

Cours Fonctionnement global des écosystèmes

VI- La structure trophique des biocénoses

Les structures trophiques des biocénoses désignent l'agencement des interactions alimentaires entre les organismes d'un écosystème. Elles illustrent les divers niveaux trophiques, qui correspondent aux différentes étapes de la chaîne ou du réseau trophique. Ces structures sont cruciales pour appréhender le flux d'énergie et de matière au sein de l'écosystème. La structure trophique est directement liée aux chaînes alimentaires et se compose de trois niveaux principaux : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

1. Chaînes alimentaires dans les écosystèmes

Une chaîne alimentaire est une séquence d'organismes dans laquelle chacun se nourrit de ceux qui le précèdent, avant d'être lui-même consommé par ceux qui le suivent. Il existe deux types de chaînes alimentaires. Celles qui débutent par des végétaux vivants, consommés par des herbivores, forment le système herbivore. Celles qui commencent par de la matière organique morte (animale ou végétale), dégradée par des détritivores, forment le système saprophyte.

Les êtres vivants d'un écosystème se répartissent en trois catégories selon leurs rôles écologiques :

- **Les producteurs (autotrophes) :** Ce sont principalement des végétaux chlorophylliens qui utilisent l'énergie solaire pour créer des matières biochimiques à partir du dioxyde de carbone. Ils représentent ainsi le premier maillon de la chaîne alimentaire.
- **Les consommateurs (hétérotrophes) :** Ces organismes se nourrissent uniquement de matières organiques complexes (glucides, protéines, lipides) et dépendent entièrement des producteurs comme source d'énergie. Les consommateurs primaires, ou phytophages, consomment directement les producteurs, tandis que les consommateurs secondaires, ou carnivores, se nourrissent des consommateurs primaires. Un sous-groupe particulier de consommateurs secondaires est constitué par les parasites.
- **Les décomposeurs saprophytes :** Il s'agit de champignons, bactéries, levures et autres micro-organismes hétérotrophes qui dégradent la matière organique morte (détritus végétaux, excréments et cadavres d'animaux) et en assurent une minéralisation totale et progressive.

Dans les écosystèmes terrestres, les chaînes trophiques de prédateurs comportent généralement trois ou quatre niveaux, tandis que dans les écosystèmes marins, elles sont souvent plus longues.

Les chaînes trophiques de parasites, à l'inverse, suivent un ordre inverse, allant des organismes de grande taille vers des organismes plus petits. Les chaînes saprophytiques, quant à elles, jouent un rôle essentiel dans les forêts caducifoliées, où la majeure partie du feuillage non consommée constitue une litière. En réalité, ces trois types de chaînes coexistent dans un même écosystème, formant un réseau trophique interconnecté.

Ces producteurs photosynthétiques fabriquent des substances organiques simples à partir du dioxyde de carbone et de l'eau, tout en libérant du dioxygène. Les sels minéraux contenant de l'azote sont utilisés pour la synthèse des protéides, tandis que ceux contenant du phosphore permettent la production des acides nucléiques. L'énergie est emmagasinée sous forme de liaisons chimiques. Ces producteurs, appelés producteurs primaires, respirent également pour fonctionner et se développer, produisant ainsi du dioxyde de carbone et de l'eau.

Tout au long des chaînes alimentaires, des transferts de matière et d'énergie ont lieu: la matière est conservée et constamment recyclée dans l'écosystème, tandis que l'énergie issue de la respiration des organismes se transforme en chaleur, une forme d'énergie qui n'est pas recyclée et qui est perdue.

2. Les niveaux trophiques

Les organismes font partie du même niveau trophique lorsqu'ils sont séparés des végétaux par le même nombre de maillons dans une chaîne alimentaire. Les végétaux, par définition, constituent le premier niveau trophique. Cependant, il est important de se rappeler que la notion de niveau trophique reste simplificatrice. Un même animal peut appartenir à plusieurs niveaux trophiques différents, comme c'est le cas des omnivores qui consomment à la fois des végétaux et des animaux.

3. La notion de pyramide écologique

À partir de la chaîne alimentaire, il est possible de représenter trois types de pyramides écologiques, où chaque niveau trophique est illustré par un rectangle. Tous les rectangles ont la même hauteur, mais leur longueur est proportionnelle au nombre d'organismes ou à leur biomasse. Étant donné que les organismes de chaque maillon perdent 90 % de la matière et de l'énergie du maillon précédent, la longueur des rectangles successifs diminue progressivement.

- **La pyramide des nombres ou pyramide d'Elton (d'après Charles Elton)** : Cette pyramide donne des informations sur le nombre d'organismes présents dans chaque niveau trophique.
- **La pyramide des biomasses** : Cette pyramide fournit des informations plus détaillées en se basant sur la masse des organismes. Dans certains écosystèmes aquatiques, où les producteurs sont des algues à courte durée de vie et à vitesse de renouvellement élevée, la pyramide peut être inversée. Ainsi, la base de la pyramide (biomasse du phytoplancton) peut être plus petite que le sommet (biomasse du zooplancton).
- **La pyramide de l'énergie** : Elle montre le transfert d'énergie entre les niveaux trophiques. La pyramide d'énergie est considérée comme offrant la meilleure représentation globale de la structure de la communauté, car elle repose sur la production. Par exemple, bien que la biomasse du phytoplancton soit inférieure à celle du zooplancton, sa production d'énergie est supérieure à celle du zooplancton.

4. **Relation entre taille, nombre et abondance des espèces**

La structure des communautés animales peut être analysée en déterminant le nombre total d'espèces et en identifiant quatre types de relations :

- **Le nombre d'espèces par classe de taille** : On observe généralement qu'il y a plus d'espèces de petite taille que d'espèces de grande taille.
- **L'abondance des espèces en fonction de leur taille** : Les espèces de petite taille tendent à avoir des populations plus nombreuses que celles de grande taille.
- **Le nombre d'espèces par classe d'abondance** : On trouve un grand nombre d'espèces rares, tandis que les espèces abondantes ou très abondantes sont relativement peu nombreuses.
- **La répartition géographique des espèces en fonction de leur abondance** : Les espèces communes occupent des aires de répartition plus vastes que les espèces rares.

5. **Les facteurs régissant la diversité spécifique des biocénoses**

Plusieurs théories tentent d'expliquer les facteurs qui influencent la diversité spécifique des biocénoses, mais aucune d'entre elles ne semble fournir une explication complète et satisfaisante. Parmi ces théories, on trouve les suivantes :

- **L'influence de la productivité** : De nombreuses observations montrent que la diversité spécifique tend à augmenter avec la productivité des écosystèmes. Cela est

particulièrement vrai pour les rongeurs des déserts d'Amérique du Nord. Cependant, d'autres études suggèrent que la diversité atteint un maximum pour une productivité moyenne, avant de diminuer à mesure que la productivité augmente.

- **Influence de la compétition et de la prédation** : Ces deux facteurs jouent un rôle dans l'augmentation de la diversité des espèces.
- **Influence du climat** : La stabilité climatique des régions tropicales favorise l'émergence de spécialisations et d'adaptations plus poussées chez les espèces, qui occupent des niches écologiques de plus en plus restreintes. Mac Arthur (1975) a démontré que la diversité spécifique tend à diminuer lorsque les variations des températures moyennes mensuelles augmentent.
- **Influence de l'hétérogénéité du milieu** : L'hétérogénéité du milieu, en augmentant le nombre de niches écologiques disponibles, favorise l'augmentation de la diversité des espèces.
- **Influence de la surface** : Les régions tropicales, ayant une superficie bien plus grande que celle des autres régions, disposent de vastes espaces où peuvent se produire des événements de spéciation allopatrique. Ces vastes étendues permettent le développement de populations nombreuses, qui, de ce fait, présentent des taux d'extinction plus faibles que ceux des espèces des autres régions. Ainsi, de manière générale, la richesse des peuplements augmente avec l'étendue de la région.

6. Flux d'énergie dans un écosystème

L'énergie solaire Toute l'énergie solaire n'arrive pas à la surface de la Terre :

- 30% des radiations solaires sont réfléchies dans l'espace par l'atmosphère.
- 20% des radiations solaires sont absorbées par l'atmosphère.
- 50% des radiations solaires sont absorbées par le sol, l'eau, la végétation et utilisées sous forme de chaleur
- 1% des radiations solaires sont utilisés par la photosynthèse. Chaque point de la surface du globe reçoit 6 mois de lumière. La lumière n'est pas répartie de façon homogène en fonction de la latitude. L'énergie totale reçue à l'équateur est égale à 2.5 fois celle reçue aux pôles.

6.1. Chaînes alimentaires et flux d'énergie

L'énergie solaire est stockée par les végétaux sous forme d'énergie chimique : production primaire brute. Une partie est utilisée par les végétaux eux-mêmes en respirant. $P1B - R1 = P1N$ (production primaire nette).

La production primaire nette est la quantité disponible pour le niveau supérieur. Les phytophages n'utilisent pas toute la production primaire nette. Ce qui n'est pas consommé rejoint le niveau des décomposeurs.

6.2. Bilans et rendements énergétiques

Des rendements peuvent être adaptés pour un niveau de consommateur:

- Rendement écologique : production consommateur / Production proie.
- Rendement d'exploitation : énergie ingérée / énergie disponible.
- Rendement d'assimilation : énergie assimilée / énergie ingérée.
- Rendement production nette : énergie liée à la production du consommateur / énergie assimilée.

Le rendement d'assimilation dépend de la qualité de la nourriture. Les végétaux sont riches en éléments non digestibles. Les herbivores auront donc un faible rendement d'assimilation (30 à 50%). Les consommateurs ont des rendements plus importants (60 à 90%). Ces rendements varient suivant que l'animal est poïkilotherme (valeur basse) ou homéotherme (valeur haute). Les décomposeurs ont des rendements très faibles car ils se nourrissent des déchets des autres (20 à 30 %). Le rendement de production nette est variable car de très nombreux paramètres interviennent. Les homéothermes sont moins efficaces que les poïkilothermes (rapport de rendement de 1 à 10).

6.3. Production et taux d'utilisation d'énergie dans les écosystèmes

Considérons un écosystème, si la quantité d'énergie fixée par photosynthèse est égale à la quantité d'énergie utilisée par respiration à tous les niveaux, le système sera stable. $P1B / R = 1$ Système stable La stabilité d'un écosystème ne dépend pas de sa productivité mais de

l'équilibre entre production et consommation. Les écosystèmes où $P/R > 1$ sont de types autotrophes. Les écosystèmes où $P/R < 1$ sont de types hétérotrophes

6.3.1. Production primaire

Des mesures ont été faites à l'échelle du globe. Suivant les mesures, les valeurs sont variables mais les productions primaires relatives sont concordantes d'un auteur.

Les océans représentent 40% de la production primaire mondiale. La production est plus importante dans les zones d'upwelling où il y a des remontées de sels minéraux et ensuite sur les plateaux continentaux en raison des apports terrigènes. Ailleurs, elle est extrêmement faible en raison de la faible quantité de sels minéraux qui bloquent la croissance du plancton. En milieu continental, les déserts sont très peu productifs car ils ont pour facteur limitant l'eau. En milieu terrestre, ce sont les facteurs température et eau qui conditionnent la production primaire. Les forêts couvrent une petite partie de la surface du globe, 28% des terres émergées, mais elles produisent un peu moins de la moitié de la production primaire mondiale. Si les forêts ombrophiles sont les écosystèmes les plus productifs, les marécages ont des productions équivalentes mais sur des surfaces très faibles. Les terres cultivées ont des productions primaires élevées mais l'homme introduit de l'énergie dans le système, le rendement de la photosynthèse restant inchangé. Dans les milieux naturels, les écosystèmes les plus productifs correspondent aux zones humides, estuaires et récifs coralliens.

6.3.2. Production secondaire

La production secondaire correspond à l'accumulation de matière organiques vivantes chez tous les hétérotrophes. Les organismes élaborent de la matière organique à partir de celle des autotrophes. Si estimer la production primaire est difficile, estimer la production secondaire l'est encore plus. Les chiffres donnés ne sont pas obtenus par des mesures mais grâce à des calculs à partir des mesures de production primaire. Par conséquent, on peut se rendre compte que les zones De fortes productions primaires ont des fortes productions secondaires