

Partie 4 – Biologie des écosystèmes

Thème 2 : les écosystèmes, leur structure et leur fonctionnement

La biocénose d'un écosystème dissipe l'énergie initialement captée et transformée par les organismes autotrophes. Parallèlement à ce flux d'énergie de la matière est échangée et transformée.

- construire un réseau trophique en identifiant les niveaux trophiques (notion discutée autour d'exemple d'espèces polyphages).
- montrer que chaque espèce prélève dans son environnement des substances (de nature différente selon s'il s'agit de producteurs, consommateurs ou décomposeurs) et en rejette d'autres (notion de flux), et crée de la biomasse (notion de production et de productivité), en se limitant à un végétal et un animal (la vache) ;
- mettre en évidence les pertes énergétiques d'un niveau trophique à l'autre au travers de la construction d'une pyramide de productivité. Expliquer la nature de ces pertes (notamment la notion de minéralisation au travers des réactions du catabolisme).
- présenter les différences entre agrosystème/écosystème (structure, flux d'énergie, temps de résidence de la matière).

Liens : 2.1, 2.2, 2.4, 6.1, 6.3, classe de terrain
Lien Biotechnologies : 1.3

CHAP.4 : FLUX DE MATIÈRE ET D'ÉNERGIE AU SEIN DES ECOSYSTEMES

Introduction

Chaque organisme constitue un système thermodynamiquement ouvert et prélève dans son milieu les éléments nécessaires à la réalisation de ses fonctions ; c'est un système d'acquisition, de transformation et d'allocation des ressources entre ses besoins (survie = croissance + entretien + défense, reproduction, constitution de réserves en vue de périodes plus difficiles). Ces ressources sont prélevées dans l'écosystème et correspondent à une certaine quantité de matière et d'énergie (énergie lumineuse ou chimique).

L'écosystème constitue également un système thermodynamiquement ouvert. Néanmoins, la plupart du temps par simplification on pourra considérer que l'écosystème est assimilable à un système quasi-fermé, c'est-à-dire qu'il échange de l'énergie avec son environnement, mais qu'on peut négliger les échanges de matières avec le reste de l'univers. C'est bien sûr totalement faux pour les agrosystèmes (cf. TP1 et plus loin), et il existe également des échanges de matière pour les écosystèmes (migration d'individus ou de semences, « contamination » par milieu voisin, pluie contenant des gaz dissous...) qu'on pourra négliger pour simplifier l'étude.

➔ **Comment l'énergie qui pénètre dans l'écosystème permet-elle son fonctionnement ? Comment est-elle transformée ? Comment la matière est-elle échangée et transformée lors des relations trophiques mais aussi comment est-elle recyclée au sein de l'écosystème ?**

I] Les interactions trophiques définissent chaînes et réseaux trophiques

A- Niveaux trophiques (= maillons)

On peut définir les producteurs primaires, photo- ou chimio- synthétiques (autotrophie), qui produisent la matière organique à partir de matière minérale, et les consommateurs, qui sont des producteurs secondaires : Ces consommateurs ingèrent de la matière organique et la transforment pour fabriquer la leur.

Les décomposeurs au sens strict sont ceux qui ne se nourrissent **que** de matière organique morte, c'est-à-dire les détritivores.

Les producteurs, les différents niveaux de consommateurs et les décomposeurs correspondent aux différents niveaux trophiques.

B- Chaînes alimentaires

Déf° : c'est une succession d'espèces qui interagissent via des relations trophiques, chaque espèce de la chaîne étant mangée par l'espèce suivante.

La succession espèce A mangée par espèce B mangée par espèce C ... forme donc une chaîne alimentaire. Chaque flèche -----> signifie « est mangé par ».

➔ *Écrire les niveaux trophiques dans l'exemple de l'océan et 3 chaînes alimentaires pour l'exemple de la chênaie.*

Phytoplancton=

Zooplancton=

Harengs =

Thons=

Dauphins =

Crabes=

*

*

*

C- Variation du niveau trophique d'une espèce

La notion de chaîne suppose une certaine linéarité, avec des positions fixes pour chaque espèce, ce qui n'est pas du tout le cas dans un écosystème réel !

On ne distingue généralement pas les différents stades de maturité de chaque espèce, par exemple une grenouille pourra être considérée comme mangeant des plantes aquatiques (stade têtard) et des insectes (adulte).

Chaque organisme peut appartenir à plusieurs niveaux trophiques, si son régime alimentaire est varié, en particulier si on s'intéresse aux espèces polyphages (omnivores = carnivores+ herbivores, ou saprophages et carnivores) ; ainsi l'Homme est un consommateur :

- primaire lorsqu'il mange :
- secondaire en mangeant :
- tertiaire en consommant :
- voire quaternaire en se nourrissant de : . Idem chez sanglier.

Consommateurs tertiaires et quaternaires sont des consommateurs supérieurs, généralement peu abondants (cf. III).

Les niveaux trophiques peuvent même s'inverser au cours de la vie des êtres vivants ; ex :

D- Réseau trophique

L'ensemble des chaînes trophiques d'un écosystème constitue un réseau trophique, ensemble de chaînes alimentaires ayant un ou plusieurs maillons en commun.

Les réseaux trophiques sont souvent complexes à représenter, et peuvent être modélisés.

➔ Réaliser un réseau trophique de la forêt.

Ccl : les relations trophiques de prédation, herbivorie, mais aussi parasitisme et symbiose structurent donc l'écosystème. Elles reposent sur les stratégies alimentaires propres à chaque espèce.

II] Chaque maillon du réseau prélève, transforme, rejette de la matière

A- Flux de matière et d'énergie traversant chaque être vivant

Quel que soit son niveau trophique, chaque espèce prélève dans son environnement les substances dont elle a besoin pour assurer sa croissance, son maintien et sa reproduction.

Tous les organismes :

- prélèvent des substances dans leur environnement (uniquement minérales pour les producteurs, ou minérales et organiques pour les consommateurs et décomposeurs),
- prélèvent de l'énergie dans leur environnement (énergie lumineuse ou énergie chimique de la matière ingérée/ absorbée) ;
- rejettent des substances et de l'énergie, en particulier ce qu'ils ne peuvent utiliser ou stocker (énergie dégradée = chaleur) ;
- sont donc traversés par un double flux de matière et d'énergie ; La sortie de matière/ énergie d'un organisme peut aussi être le fait d'un prédateur, parasite, ou symbiote (ou de la reproduction).
- créent de la biomasse en fabriquant leurs constituants (=producteurs de mat orga),
- et permettent aussi une minéralisation d'une partie de leur matière organique notamment lors de leur production d'énergie (respiration, fermentation... production de CO₂, NH₃, élimination d'ions minéraux) ; ce sont donc aussi des minéralisateurs= décomposeurs au sens large.

B- Biomasse, production, productivité

Biomasse= quantité de matière vivante, à l'instant t, de l'écosystème dans son ensemble ou d'un de ses niveaux trophiques (biomasse des producteurs...). On peut l'exprimer en masse de matière fraîche, masse de matière sèche, masse de carbone, nombre d'individus, volume... s'oppose à la nécromasse (cf. géol !).

Production : quantité de matière organique (sèche) synthétisée par unité de temps par une quantité/ masse d'organismes (ou surface) ; c'est donc un flux.

La production primaire brute PPB correspond à la synthèse de matière organique par les lithoautotrophes, producteurs primaires. La production primaire nette correspondra à la PPB diminuée des matières consommées pour le métabolisme (respiration, photorespiration, fermentations éventuelles...) donc non utilisables comme matériau de construction.

La production secondaire correspond à la synthèse de matière organique par les consommateurs, à partir de matières organiques préexistantes. Là aussi, la production secondaire nette vaudra la PSB

diminuée de la part engagée dans le catabolisme, c'est la conversion de la matière et de l'énergie des producteurs primaires en tissus de consommateurs primaires.

La productivité indique l'efficacité de production : c'est le rapport production (brute ou nette) / biomasse responsable de cette production. C'est l'inverse du taux de renouvellement de la biomasse (turnover).

Ccl : chaque être vivant est traversé par un flux de matière et d'énergie. Ces flux représentent des transferts entre le biotope et les êtres vivants qui le peuplent (biotope → producteurs I → consommateurs I → → → consommateurs n → décomposeurs → biotope).

III] Les flux de matière sont associés à des flux d'énergie

L'écosystème étant un système non isolé, il peut recevoir de l'énergie, ou en perdre vers le reste de l'univers, et de l'énergie est échangée entre les niveaux trophiques en même temps que la matière (énergie chimique).

A- Entrée d'énergie dans l'écosystème

Dans la grande majorité des cas, l'entrée se fait par la captation d'énergie lumineuse, par les photolithoautotrophes.

La totalité du rayonnement solaire n'atteint pas une plante ; en effet, 30% de l'énergie solaire en moyenne est réfléchié directement vers l'espace (par les nuages, poussières, aérosols, et par la surface) : albédo, cf. géol. Par ailleurs, 20% est absorbée par l'atmosphère (couche d'ozone, nuages...). Il en reste donc 50% susceptibles d'atteindre une plante, mais 30% de l'énergie initiale est composée de radiations de longueurs d'ondes trop élevées ou trop basses (UV...). Il reste donc **20% de l'énergie initiale qui est utilisable par la plante.**

Par rapport à l'énergie disponible pour la plante (les 20% précédents), 20% de cette énergie sera réfléchié par la plante (variable !), en particulier le vert, et 10% transmise (variable aussi !) ; il reste donc 70%, énergie captée par la plante, mais qui pour l'essentiel sera dissipée sous forme de chaleur ou utilisée pour la respiration, la transpiration... Si l'énergie produite lors de la production primaire brute serait importante, celle finalement obtenue par la production primaire nette n'est que **de 1% de l'énergie** utilisable reçue par la plante (en moyenne !).

La production primaire nette moyenne sur la planète est estimée à 0.35g de carbone fixé par m² et par jour ; pour fixer 1mol de CO₂, ie 12g, il faut 0.158W.m⁻² (donc 0.0046W). Rendement global, si on ne tient pas compte des déserts à activité photosynthétique négligeable, 1% :

➔ **On a donc un rendement énergétique de la photosynthèse de l'ordre de 1%** par rapport à l'énergie utilisable qui parvient à la plante.

Variabilité selon écosystèmes cf. doc

B- Notion d'énergie auxiliaire

L'énergie lumineuse reçue par la plante permet aussi son réchauffement, ce qui améliore la cinétique des réactions, mais provoque une évaporation, à l'origine de l'aspiration foliaire et donc de

l'absorption racinaire. Les variations de température qui résultent de ce réchauffement ne sont pas homogènes, ce qui entraîne des flux d'air, donc un renouvellement plus facile de l'air à proximité de la plante (meilleure répartition de CO₂, O₂, H₂O). Enfin, les plantes réémettent des IR thermiques après réception d'énergie lumineuse (comme un mur qui a chauffé tout le jour), qui participent à l'effet de serre.

Toutes ces énergies ne sont pas utilisées par la photosynthèse, elles ne permettent pas la production de biomasse, mais elles sont nécessaires au bon fonctionnement de l'écosystème ; ces énergies sont des énergies auxiliaires. Elles ne sont pas aisément quantifiables !

C- Flux de matière et d'énergie entre niveaux trophiques

La biomasse d'un niveau trophique n'est pas totalement utilisée pour fabriquer la biomasse du niveau suivant, loin de là !

En effet, l'organisme consommé peut ne pas être ingéré en totalité (ex : _____), on a donc une partie de sa matière = son énergie qui est ingérée I, une autre partie non ingérée NI. Ensuite, I n'est pas totalement assimilée (exemple : _____) : A énergie assimilée, NA non assimilée.

Enfin, parmi A, une partie est perdue pour la maintenance de l'organisme, la respiration, la fermentation... R, et le reste peut servir à la production de biomasse P (ou PS, production secondaire) qui sera affectée à la croissance ou à la reproduction.

L'efficacité (ou rendement) d'assimilation vaut A/I en %. Il est beaucoup plus élevé chez un Carnivore comme la Belette, qui ingère des matières organiques animales, plus faciles à transformer, que chez la chenille qui ingère des molécules végétales complexes. On a donc un impact fort du régime alimentaire sur cette efficacité. Un autre paramètre important est la valeur des pertes R ; on calcule également l'efficacité = rendement écologique, qui correspond à P/I ou P/D ;

Les pertes R sont réduites chez des ectothermes, beaucoup plus importantes chez les endothermes, où la thermorégulation nécessite un gaspillage important d'énergie.

➔ *Calculer rendement photosynthétique, D, NI, I, NA, A, R, P, rdt assimilation, rdt écologique pour la vache dans une prairie normande.*

Le rendement photosynthétique est-il de 1% ? Pourquoi ?

→ **L'efficacité écologique moyenne est estimée aux environs de 10% pour chaque niveau de consommateurs (et souvent moins pour les consommateurs primaires).**

Rendement écologique de la vache de 15 %, nettement supérieur à 10%, alors que la vache est incapable de digérer l'herbe... si l'on considère que l'herbe est digérée par les bactéries symbiotiques, elles-mêmes consommées par les Ciliés, eux-mêmes mangés par la vache, le rendement entre la P de la vache et l'herbe ingérée devrait être de 0.1%, ou en tous cas inférieur à 1% (les vaches mangent des bactéries aussi, 10% par niveau) → intérêt de la symbiose, bactéries et ciliés ne perdent aucune énergie pour leur recherche de nourriture, leur rendement d'assimilation est particulièrement élevé, et celui de la vache lorsqu'elle digère les microorganismes aussi.

Schéma bilan des flux d'énergie le long d'une chaîne alimentaire simple (herbes/ rongeurs/ chouette/ décomposeurs) : diapo 32.

D- Représentations en pyramides.

Différentes pyramides, réalisables pour une chaîne alimentaire simple ou de façon globale pour un écosystème (ensemble des producteurs I, ensemble des consommateurs I...) permettent de visualiser simplement les flux de matière et d'énergie de maillon trophique à maillon trophique :

- Pyramide de nombres : on comptabilise le nombre d'individus de chaque maillon trophique. C'est la plus facile à faire, mais la moins intéressante.

- Pyramide de biomasse : on comptabilise la masse de matière organique constituée par tous les êtres vivants de chaque niveau trophique ; permet de lisser les différences de masses entre les organismes de la pyramide (les consommateurs primaires seront beaucoup plus nombreux si on s'intéresse aux insectes que si on s'intéresse aux vaches !)

- Pyramide d'énergie = pyramide de productivité : on comptabilise la quantité d'énergie disponible au niveau de chaque maillon trophique. Cela permet directement de calculer les rendements écologiques. C'est le seul type de pyramide où on peut faire apparaître la source initiale d'énergie, à la base du fonctionnement de l'écosystème (généralement l'énergie solaire reçue sur l'écosystème).

→ *Représenter quelques exemples de pyramides*

E- Conséquences

Il faut toujours un grand nombre d'êtres vivants pour nourrir un faible nombre d'organismes du niveau trophique supérieur, on a donc nécessairement toujours une grande quantité de producteurs, et très peu de consommateurs supérieurs. Plus il y a de niveaux trophiques, plus ce phénomène est amplifié.

Par conséquent toute modification minimale de l'effectif de la population de prédateurs supérieurs (loup, aigle...) a des conséquences très importantes sur les effectifs des populations des autres niveaux trophiques.

Par ailleurs la structure de ces pyramides entraîne des phénomènes de bioconcentration. Exemple DDT sur grèbe, goéland, faucon.

Ccl : on observe ainsi des transferts permis par les relations trophiques au sein de la biocénose. Comme tout transfert, ces mécanismes présentent des pertes.

IV] Nature des pertes énergétiques entre niveaux trophiques

A- Énergie non assimilée

L'énergie non assimilée correspond à tout ce que l'organisme ne peut digérer/ absorber : molécules particulièrement indigestes (kératine, cellulose, lignine, molécules variées complexes, toxines de pomme de terre ou d'escargot...), mais comprend aussi des éléments que l'organisme a pu absorber mais ne va pas utiliser, soit parce qu'il s'agit de toxiques détoxifiés dans le foie puis éliminés, soit parce qu'ils sont déjà en excès dans l'organisme et ne peuvent plus être stockés (acides aminés, certaines vitamines) ; cela peut comprendre des restes de bactéries symbiotiques du TD, des enzymes digestives non réabsorbées... → tout ceci sera chez les animaux éliminé via les urines et les fèces, autrement dit les déjections, et ira s'ajouter à la nécromasse. **Cette énergie est donc disponible pour les décomposeurs.**

B- Énergie assimilée non utilisée pour la production secondaire de biomasse

Dans l'énergie assimilée, une part +/- importante ne pourra aboutir à une production nette de biomasse : R. Cela correspond notamment à l'énergie nécessaire pour le renouvellement/ maintien de l'organisme et pour sa production d'énergie.

Cette énergie correspond notamment à l'énergie convertie ou dégagée lors des processus de minéralisation de la matière. Cette minéralisation est nécessaire pour le recyclage de la matière.

1) Les consommateurs réalisent des oxydations minéralisatrices lors des réactions cataboliques.

- respiration aérobie à donneur organique (glycolyse, β oxydation, cycle de Krebs puis chaîne respi) on obtient CO_2 , H_2O , NH_4^+ . Ces NH_4^+ pourront être oxydés (respiration aérobie à donneur minéral) par les bactéries de la nitrification (Nitrosomonas → nitrites, Nitrobacter → nitrates).

- Fermentations diverses : elles permettent d'obtenir des molécules organiques plus simples, moins oxydées que les molécules de départ, ce qui facilitera la minéralisation complète par d'autres êtres vivants.

- dégradation de l'urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ [uréase] → $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$

2) Les décomposeurs réalisent les mêmes réactions à partir de nécromasse : minéralisation en 2 temps après simplification

La décomposition correspond à une simplification de la matière organique (dépolymérisations, oxydations...), puis une minéralisation ; la décomposition de la matière organique en minérale s'oppose à la production de matière organique (cf. cycle du carbone !).

Cette matière organique peut d'abord s'accumuler à la surface du sol sous forme de litière, avec des fragments reconnaissables et peu dégradés.

* Simplification : Il y a fragmentation (par la pédofaune, c'est-à-dire lombric, larves d'insectes, nématodes...) donc augmentation de la surface d'attaque et dilution. Ces étapes sont réalisées par les décomposeurs détritivores (charognards, saprophages, coprophages).

Ensuite, il y a digestion de la matière organique par la microflore des transformateurs, grâce aux enzymes que possèdent les êtres vivants du sol (dont cellulases bactériennes, hémicellulases, pectases,

lignases des mycètes ; les cutines, subérines et tanins compliquent considérablement les choses). Ces enzymes sont sécrétées (exoenzymes), de manière à ce que les organismes puissent directement absorber les petites molécules issues de la digestion.

* Minéralisation : Ces organismes peuvent utiliser les molécules obtenues pour leur production de biomasse, destinée à leur croissance/ reproduction, mais vont surtout débiter le processus de minéralisation, avec un rejet dans le sol des minéraux obtenus, qui seront alors disponibles pour les phototrophes. Cette minéralisation fait intervenir les mêmes réactions que vu ci-dessus.

On a une minéralisation rapide (= primaire) où on obtient CO_2 , NH_4^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Fe^{3+} ..., qui peuvent être utilisés par les plantes.

En parallèle se déroule une humification, grâce aux bactéries cellulolytiques (Cytophaga), protéolytiques (Proteus) et mycètes ; cet humus constitue une forme stable de carbone organique, qui peut persister pendant des siècles avant d'être minéralisé par les mêmes réactions : minéralisation lente (= secondaire).

En effet l'humus est formé de matière organique de haut poids moléculaire : humines, acides humiques et acides fulviques. Ces molécules sont élaborées à partir de dérivés d'oses, acides aminés et de lignine, via des réactions de simplifications, polymérisations, condensations catalysées par les enzymes bactériennes et fongiques. Cf. *pédologie et formation du complexe argilo-humique*.

V] Différences de fonctionnement entre écosystème naturel et agrosystème (Cf. TP1)

- Les **facteurs abiotiques** déterminants pour la production primaire **peuvent être modifiés** par intervention humaine (culture sous serre, enrichissement en CO_2 , fertilisation du sol, aération du sol, irrigation, ensemencement par mycorhize...). En particulier, on essaie d'amoindrir les effets des facteurs limitants (facteur écologique le plus faiblement représenté par rapport à sa valeur optimale, souvent la teneur en CO_2 ou la teneur d'azote).
- La **biomasse produite est en grande partie prélevée et exportée**, ce qui déséquilibre le fonctionnement du système : il s'appauvrit très rapidement et tend à devenir stérile (recyclage très insuffisant), sauf si on compense ces pertes par des apports : les **intrants** (engrais, machinisme, carburants, travail humain, médicaments, semences...)
- Le système est totalement artificiel, car **contrôlé en permanence par l'Homme**.
- Les quelques **espèces** les plus importantes en biomasse ont été **sélectionnées pour leur productivité** (prim holstein comme raygrass) et introduites par l'Homme ; la biodiversité est très réduite.
- **Impacts sur santé et environnement** (pollution, érosion des sols, augmentation GES, perte biodiversité, résistance antibiotiques, cancers...).

Conclusion

Nombreux flux de matière et d'énergie qui assurent le fonctionnement pérenne de l'écosystème. Cependant, l'écosystème n'est pas fixe et peut se transformer progressivement. Comment un écosystème évolue-t-il, et quelles sont les conséquences de cette évolution ?