

« L'importance biologique des micro-organismes, à toutes les échelles du monde vivant »

**Introduction**

• **Définitions :**

- Micro-organisme : être vivant uni ou pluricellulaire, de taille micrométrique (limite de taille visible à l'œil nu = 50 µm ; pour les organismes du sol, limite de taille entre mésofaune et microflore/microfaune = 100 µm). Comprend des archées, bactéries, champignons, unicellulaires eucaryotes. ; diversité de lieu de vie (aériens, dans le sol, dans les organismes).

- Importance biologique : place qualitative et/ou quantitative dans le vivant et les phénomènes liés au vivant.

- Différentes échelles : étude moléculaire, cellulaire, au niveau de l'organisme, des populations, des écosystèmes et au niveau des cycles de la matière.

• **Problématique :**

**à l'échelle de l'organisme, quelle est leur importance dans les relations interspécifiques ?** Quelle est leur importance dans le fonctionnement des écosystèmes et des cycles biogéochimiques ? Quelle est leur importance dans la dynamique des populations et l'évolution du vivant ?

• **Annonce du plan**

*Ici le sujet suggère un plan par niveau d'organisation. Il faut prendre garde à bien mettre en évidence un lien entre chaque axe développé une échelle du monde vivant : organisme / biocénose dans son écosystème / populations et espèces sur une échelle de temps long. L'échelle moléculaire sera intégrée aux différentes échelles d'étude (envisagée isolément, elle empêche de bien faire les liens attendus).*

**I. A l'échelle de l'organisme, importance des micro-organismes dans les relations interspécifiques**

**1. Les relations de symbioses et mutualismes modifient la forme des Angiospermes**

a. Impacts des relations symbiotiques sur le phénotype des partenaires de la symbiose

*Arguments = descriptions d'observations effectuées en TP, comparaison croissance luzerne avec / sans nodosités*

Association *Rhizobium* et Fabacées : présence de nodules de couleur rose au niveau des racines.

Modifications phénotypiques : *Rhizobacterium* a acquis la capacité à réduire N<sub>2</sub> / la plante fabrique LegHb.

Mycorhizes : morphologie différente de celle des racines, localisation du mycelium (ecto- et endomycorhizes).

b. Dialogue moléculaire entre les micro-organismes et les plantes hôtes

*Au choix : installation d'une nodosité ou d'une mycorhize*

Spécificité de ces associations suppose un « dialogue » moléculaire pour la mise en place.

Émission d'un ensemble de molécules par les racines de la plante hôte (flavonoïdes pour les nodosités ou strigolactones pour les mycorhizes).

Réception par le micro-organisme et activation de gènes (*Nod* ou *Myc*).

Émission de protéines (*Nod* ou *Myc*) qui modifient le développement de la racine.

Pour la nodosité : après pénétration des micro-organismes, prolifération de cellules qui génère une excroissance : la nodosité. Partie méristématique, fonctionnelle et zone de dégénérescence dans la nodosité.

**2. Les symbioses et mutualismes modifient le métabolisme des Eucaryotes**

a. Les nodosités permettent une diazotrophie

*Schéma fonctionnel de la nodosité*

Apport de matière organique par la sève élaborée, production de leghémoglobine par la cellule végétale et son importance pour la fonctionnalité de la nitrogénase.

Réduction du N<sub>2</sub> en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et apport d'acides aminés par *Rhizobium*.

b. Les mycorhizes absorbent de l'eau et des ions minéraux pour les Angiospermes

Les champignons explorent un plus grand volume de sol (x10000) que la racine avec poils absorbant (x10).

Ils absorbent les ions du sol dont NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> (+ altération minéraux, dégradation nécromasse, protection vis-à-vis de pathogènes).

Une partie est donnée à la plante en échange de matière organique (*argument : <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> → <sup>14</sup>C se retrouve dans le champignon*).

c. La symbiose du rumen augmente le rendement d'assimilation du bovin

Organismes symbiotiques = bactéries et champignons cellulolytiques, ciliés (certains cellulolytiques) et archées. Le glucose issu de l'hydrolyse des polymères glucidiques est absorbé par les symbiotes qui réalisent des fermentations produisant des AGV.

Les AGV sont absorbés par la paroi du rumen et représentent 70-80 % des apports énergétiques de la vache

La vache digère de plus 1-1,5 km de symbiotes par jour, dans sa caillette, et les nutriments qui en sont issus sont absorbés dans l'intestin grêle : la vache est microphage.

La symbiose permet le recyclage de l'azote, c'est un avantage car la ration alimentaire des herbivores est déficitaire en N (sécrétion urée dans la salive qui est hydrolysée par les symbiotes du rumen, capables d'utiliser  $\text{NH}_3$  qui en résulte pour synthétiser leurs acides aminés, puis leurs protéines, que la vache digère dans sa caillette).

Rendement d'assimilation (énergie assimilée / énergie ingérée) d'un niveau trophique à l'autre  $\approx 10\%$ , la vache étant un consommateur II, on pourrait s'attendre à un rendement de 1 % par rapport à la ration ingérée, or les estimations sont plutôt de l'ordre de 14 %, la symbiose permet donc une amélioration significative du rendement d'assimilation.

**3. Les relations de parasitisme et de compétition diminuent la fitness des Eucaryotes**

*Item attendu au concours, mais pas dans ce DS. Voir cours SV-A3*

*Tous les organismes eucaryotes animaux et végétaux peuvent être soumis à des parasitoses d'origine bactérienne ou fongique (ex mildiou de la vigne, pneumonie à pneumocoques ...).*

*Au niveau du tube digestif, les micro-organismes peuvent créer des compétitions dans l'utilisation des nutriments issus de la digestion enzymatique.*

*Diminution du potentiel de croissance de l'organisme et influence négative sur ses capacités reproductrices : diminution de la fitness de l'organisme parasité.*

**4. Les micro-organismes peuvent être impliqués dans des relations de prédation**

Ex des ciliés de la panse des ruminants qui se nourrissent des bactéries ; ou ex des amibes du sol ou des larves de nématodes qui consomment les bactéries de la rhizosphère ; l'exemple du mildiou peut aussi être utilisé ici.

**Bilan :** A l'échelle de l'organisme, les micro-organismes sont impliqués dans tous les types de relations interspécifiques. Ils ont une importance de premier plan dans le cadre des symbioses, qui fait émerger le concept d'holobionte : l'organisme et son symbiote ont des propriétés, des caractéristiques supplémentaires, qu'ils ne possèdent pas lorsqu'ils sont isolés.

**Transition :** Quelle est leur importance dans les liens trophiques et les flux de matière qui sous-tendent le fonctionnement des écosystèmes ?

**II. Les micro-organismes participent au fonctionnement des écosystèmes et des cycles biogéochimiques**

**1. Place des micro-organismes dans les écosystèmes en lien avec leur diversité métabolique**

a. Les micro-organismes peuvent être autotrophes au C et à l'N : à la base des réseaux trophiques

**Cas des photolithotrophes :** dans les écosystèmes photiques (ex cyanobactéries, algues unicellulaires)

L'énergie lumineuse finance la réduction de C et N minéraux, qui sont incorporés à la matière organique.

La conversion de l'énergie lumineuse repose sur des pigments photosynthétiques et permet la production de coenzymes réduits et d'ATP (*ne pas détailler*).

Enzyme clé : la RubisCO dans le cycle de Calvin-Benson (*ne pas détailler*).

**Cas des chimiolithotrophes** du sol (ex *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*)

L'oxydation d'ions minéraux ( $\text{NO}_2^-$  ou  $\text{NH}_4^+$ ) est la source d'énergie permettant de produire ATP et coenzymes réduits.

La RubisCO et le cycle de Calvin-Benson permettent la réduction du  $\text{CO}_2$  et la synthèse de MO.

L'autotrophie au carbone des microorganismes est quantitativement insignifiante dans les écosystèmes terrestres pour le cycle du C. En revanche, pour le cycle du N, chimiosynthèses indispensables pour « boucler le cycle » avec la production de nitrates qui sont la forme azotée absorbée par les racines des végétaux.

b. Les micro-organismes peuvent être des hétérotrophes au C et N : des décomposeurs

Les bactéries et champignons hétérotrophes du sol transforment la nécromasse (*arguments : pourritures blanches et brune*), cas aussi des symbiotes du rumen des ruminants : organismes chimio-organohétérotrophes.

*Schéma : transformations de la nécromasse du sol / microorganismes impliqués / produits (formes minérales utilisables par les producteurs primaires dont végétaux)*

Importance des décomposeurs dans les écosystèmes.

## **2. Les micro-organismes et l'efficacité de la minéralisation dans les sols, conséquences sur la biodiversité**

### a. Sols à Mull : biodiversité importante

*Schéma boucle de rétroaction dans le cas des Mull*

Action prépondérante des bactéries si la matière végétale (nécromasse) a un rapport C/N faible.

Humus de type Mull, nombreux turricules : vers de terre, mais aussi macro et méso faune sont favorisés.

Minéralisation rapide de la matière organique ce qui permet un recyclage des éléments vers les végétaux.

### b. Sols à Moder : faible biodiversité

*Schéma boucle de rétroaction dans le cas des Moder*

Action prépondérante des champignons si la matière végétale a un rapport C/N élevé et est riche en tannins.

Humus de type Moder, absence de turricules ; peu d'autres organismes.

Minéralisation lente de la matière minérale et faible recyclage des éléments → uniquement végétaux peu exigeants.

## **3. Importance des micro-organismes dans les flux biotiques au sein des cycles biogéochimiques**

Les micro-organismes par leur diversité métabolique participent aux divers flux biotiques dans les cycles du carbone comme de l'azote.

Dans le cycle de l'azote, une grande partie des flux sont liés aux micro-organismes.

*Schéma du cycle de l'azote montrant les flux réalisés par les microorganismes (diazotrophie, nitrification, dénitrification) précisant dès que possible les espèces impliquées*

Importance dans le couplage des deux cycles, efficacité du couplage et rapport C/N de la nécromasse.

**Bilan :** La grande diversité métabolique des micro-organismes explique leur rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes, en particulier dans le sol.

Au-delà de l'échelle de l'écosystème, les micro-organismes ont un rôle clé dans les flux de matière dans les cycles du carbone et de l'azote et permettent le couplage de ces cycles.

**Transition :** Quelle est l'importance des micro-organismes dans la dynamique spatio-temporelle des populations, dans l'évolution du vivant ?

## **III. Les micro-organismes participent à la dynamique du vivant à diverses échelles de temps**

### **1. Les micro-organismes sont des acteurs de la dynamique des populations**

#### a. Micro-organismes parasites et fluctuations d'effectifs des populations

*Item attendu au concours, mais pas dans ce DS. Voir cours SV-A3*

*Argument : courbes de Lotka Volterra pour la production de biomasse pour un couple mildiou-vigne*

*Le micro-organisme parasite diminue la valeur sélective de son hôte, ce qui diminue sa population. Par conséquent, la population de parasites diminue à son tour.*

#### b. Micro-organismes et colonisation de milieu

Ex le lichen : algue et Eumycète ou cyanobactérie et Eumycète.

Les micro-organismes participent à des organismes pionniers, car autotrophe au C et quelquefois à l'azote (grâce au producteur primaire).

En contribuant à l'altération des roches (*arguments : expérience hornblende + Streptomyces et mesure du Fe libéré dans le milieu ; observation de figures de dissolution autour de bactéries sur des minéraux*), par la formation de biofilms, les bactéries permettent la formation d'un lithosol qui peut être colonisé par des organismes pionniers.

La pédogenèse débute alors et les successions végétales s'installent.

Importance des mycètes dans la conquête du milieu aérien par les végétaux.

Certains micro-organismes colonisent des milieux peu propices à la vie (ex archées des sources hydrothermales) et peuvent être à la base de l'installation d'écosystèmes.

#### c. Micro-organismes et peuplement végétal d'un milieu

*Argument : comparaison des biomasses sur des sols prélevés près du parent ou loin de celui-ci, avec ou sans ajout de fongicide*

Explication de l'effet Janzen-Connell (*schéma*) : la présence d'organismes pathogènes dans la rhizosphère du pied parent limite le potentiel germinatif des semences à proximité du pied, par rétroaction microbienne négative dans les premiers stades de colonisation.

Conséquences : régulation de la densité des peuplements monospécifiques.

Effet Janzen-Connell inversé : au climax, les micro-organismes exercent des rétroactions positives. La diversité des micro-organismes recrutés au niveau de la rhizosphère des divers végétaux leur est favorable.

d. Micro-organismes et diminution de la biodiversité dans un milieu

Phénomène d'eutrophisation des lacs, en bords de mer.

L'excès de nitrates conduit à une prolifération rapide de cyanobactéries, d'algues. La dégradation de la matière organique issue des producteurs primaires par des organismes hétérotrophes consomme le dioxygène du milieu et conduit à un milieu anoxique en profondeur, d'où une diminution de la biodiversité aquatique.

## 2. **Les micro-organismes contribuent à l'évolution du vivant**

a. Les micro-organismes : une vitesse d'évolution élevée

*Argument : expérience de Luria et Delbruck : mise en évidence de l'apparition spontanée rapide de mutations*

La multiplication des micro-organismes très rapide dans des conditions de milieu favorable (ex : temps de génération = 20 min chez *E. coli*) permet une vitesse d'évolution élevée.

Liens avec la très grande diversité de micro-organismes, qui contribuent ainsi à la diversification du vivant.

b. Les micro-organismes dans la sélection et la coévolution

*Item attendu au concours, mais pas dans ce DS. Voir cours SV-A3 et SV-K2.2*

*Par l'importance des relations interspécifiques dans lesquelles ils sont impliqués, les micro-organismes contribuent à la sélection des organismes. La modification de la valeur sélective de ces organismes conduit à une sélection directionnelle.*

*Dans certains cas, il y a coévolution. Chaque organisme exerce alors une pression de sélection sur l'autre.*

*Cette coévolution peut être validée par l'observation de phylogénies en miroir.*

c. Les micro-organismes et la diversification des génomes par transferts horizontaux

*Arguments : transfert de l'antibiorésistance d'une souche bactérienne à une autre, expérience de Griffith et transformation de *S. pneumoniae**

Divers mécanismes de transferts horizontaux : transformation bactérienne, conjugaison bactérienne et transduction virale.

Notion d'espèce assez floue chez les procaryotes puisqu'il suffit de 70 % de communauté génétique pour que deux bactéries appartiennent à la même espèce.

Échanges de plasmides fréquents mais aussi de morceaux du chromosome bactérien dans le cas de souche à haute fréquence de recombinaison.

d. Les micro-organismes à l'origine des organites énergétiques des cellules eucaryotes par endosymbiose

*Arguments : caractéristiques de la membrane interne ; génomes mitochondrial et chloroplastique circulaires*

Théorie endosymbiotique sur l'origine des mitochondries et des plastes.

Importance de cette endosymbiose pour le métabolisme énergétique.

*Item attendu au concours mais pas ici : Le polyphylétisme des plastes montre la redondance des endosymbioses*

**Bilan** : Les micro-organismes sont présents comme force évolutive dans les cas d'évolution ou de coévolution. Mais par leur facilité à réaliser des transferts horizontaux et à participer à des endosymbioses, ils participent à une évolution réticulée.

### **Conclusion**

L'importance biologique des micro-organismes repose sur leur diversité métabolique et de lieu de vie. Leurs interactions avec les autres êtres vivants impactent la réalisation des fonctions vitales de ces derniers, mais aussi la dynamique de leurs populations. Par la diversité de leur métabolisme, les micro-organismes ont des rôles clés dans les flux de matière et d'énergie qui sous-tendent le fonctionnement des écosystèmes et les cycles de la matière. Enfin, leur vitesse d'évolution élevée et leur capacité à réaliser des transferts horizontaux de gènes en font des acteurs de l'évolution du vivant.

Les micro-organismes (essentiellement ceux du sol) sont aussi une source de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) qui contribuent au changement climatique. Ce changement a des effets sur le monde vivant en modifiant la biodiversité, la phénologie de certaines espèces. C'est une raison supplémentaire de s'intéresser à ces micro-organismes.