dont la souche est d'origine méditerranéenne.

Les hautes montagnes d'Amérique du Sud ont des étages de végétation qui correspondent à peu près à ceux de l'Afrique. Leur caractéristique principale est l'existence des paramos, formations de l'étage alpin qui apparaissent à partir de 3000 m et qui renferment des végétaux remarquables comme les *Espeletia* qui rappellent par leur morphologie les *Labelia* des étages alpins des montagnes d'Afrique.

En conclusion, on peut résumer la subdivision des biomes terrestres en 3 grandes catégories :

a) Biomes des régions froides:

*1- Le désert blanc: les facteurs limitants qui interviennent sont : Température, humidité et pluviosité.

*2-Toundra; Zone de végétation située au delà de la limite nord des arbres. Les facteurs limitants sont climatiques et édaphiques) la température < 10°C.

*3- Taïga: forêt des conifères et sapin, la taïga fait suite à la toundra.

b) Biomes des régions tempérées: l'humidité est le facteur limitant.

1- **La forêt tempérée caducifoliée:** elle recouvrait autre fois toute l'Europe, pas de manque d'eau (gelée en hiver)

2- **La steppe** : c'est la grande prairie américaine (terre noire de l`ancien URSS)

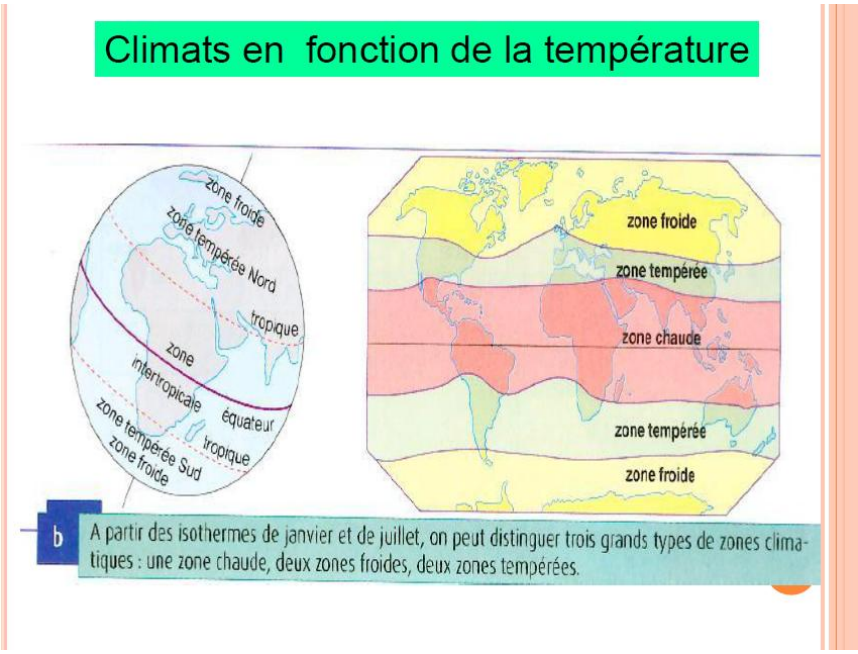
3- **la forêt méditerranéenne**; En cette forêt la sécheresse estivale est > à 4 mois, les précipitations sont brutales atteint leur maximal en équinoxe au printemps et à l'automne (cette forêt s'étend au tour du bassin méditerranéen).

c) Biomes des régions chaudes

1- **les déserts** : occupent 1/5 des terre émergée, caractérises par des précipitation réduite < 1000 mm/an. Parfois il y a plus de 12 mois sans eaux.

2- **La savane** : Elle succède aux déserts, le climat plus humide permet l'apparition de quelques arbres.

3- **la forêt vierge équatoriale**: on l'appelle aussi pluviale parce qu'elle occupe des régions à forte pluviosité. La végétation est très dense.



A titre de rappel, la toundra est une formation végétale située dans les zones climatiques froides, polaires ou montagnardes, constituée d'une strate végétale unique principalement composée de graminées, de lichens, de mousses et de diverses variétés d'arbrisseaux; par contre la taïga est une forêt de conifères (pin, sapin, épicéa ou

mélèze), mais qui peut également comporter quelques bouleaux et saules nains à la limite de la toundra. Le mot taïga vient du russe et signifie boréal. La taïga est donc la forêt boréale.

II.2. Les biomes aquatiques

Les biomes aquatiques peuvent être divisés en 2 types : les biomes marins (Océans et mers; eaux salées) et biomes dulcicoles (lacs, fleuves, rivières,…; eaux douces).

- Les biomes marins :

Les écosystèmes océaniques : les mers et les océans occupent 363 millions de km^2 soit plus du double de la surface des terres émergées. La profondeur moyenne des océans est de 3800 m alors que l'altitude moyenne des continents n'est que de 875 m. Les continents ne sont habités qu'en surface ou presque tandis que le domaine marin est occupé dans ses trois dimensions et que la vie y existe jusque dans la fosse la plus profonde, celle des iles Mariannes à 11034 m.

Les principaux facteurs abiotiques dans le milieu marin sont: (a) la composition chimique de l'eau de mer; (b) la pression hydrostatique qui augmente de 1 atmosphère pour 10 m de profondeur; (c) l'éclairement qui diminue rapidement avec la profondeur ce qui permet de distinguer une zone photique éclairée ou la photosynthèse peut avoir lieu et ou le phytoplancton peut se développer; (d) la température qui s'abaisse progressivement et qui est généralement voisine de 0 °C aux grandes profondeurs.

Les océans sont parcourus par des courants de surface très variés. Les courants de marée s'établissent à l'échelle locale. Des courants assurent l'équilibre hydrostatique à l'échelle régionale. La mer Méditerranée gagne de l'eau par le détroit de Gibraltar et ses eaux plus lourdes s'écoulent vers l'Atlantique en profondeur.

On distingue dans le milieu marin un domaine pélagique ou de pleine eau et un domaine benthique. Chacun de ces domaines est subdivisé selon la profondeur en diverses zones (fig. 7). Le plateau continental, +/- étendu selon les régions, est en pente douce (pente moyenne de 0,5%) et il s'étend jusqu'à 200 m en moyenne. Le talus continental a une pente moyenne de 5% et il descend jusqu'à 2000 m. La plaine abyssale descend jusqu'à 6000 m. La zone hadale ou ultra abyssale correspond aux plus grandes fosses. L'importance relative de ces 4 régions est la suivante :

Plateau continental	7,6 %
Talus continental (200-2000 m)	8,1 %
Plaine abyssale (2000-6000 m)	82,2 %

Zone hadale (plus de 6000 m)	2,1 %

La province néritique correspond au plateau continental. Les eaux y sont peu profondes, agitées et riches en substances dissoutes et en matériaux en suspension et la productivité y est élevées. La province océanique recouvre les fonds dont la profondeur est supérieure à 200 m.

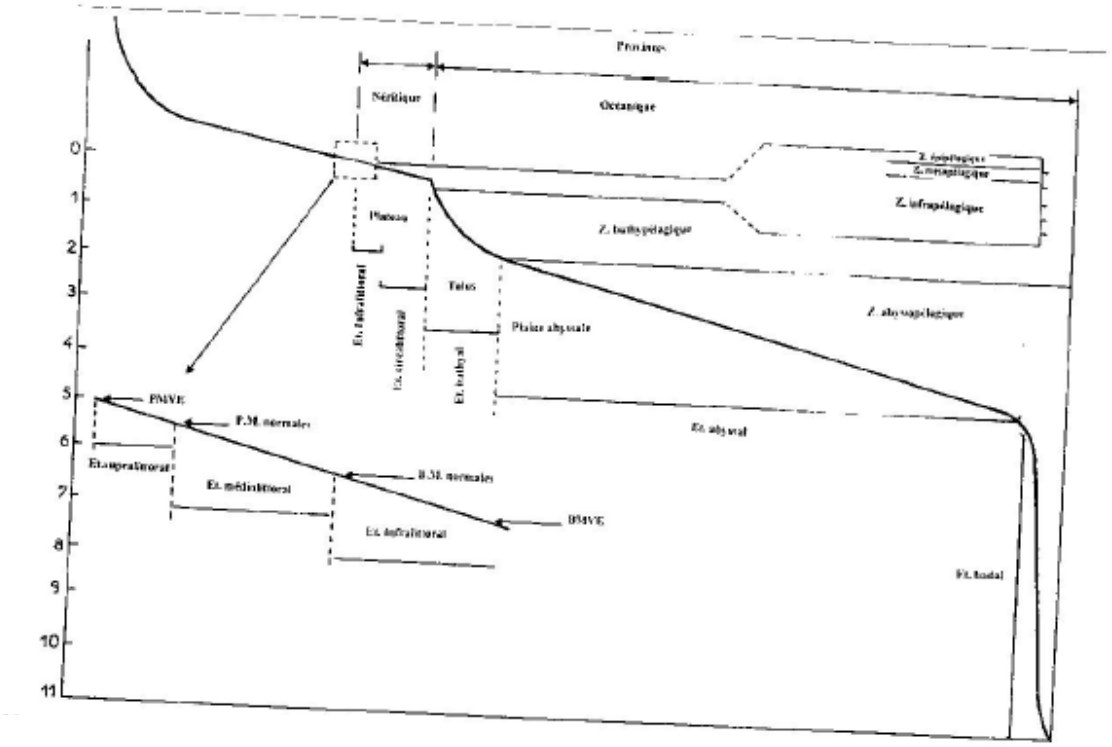


Figure 7. Les subdivisions du milieu océanique. En bas et à gauche, détail de la zone littorale. PMVE : pleine mer de vive-eau ; PM : pleine mer ; BM : basse mer ; BMVE : basse mer de vive-eau ; Et : étage ; Z : zone. Echelle verticale en milliers de mètres

La biodiversité spécifique est plus faible dans le milieu marin que dans le milieu terrestre. Mais la biodiversité au niveau des grands types d'organisation est plus grande. La diversité des modes de vie permet de distinguer diverses catégories d'organismes.

Le plancton :

Comprend l'ensemble des organismes flottant qui se laissent transporter par les courants auxquels ils sont incapables de résister.

Les animaux planctoniques sont soit des organismes filtreurs (Appendiculaires, beaucoup de Copépodes, Euphausiacés) qui collectent les organismes microscopiques et les débris organiques en suspension dans l'eau; soit des prédateurs comme la plupart des

Cnidaires et certains Annélides. On appelle holoplancton (plancton permanent) l'ensemble des organismes dont la totalité du cycle de développement se passe en pleine eau. Il est riche en Foraminifères, Siphonophores et Méduses, etc. Le méroplancton (plancton temporaire) comprend les stades pélagiques des espèces dont une partie du cycle est benthique ; larves de Polychètes, de Mollusques, d'Echinodermes, alevins de poissons.

Beaucoup d'organismes du plancton peuvent flotter passivement, car ils ont acquis une densité inférieure à celle de l'eau de mer en éliminant de leurs cellules les ions lourds et en les remplaçants par des ions légers. Cette modification s'est faite en conservant une concentration isotonique égale à celle de l'eau de mer. L'algue *Halocystis* qui est légèrement moins dense que l'eau de mer a réduit sa teneur en ions K^+ au bénéfice des ions Na^+ un peu plus légers.

Une baisse de densité assurant la flottabilité existe aussi chez d'autres organismes comme les Céphalopodes du groupe des Cranchidés. La cavité cœlomique de ces animaux est vaste et remplie par un liquide dont la densité est un peu inférieure à celle de l'eau de mer, et qui est isotonique avec celle-ci.

Le neuston :

Le mot neuston désigne les organismes qui vivent à la surface de l'eau. Dans le milieu marin le neuston est pratiquement limité aux Hémiptères du genre *Halobates* qui marchent sur l'eau et qui sont l'équivalent des *Gerris* que l'on rencontre dans les eaux douces.

Le necton :

L'ensemble des espèces capables de vivre en pleine eau et de se déplacer activement contre les courants marins. Le necton comprend la plupart des poissons pélagiques, les Mammifères marins, les Céphalopodes et divers Crustacés.

Le benthos :

Le benthos sessile comprend des organismes qui sont soit fixés à la surface du substrat (Algues, Spongiaires, Bryozoaires, Ascidies, Cirripèdes), soit enracinés dans le substrat meuble (certains Polychètes et Cnidaires). Le benthos vagile est constitué par des espèces qui sont libres mais qui ne s'éloignent guère du fond (Gastéropodes, Echinodermes, Décapodes, Poissons). Les animaux fouisseurs se déplacent dans le

sédiment meuble (Holothuries, Mollusques) ou s'y installent à demeure (divers Lamellibranches). Les foreurs creusent le substrat dur (Eponges du genre *Cliona*). Les régimes alimentaires des animaux du benthos sont très variés. Il existe des phytophages mangeurs d'algues (Gastéropodes, Crustacés, Poissons), des collecteurs de particules en suspension (Bryozoaires, Annélides, Crustacés, beaucoup de Lamellibranches), des prédateurs macrophages (étoiles de mer, Gastéropodes Prosobranches), des mangeurs de vase ou de détritus (Holothuries, Polychètes, Lamellibranches), des brouteurs (tels que divers Gastéropodes et des Poissons) qui exploitent les éponges, les Cœlentérés et les Bryozoaires qui sont fixés sur les substrats durs.

Le **milieu pélagique** peut être divisé en six zones.

- **Zone épipélagique** : C'est la zone superficielle éclairée (zone euphotique) dont l'épaisseur est de 50 à 100 m selon les régions, et dans laquelle le phytoplancton peut se développer. La partie la plus superficielle est parfois appelée zone neustonique.
- **Zone mésopélagique** : Cette zone qui s'étend de 50-100 m à 200 m est encore légèrement éclairée mais le phytoplancton ne peut plus y survivre. Les fluctuations de la température saisonnière s'y font encore sentir.
- **Zone infrapélagique** : De 200 à 500-600 m, cette zone est riche en espèces car elle comprend à la fois des organismes qui remontent la nuit de la zone inférieure et des espèces qui descendent le jour de la zone supérieure. La température de cette zone varie, selon la profondeur, de 10 °C à 4 °C mais elle ne subit plus de variations saisonnières contrairement aux zones plus superficielles.
- **Zones bathypélagique** : De 500 à 2000 m, cette zone est caractérisée par un renouvellement important de la faune planctonique. Les Copépodes y sont dominants ; les Siphonophores, les Amphipodes, les Décapodes sont nombreux également et on voit apparaitre quelques formes de grande taille caractéristiques du plancton profond comme les Holothuries pélagiques, les Pélagonémertes, les Méduses. La limite inférieure de cette zone correspond à peu près, aux latitudes moyennes, à l'isotherme de 4 °C.
- **Zones abyssopélagique** : Entre 2000 et 6000 m, cette zone n'est plus dominée par les Copépodes mais par les Chétognathes, les Mysidacés, les Décapodes et par les espèces de grande taille apparues dans la zone précédente.
- **Zone hadopélagique** : Au-delà de 6000 m, cette zone est formée par des fosses étroites et allongées qui sont surtout nombreuses dans l'océan Pacifique et qui

atteignent 11000 m. Sa faune est très pauvre et dominée par des Amphipodes, Ostracodes et Copépodes.

La biomasse du zooplancton diminue rapidement avec la profondeur (Fig. 8) et présente également d'importantes variations en fonction de la latitude. Le milieu pélagique est peuplé aussi par les représentants du necton qui sont surtout des poissons. Certaines espèces (beaucoup de Clupéidés comme la sardine ou l'anchois) vivent directement aux dépens du plancton et elles forment des chaines alimentaires courtes. Les Cétacés à fanons sont aussi des mangeurs de plancton.

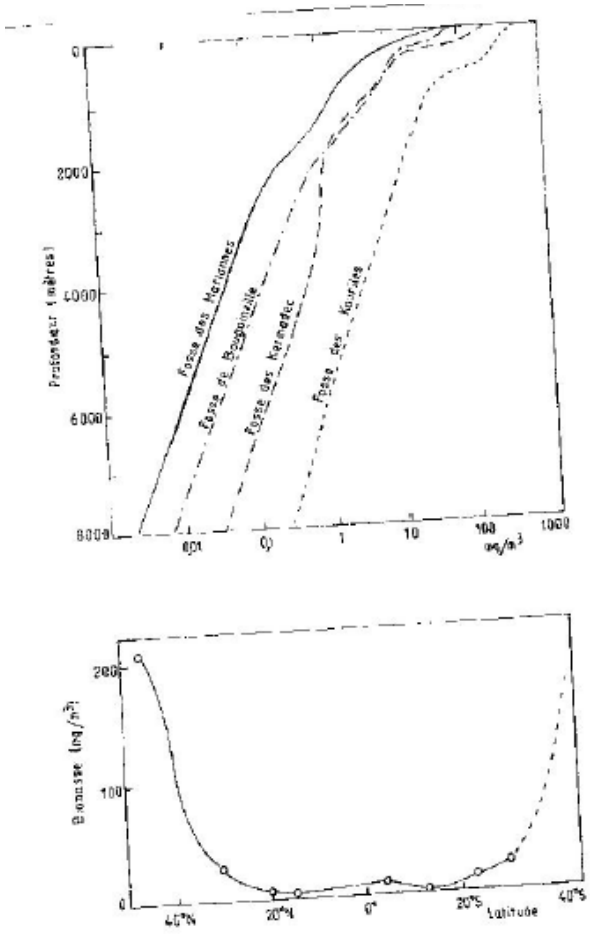


Figure 8.
En haut, biomasse du plancton en mg/m^3 en fonction de la profondeur dans quatre fosses du Pacifique. Noter les variations importantes de biomasse d'une fosse à l'autre.
En bas, biomasse moyenne en mg/m^3 pour la couche de 0 à 4000 m en fonction de la latitude dans l'océan Pacifique

Les subdivisions du **milieu benthique** en fonction de la profondeur sont parallèles à celles qui sont adoptées pour le milieu pélagique. On distingue les étages suivants :

- **Etage supralittoral** : C'est la partie la plus élevée de la zone intertidale qui est située entre le niveau des pleines mers de vive-eau et le niveau des plus hautes mers. Sur les cotes rocheuses cet étage est recouvert par une végétation dont les éléments les

plus caractéristiques sont des lichens noirâtres du genre *Verrucaria*. La faune comprend des espèces capables de résister à des émersions prolongées comme des Gastéropodes (*Littorines*) et des isopodes (*Lygia*). Sur les plages des cotes sableuses les Crustacés Amphipodes (*Orchestia*) sont abondantes et cohabitent avec de nombreux insectes, en particulier des Coléoptères Carabidés et Ténébrionides et des Diptères.

- **Etage médiolittoral :** Dans les mers à marées importantes et sur les substrats rocheux cet étage est recouvert par des bandes horizontales et superposées d'Algues brunes qui constituent des ceintures bien visibles en mode calme lorsque l'agitation de l'eau n'est pas trop grande. En mode battu l'importance des algues est moindre. Quatre ceintures d'algues se rencontrent sur les cotes de la Manche. La ceinture à *Pelvetia canaliculata* marque la limite supérieure de l'étage ; sa faune est pauvre. La ceinture à *Fucus spiralis* possède une faune un peu plus riche (Gastéropodes) qui broutent les algues.

Sur les substrats meubles il existe d'une part des grandes espèces qui vivent à la surface du sable et qui s'y enfoncent rarement (Echinodermes, Crustacés, Poissons) et d'autre part des espèces psammiques qui vivent dans le sable en permanence. Les espèces de grande taille fouissent dans le sable et y creusent des galeries et les espèces de petite taille (moins de 1 mm) vivent dans les interstices des grains de sable (forme allongée pour s'insinuer entre les grains de sable).

- **Etage infralittoral :** Dans cet étage se localisent des organismes qui exigent une immersion continue et un éclairement intense. Sur substrat rocheux on rencontre des Algues brunes comme les Laminaires qui remplacent les Fucus disparus. La limite inférieure de cet étage correspond à la disparition des herbiers de phanérogames (Zostères). Dans les régions tropicales les Madréporaires constructeurs de récifs s'installent dans l'étage infralittoral.

- **Etage circalittoral :** Il est occupé par des Algues rouges calcaires de la famille des Lithothamniées. En Méditerranée les formations dites coralligènes sont caractéristiques de cet étage. Elles comprennent des algues encroûtantes formant 80% de la masse calcaire totale et dont la surface et les cavités sont peuplées par une riche faune de Spongiaires, de Gorgones, d'Alcyonnaires, de madréporaires, de polychètes, de bryozoaires. L'abondance du corail rouge dans cette formation est à l'origine du nom de coralligène (rien à voir avec les récifs de coraux). Sur les fonds meubles détritiques formés de graviers et de sables grossiers s'installent parfois des Lithothamniées qui, en Bretagne, forment le « maerl » utilisé comme engrais. La faune y est surtout constituée

par des Lamellibranches et des Echinodermes. Sur les fonds vaseux ce sont les Polychètes qui dominent.

La richesse des peuplements benthiques aux faibles profondeurs a comme conséquence un recouvrement total ou presque des fonds rocheux. La compétition pour l'alimentation est à l'origine de très nombreux dispositifs de récolte et de régimes alimentaires non moins variés : phytophages mangeurs d'algues (Gastéropodes, Crustacés, Poissons) collecteurs de particules en suspension (Bryozoaires, Annélides, Ascidies, lamellibranches), fouisseurs, mangeurs de vase, etc.

- **Etage bathyal :** Dans l'Atlantique Nord cet étage est peuplé par la biocénose des grands coraux blancs, Madréporaires appartenant aux genres *Amphelia* et *lophelia* qui sont associés à de nombreux autres Cnidaires, à des Echinodermes, des polychètes, des Crustacés, des poissons, etc. Les vases de cet étage sont occupées par des petits lamellibranches (*Nucula*, *Chlamys*), des Scaphopodes, des Spongiaires, divers Décapodes et Echinodermes.
- **Etage abyssal :** Il est très faiblement peuplé sur substrat rocheux. Les substrats meubles sont qualifiés de « boues abyssales » et possèdent une faune plus diversifiée avec des Holothuries, des Astéries, des Lamellibranches, des polychètes.
- **Etage hadal :** Cet étage est caractérisé par des Holothuries, des Actinies, des Polychètes, des Mollusques et quelques Crustacés Isopodes et Amphipodes.

Le benthos des grandes profondeurs présente un certain nombre de caractères communs. La réduction des formations calcaires de soutien est remarquable. Les carnivores sont rares car les sources de nourriture essentielles sont les bactéries et les débris organiques qui tombent des zones supérieures. La biomasse du benthos profond est très faible. Elle n'est que de 0,1 g/m^2 vers 5000 m. Mais il existe cependant des zones privilégiées qui ont une faune plus riche, en particulier au voisinage des continents.

- Les biomes dulcicoles :

Les écosystèmes d'eau douce sont classés en deux catégories : les milieux lotiques (rivières, fleuves..) dans lesquels l'eau est courante, et les milieux lentiques (lacs et étangs) dans lesquels l'eau est calme. La transition entre ces deux milieux peut se faire d'une façon progressive dans les fleuves au cours très lent et dans leurs bras morts. Ces écosystèmes sont très dégradés par les pollutions et les aménagements ce qui explique l'importance des recherches sur la pollution des milieux aquatiques, et sur leur réhabilitation. Les écosystèmes aquatiques ont une grande importance économique, et

ils sont très étudiés par les spécialistes des pèches. Les lacs de barrages sont des lacs d'un type particulier.

- **Les eaux courantes. Le concept de continuum**

Les facteurs écologiques essentiels dans les eaux courantes sont la vitesse du courant, la nature du fond, la température, l'oxygénation et la composition chimique. Beaucoup d'auteurs ont décrit l'évolution du cours d'une rivière depuis la source jusqu'à l'embouchure.

Trois zones peuvent être distinguées dans un cours d'eau. La source ou crenon est un milieu dont la température est relativement constante et qui est peuplé par des espèces sténothermes. Le cours supérieur ou rhithron est caractérisé par une pente forte, un cours rapide, une eau bien oxygénée, une absence presque complète de plancton. L'érosion et le transport des matériaux y dominent et la sédimentation y est négligeable. Dans les régions tempérées l'eau du rhithron est à une température inférieure à 20°C. Cette zone est divisée en une zone à truite et une zone à ombre (fig. 9). Le cours inférieur ou potamon a une pente faible, un cours lent, des eaux peu oxygénées. Cette zone renferme du plancton et la sédimentation y prédomine sur l'érosion et le transport. Elle est divisée en zone à barbeau et zone à brème.

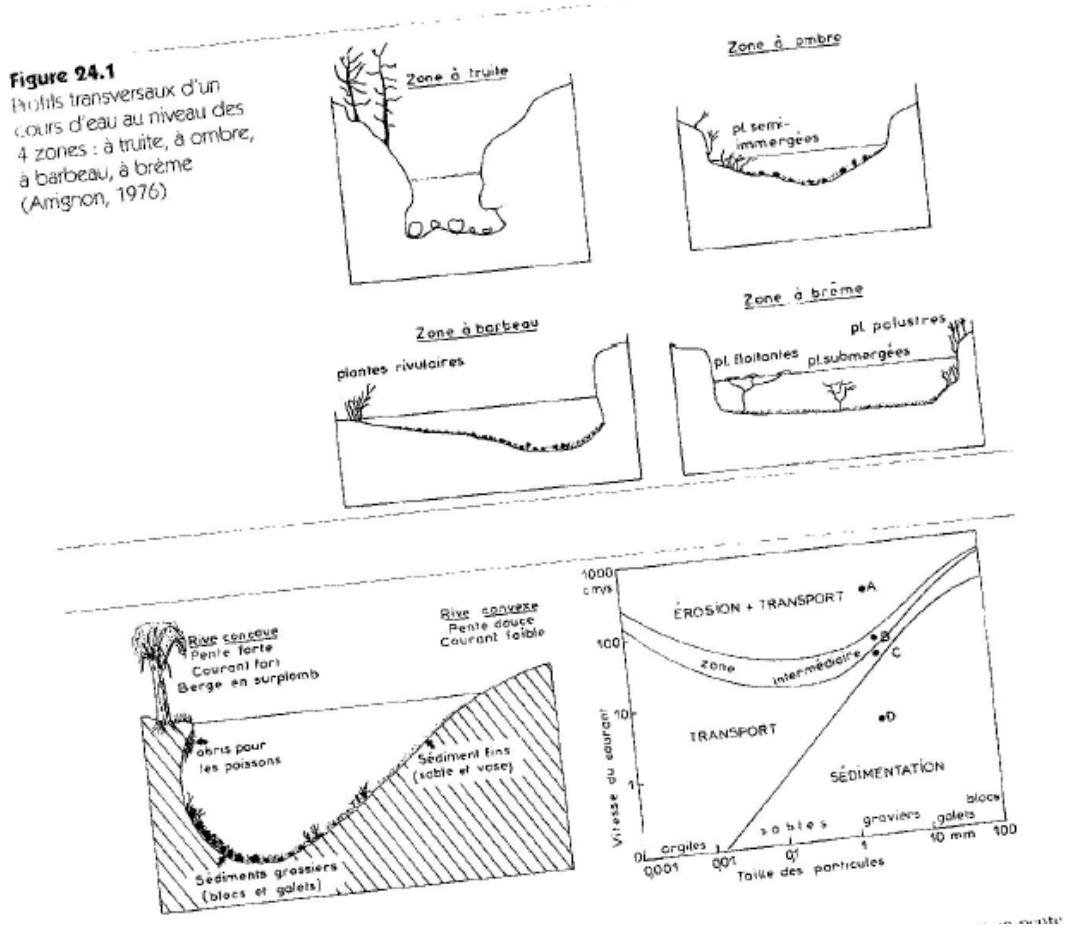


Figure 9. Erosion et sédimentation dans les rivières

A gauche, la coupe d'une rivière au niveau d'un méandre montre que le lit est dissymétrique. La rive concave est en pente forte et la berge est parfois en surplomb. Le courant y est fort et il ne laisse que des sédiments grossiers (blocs et galets). Les poissons trouvent un abri sous la berge parmi les chevels des racines des arbres et l'ombre qu'ils apportent. La rive convexe e st en pente douce. Le courant y est faible et les sédiments sont fins (sable et avse). Cette diversité topographique assure la diversité biologique.

A droite, diagramme mettant en évidence le devenir des particules minérales en fonction de leur taille et de la vitesse du courant. Une zone intermédiaire en forme de fuseau se situe entre la zone de transport et la zone de transport + érosion. En A, l'eau circule à une vitesse telle que les particules sont arrachées et emportées ; il y a érosion et transport. En C, l'eau circule à une vitesse plus faible et il y a seulement transport des particules déjà séparées. En D, l'eau circule sans arracher ni transporter aucune particule ; il y a sédimentation. En B, le devenir des particules est incertain. Il y a transport mais la possibilité d'érosion dépend de la forme des particules. Ce diagramme montre que les argiles se déposent très difficilement et que ce sont les sables qui sont le plus facilement déplacés puisqu'il suffit d'une vitesse de l'ordre de 20 cm/s. ce diagramme permet aussi d'expliquer les modalités du déplacement des sédiments dans la zone littorale soumisse aux mouvements des vagues et des courants de marée. Les argiles résistent à l'arrachement et elles sont suffisamment stables pour permettre l'installation d'une végétation et en particulier de plantes à fleurs. Au contraire, les sables et les galets sont constamment remués et déplacés et aucun végétal ne peut s'y installer à l'exception de quelques algues à croissance rapide comme des *Eneromorpha*.

Un milieu particulier apparait dans le rhithron lorsque l'épaisseur du film d'eau devient faible (2 à 3 mm) et que cette eau se renouvelle constamment. Il s'installe alors une faune madicole qui vit soit sur les substrats rocheux, soit sur les Mousses et les Hépatiques qui poussent sur le substrat. Cette faune comprend d'une part des espèces ubiquistes et d'autre part des espèces spécialisées qui sont caractérisées par une petite taille, une forme aplatie, des branchies peu nombreuses chez les espèces à respiration aquatique, et par des stigmates en position dorsale chez les espèces à respiration

aérienne. Elle comprend surtout des Diptères (*Psychodides, Stratiomyides*), quelques Coléoptères, et des Trichoptères du genre *Stactobia*.

La portion de rivière qui est comprise entre la source et le premier affluent est un cours d'eau de premier ordre. Quand deux cours d'eau de premier ordre se réunissent ils forment un cours d'eau de deuxième ordre, etc. Le maximum observé correspond à des cours d'eau de onzième ordre. Les cours d'eau d'ordre 1 à 4 sont des petites rivières (*small rivers*); les cours d'eau d'ordre 4 à 6 sont des rivières de taille moyenne (*medium-sized*) ; les cours d'eau d'ordre supérieur à 6 sont des grandes rivières (*large rivers*).

Le concept de continuum (fig. 10) admet que :

(a) Dans la partie supérieure du cours (rhithron) les débris végétaux (et en particulier les fragments de bois) qui tombent dans l'eau constituent la source principale d'énergie. Ces débris, colonisés par des bactéries et des champignons, permettent le maintien de communautés d'Invertébrés et en particulier de mangeurs de particules végétales de grandes dimensions (*shredders*) et de filtreurs (*collectors*) qui extraient de l'eau les fines particules organiques.

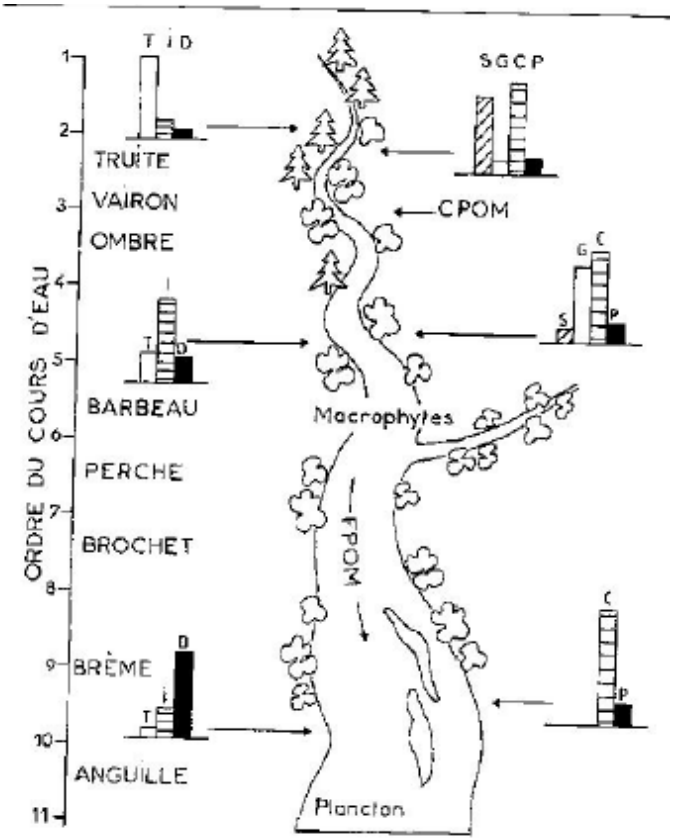
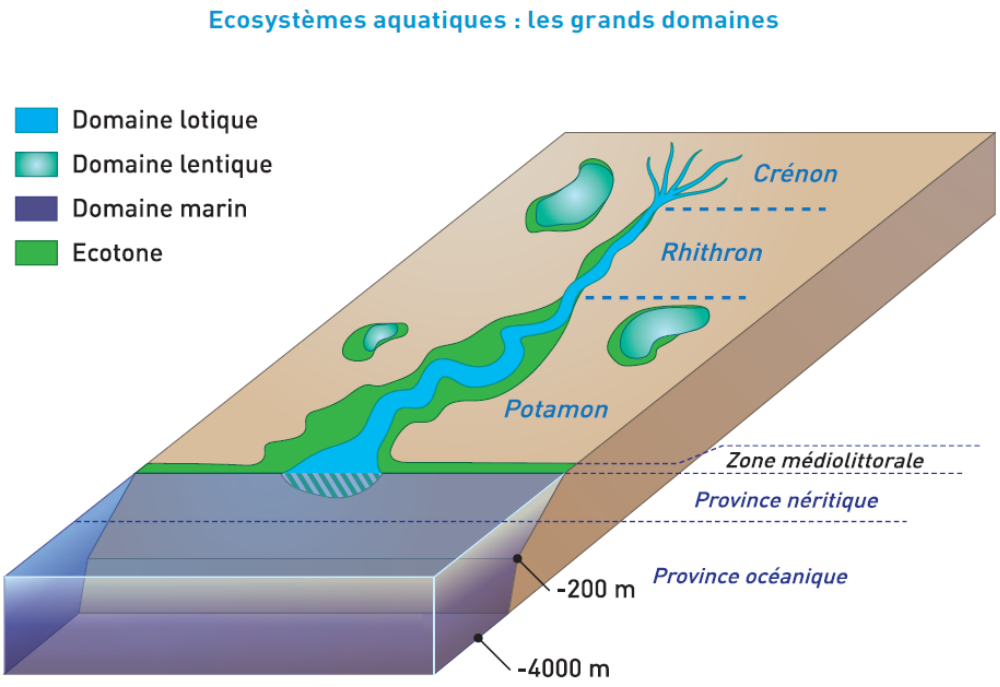


Figure 10. Diagramme résumant le concept de continuum pour une rivière qui est d'ordre 1 à sa source et d'ordre 11 à son embouchure (un seul affluent a été représenté).

La productivité primaire dans cette région est à peu près nulle en raison de la quasi-absence de végétaux et de l'ombre apportée par les arbres qui surplombent la rivière. La température de l'eau varie peu, surtout à cause de l'arrivée d'eau souterraine dans le lit de la rivière.

(b) Les cours d'eau de taille moyenne présentent des variations importantes de la température et du régime hydraulique. Le couvert forestier est moins important de même que les apports de débris végétaux. La photosynthèse devient possible et la productivité primaire est la principale source d'énergie. Les Invertébrés dominants sont des brouteurs (grazers) qui consomment les algues unicellulaires et les micro-organismes fixés sur les rochers du fond, ainsi que des filtreurs. La grande variabilité des conditions de milieu dans les cours d'eau de taille moyenne permet de supposer que cette région est la zone de plus grande richesse en espèces.

(c) Les grandes rivières possèdent un volume d'eau important, ce qui amortit les variations de température. Les arrivées de matière organique morte y sont négligeables, les particules fines en suspension sont abondantes et la turbidité de l'eau réduit la photosynthèse. Les animaux filtreurs sont les Invertébrés les plus abondants. Le zooplancton joue un rôle important.



Zone à truites
Ruisseaux à courant violent, dont le fond est couvert de graviers et l'eau est froide et riche en oxygène
Truite fario
Salmo trutta fario
Zone à ombres
Cette zone suit la zone à truites, le ruisseau a grossi. La température a augementé, mais l'eau est toujours riche en oxygène
Ombre
Thymallus thymallus
Zone à barbeau
Rivières a courant encore rapide, mais aux températures estiévales avoisinnant 20°C. Localement le sol est mou et couvert de végétation.
Barbeau
Barbus barbus
Zone à brème
Le courant est plus calme que dans les zones rapides supérieurs. La température de l'eau est supérieure et l'oxygénation plus faible. Le fond est couvert par une végétation envahissante.
Brème commune
Abramis brama
Zone estuaire
La rivière atteint la mer, l'eau est saumâtre et le fond vaseux.
Flet
Platichthys flesus

III. LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS

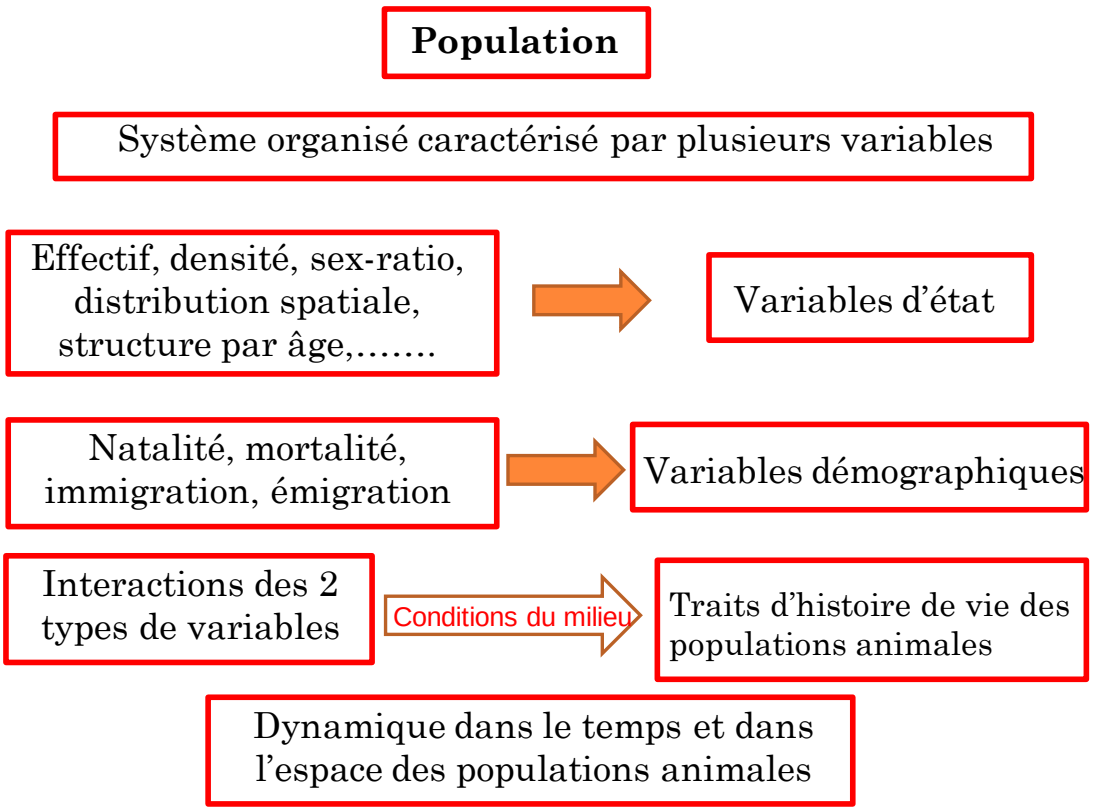
Introduction

Les systèmes écologiques sont composés, sur une toile de fond constituée par l'environnement physico-chimique, de populations interconnectées. La réalité de ces systèmes est matérialisée par la permanence, plus ou moins grande, des populations et de leurs interrelations. La clé de cette permanence, au-delà de l'existence éphémère des individus, réside d'une part dans la transmission héréditaire de leurs caractères, et d'autre part, paradoxalement, dans la variabilité génétique et phénotypique des populations grâce à laquelle elles peuvent s'adapter aux changements de leur environnement physico-chimique et biotique. En ce sens, c'est la population et non l'individu qui constitue la pièce élémentaire des édifices écologiques

III.1. LE SYSTEME POPULATION-ENVIRONNEMENT

Pour l'écologiste une population est un ensemble d'individus de même espèce. Les individus d'une population peuvent communiquer entre eux. Ils peuvent aussi interagir : s'apparier pour se reproduire, entrer en concurrence pour l'utilisation de ressources communes (nourriture, sites de ponte ou de nidification, abris, partenaires de reproduction), coopérer pour une meilleure exploitation de ces ressources ou pour se défendre contre les prédateurs, se transmettre des parasites ou des maladies. En ce sens la population peut être considérée comme un système et caractérisée par diverses variables d'état dont les principales sont :

- l'effectif (ou la densité).
- le type de distribution spatiale des individus.
- la structure d'âge.
- la structure génétique (fréquences alléliques).
- l'organisation sociale.



Les variables d'état sont affectées par les processus démographiques qui impriment à la population une certaine cinétique (fig 11)

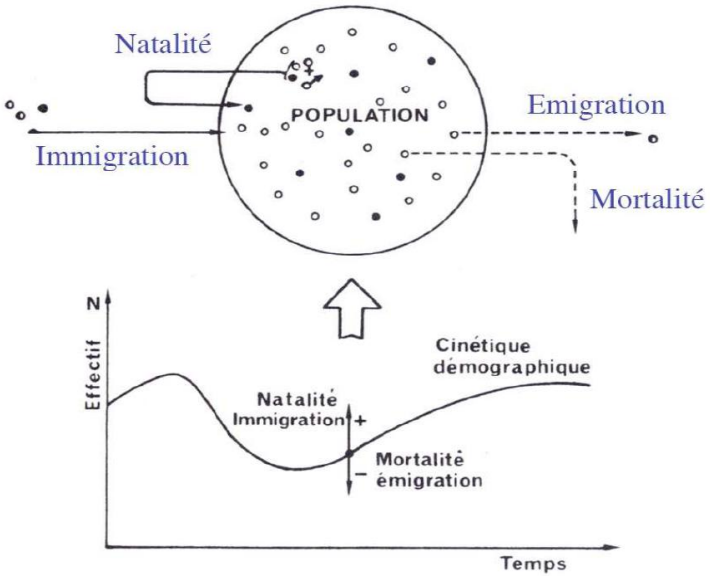


Figure 11: Représentation schématique des processus démographiques et de leur action positive (traits pleins, +) ou négatives (tiretés, -) sur la cinétique des populations.

Ces processus démographiques – la natalité, la mortalité, l'émigration et l'immigration –, dépendent à la fois des propriétés des individus qui composent la population et des propriétés de l'environnement. De plus, les unes et les autres peuvent être modifiées par l'effet des caractéristiques globales de la population, c'est-à-dire des variables d'état. Le fonctionnement de la population et sa cinétique ne peuvent être compris sans référence à son environnement, d'où la notion du système population-environnement (fig. 12) plutôt que du système population. On appelle *métapopulation* un ensemble de populations de même espèce séparées dans l'espace mais interconnectées par des flux d'individus ou de propagules (pollen, graines, spores..) qui en maintiennent l'unité génétique.

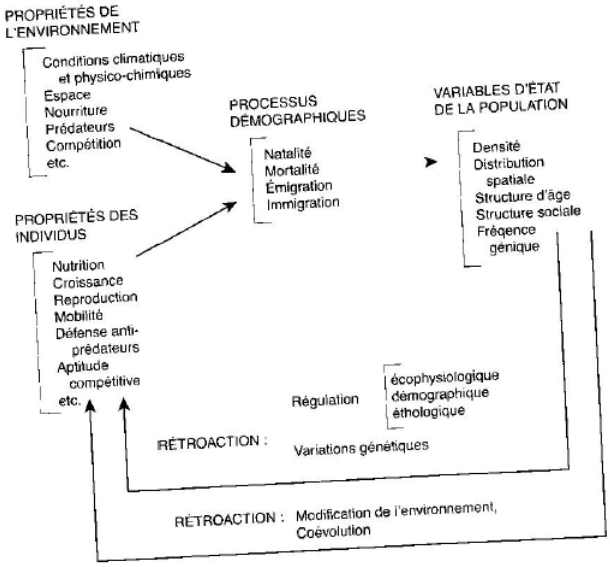


Figure 12: Le système population-environnement

III.2. CROISSANCE ET REGULATION DES POPULATIONS

Au cours du temps l'effectif des populations naturelles peut croitre, rester stationnaire, fluctuer, ou bien encore décroitre jusqu'à l'extinction (fig 13).

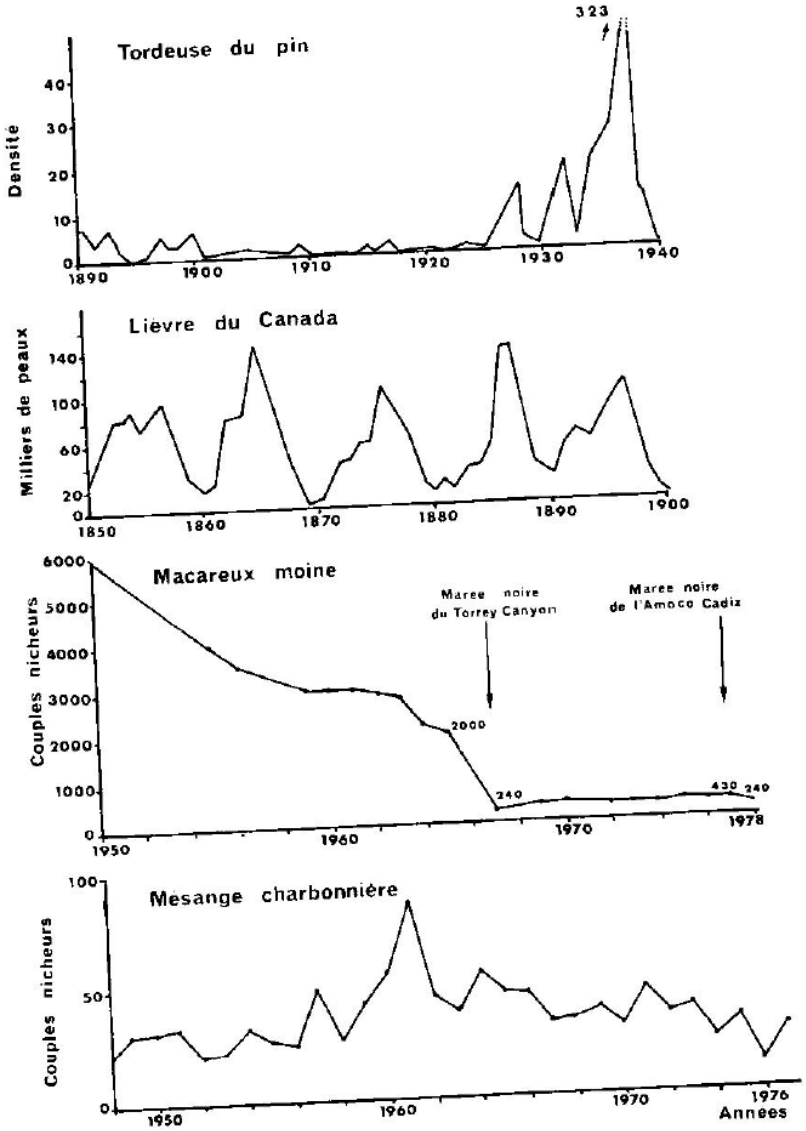


Figure 13: Quelques exemples de variations de populations naturelles.
De haut en bas : tordeuse du pin en Allemagne ; lièvre, d'après les statistiques de pelleteries du North Central District au Canada ; macareux dans l'ile de Rouzic ; mésange charbonnière à Marleywood, Angleterre

De telles cinétiques démographiques dépendent à la fois, d'une part des conditions de l'environnement, d'autre part des propriétés de chaque individu et de la population dans son ensemble: en analyser les mécanismes c'est étudier la dynamique des populations.

Constater que dans la nature les populations ne croissent pas indéfiniment c'est souligner leur limitation On dira, par exemple, que la population de hulottes de telle foret est limitée par le nombre de cavités d'arbre utilisables pour leur nidification.

Constater que la densité de beaucoup de populations fluctue autour d'une valeur moyenne d'équilibre et que ces fluctuations sont d'amplitude modeste relativement aux capacités d'accroissement de la population c'est souligner leur *stabilité.* Les

mécanismes de stabilisation doivent être élucidés. Dans le cas ou l'intervention et l'intensité d'action de ceux-ci dépendent de la densité de la population, on parle de ***régulation***.

La notion de limitation, de stabilisation et de régulation ne recouvrent pas nécessairement des mécanismes différents. Ce ne sont pas non plus des phénomènes indépendants. En fait ces mots traduisent seulement, en première approximation, des degrés différents d'élucidation du fonctionnement de la population ou des points de vue différents.

Les principales théories de la régulation des populations

- **Le rôle des facteurs dépendants de la densité**

Dès 1912 deux entomologistes, Howard & Fiske, ont attribué une grande importance aux ennemis naturels (prédateurs et parasites) en tant que facteurs réglant la densité des populations animales. Ils proposèrent la notion de facteur facultatif, ancêtre de celle de facteur dépendant (*density dependent factor*) due à Smith (1935). Howard & Fisk n'ignoraient cependant pas le rôle des facteurs indépendants de la densité qu'ils qualifiaient de facteurs *catastrophiques*.

La régulation des populations par l'intervention de facteurs dépendants de la densité peut se faire au niveau de la biomasse et non au niveau du nombre d'individus. Ceci s'observe chez des espèces qui sont douées d'une certaine plasticité comme les poissons.

- **Le rôle des facteurs climatiques**

Une école opposée fut animée principalement par deux autres entomologistes australiens (1954), selon qui les facteurs dépendants de la densité sont en général d'importance mineure et ne jouent guère de rôle dans la détermination de l'abondance des espèces. Les facteurs physiques du milieu, le climat en particulier, jouent le rôle essentiel. En effet, suivant les cas les facteurs qui interviennent dans la régulation des populations peuvent être multiples

- **Le rôle des facteurs internes**

Une étude représentée par des écologistes comme Chitty (1967) ou Pimentel (1961) admet l'existence de changements qualitatifs qui peuvent être génétiques, éthologiques, physiologiques et qui ont surtout été étudiés chez des Rongeurs mais aussi chez des insectes.

Le rôle limitant de la nourriture est admis par tous les auteurs et en particulier par Wynne-Edwards (1962). Mais cet auteur admet que des comportements particuliers évitent la compétition directe pour la nourriture qui pourrait conduire à la surexploitation des ressources et à la mort massive par famine. Wynne-Edwards appelle manifestations épidéictiques ces comportements qui informent les membres d'une population de l'importance de la densité et déclenchent des mécanismes régulateurs. Chez les Oiseaux la défense d'un territoire, qui aboutit à une mortalité élevée chez les sujets qui n »en possèdent pas, est un comportement épidéictique, de même que les chants collectifs des Batraciens.

III.3. CARACTERISTIQUES ET STRUCTURE D'UNE POPULATION

III.3.1. Limites dans le temps et l'espace

Comment caractériser une population dans l'espace et dans le temps.

Limites temporelles

Si l'on considère que des paramètres descriptifs instantanés, l'échelle de temps peut être brève ; elle va être plus longue (quelques générations) si l'on s'intéresse à la dynamique démographique de la population, ou encore plus longue (centaines à milliers de générations ou plus) si l'on s'intéresse à des aspects évolutifs.

Limites spatiales

Les limites peuvent être :

- des limites géographiques naturelles (rives d'un lac, d'une rivière, etc…)
- des limites géographiques culturelles ou administratives (population humaine dans sa globalité,..).
- des limites fixées par l'expérimentateur, contraint par ses capacités d'étude.

III.3.2. Structure de la population

Lorsqu'on a cerné la population à étudier, on peut chercher à décrire son état actuel. La population peut être considérée comme un système possédant un certain nombre de caractéristiques, variables suivant les espèces et pouvant changer dans l'espace, le temps.

- **Structure spatiale**

Les individus d'une population peuvent être distribués dans l'espace selon trois modalités principales : uniforme, au hasard ou en agrégats. Le comportement des individus et la structure du milieu règlent la répartition spatiale (Fig. 14).

- La **répartition uniforme** (ou régulière) est rare et réservée à des espèces animales territoriales et à certaines plantes. Elle signifie que les individus ont tendance à se tenir à égale distance les uns des autres. Elle correspond à un évitement maximum des contacts individuels et traduit donc l'importance des relations de **compétition intraspécifique**.
- La **répartition au hasard** (ou aléatoire) existe dans des milieux très homogènes chez les espèces qui n'ont aucune tendance à se grouper.
- La **répartition agrégée** (ou contagieuse) est la plus fréquente. Elle est due à l'hétérogénéité du milieu ou au comportement des individus qui ont tendance à se grouper. Une distribution en agrégats est bien sur adoptée par toutes les espèces grégaires, coloniales ou sociales ainsi que par les plantes à faible dispersion.

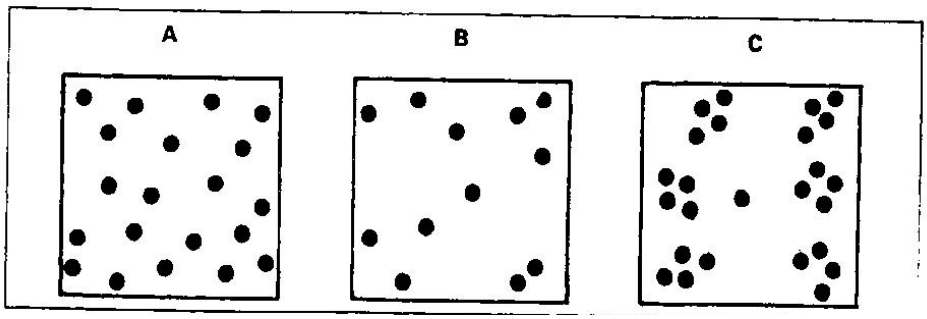
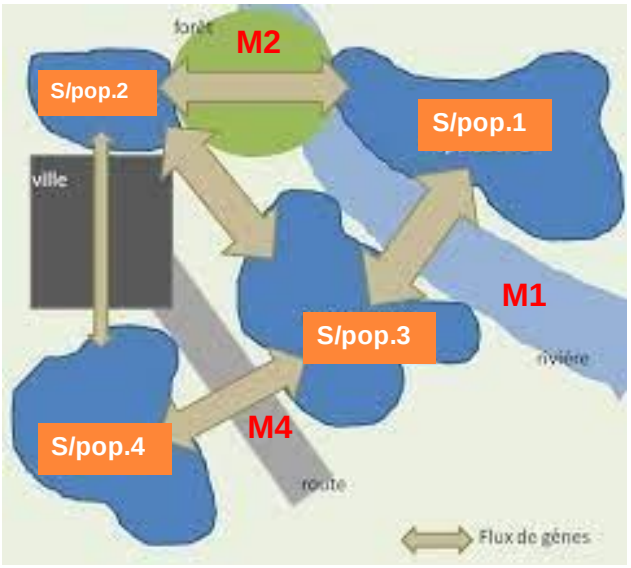


Figure 14. Principaux modes de distribution (individus d'une espèce).
A : Régulier, B : Au hasard, C : Groupé

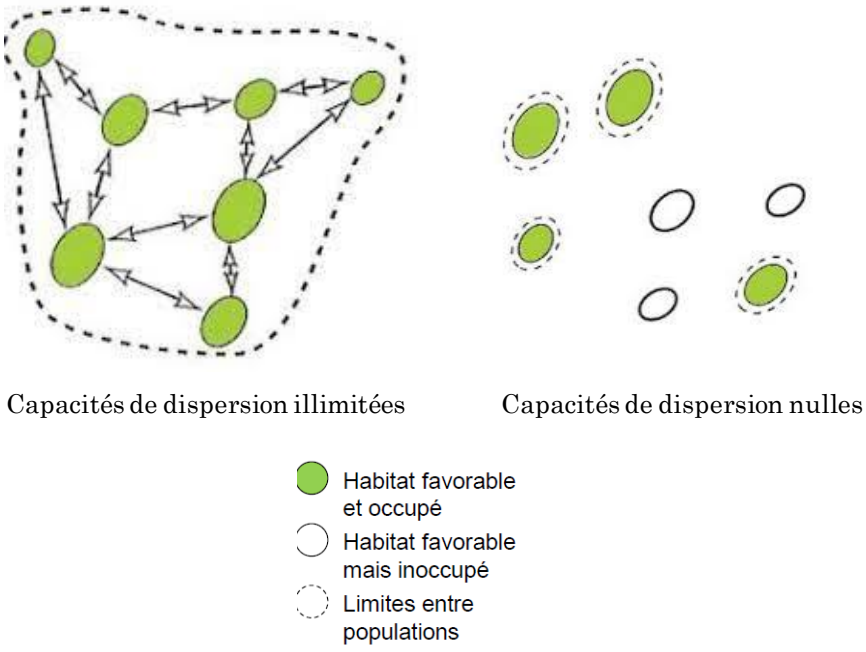
L'aire de distribution géographique est la zone délimitant la répartition géographique d'une espèce. Elle est déterminée par l'ensemble des facteurs écologiques favorables à l'existence des populations de cette espèce. Dans la nature, il existe une hétérogénéité des conditions du milieu. Ces habitats qui réunissent les conditions et ressources favorables à la vie des individus d'une population sont appelés des « taches d'habitat » & « habitat patches ». Les individus d'une population qui vivent dans un patch constituent: Une population locale = sous-population.

Les sous populations ou « patchs » sont séparées par des zones non favorables = matrices. Ces sous-populations sont interconnectées (échange de gènes) les unes aux autres par des mouvements d'individus à travers les matrices (Métapopulations).



Une métapopulation est un ensemble de sous-populations séparées spatialement, et qui interagissent à travers des échanges génétiques par dispersion

Il y a deux principaux types de métapopulation en fonction de la structure spatiale de l'habitat et les capacités de dispersion des organismes :



Capacités de dispersion illimitées

Capacités de dispersion nulles

Parmi les principales variables démographiques, on cite la natalité, qui est la production de jeunes individus par une population et c'est le principal facteur d'accroissement d'une population. Deux types de natalité sont à distinguées :

- Natalité réelle ou écologique : Correspond à la production de jeunes individus dans des conditions d'environnement données (Présence de facteurs limitant = Conditions naturelles).
- Natalité maximale ou physiologique : Correspond à la production de jeunes individus en absence de facteurs limitant (Conditions artificielles). Elle traduit le potentiel biotique de l'espèce considérée.

Le taux de natalité, correspond au rapport du nombre de naissance au cours d'un intervalle de temps donné [année] au nombre total d'individus de la population.

La mortalité en est une autre variable démographique qui affecte différemment les individus de la population. Le taux de mortalité est défini pour chaque classe d'âge considérée :

- La mortalité réelle ou écologique : Correspond à la disparition des individus d'une population dans des conditions d'environnement données: Présence de facteurs limitant (Conditions naturelles)

- La mortalité minimale : Correspond à la disparition des individus d'une population dans des conditions artificielles (absence de facteurs limitant). Elle exprime le taux de mortalité minimale.

Le taux de mortalité : Correspond à la proportion du nombre d'individus morts dans un intervalle donné par rapport à l'effectif totale de la population. Il s'exprime en (‰).

- Tables/courbes de survie :

Une table de survie est la représentation, sous forme d'un tableau, d'un certain nombre de paramètres démographiques des différentes classes d'âge d'une population animale. Ces variables dépendantes de l'âge sont désignées par les symboles suivants:

X= intervalle d'âge exprimé en jours, mois ou années selon la longévité de l'espèce considérée; **lx=** nombre d'individus dénombrés au début de l'intervalle de temps x; **dx**= nombre d'individus morts au cours de cette intervalle et **dx/lx.100=** taux de mortalité au cours de l'intervalle x.

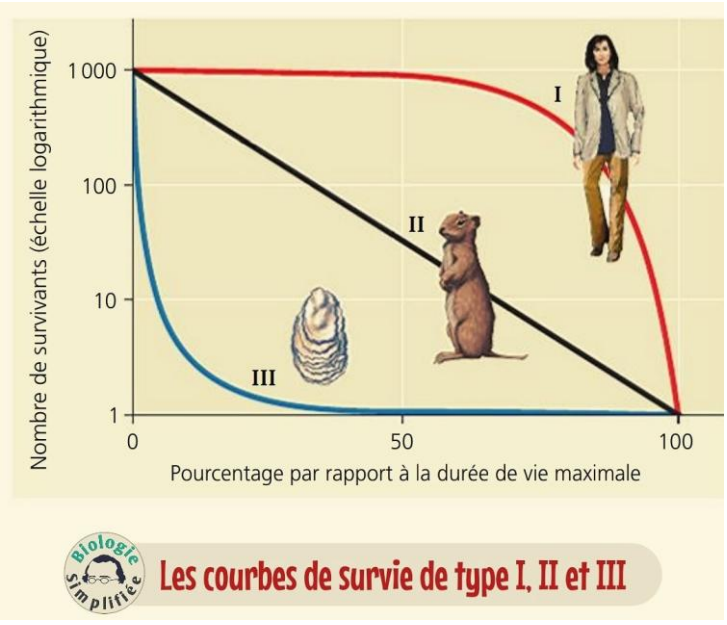
x	lx	Facteurs de mortalité	dx	dx/lx %
Œufs	200	Parasités……10 Autres facteurs……20	30	15
Jeunes larves	170	Dispersion……136	136	80
Larves âgées	34	Parasités……13.6 Maladies……6.8	30.6	90
Chrysalides	3.4	Parasités……0.35 Autres facteurs……0.55	0.90	25
Imago	2.5	Divers……0.55	0.50	20

Exemple d'une table de survie d'une population d'un lépidoptère

La lecture des résultats obtenus à partir de ce table de survie nous permet de conclure que :

- Deux imagos seulement subsistent à partir d'une ponte de 200 œufs.
- Le stade le plus sensible: jeunes larves et larves âgées.
- La mortalité est donc de 99% au cours d'une génération.

Une courbe de survie est une représentation graphique du nombre de survivants d'une cohorte en fonction de l'âge (Cohorte: groupe d'individus du même âge suivi de la naissance jusqu'à la mort). L'effectif initial dont on établit la courbe de survie est fixé arbitrairement à 1000. Pour les espèces à forte mortalité juvénile, on représente le nombre de survivants à un âge donné sous fore logarithmique. 3 principaux types de courbe de survie peuvent être distingués:



- Courbe de survie de type I : Les courbes de type I sont aplaties au départ et s'incurvent brusquement. On observe un faible taux de mortalité des jeunes et un taux de mortalité des individus âgés élevé. Ce type de courbe de survie est celui d'une population qui produit peu de petits mais qui y apporte beaucoup de soins.
- Courbe de survie de type II : Les courbes de type II décroissent de manière constante. Moins fréquentes, ces courbes sont celles des espèces dont le taux de mortalité est fixe au cours de la vie d'une population.
- Courbe de survie de type III : Elle chute fortement au départ puis s'aplatie au niveau d'une valeur faible. On observe un fort taux de mortalité des jeunes et un taux de mortalité faible chez les quelques survivants qui ont passé un âge critique. Ce type de courbe caractérise les populations qui ont une très forte fécondité, mais qui apportent peu ou pas de soins à leurs jeunes.

- **Effectif et densité**

L'effectif d'une population est le nombre d'individus présents dans la population. La densité d'une population est le nombre d'individus qui composent cette population par unité de surface ou de volume.

On peut calculer par exemple la densité de chênes verts par kilomètre carré de foret, ou le nombre de copépodes de telle espèce planctonique par millilitre d'eau de mer.

Effectif et densité sont des caractéristiques cruciales des populations. D'autre part, une certaine taille et densité sont souvent nécessaires pour la mise en place des interactions indispensables à la reproduction, pour acquérir les ressources ou se défendre mais aussi afin de rendre l'environnement abiotique plus favorable (on peut citer la modification des sols par les populations végétales). Surtout, des populations de faible effectif sont plus soumises aux facteurs stochastiques que les grandes populations et présentent en conséquence un risque d'extinction relativement plus important. On peut mesurer et/ou estimer l'effectif d'une population avec différents niveaux de précision.

L'effectif relatif est estimé au travers d'indices qui décrivent une part qui demeure inconnue de la population réelle. Ils permettent en revanche de suivre l'évolution temporelle des effectifs. On peut par exemple compter les traces de pattes dans la neige de mammifères, les pelotes de rejections de rapaces.

L'effectif absolu peut être mesuré soit par comptage direct et exhaustif (pour des organismes fixés comme des plantes), soit par échantillonnage (pour des organismes

mobiles). En particulier pour des animaux mobiles sur de grandes surfaces, on peut utiliser des méthodes de capture/recapture :

Cette méthode est l'une des plus anciennes puisque décrite dès 1896 par PETERSEN pour évaluer les stocks de poissons. Elle consiste en la capture suivie du marquage d'un certain nombre d'individus T, qui seront ensuite libérés. Après un certain temps, on réalise une seconde capture d'un nombre d'individus n parmi lesquels on trouvera t individus marqués (qui ont donc été à nouveau capturés). Dans ces conditions, si N désigne l'estimation de l'effectif total de la population nous aurons N/T = n/t et N= nT/t.

Cette méthode est d'un usage répandu en ornithologie, par la pose de bagues. Elle est aussi employée en entomologie, pour les poissons. Plusieurs conditions sont nécessaires :

- les individus marqués sont supposés se disperser de façon homogène dans l'ensemble de la population et présenter la même probabilité de capture que les individus non marqués.
- Le taux de mortalité doit être identique dans les deux groupes considérés et aucun individu marqué ne doit perdre son marquage;
- La population doit demeurer stable pendant l'intervalle de temps qui sépare les deux séances de capture.

- **Structure interne**

- **Classes d'âge et sex-ratio :**

La structure par âge est une donnée importante de la description des populations. Les différents groupes d'âge ont des capacités de reproduction et des probabilités de mortalité différentes : leur représentation dans la population va donc affecter son devenir.

Suivant le système d'appariement des organismes à reproduction sexuée (monogamie, polygamie,..), Le sex-ratio ou proportion de males et de femelles peut également avoir un effet sur l'accroissement des populations. Selon les espèces, des facteurs génétiques ou environnementaux peuvent modifier la valeur de sex-ratio dans les populations.

Une pyramide des âges représente graphiquement le nombre des individus dans chaque classe d'âge, pour les males et pour les femelles. La figure xx illustre deux grands types de pyramide des âges (fig. 15) :

- un type à base large caractéristique des populations renfermant un nombre élevé de jeunes et ayant une croissance rapide ;

- un type à base étroite renfermant plus d'individus âgés que de jeunes et caractéristique des populations en déclin.

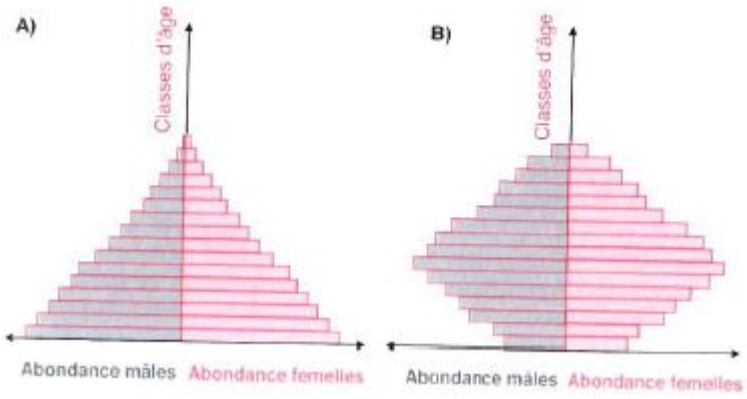


Figure 15. Deux types de pyramides des âges
A) Population à forte croissance, B) Population en déclin

- **Polymorphisme génétique et phénotypique :**

Il existe, pour la plupart des gènes ou des séquences, plusieurs allèles et les individus qui composent les populations sont génétiquement différents. Les caractéristiques phénotypiques des individus, qui résultent de l'expression du génotype modulée par les interactions avec l'environnement, sont donc elles-mêmes différentes.

La variation génétique existante peut résulter de mutations ou de recombinaisons ; elle peut aussi être apportée à une population par des individus provenant d'autres populations de même espèce mais génétiquement différentes. La migration ou la dispersion (échange d'individus ou de propagules entre populations) représente ainsi un mécanisme important de l'évolution au même titre que les mutations, la sélection naturelle ou la dérive génétique.

Echanges entre populations

Une population est une entité biologique très rarement « fermé ». En effet, une espèce est souvent composée d'un réseau de populations qui interagissent entre elles en échangeant des individus ou des propagules (œuf, grains de pollen, graines, spores…) qui maintiennent l'unité génétique de l'ensemble.

On appelle **métapopulation** un réseau de populations de même espèce séparées dans l'espace mais interconnectées par des flux d'individus ou de propagules. Le terme a été proposé par Levins (1969).

La biologie des métapopulations s'est particulièrement développée à partir des années 1980, depuis que l'on a pleinement pris conscience de l'importance de l'hétérogénéité spatiale dans les systèmes écologiques mais aussi des risques accrus d'extinction de

populations et d'espèces. De fait, beaucoup d'espèces sont menacées à l'heure actuelle en raison de la réduction et du morcellement de leur habitat. La capacité des populations à s'adapter à ces changements en migrant entre différents ilots d'habitat peut être cruciale pour garantir la survie de l'espèce. Cette capacité dépend fortement de la biologie (capacité de vol pour des oiseaux ou des insectes), si bien que différentes espèces vont être diversement affectées par le morcellement de leur habitat.

La dispersion et la colonisation continuelle d'habitats libres permettent parfois de prévenir l'extinction à long terme.

Dans une métapopulation, les échanges entre sous-populations peuvent être dissymétriques. Certaines localités au sein d'une aire de répartition peuvent être tellement favorables que le taux de natalité excède le taux de mortalité ; ces localités vont donc servir de « populations sources », produisant un excès d'individus qui vont migrer vers d'autres parties de l'air de répartition. Dans d'autres localités de l'aire de répartition, les conditions environnementales peuvent être telles que le taux de mortalité excède le taux de natalité. Cependant, les populations peuvent ne pas s'y éteindre si elles se comportent comme des « **populations-puits** ». Ces populations puits reçoivent suffisamment d'immigrants pour qu'elles se maintiennent localement. Le fonctionnement en métapopulation permet donc d'élargir l'aire de répartition de l'espèce (**fig.16**)

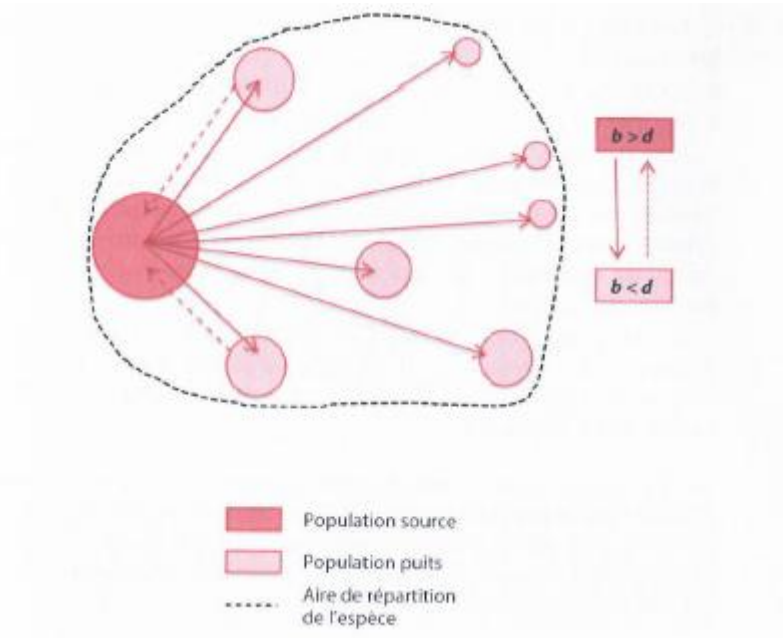
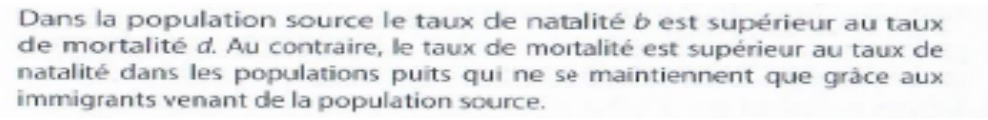


Figure 16 : Représentation schématique de l'aire de répartition d'une espèce avec une population source et plusieurs puits



On comprend maintenant que la dispersion est un processus clé du fonctionnement des métapopulations. Elle a des conséquences majeures sur la structure des populations (effectif, densité, structure génétique) mais aussi sur la répartition de l'espèce et sa survie à long terme.

Les effectifs des populations peuvent croitre, rester stationnaires, fluctuer plus ou moins fortement autour d'une valeur d'équilibre ou bien encore décroitre jusqu'à l'extinction.
La **dynamique des populations** est la discipline qui étudie les fluctuations dans le temps de l'effectif des populations.
Les applications pratiques du suivi de l'effectif des populations sont nombreuses. On peut chercher à suivre ou vouloir contrôler la dynamique d'une espèce invasive ; on peut se demander si telle espèce est surexploitée par les activités de chasse ou pêche ; pour une espèce effectivement menacée, on peut chercher à prédire le temps probable d'extinction de la population d'étude…

III.4. MODELE DE CROISSANCE D'UNE POPULATION

On peut formaliser simplement les variations d'effectifs de la population d'étude, c'est-à-dire exprimer son effectif N_{t+1} à la date t+1 en fonction de son effectif N_t à la date t.
En fonction du nombre absolu d'événements démographiques, entre la saison t et la saison t+1, on observe B_t naissances (de l'anglais *birth*), D_t décès (de l'anglais *death*). I_t immigrants et E_t émigrants. On a alors :

$$N_{t+1} = N_t + I_t + B_t - D_t - E_t$$

et

$$\Delta N = N_{t+1} - N_t = I_t + B_t - D_t - E_t$$

Modèle d'accroissement démographique de Malthus

Supposons une population « fermée », c'est-à-dire ou il n'y a ni émigration ni immigration, on a alors : $\Delta N = B_t - D_t$. Supposons que la population ait des taux de naissance et de mortalité constants, on obtient : $B_t = bN_t$ et $D_t = dN_t$ (*b* et *d* étant les taux de natalité et de mortalité par individu).
En remplaçant dans l'équation introduite plus haut, on obtient :

$$N_{t+1} = N_t(1 - d + b)$$

Ce qui signifie que si l'on introduit $\lambda = 1- d + b$, la population est multipliée par ce facteur entre deux observations :

$$N_{t+1} = \lambda N_t$$

Comme cette relation est valable pour tout temps t, notons que :

$$N_1 = \lambda N_0$$

et comme ce raisonnement peut être étendu indéfiniment ainsi, on a généralement :

$$\text{donc } N_2 = \lambda N_1 = \lambda(\lambda N_0) = \lambda^2 N_0,$$

$$\text{donc } N_3 = \lambda N_2 = \lambda(\lambda^2 N_0) = \lambda^3 N_0$$

$$\boxed{N_t = \lambda^t N_0}$$

Cette formule est importante, car elle montre que le devenir de la population ne dépend que de λ et peut être prédite aisément partant d'une population initiale N_0. Si $\lambda > 1$, la population croît indéfiniment, si $\lambda = 1$, elle est constante, si $\lambda < 1$ la population décroît et finira par disparaître. Une telle dynamique est dite « malthusienne », du nom de son inventeur, Malthus (1798).

Ici, on suppose un processus de croissance en temps discret ; c'est le cas par exemple d'une plante annuelle se reproduisant de façon saisonnière et pour laquelle les augmentations ou diminutions d'effectifs se produisent sur des pas de temps assez importants.

Si on considère en revanche que les processus démographiques se déroulent de façon continue, avec $r = b - d$, on peut poser une équation qui décrit la variation de la population sur un très petit intervalle de temps dt :

$$dN/dt = rN$$

r est nommé taux de croissance par individu ou taux d'accroissement intrinsèque (ou naturel) de la population.

En intégrant, on obtient :

$$N(t) = N(0) \bullet e^{rt}$$

Dans le cas d'une dynamique malthusienne, la population croît de façon exponentielle si $r > 0$, c'est-à-dire si $b > d$. Une croissance exponentielle résulte d'une accélération continue de la courbe dont la pente varie directement en fonction de la taille de la population. Si le taux intrinsèque d'accroissement est négatif ($r < 0$ c'est-à-dire $b < d$) la population décroît et peut s'éteindre

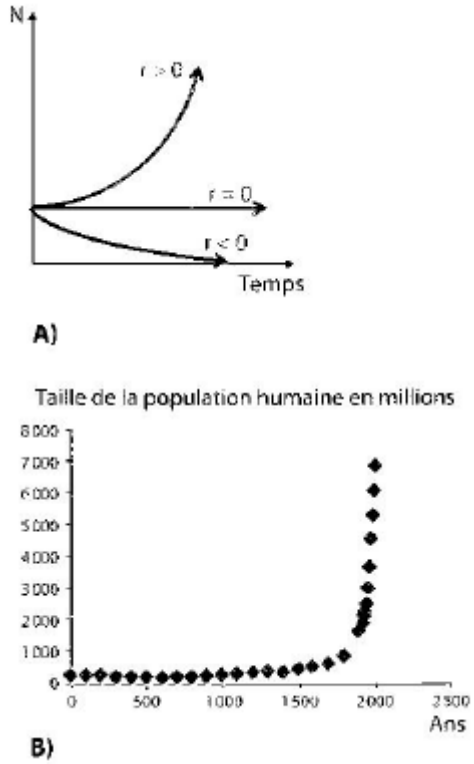


Figure 17 :

A) Variation de l'effectif d'une population (N) pour un r positif, négatif ou égal à 0, en l'absence d'immigration et d'émigration et avec des taux de natalité et mortalité constants. **B)** Un exemple de dynamique Malthusienne avec la population humaine. Elle atteignait 6 milliards en 1999, elle a atteint le cap des 7 milliards fin 2011. L'augmentation de la population tend cependant à ralentir avec une baisse plus ou moins importante du taux de fécondité mondial.

La croissance de la population humaine peut être représentée par un modèle démographique basé sur une croissance exponentielle (Fig.17). Elle représente cependant une exception. Pour la plupart des populations, si r est positif, l'effectif ne croit cependant pas indéfiniment selon un mode exponentiel. Cela ne se produit

généralement que lors de phases de colonisation d'un nouveau milieu lorsque les populations ont de faibles effectifs. Par la suite, des mécanismes viennent limiter la croissance.

Modèle d'accroissement démographique logistique

Le modèle d'accroissement exponentiel précèdent peut être modifié afin d'introduire un terme de régulation dépendant de la densité de la population. Le taux d'accroissement démographique devient alors :

$$R = r\,(1 - N/K)$$

Ce qui implique que la variation de la population au cours du temps peut s'écrire :

$$dN/dt = rN\,(1 - N/K)$$

On voit que *R* est proche de *r* lorsque l'effectif N est petit devant *K* ; mais lorsque la population s'approche de *K*, la **compétition** pour les ressources entre les individus augmente et *R* diminue. Si la limite est dépassée, c'est-à-dire si $N>K$ alors *R* est négatif, la population diminue jusqu'à ce que *N* se rapproche de *K*. On doit ainsi converger vers l'équilibre $N = K$. Ce modèle a été proposé par le démographe Pierre François Verhulst en 1845.

On voit sur la figure 18 que ce modèle dit « d'accroissement démographique logistique », est caractérisé par une courbe croissante asymptotique en forme de S, appelée sigmoïde. K est nommé capacité limite du milieu et représente le nombre maximal d'individus que peut supporter le milieu. C'est une propriété du milieu, pour une certaine population, qui varie dans le temps et dans l'espace, en fonction de l'abondance des ressources.

Des études dans des populations naturelles ou expérimentales révèlent des courbes d'accroissement logistique, montrant qu'il existe bien des effets dépendant de la densité dans la croissance des populations, la densité pouvant exercer une rétroaction négative sur le taux de croissance.

On observe aussi parfois des fluctuations d'effectifs plus ou moins fortes autour de l'équilibre K (Fig. 18; 19). Ces fluctuations ne sont cependant pas possibles sous l'hypothèse d'une croissance logistique telle que décrite précédemment. Pour les expliquer, il faudrait introduire d'autres modèles de croissance dépendant de la densité.

Si les fluctuations autour de l'équilibre sont d'amplitude modeste relativement aux capacités d'accroissement de la population, celle-ci est stable et a peu de chance de s'éteindre. Mais un accroissement de r du à une amélioration des conditions de l'environnement peut paradoxalement déstabiliser le système. Un exemple en est donné par la dynamique du criquet pèlerin en Afrique, qui lorsque les conditions sont favorables à sa reproduction (r fort après une période de pluie) peut présenter des signes de dynamique chaotique.

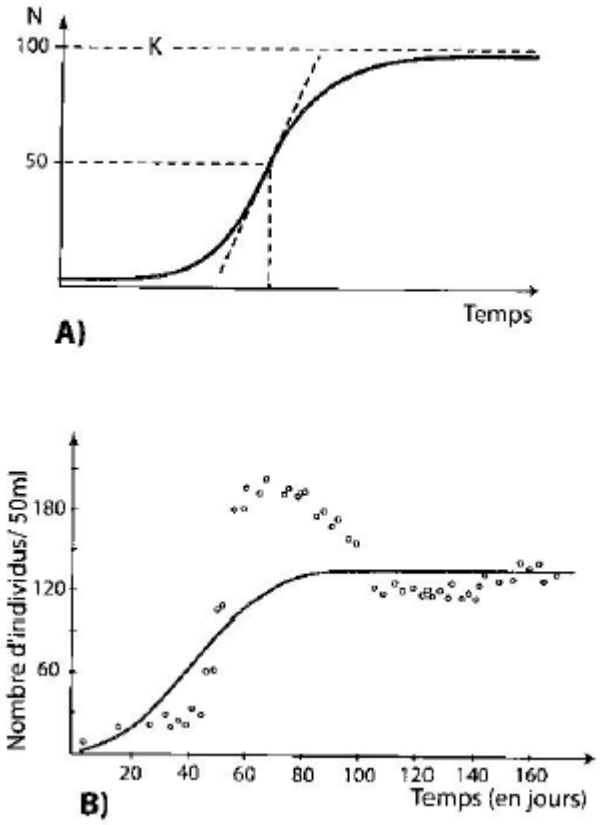


Figure 18 :

A) Variation d'effectif d'une population selon un modèle d'accroissement démographique logistique. Le taux d'accroissement *R* devient nul lorsque l'effectif de la population atteint la densité d'équilibre ou capacité limite du milieu *K* (ici *K* = 1 000 individus). Il est maximal pour une valeur de *N* égale à *K*/2 (ici *K*/2 = 500). **B)** Accroissement d'une population de *Daphnia* (Crustacés). Dans une petite culture la croissance de la population de daphnies est à peu près conforme au modèle logistique. Toutefois cette population s'est accrue si rapidement qu'elle a

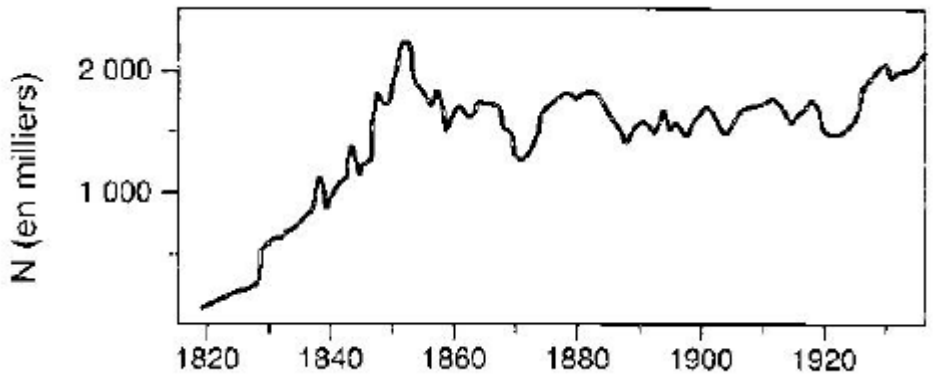


Figure.**19** : Augmentation et stabilisation des effectifs de moutons après leur introduction en Tasmanie au début du XIX² siècle

On peut observer sur ce graphe que les effectifs varient autour d'une valeur d'équilibre (environ 2 millions). En moyenne cette courbe suit une croissance logistique. D'après Davidson, 1938.

III.5. LES INTERACTIONS ENTRE ESPECES

Introduction :

De même qu'il existe au sein de chaque population des interactions (de compétition ou de coopération) entre les individus qui la composent, les différentes populations qui se côtoient dans un même écosystème ont entre elles, ou peuvent avoir, des interactions susceptibles de modifier leur dynamique et d'orienter leur évolution. De telles interactions joueraient ainsi un rôle important dans l'organisation, la dynamique et l'évolution des systèmes plurispécifiques, peuplements ou écosystèmes.

Les interactions s'exercent d'abord entre des individus mais elles impliquent aussi les populations dans leur ensemble, soit par leurs effets, soit par leurs modes d'actions.

Ainsi, la compétition interspécifique entre deux populations, qui peut mettre en jeu des phénomènes d'exclusion spatiale ou d'interaction chimique entre individus, consiste plus largement en une coaction entre les deux populations: ses effets dépendent non seulement des propriétés des individus en tant que tels mais aussi de la densité et de la structure des populations en présence ainsi que de caractéristiques de l'environnement.

Les coactions interspécifiques sont traditionnellement classées, d'un point de vue théorique, selon que leurs effets sur les individus et populations concernés sont négatifs, neutres ou positifs. Il y a quatre grands types d'interactions :

- La compétition interspécifique (coactions potentiellement négatives dans les deux sens).
- La prédation sensu lato (coactions « mangeur-mangé », positives pour le premier, négatives pour le second).
- Les relations hôtes-parasites.

- La coopération (coactions positives dans les deux sens).

Il existe deux types de mécanismes qui stabilisent l'effectif de la population, à savoir :
- les mécanismes internes et
- les mécanismes externes.

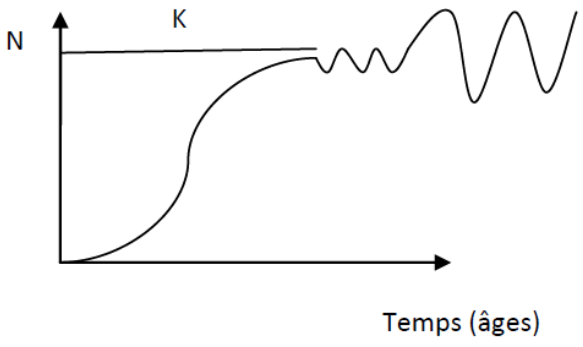
III.5.1. Mécanismes internes

Les mécanismes internes sont des mécanismes dépendant de la densité de la population et sont représentés par les effets de la compétition intra spécifique.
Cette dernière peut agir seule ou en association avec d'autres processus biologiques tels que la prédation, le parasitisme, etc.

III.5.2. Mécanismes externes

Les mécanismes externes sont des mécanismes non dépendant de la densité de la population (sont donc externes à la population) et sont représentés par les actions des facteurs climatiques, des facteurs biotiques tels que la prédation, le parasitisme, et des facteurs chimiques (exemple les composés chimiques), etc.
Généralement, les facteurs biotiques sont des agents de lutte contre la population.

La Fluctuation: l'oscillation de grandes amplitudes de l'effectif de cette population autour de la valeur moyenne d'équilibre en fonction du temps. Elle est une variation prévisible (Fig. 20)



Il existe trois types de fluctuation, à savoir :
- la fluctuation saisonnière, la fluctuation annuelle et la fluctuation séculaire.

1/ Fluctuation saisonnière

La fluctuation saisonnière est une fluctuation qui se produit en fonction des saisons.

2/ Fluctuation annuelle

La fluctuation annuelle est une fluctuation qui se produit après chaque année.

Fluctuation séculaire

La fluctuation séculaire est une fluctuation qui se produit après plusieurs années consécutives.

Il existe deux types de mécanismes de fluctuation de la population, à savoir :

- les mécanismes intrinsèques (internes) et
- les mécanismes extrinsèques (externes).

Mécanismes intrinsèques

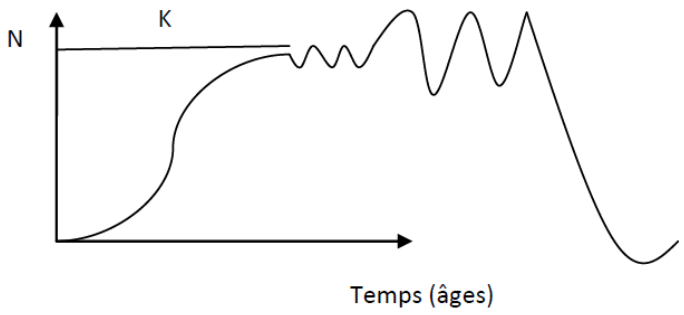
Les mécanismes intrinsèques sont des mécanismes internes à la population et sont représentés par les actions de la compétition intra spécifique.

Mécanismes extrinsèques

Les mécanismes extrinsèques sont des mécanismes externes à la population.

Ils sont représentés par les actions exogènes tels que les parasites, les prédateurs, les variations des ressources, la compétition interspécifique, les facteurs climatiques dont la température, l'humidité et la pluviosité.

La Décroissance : diminution d'effectif de la population en fonction du temps; Elle peut aboutir à l'extinction de la population si les mesures nécessaires ne sont pas prises ou les conditions naturelles du milieu ne s'améliorent pas (Fig. 21)



Il existe des facteurs causant la décroissance de la population.

Il s'agit de :

- Transformation des milieux soit naturellement par le fait de feed back (rétroaction) de la population sur l'environnement, soit artificiellement par le fait de déboisement, des techniques inadaptées, du morcellement du milieu, bref par les activités humaines.
- Isolement et la petitesse des milieux habitables par la population: c'est le cas, par exemple, de petites îles.
- interactions compétitives intra spécifiques élevées.
- phénomènes historiques des extinctions des organismes.
- exploitation abusive de la population pour sa valeur scientifique, sa chair, ses trophées et autres valeurs.

FACTEURS BIOTIQUES

De même qu'il existe au sein de chaque population des interactions (de compétition ou de coopération) entre les individus qui la composent, les différentes populations qui se côtoient dans un même écosystème ont entre elles, ou peuvent avoir, des interactions susceptibles de modifier leur dynamique et d'orienter leur évolution. De telles interactions joueraient ainsi un rôle important dans l'organisation, la dynamique et l'évolution des systèmes plurispécifiques, peuplements ou écosystèmes.

Les interactions s'exercent d'abord entre des individus mais elles impliquent aussi les populations dans leur ensemble, soit par leurs effets, soit par leurs modes d'actions.

Ainsi, la compétition interspécifique entre deux populations, qui peut mettre en jeu des phénomènes d'exclusion spatiale ou d'interaction chimique entre individus, consiste plus largement en une coaction entre les deux populations: ses effets dépendent non seulement des propriétés des individus en tant que tels mais aussi de la densité et de la structure des populations en présence ainsi que des caractéristiques de l'environnement.

Les coactions interspécifiques sont traditionnellement classées, d'un point de vue théorique, selon que leurs effets sur les individus et populations concernés sont négatifs, neutres ou positifs.

On étudiera ici quatre grands types d'interactions :

La compétition interspécifique (coactions potentiellement négatives dans les deux sens) ;

La prédation sensu lato (coactions « mangeur-mangé », positives pour le premier, négatives pour le second) ;

Les relations hôtes-parasites ;
La coopération (coactions positives dans les deux sens).

Les facteurs biotiques sont l'ensemble des actions que les organismes vivants exercent directement les uns sur les autres. Ces interactions, appelées coactions, sont de deux types :

- Homotypiques ou intraspécifiques, lorsqu'elles se produisent entre individus de la même espèce.
- Hétérotypiques ou interspécifiques, lorsqu'elles ont lieu entre individus d'espèces différentes.

Coactions homotypiques

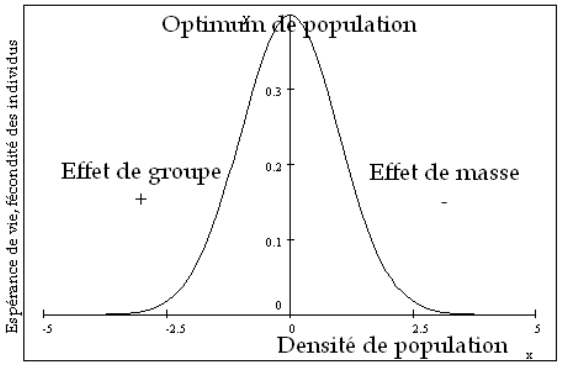
- **L'effet de groupe**

On parle d'effet de groupe lorsque des modifications ont lieu chez des animaux de la même espèce, quand ils sont groupés par deux ou plus de deux. L'effet de groupe est connu chez de nombreuses espèces d'insectes ou de vertébrés, qui ne peuvent se reproduire normalement et survivre que lorsqu'elles sont représentées par des populations assez nombreuses.

Exemple : On estime qu'un troupeau d'éléphants d'Afrique doit renfermer au moins 25 individus pour pouvoir survivre: la lutte contre les ennemis et la recherche de la nourriture sont facilitées par la vie en commun. Le criquet migrateur est un autre exemple

- **L'effet de masse**

A l'inverse de l'effet de groupe, l'effet de masse se produit, quand le milieu, souvent surpeuplé, provoque une compétition sévère aux conséquences néfastes pour les individus. Les effets néfastes de ces compétitions ont des conséquences sur le métabolisme et la physiologie des individus qui se traduisent par des perturbations, comme la baisse du taux de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité. Chez certains organismes, le surpeuplement entraine des phénomènes appelés phénomènes d'auto élimination (Fig. 22)



- **La compétition intraspécifique**

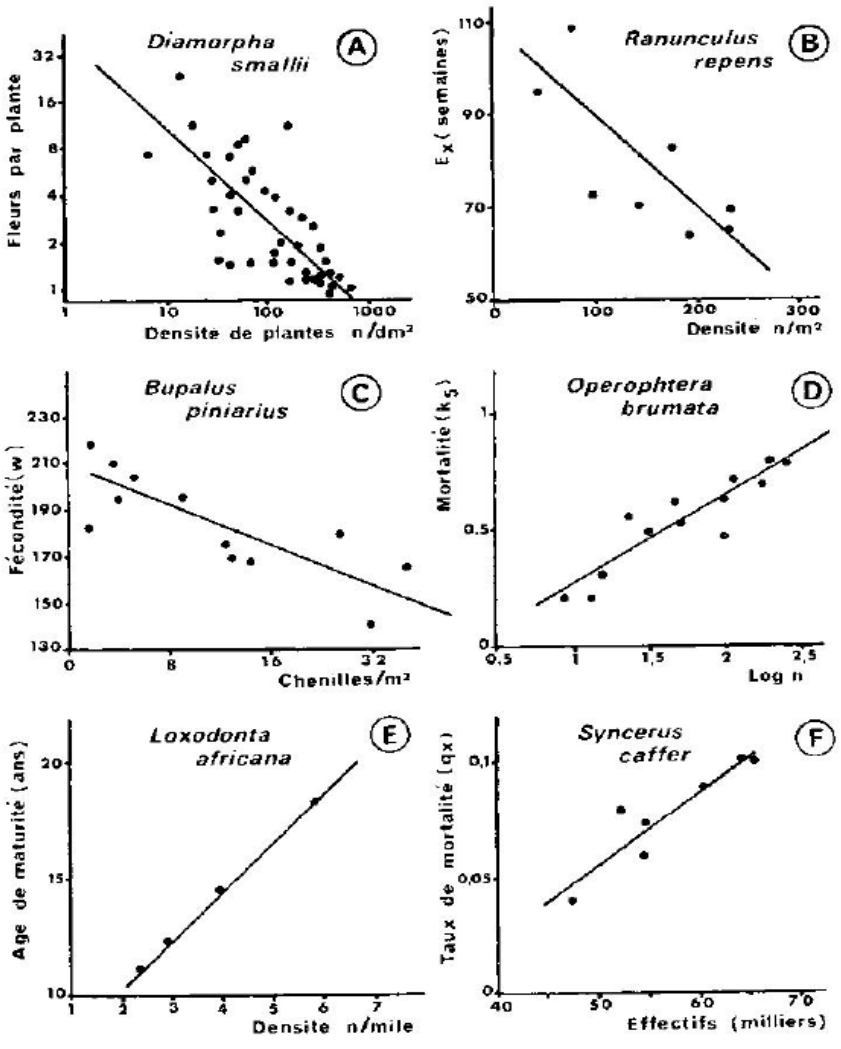
Ce type de compétition peut intervenir pour de très faibles densités de population, et se manifeste de façons très diverses :

Apparaît dans les comportements territoriaux, c'est-à-dire lorsque l'animal défend une certaine surface contre les incursions des autres individus.

Le maintien d'une hiérarchie sociale avec des individus dominants et des individus dominés.

La compétition alimentaire entre individus de la même espèce est intense quand la densité de la population devient élevée. Sa conséquence la plus fréquente est la baisse du taux de croissance des populations.

Chez les



végétaux, la compétition intraspécifique, liée aux fortes densités se fait surtout pour l'eau et la lumière. Elle a pour conséquence une diminution du nombre de graines formées et/ou une mortalité importante qui réduit fortement les effectifs.

Figure 23. Quelques exemples d'effets de la densité sur les variables démographiques dans diverses populations naturelles.

A) Baisse de la production de fleurs chez une crassulacée annuelle.
B) Baisse de l'espérance de vie des propagules végétatives chez un bouton d'or.
C) Baisse de la fécondité chez un papillon du pin.
D) Accroissement de la mortalité au stade chrysalide (due à la prédation) chez le cheimatobie hiémale.
E) Elévation de l'âge à la maturité chez l'éléphant d'Afrique.
F) Accroissement du taux de mortalité des adultes chez le buffle africain.

Coactions hétérotypiques

La cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'entre elles une influence nulle, favorable ou défavorable.

Le neutralisme

On parle de neutralisme lorsque les deux espèces sont indépendantes : elles cohabitent sans avoir aucune influence l'une sur l'autre.

La compétition interspécifique

La compétition interspécifique peut être définit comme étant la recherche active, par les membres de deux ou plusieurs espèces, d'une même ressource du milieu (nourriture, abri, lieu de ponte, etc…).

Dans la compétition interspécifique, chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. La compétition est d'autant plus grande entre deux espèces qu'elles sont plus voisines.

Cependant, deux espèces ayant exactement les mêmes besoins ne peuvent cohabiter, l'une d'elle étant forcément éliminée au bout d'un certain temps. C'est le principe de Gausse ou principe d'exclusion compétitive (Fig. 24).

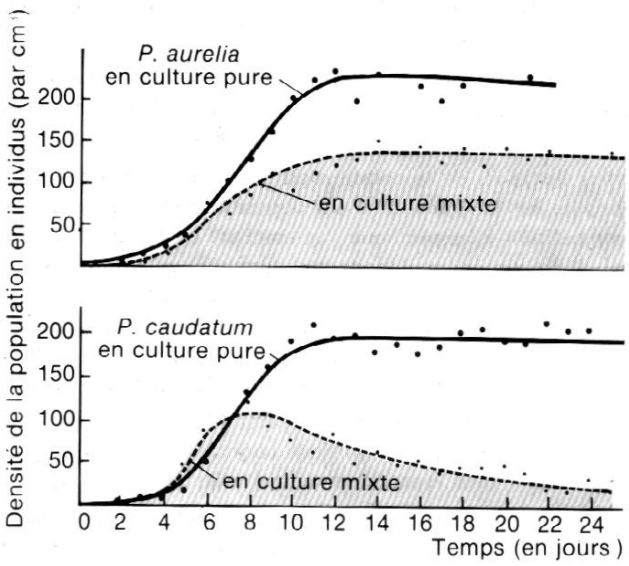


Figure 24. Expériences historiques de Gausse. Elles mettent en valeur l'influence de la compétition interspécifique chez deux espèces de paramécies et présentent le principe d'exclusion réciproque.

La prédation

Dans l'acceptation la plus large du terme la prédation est le fait de se nourrir d'autres organismes vivants. En ce sens sont considérés comme prédateurs la totalité des animaux non détritivores : herbivores, carnivores et parasites.

Capables de modifier directement la productivité des populations dont ils se nourrissent, le prédateur sensu lato s'opposent évidemment aux décomposeurs ou saprophages qui n'ont pas cette possibilité, sauf très indirectement, par leur action sur le recyclage des

éléments. Aussi, quoique les relations entre herbivores, carnivores ou parasites d'une part et leurs nourritures d'autre part puissent être très différentes, il existe néanmoins nombre de points communs dans la dynamique de ces différents types de prédation qui justifient, dans un premier temps, une approche indifférenciée du phénomène prédation sensu lato. Dans un second temps, toutefois, les particularités propres au parasitisme puis à la dynamique du système herbivores-plante seront brièvement examinées.

La prédation est un mécanisme dont tout organisme libre qui se nourrit aux dépend d'un autre. Un prédateur tue sa proie pour la manger. Les prédateurs peuvent être polyphages (s'attaquant à un grand nombre d'espèces), oligophages (se nourrissant de quelques espèces), ou monophages (ne subsistant qu'au dépend d'une seule espèce). (Fig.25).

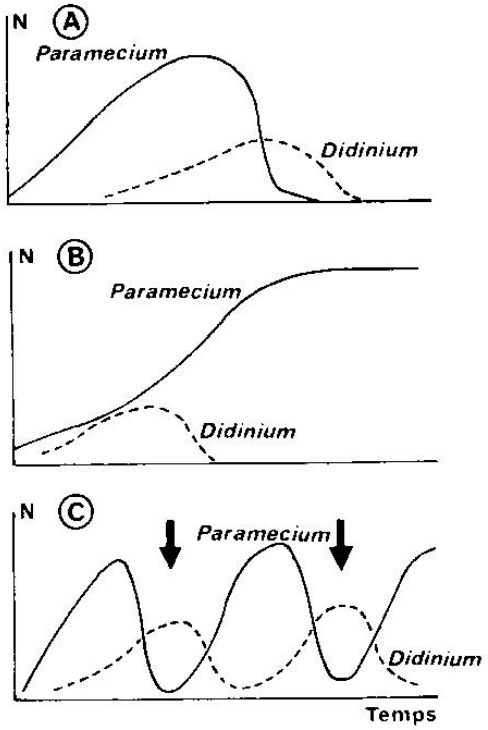


Figure 25. Dynamique du système *Didinium* (prédateur)/*Paramecium* (proie) en laboratoire (d'après Gausse, 1934).

En milieu homogène, sans immigration de nouvelles proies, les prédateur consomment toutes leurs proies puis meurent.

En milieu hétérogène ménageant un refuge pour les proies, les prédateurs meurent d'inanition ;

En milieu homogène avec immigration périodique de proies les des espèces peuvent coexister en présentant des oscillations périodiques décalées de leurs effectifs.

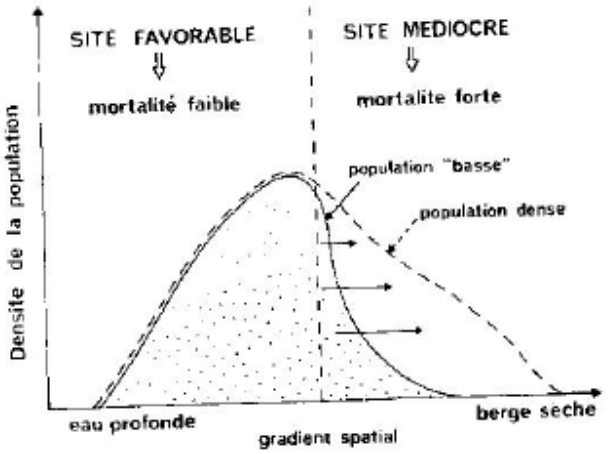


Figure 26. Représentation schématique de l'hypothèse d'Errigton sur la régulation des populations de rats musqués (d'après Price, 1975).

Le trait plein indique la distribution des individus lors des années de faible abondance. Quand la population croit, de nombreux individus occupent la frange défavorable du milieu ou ils sont exposés à des risques de mortalité élevés.

Le parasitisme

Les interactions mangeurs-mangés ne sont pas impunément réductibles au modèle du prédateur carnivore et de ses nombreuses proies souvent d'espèces différentes. L'évolution du mode de vie parasitaire est l'une des constantes les plus frappantes de l'histoire de la vie. Toute espèce est soit un parasite, soit l'hôte de parasites variés.

Particularités des relations hôte-parasite

Le parasite est un organisme qui ne mène pas une vie libre: il est au moins, à un stade de son développement, lié à la surface (ectoparasite) ou à l'intérieur (endoparasite) de son hôte.

On peut considérer le parasitisme comme un cas particulier de la prédation. Cependant, le parasite n'est pas vraiment un prédateur car il n'a pas pour but de tuer l'hôte. Le parasite doit s'adapter pour rencontrer l'hôte et survivre au détriment de ce dernier. L'hôte doit s'adapter pour ne pas rencontrer le parasite et s'en débarrasser si la rencontre a eu lieu. Tout comme les prédateurs, les parasites peuvent être polyphages, oligophages ou monophages.

Coopération :

A cote des interactions à tonalité négative que nous venons de voir, il existe aussi des coactions à tonalité positive, soit pour les deux espèces (mutualisme et symbiose), soit pour l'une d'entre elles, l'autre ne souffrant pas (commensalisme).

Le commensalisme

Interaction entre une espèce, dite commensale, qui en tire profit de l'association et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Les deux espèces exercent l'une sur l'autre des coactions de tolérance réciproque.

Exemple : Les animaux qui s'installent et qui sont tolérés dans les gîtes des autres espèces.

Le mutualisme

C'est une interaction dans laquelle les deux partenaires trouvent un avantage, celui-ci pouvant être la protection contre les ennemis, la dispersion, la pollinisation, l'apport de nutriments…

Exemples : Les graines des arbres doivent être dispersées au loin pour survivre et germer. Cette dispersion est l'œuvre d'oiseaux, de singes…qui en tirent profit de l'arbre (alimentation, abri…). La pollinisation est un autre exemple de mutualisme (entre autres).

Symbiose

La symbiose constitue la forme la plus évoluée des associations entre espèces. Elle présente un caractère obligatoire pour les organismes qui la pratiquent et se traduit par un bénéfice réciproque.

Exemples:

- les micro-organismes fixateurs d'azote (Bactéries du genre Rhizobium en liaison avec les nodosités radiculaires des racines de légumineuses);
- mycorhizes : association entre un champignon et une racine. le champignon profite des substances élaborées par l'arbre tout en conférant à celui-ci une meilleure alimentation minérale. Cette relation est très importante en forêt; la reprise de certains plants étant meilleure suite à l'inoculation du champignon;
- lichens : association entre une algue et un champignon;

- protozoaires qui vivent dans la panse des ruminants, dans l'intestin de certains insectes (dégradation de la lignine par les termites);
- fécondation des orchidées par une espèce donnée d'hyménoptère.

IV. LES ECOSYSTEMES FORESTIERS (PHYTOGEOGRAPHIE) DU MAROC

Introduction

Le Maroc, pays de la rive sud de la Méditerranée et zone de contact entre milieux écologiques différents, de l'humide montagneux au Saharien, s'étend sur 710 000 km². Par contre, l'accroissement démographique a eu comme premier impact l'accentuation de la pression sur les ressources: eau, sol, ressources végétales et animales. Malgré la réduction du rythme d'accroissement, la pression n'a pas diminué pour autant. La sécheresse cyclique a d'ailleurs accusé le déficit de ces ressources et accéléré le processus de dégradation. Or, le Maroc, pays de transition bioclimatique et écologique, possède des ressources fragiles, menacées de dégradation rapide, en cas de sur prélèvement. Les sols sont très vulnérables et largement soumis à l'érosion. La forêt est en recul rapide; les espaces steppiques sont menacés par la désertification, les côtes sont érodées ou sur occupées, les ressources de la mer en raréfaction, des biotopes précieux sont constamment et irrémédiablement perdues. Des catastrophes naturelles menacent le territoire, alors que la planification à long terme pour y remédier et les plans d'urgence de sauvegarde est rarement conçus ou mis en place.

IV.1. Les écosystèmes au Maroc: une diversité de paysages

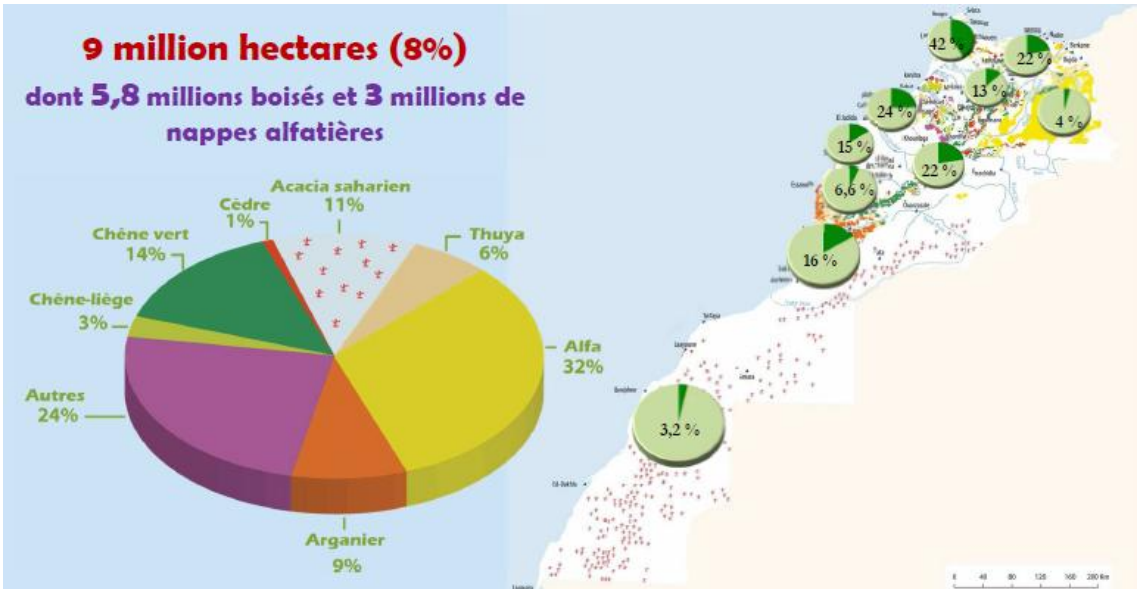
Les écosystèmes du Maroc se caractérisent par :

- Une diversité biogéographique
    - Une situation géographique particulière
    - Un climat varié résultant des effets conjugués des influences océaniques, méditerranéennes et sahariennes
    - Un relief diversifié caractérisé par les massifs montagneux, les plaines littorales et les plateaux.
- Une diversité éco-systémique
    - Écosystèmes terrestres:
        − Écosystèmes forestiers, préforestiers et steppiques-
        − Écosystèmes sahariens
        − Agroécosystèmes □
    - Écosystèmes des eaux continentales: Cours d'eau, Daya permanentes et temporaires, lacs, sources, grottes…
    - Écosystèmes marins et côtiers: Côtes, Lagunes (écosystèmes paralique)

- Au niveau du bassin méditerranéen, la biodiversité au Maroc occupe la seconde place: plus de 24.000 espèces animales et 7.000 espèces végétales et un taux d'endémisme de 20%.
- Grande variété bioclimatique et diversité d'écosystèmes: 30 zones biogéographiques et 39 écosystèmes terrestres dont 30 écosystèmes forestiers.

IV.2. La forêt marocaine: une mosaïque d'écosystèmes

La forêt Marocaine se caractérise par une grande diversité dans la composition des écosystèmes avec des taux de boisement qui varient d'une région à une autre : 42% dans le Rif, 22% au Moyen Atlas et 3% dans les régions du Sud.



IV.3. ECOREGIONS DU MAROC

Les espèces dominantes des écosystèmes des écorégions Méditerranéennes:

• Forêts humides: *Abies maroccana*, *Cedrus atlantica*, *Quercus faginea*, *Q. pyrenaica*

• Forêts sclérophylles: *Q. rotundifolia*, *Q. suber*, *Q. coccifera*, *Olea europaea*, *Tetraclinis articulata*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis* et *P. pinaster*

• Steppes et formations arborées présteppiques: *Pistacia atlantica*, *J. phoenicea*, *Stipa tenacissima*.

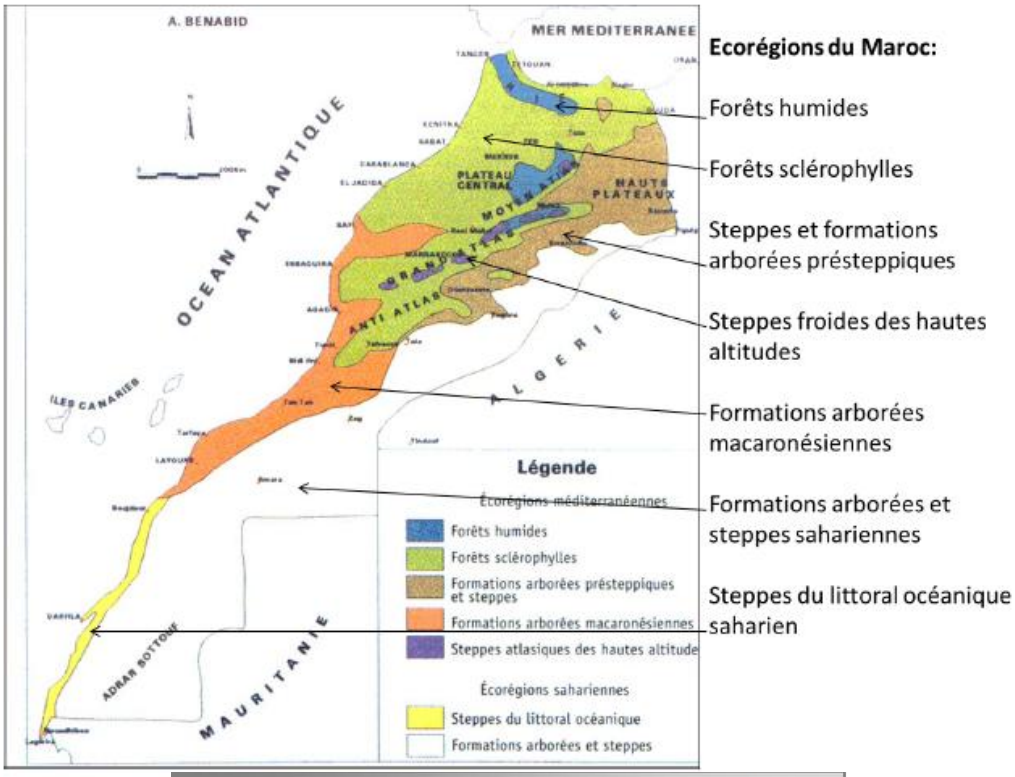
• Steppes froides des hautes altitudes: *Erinacea anthyllis*, *Astragalus boissieri*, *A. numidicus*, *Arenaria pungens*.

• Formations arborées macaronésiennes: *Argania spinosa*, *Acacia gummifera*, *A. raddiana*, *A. ehrenbergina*, *Rhus tripartita*.

Les espèces dominantes des écosystèmes des écorégions Sahariennes

• Littoral atlantique: *A. raddiana*, *Rhus tripartita*.

• Formations arborées et steppes sahariennes: *A. raddiana*, *A. ehrenbergina*, *Balanites aegyptiaca*, *Capparis decidua*, *Maerua crassifolia*, *Tamarix articulata*.



Encadré 1 - Types d'écosystème forestier dominant au Maroc

I. DOMAINE MEDITERRANEEN

1.1. Forêts de chênes sclérophylles : *chêne vert, chêne liège, chêne kermès ;*
1.2. Forêts décidues de chênes méditerranéens : *chêne zeen, chêne tauzin chêne des Canaries ;*
1.3. Forêts méditerranéennes de conifères :
- **Forêts de pins** : *Pins d' Halep, P. maritime, P .noir, P .pignon, etc.,*
- **Forêts de thuya et de cyprès :** thuya de berbérie, cyprès de l'Atlas,
- **Forêts de genévriers** : *genévrier de Phénicie, genévrier oxycèdre, genévrier commun, genévrier thurifère,*
- **Forêts de cèdre** : *cèdre de l'Atlas,*
- **Forêts de sapin** : *sapin du Maroc ;*

1.4. Formation arborée de l'Oléastre -lentisque : *olivier sauvage, pistachier de l'Atlas, caroubier,* filaires ;
1.5. Formations arbustives et buissonnantes : *Formation de haute montagne à arbustes, xérophytes épineux, maquis et garrigues méditerranéens;*

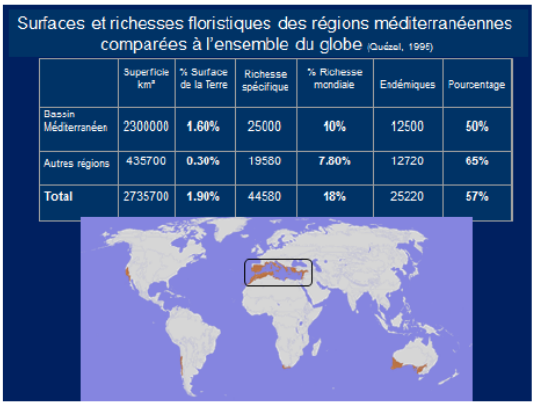
II. DOMAINE SUB MEDITERRANEEN

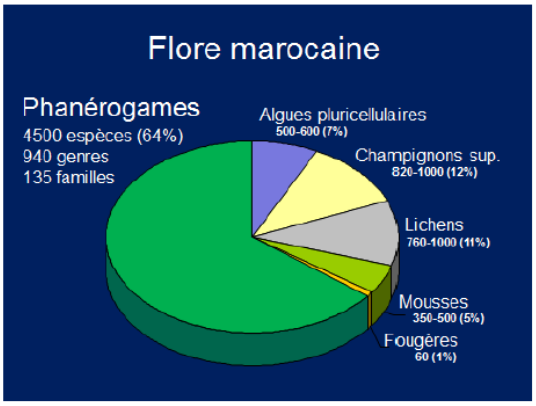
2.1. Formations arbustives d'arganier : *Arganier,*
2.2. Formations arbustives d'acacia : Acacia gommier, jujubier, pistachier de l'Atlas,
2.3. Formations steppiques : Alfa, armoise…

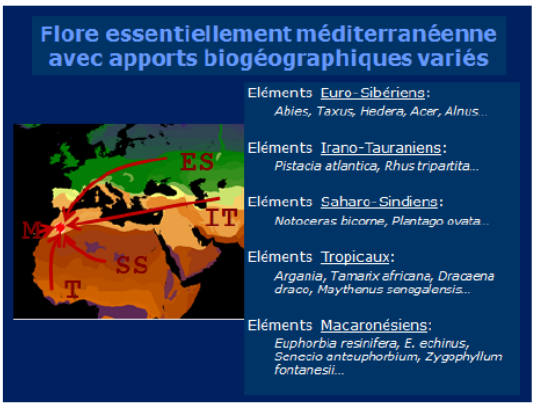
III. DOMAINE SAHARIEN : Acacias sahariens, *Maerua crassifolia, Balanites egyptiaca, Rhus tripartitum ; Tamarix sp.*

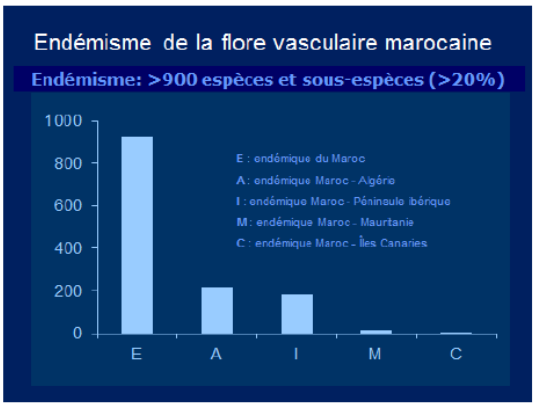
IV.4.

BIODIVERSITE FLORISTIQUE DU MAROC





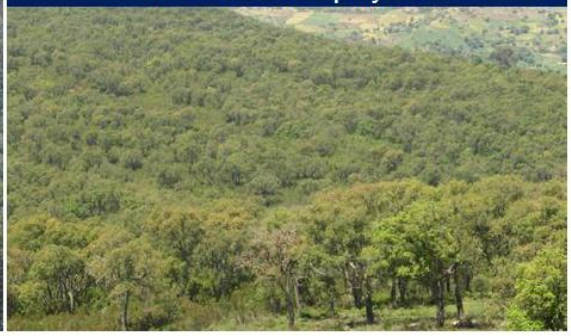




IV.5. STRUCTURES DE VEGETATION

Forêt de conifères

Forêt sclérophylle



Matorral

Garrigue

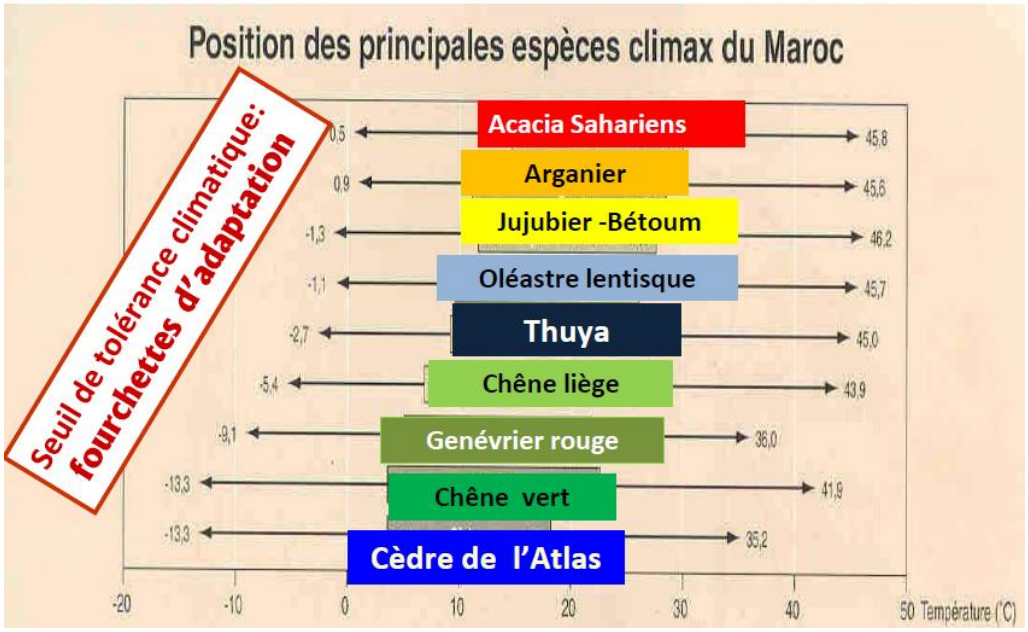
Pelouse

Prairie

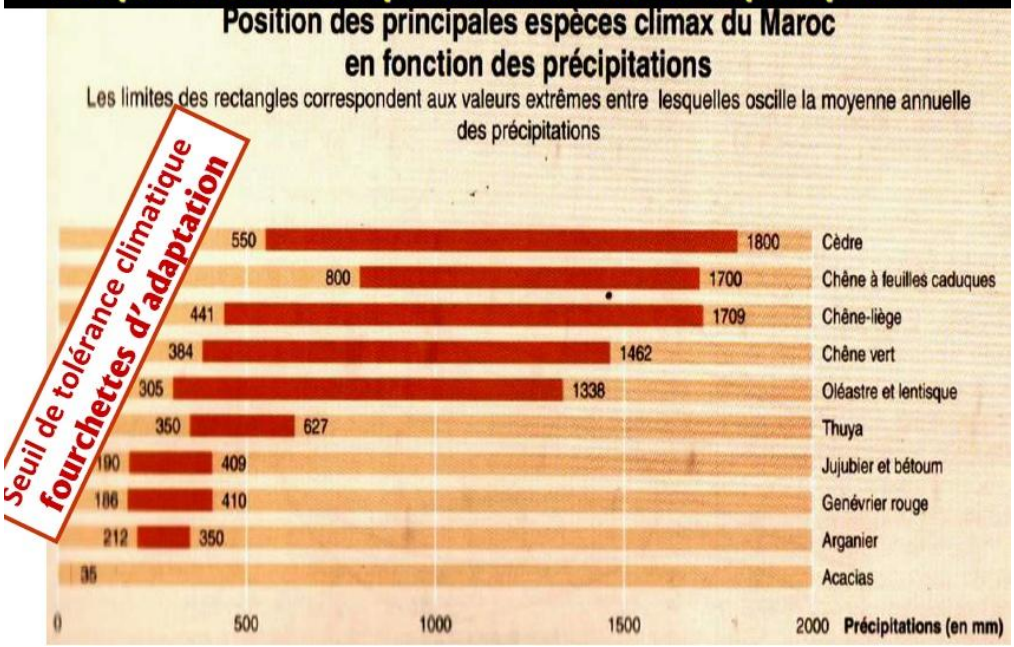
Steppes

Steppe à xérophytes épineux

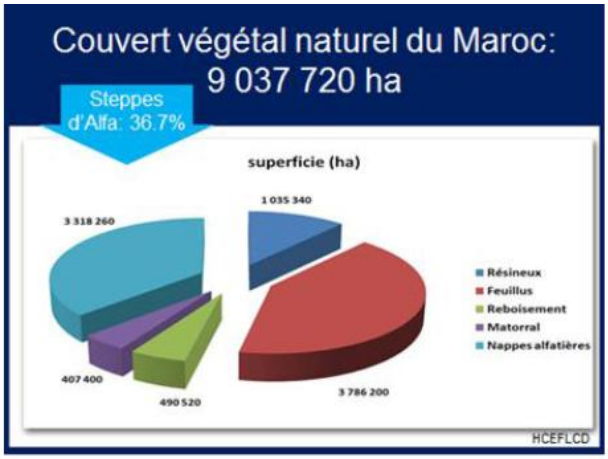
Tempérament des espèces en fonction de la température

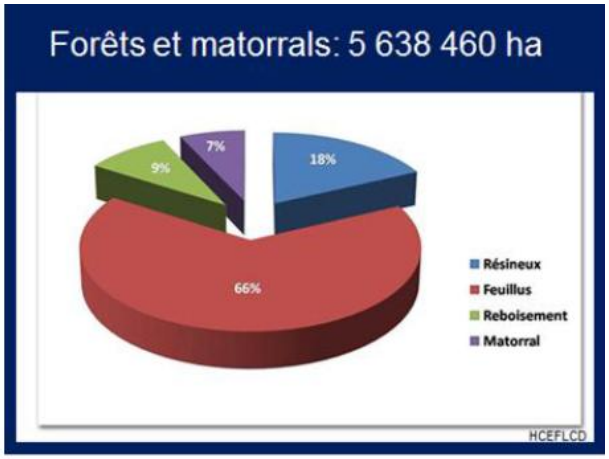


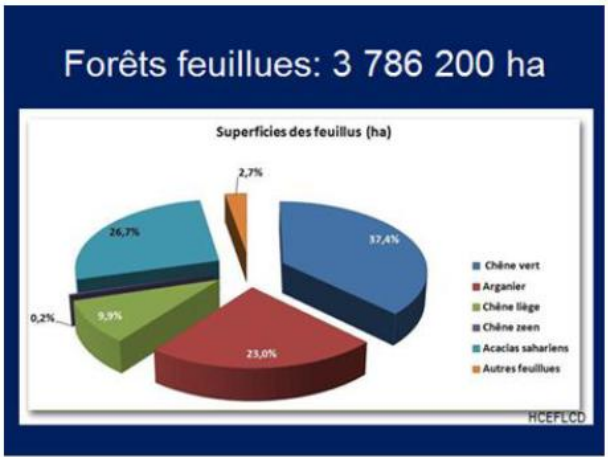
Tempérament des espèces en fonction des précipitations



- **COUVERT NATUREL DU MAROC**







IV.6. ECOSYSTEMES SPECIALISES :

Ecosystèmes dunaires :

- maritimes (*Ammophila arenaria*, *Juniperus turbinata*)
- continentales (*Calligonum comosum*, *Sporolobus pungens*)

Ecosystèmes des zones humides :

- Ripisylves (*Fraxinus angustifolia*, *Populus sp*, *Salix sp*, *Tamarix sp*)
- Bord de l'eau des lacs, merjas, lagunes, estuaires, tourbières (végétation herbacée,)
- Ecosystèmes à halophytes : sebkhas, merjas, lagunes, estuaires (*Chenopodiaceae*,)

IV.7. SERVICES ET BENEFICES FOURNIS PAR LES ECOSYSTEMES

Services de régulation **Bénéfices tirés de la régulation des processus des écosystèmes**	**Services de soutien** **Services qui maintiennent les conditions de vie sur Terre**
▪ Hydrologie (crues, étiages) ▪ Purification de l'eau ▪ Pollinisation et dispersion des graines ▪ Régulation climatique locale et mondiale	▪ Formation et conservation des sols ▪ Production primaire ▪ Cycles des nutriments
Services d'approvisionnement Bénéfices liés aux biens fournis par les écosystèmes	**Services culturels** Bénéfices immatériels tirés des écosystèmes
▪ Nourriture ▪ Eau douce ▪ Bois ▪ Fibres ▪ Fourrage ▪ Bioénergies, etc.	▪ Esthétiques ▪ Récréatifs ▪ Spirituels ▪ Patrimoniaux ▪ Educatifs et pédagogiques, etc.

IV.8. IMPACTS OBSERVES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ECOSYSTEMES FORESTIERS AU MAROC ET PROJECTIONS FUTURES

Au Maroc, par exemple, l'évolution des indices thermiques indique une tendance vers le réchauffement plus accentuée vers la région orientale et l'est du pays, sur le relief montagneux et le piedmont. Celle des indices pluviométriques affiche une tendance vers l'assèchement surtout en fin de la saison pluvieuse; période importante pour l'agriculture, et une tendance vers la migration du climat à caractère semi-aride vers le nord. En raison de sa latitude subtropicale, des influences sahariennes et des conditions méditerranéennes, le Maroc devrait connaître des taux de réchauffement supérieurs à ceux d'autres régions du monde.

La distribution des zones climatiques à l'échelle nationale couvre 560.000 km² en zone aride et saharienne (78%), 100.000 km² en zone semi- aride (14%), et 50.000 km² en zone subhumide et humide (7%). L'une des premières observations du changement climatique au Maroc se traduit par une nouvelle configuration de la répartition de ces zones au niveau du territoire national entre les périodes (1961-1970) et (1991-2000). L'analyse cartographique élaborés par la DMN, à cet effet, révèle une nette extension de l'aire aride et semi-aride vers le nord et le nord-ouest du pays, accompagnée d'une contraction de l'aire semi-humide et humide. Le tableau ci-après restitue la synthèse des projections futures du changement climatique attendues au Maroc d'après la DMN (modèle Arpège-Climat, Scénario A2).

Paramètre climatique	Projections futures
Températures moyennes estivales	Réchauffement de l'ordre de 2 à 6°C des températures moyennes estivales avec un gradient Est-Ouest bien prononcé en été : • augmentation de l'ordre de 2 à 3°C sur la côte atlantique, atteignant 6°C vers l'intérieur du pays. • réchauffement en hiver variant entre 3 et 5°C avec une répartition spatiale moins contrastée. • augmentations des températures maximales de 2 à 6°C et des minimales de 2 à 5°C.
Précipitations moyennes	• Diminution des précipitations plus marquée au printemps qu'en hiver. • Tendance vers l'assèchement probablement associée à une baisse du contenu en eau du sol (impacts négatifs sur les ressources hydriques et la végétation).
Phénomènes extrêmes	• Augmentation importante du nombre de vagues de chaleur estivale. • Allongement des périodes intra-annuelles de sécheresse, et donc une augmentation de sa persistance temporelle, plus marquée au printemps que durant le reste de la saison pluvieuse.

D'une façon générale, le climat du Maroc apparaît plus aride et chaud avec plus de contrastes régionaux : climat aride et diversifié, précipitations erratiques, et des anomalies thermiques en constante évolution. Cette tendance du climat à l'assèchement sera certainement accompagnée d'une réduction du contenu du sol en eau et donc d'un déficit dans les ressources hydriques. Cette situation expliquerait les conditions de plus en plus sèches pour les écosystèmes forestiers qui devraient s'exprimer par des taux élevés d'évapotranspiration susceptible de provoquer la sécheresse en particulier de type édaphique et, de surcroît, le dysfonctionnement de ces écosystèmes.

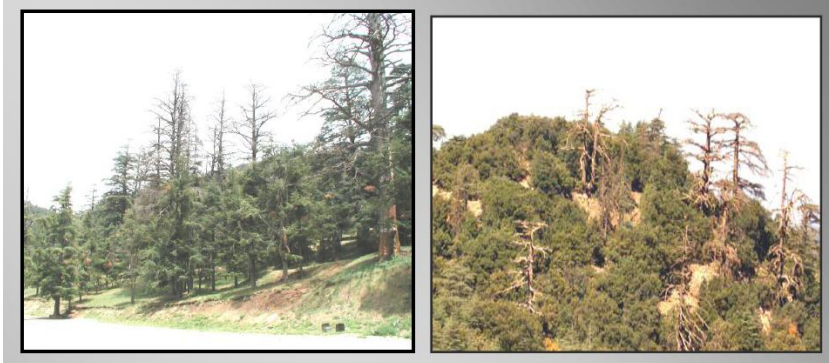
Les conséquences du récent changement climatique sont analysées à titre illustratif, dans le cadre des études des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas durant la période 2005-2009. Des analyses à caractère multidisciplinaire ont mis l'accent sur les évolutions et les tendances des paramètres climatiques, du bilan hydrique et du bilan de la croissance chez le cèdre. Ces analyses ont conduit à conclure que : la tendance des précipitations pluvieuses et surtout neigeuses à la baisse en valeur absolue et vers une concentration dans le temps, l'augmentation de la température et son impact sur le bilan hydrique et la réduction de la durée de la saison de croissance, constituent des facteurs d'autant plus prédisposant au phénomène du dépérissement que les conditions de station sont moins favorables sur le plan édaphique.

La probabilité de phénomènes climatiques extrêmes devrait également changer au cours des années à venir. En effet Les augmentations de la fréquence des phénomènes extrêmes sont l'une des plus graves préoccupations dues au changement climatique. Ces extrêmes sont notamment des vagues de chaleur ou de froid, des sécheresses, des inondations et les tempêtes. Au Maroc, les pertes récentes dues à une vague de froid persistante dans la localité d'Anfgou, dans la région d'Itzer, en 2007, occasionnant une trentaine de victimes humaines, et aux inondations telles celles de 2002, suite à des pluies extrêmes, témoignent de la vulnérabilité du pays à des événements semblables.

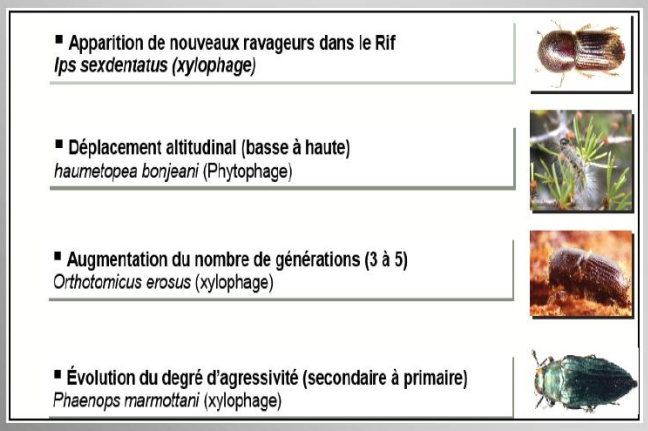
Au Maroc, le changement climatique prévu par les modèles, devrait avoir des impacts dans toutes les régions du pays et dans presque tous les secteurs de l'économie. Des augmentations, même modestes de la température, pourraient changer de manière drastique la disponibilité de l'eau; une augmentation de 1°C pourrait réduire les écoulements dans le bassin d'Ouergha de 10 % à l'horizon 2020. Les mêmes résultats pour les autres bassins versants aboutiraient à l'équivalent de la perte chaque année de

l'eau contenue dans un grand barrage. Des impacts analogues sont prévisibles sur l'agriculture, la forêt, la santé humaine et les maladies à transmission vectorielle.

Encadré 5 - Impact du changement climatique sur le cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas



Dépérissement du cèdre de l'Atlas (Et-tobi, 2008) dans la forêt d'Azrou dû au changement climatique :
A gauche : versant sud de la cuvette de Michlifène,
A droire : versant sud dans le canton de Boutrouba



Exemples de conséquences du changement climatique sur les insectes forestiers ravageurs . Une augmentation des températures et de la sécheresse dans les montagnes pourrait favoriser des infestations plus intenses et plus répandues d'insectes forestiers ravageurs, ou faire apparaître de nouveaux ravageurs, ou modifier le comportement d'insectes secondaires (in Lhafi, 2008).

La dégradation des écosystèmes forestiers, qui consiste en un changement de structure, de consistance, voire de composition des peuplements, provient, d'une manière générale, de la pression anthropique (exploitation non viable, cas de récolte de bois de feu, surpâturage, incendies), de sécheresse prolongée ou d'attaques parasitaires. Elle est évaluée à l'équivalent de 25.000 ha/an, dont 5.000 ha/an dans la seule région du Rif. Ce processus, souvent graduel et insidieux, contribue à la diminution de la productivité et de la valeur du capital forestier dans son rôle de production, de biens et de services, de régulateur écologique ou encore de patrimoine génétique.

L'impact combiné de l'action anthropique et des modifications climatiques à tendance xérique sur les écosystèmes forestiers marocains est particulièrement important dans les régions de montagne, qui concentrent, sur de faibles superficies (zonation altitudinale), la plus grande biodiversité. Les prévisions font état du risque de disparition de près de 22% de la biodiversité nationale à l'horizon 2050, les milieux côtiers, les zones humides, les oasis et les montagnes étant particulièrement vulnérables au changement climatique. De ce fait, la conservation et la gestion des ressources naturelles (eau, sol, végétation), dont la forêt constitue la trame de fond, devraient constituer un enjeu stratégique national pour l'équilibre écologique et socioéconomique du pays. Elles requièrent, cependant, une vision globale nécessaire pour appréhender et comprendre les interactions entre le changement climatique, les usages des terres et la dynamique biologique.

Dans ce cadre, des actions et mesures ont été lancé, avec l'appui de l'assistance internationale, en vue d'anticiper et d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la stratégie de gestion des écosystèmes forestiers. Ces actions sont résumées ci-après :

- **Mise en place du Réseau National d'Aires Protégées (SIBE),** constitué de 154 unités spatiales différentes (SIBE).
- **Surveillance environnementale à moyen et long termes (ROSELT/OSS) :** Trois observatoires (Oued Mird, Issougui et Fezouata), correspondant à trois situations représentatives des principales formes d'utilisation des terres dans les zones arides. Ils sont installés avec des thématiques de suivi variées depuis 1994 ;
- R**évision et adaptation des plans de gestion des cédraies dépérissantes: Cas des forêts de cèdre du Moyen Atlas**. Un certain nombre d'outils (typologie de l'état phytosanitaire du cèdre; carte des densités, carte de sensibilité des cédraies dépérissantes, etc.) sont élaborés et déclinés en plans opérationnels et en guides de sylviculture pour les gestionnaires ;
- M**ise en place d'un dispositif de prévention, d'alerte et de lutte contre les feux de forêts** à travers la mise au point d'une méthodologie de prévention et d'alerte des incendies de forêts, l'élaboration de cartes de risque statique et dynamique d'incendie ;
- R**éalisation de la stratégie nationale de surveillance continue de la santé des forêts: (Cas pilote du Moyen Atlas)**, traduite par la mise en place de trois dispositifs complémentaires de surveillance : un réseau systématique de placettes permanentes, un dispositif de veille sanitaire et des dispositifs spécifiques.