

Chapitre 1. Généralités

1. Introduction

Les micro-organismes existent sur la terre depuis des milliards d'années. Les micro-organismes constituent un ensemble important et diversifié d'organismes microscopiques existant en tant que cellule seule ou en groupe. Les microorganismes fonctionnent en tant que **populations** ou assemblages d'organismes similaires. Des populations proches du point de vue métabolique sont appelées des **guildes, et les guildes** interagissent au sein des **communautés microbiennes**, ou mélanges de populations microbiennes différentes. Ces micro-organismes ont évolué tout en interagissant avec le monde inorganique et avec les organismes supérieurs, et ils jouent des rôles bénéfiques et vitaux. Ces interactions des micro-organismes avec leur environnement contribuent au fonctionnement des écosystèmes. Mais pour comprendre ces interactions, il faudrait que tous les micro-organismes observés sous microscope soient cultivables. Actuellement, on considère que les bactéries cultivables à partir d'un échantillon environnemental ne représentent qu'un pour cent de la diversité totale.

2-Définitions

Ecologie et Ecosystème Il y a plusieurs définitions de l'écologie; cependant, un grand nombre d'auteurs la définissent comme étant une science qui étudie les écosystèmes, ce qui nécessite une autre définition, celle de l'écosystème. L'**écosystème** est un système dynamique constitué par un grand nombre d'individus vivant dans un même milieu et qui se maintient et se régularise grâce à de très nombreuses relations entre ses composants. L'étang est un bon exemple d'écosystème. Selon F. R. Hayes, "un étang n'est pas une masse d'eau qui contient des éléments nutritifs, mais un système équilibré d'eau et de substances abiotiques, de producteurs, de consommateurs et de réducteurs (micro-organismes décomposant).

L'environnement physique Lorsqu'ils interagissent entre eux et avec d'autres organismes dans les cycles biogéochimiques, les microorganismes sont aussi influencés par leur environnement : sol, eau (douce ou profondeurs marines) ou un hôte végétal ou animal.

La niche par rapport à l'habitat La zone dans laquelle un organisme vit et exerce ses activités normales s'appelle l'habitat. L'expression de niche écologique désigne les activités spécifiques d'un organisme qui concernent son rôle ou sa fonction dans une communauté. En d'autres termes, la niche écologique occupée par un organisme englobe non seulement l'endroit où il se trouve, mais de même la fonction qu'il est en train d'exercer. Pour un microorganisme les flux et les gradients des oxydants, réducteurs et aliments créent une **niche** particulière, qui comprend le microorganisme, son habitat physique, le temps d'utilisation de la nourriture et les aliments disponibles pour sa croissance et son fonctionnement.

Biofilms Lorsqu'ils ne disposent pas d'environnement physique structuré, les microorganismes tendent à créer leurs propres microenvironnements ou niches, en élaborant des biofilms. Il s'agit de systèmes microbiens organisés, fait de couches de cellules associées à des surfaces.

Ecologie microbienne Brock a défini l'écologie microbienne comme étant «l'étude du comportement et des activités des micro-organismes dans leurs environnements naturels»; et a fait remarquer que les micro-organismes sont petits et **leurs environnements** sont aussi petits (micro-environnements).

Microbiologie Environnementale En comparaison la Microbiologie Environnementale, se rapporte aux processus microbiens globaux qui se déroulent dans le sol, l'eau ou les aliments, sans se préoccuper de ces microenvironnements ni des organismes qui y vivent.

3- Interactions interspécifiques

Les micro-organismes peuvent être associés à d'autres organismes de multiples façons:

- 1- S'installe à la surface d'un autre: **ectosymbiote**.
- 2- Lorsqu'ils sont dissemblables mais de taille similaire on parle de **consortium**
- 3- S'installe à l'intérieur d'un autre: **endosymbiote**.
- 4- Il y a aussi de nombreux cas où les micro-organismes vivent à la fois à l'intérieur et à l'extérieur d'un autre organisme : **ecto/endosymbiote**.

Chaque organisme est adapté à un habitat particulier. Il n'est pas étonnant que plusieurs espèces puissent vivre dans un même habitat ou dans une niche spécifique. Les interactions qui se produisent entre représentants de deux espèces différentes peuvent être neutres, négatives ou positives (fig.1).

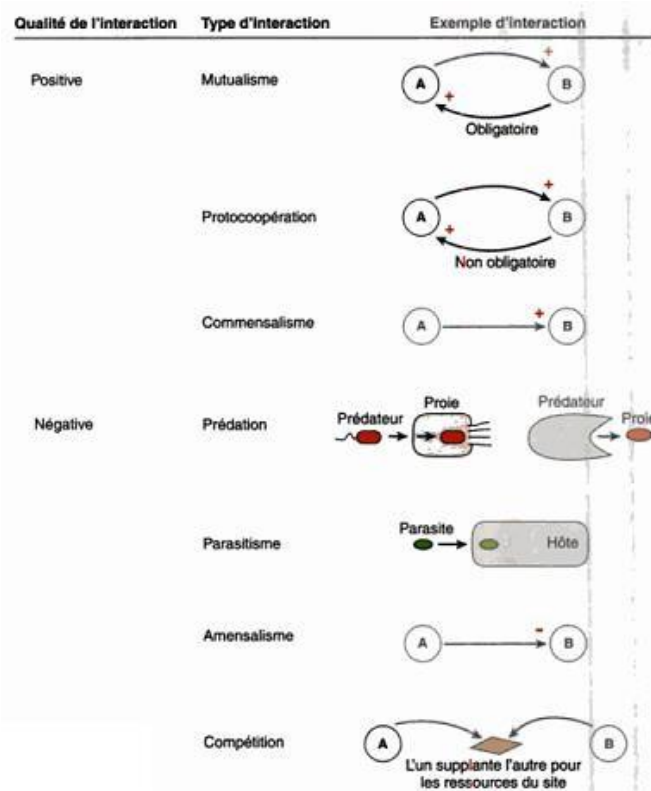


Figure 1. Interactions Microbiennes (Prescott *et al.*, 1995)

- a) **Le neutralisme** correspond à une situation où deux espèces occupent le même habitat, mais pas la même niche.
- b) **La compétition** est une interaction négative là où deux (ou plusieurs) espèces occupent le même habitat et ont besoin, par exemple, de la même nourriture. Souvent l'espèce qui est la plus affectée par cette compétition est éliminée, tandis que l'espèce qui survit prospère.
- c) **L'amensalisme** (du latin «pas à la même table»; est une interaction négative entre une espèce affectée et une espèce inhibitrice, l'espèce affectée étant soumise à une influence défavorable, tandis que l'espèce inhibitrice n'est affectée d'aucune façon. Exemple: les streptocoques sont des espèces amensales, tandis que la moisissure *Penicillium* est une espèce inhibitrice. Quand ils sont combinés, la pénicilline, l'antibiotique produit par *Penicillium*, détruit les streptocoques sans affecter ce dernier.
- d) **Le parasitisme** et **la prédation** sont les formes extrêmes d'interaction négatives. Dans le cas du **parasitisme**, une espèce est l'hôte et une autre espèce le parasite: celui-ci profite de son hôte, vivant sur lui ou dans lui, sans le détruire. C'est le cas de certains virus bactériens (bactériophages) qui établissent une relation de lysogénie, procurant à la bactérie des caractères nouveaux; exemple : la production de toxines chez *Corynebacterium diphtherae*. Ou encore le cas de certains mycètes impliqués dans le biocontrôle; exemple: *Rhizoctonia solani* qui parasite *Mucor*.
- e) Dans le cas de la **prédation**, une espèce vit de proies -le prédateur - tandis qu'une autre espèce est la proie. En interaction, le parasite gagne à cette relation, tandis que l'hôte en souffre. De même, le prédateur profite de cette relation, tandis que la population de proie en est affectée dans son existence même.
- f) **La proto-coopération** est une relation positive dans laquelle les deux partenaires profitent de leur association, sans qu'elle soit obligatoire pour aucun d'eux.
- g) **Le commensalisme** est une relation positive où l'hôte n'est affecté de façon ni positive, ni négative, mais où l'espèce commensale (celle "qui mange à la même table") dépend de l'hôte pour sa survie. Exemple: plusieurs espèces d'anémones (plantes herbacées) sont commensales des crabes; quand ces derniers se nourrissent, des particules de nourriture sont disponibles pour les anémones, ce qui n'est pas le cas en l'absence de cette relation.
- h) **Le mutualisme** (ou la symbiose) du latin *mutuus* (réciproque), est une relation positive qui est obligatoire pour les deux partenaires, aucun d'eux ne pouvant survivre en son absence. Exemple :les termites et certaines espèces de protozoaires flagellés qui se trouvent dans le tractus intestinal des termites.

i) **Le Syntrophisme** (du grec "se nourrir mutuellement") ou cross feeding: association de deux microorganismes, qui coopèrent pour une activité métabolique globale bien précise sans que leur dépendance mutuelle ne puisse être remplacée par une simple addition de substrat ou de nutriment. C'est un cas particulier du symbiotisme. Exemple: **le rumen**. Le rumen contient une population microbienne importante et diversifiée (10^{12} organismes/ml), où l'on trouve des procaryotes des mycètes et protozoaires anaérobies cellulolytiques.

4. La communauté microbienne

Il y a trois types principaux d'environnement : celui des eaux douces, le type marin et le type terrestre. Puisque les organismes sont adaptés à leur environnement, chacun de ces trois types à ses propres flores et faunes.

Les producteurs d'un étang/mer sont les (plantes) photo synthétisants, parmi lesquelles il y a de grandes plantes enracinées ou flottantes et des plantes minuscules, ces dernières connues sous le nom de phytoplancton. Mais aussi des bactéries. Les **producteurs** forment le **premier niveau trophique**.

Les **consommateurs primaires** d'un étang sont les animaux herbivores, soit **les organismes du fond** d'étang et le **zooplancton**. Ils forment le **second niveau trophique**. Les consommateurs secondaires sont les animaux carnivores qui se nourrissent de consommateurs primaires. Les **poissons**, qui forment le **troisième niveau trophique**, en sont un exemple.

Les micro-organismes décomposant d'un étang sont les bactéries et les microchampignons, distribués dans toute la masse d'eau et particulièrement à l'interface boue-eau où les organismes végétaux et animaux s'accumulent, ainsi que dans la zone de photosynthèse. Ils forment le dernier niveau trophique.

Les microorganismes sont un groupe diversifié d'organismes se résumant en 3 domaines («tree of life»): Prokaryotes (eubactéries), eucaryotes, archaebactéries (fig.2). Qui sont d'une grande diversité métabolique: les bactéries en particulier, peuvent utiliser pratiquement n'importe quel substrat comme source d'énergie et de Carbone (exp : des acides humiques aux plastiques...).

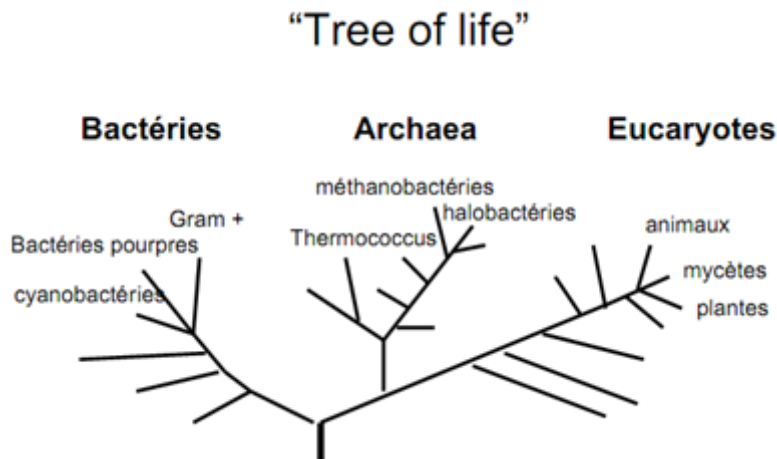


Figure 2. Les 3 domaines du vivant.

4.1 Diversité du métabolisme

Les microbes, et particulièrement les bactéries et les archéobactéries, vivent dans des habitats extrêmement variés. On les trouve autant dans les eaux limpides des ruisseaux, dans le désert de glace qu'est l'antarctique que dans les sources thermales les plus chaudes, à plus de 1 km dans la croûte terrestre, à des milliers de m d'altitude (atmosphère raréfiée), dans les profondeurs océaniques à une obscurité totale et une pression considérable. Et même dans les eaux salines presque saturées de la mer morte.

Les **phototrophes** capturent l'énergie radiante du soleil, les **chimioorganotrophes** oxydent les molécules organiques pour libérer de l'énergie, tandis que les **chimolithotrophes** emploient comme sources d'énergie des aliments inorganiques. Cependant, par définition, seuls les **autotrophes** utilisent l'anhydride carbonique (CO₂) comme unique ou principale source de carbone. Les organismes qui utilisent des molécules organiques préformées, réduites, comme source de carbone sont **hétérotrophes**.

Les **extrêmophiles** sont des microbes qui vivent dans des conditions extrêmes de température, d'acidité, d'alcalinité ou de salinité. La plupart appartiennent au domaine des *Archæ*. L'industrie s'intéresse beaucoup aux enzymes permettant la croissance de microorganismes dans de telles conditions, parcequ'elles tolèrent des températures et des pH extrêmes, par exemple la *Taq* polymérase extraite de *Thermus aquaticus*.

4.2 Diversité des microorganismes

La diversité microbienne est immense. C'est la résultante de l'évolution sur presque quatre milliards d'années. Cette diversité peut être étudiée sous des angles multiples: variation de la taille des cellules, de la morphologie (forme), des stratégies métaboliques (physiologie), de la mobilité, pathogénèse, adaptation à l'environnement.

4.2.3. Les virus sont des entités acellulaires, mais qui constituent une classe majeure des microorganismes. Il y a entre 10^6 et 10^9 particules virales par millilitre à la surface de l'océan. Ce sont pour la plupart des bactériophages qui peuvent infecter des bactéries hétérotrophes et des cyanobactéries. En plus des procaryotes marins les virus infectent aussi les diatomées et d'autres grands groupes d'algues et de phytoplancton marin. Les bactériophages seraient responsables de la mort ou du remplacement d'un tiers au moins des bactéries aquatiques, ceci est d'une importance majeure en écologie, car la multiplication des bactéries marines excède la capacité nutritive des protozoaires marins. Les bactériophages peuvent accélérer le transfert de gènes entre les bactéries marines (transformation et transduction). En effet, la lyse bactérienne viro-induite génère la plus grande partie de l'ADN libre présent dans l'eau de mer. Ces échanges peuvent être positifs: dégradation des polluants toxiques (marées noires) par les bactéries marines transformées.

4.2.4 Bactéries hétérotrophes l'énumération directe par épifluorescence montre leur abondance dans l'eau ($10^4 - 10^6$ /mL). Alors que dans les sédiments et sols terrestres l'énumération directe donne $1-60 \times 10^9$ cellules/g poids sec. Cette abondance totale liée à l'apport de matière organique. On retrouve aussi des bactéries photosynthétiques anoxygéniques comme les bactéries pourpres et vertes: bactéries photosynthétiques, qui utilisent le H_2S (parfois H_2) comme source d'électrons ; ou précipitent le soufre élémentaire à l'intérieur ou à l'extérieur de la cellule. Un troisième groupe sont les bactéries photosynthétiques oxygéniques représentées par les Cyanobactéries: les petites picocyanobactéries des océans et des lacs jusqu'à 10^5 cellules/mL, alors que les espèces plus grandes des lacs et estuaires eutrophes , forment des structures coloniales macroscopiques, certains espèces sont même capables de fixer l'azote atmosphérique. Les prochlorophytes, petit picoplancton, découverts début 90, sont très abondants et répandus en mer (**Fortin**).

4.2.5. Microorganismes eucaryotes

a. Algues abondantes dans l'eau ($10 - 10^4$ cellules/mL), vivent en suspension comme plancton ou attachées aux surfaces (roches, bois, plantes supérieures, tortues...) comme périphyton, ou en symbiose avec les protozoaires et les invertébrés. D'une énorme diversité; beaucoup n'ont pas été identifiées ou mises en culture.

b. Protozoaires répandus dans l'eau ($10 - 10^4$ /mL) et les sols ; avec une affinité taxonomique avec les divisions d'algues (chrysophytes, cryptophytes sont reclassifiées dans le règne Protista). Ce sont des microorganismes bactivores et algivores, formant la chaîne alimentaire microbienne ou "boucle" microbienne. Quelques protozoaires sont des pathogènes importants de l'homme transmis par l'eau: *Giardia*, *Cryptosporidium*, et sont résistants au chlore.

c. Mycètes microscopiques Importants, particulièrement dans les milieux terrestres, entrent en compétition pour les bactéries pour la matière organique. Se divisent en trois phylums: deutéromycètes, ascomycètes et basidiomycètes (quelques espèces ont la capacité de dégrader la lignine). Quelques espèces sont saprophytes, alors que d'autres sont pathogènes pour les plantes (Moisissures/pourritures blanches, brunes, bleues du bois). Ces moisissures sont un problème majeur de la qualité de l'air, la nourriture, la santé publique en générale.