

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences Biologiques



جامعة غليزان
RELIZANE UNIVERSITY

POLYCOPIÉ DE COURS

Destiné aux étudiants de Master 2 Microbiologie et Control de
Qualité

Intitulé :

Interactions des Micro-organismes

Elaboré par :

Dr. ADDI Nesrine

Année universitaire : 2022/2023

Liste des Figures :

Figure 1 : Schéma du Cycle de l'eau.....	11
Figure 2 : Schéma montrant les étapes de formation de biofilms.....	14
Figure 3 : Exemple d'un mycorhize.....	17
Figure 4 : Structure des mycorhizes.....	17
Figure 5: Schémas principales voies mis en jeu dans la dégradation anaérobie de la matière organique.....	25
Figure 6 : Photo d'une Nécrose sur feuille.....	30
Figure 7 : Photo de pourriture molle.....	31
Figure 8 : Photo de galle sur chêne.....	31
Figure 9 : Photo de Chancre sur feuille et chancre sur tronc d'arbre.....	31
Figure 10 : Photo de flétrissement sur feuille.....	32
Figure 11 : Photo d'une Macération.....	33
Figure 12 : Photo des Symptômes de l'Alternariose sur feuille de tabac.....	35
Figure 13 : Observation microscopique de « <i>Ascochyta rabiea</i> ».....	35
Figure 14 : Symptômes de l'antracnose sur plante de pois chiche.....	36
Figure 15 : Exemples d'infections cutanées à <i>S. aureus</i>	41
Figure 16 : Observation microscopique de <i>Streptococcus</i>	41
Figure17 : Photo montrant l'effet des bactéries promotrices de développement sur les plantes	44

Sommaire :

I.Introduction.....	01
Chapitre I : Généralités sur la Microbiologie de l'environnement.....	02
I.1. Définition Microbiologie Générale.....	03
I.3. Définition de l'écologie microbienne.....	03
I.2. Définition de la microbiologie de l'environnement.....	03
I.4. Définition de la physiologie.....	03
I.5. Ecologie des microorganismes dans les écosystèmes simples ou complexes (Exemple du sol).....	03
I.5.1. Définitions.....	04
I.5.2. Les types d'interactions entre micro-organismes.....	04
I.5.3. Interactions interspécifiques.....	05
I.5.4. Les Interactions Micro-organismes – sol.....	05
I.5.4.1. Définition du sol.....	05
I.5.4.1.2. Spécificité de l'écosystème tellurique (le sol).....	05
I.5.4.2. Associations des micro-organismes du sol.....	06
I.5.4.2.1. Les micro-oranismes du sol.....	06
Exemples de micro-organismes vivants dans le sol.....	07
I.5.4.2.1. 1. Rôle des Bactéries dans le sol.....	08
I.5.4.2.1. 2. Rôle des champignons dans le sol.....	08
I.5.4.2.1. Rôle des microorganismes dans le cycle de Carbone.....	09
I.5.5. Notions sur les réservoirs Naturels.....	10
I.5.5.1. Définition.....	10
I.5.5.1. Les différents réservoirs naturels.....	10
Chapitre II : Interactions des micro-organismes avec le milieu physique.....	12
II. Organisation spéciale de la communauté microbienne.....	13
II.1. Les Biofilms.....	13
II.1.1. Types de Biofilms.....	14
II.1.2. Ecologie des Biofilms.....	15
II.2. Les Tapis microbiens.....	16

II.3. Le manteau fongique (Mycorhize).....	16
II.3.1. Rôle des mycorhizes.....	18
II.4. Les bactéries viables et non cultivables « VBNC ».....	18
Définition.....	18
II.4.1. Facteurs entraînant la mort cellulaire	18
II.4.2. Exemples de VBNC.....	19
II.4.3. Analyses et méthodes de recherche des bactéries non cultivables	19
Chapitre III : Interactions Micro-organismes/Micro-organismes et Interactions Micro-oraganismes/ Organismes supérieurs.....	21
III.1. Interactions micro-organismes / micro-organismes	22
III.1.1. Signaux de communication.....	22
III.1.1. Le Quorum-sensing.....	22
III.1.2. Les Usages des « quorum sensing »	23
III.1.2. Interactions et dynamiques microbiennes	23
III.1.2.1. Les cultures mixtes de micro-organismes.....	23
III.1.3. La succession écologique.....	24
III.1.3. Conséquences de la succession microbienne dans la dégradation de la matière organique.....	24
III.1.1.2. Exemples d'interactions entre micro-organismes.....	26
1/ Le Mutualisme.....	26
2/La Prédation.....	26
3/ L'antibiose.....	26
III.2. Interactions des micro-organismes avec les organismes supérieurs.....	27
III.2.1. Interactions Micro-organismes /plantes	27
III.2.2. La microflore trouvée dans le sol et qui interagit avec les plantes	28
III.2.2.1. Interactions bénéfiques.....	28
III.2.2.1.1. Exemples d'interactions bénéfiques.....	28
II.2.2.2 Interactions délétères.....	29
II.2.2.2.1. Bactérioses	29
II.2.2.2.1.1. Les principaux symptômes des bactérioses	30

II.2.2.2.1.2. Les étapes de développement des bactérioses.....	32
II.2.2.2.2. <i>Les maladies cryptogamiques</i>	34
II.2.2.2.2.1. <i>Etapes d'évolution de la maladie cryptogamique</i>	34
I.2.2.2.2.2. <i>Exemples de maladies cryptogamiques</i>	34
III.2.2. Interactions micro-organismes / Animal et homme.....	37
III.2.2.1. Interactions positives.....	37
III.2.2.1.1. Le microbiote intestinal.....	37
III.2.2.1.2. Fonctions et produits de la microflore intestinale.....	37
III.2.2.1.3. Rôle de la flore digestive	38
III.2.2.1.4. Modification de la microflore normale.....	39
III.2.2.2. Dans le cas des interactions négatives.....	39
III.2.2.2.1. infections à Pneumocoques.....	39
III.2.2.2.2. Infection à Staphylocoques.....	40
III.2.2.2.2. Infection à Streptocoques.....	41
III.2.2.2.2.1. Substances élaborées par <i>Streptococcus pyogènes</i>	42
III.2.2.2.2.2. Maladies provoqués par <i>Streptococcus</i>	42
Chapitre IV : Biofertilisation et OGM: impact sur l'environnement	43
IV. Bio-fertilisation.....	44
IV.1. Définition.....	44
IV.1.2. Intérêt.....	44
IV.1.3. Exemples de bio fertilisants.....	45
IV.1.4. Les raisons de les utiliser.....	45
IV. Les OGM.....	46
IV.1. Définition.....	46
IV.2. Les différentes utilisations des OGM	46
IV.3. Impact OGM sur l'environnement	46
Conclusion	48
Références bibliographiques	50

I. Introduction :

Les interactions des micro-organismes représentent les nombreuses relations auxquelles participent les microorganismes dans leur environnement, qu'il s'agisse d'interactions physiques ou biotiques. Elles englobent ainsi des relations avec la niche écologique et d'autres avec les êtres vivants.

Pour l'étude de ces interactions, des connaissances sur les écosystèmes et leurs fonctionnements ainsi que sur les micro-organismes et leurs physiologie et métabolismes, sont nécessaires afin de pouvoir comprendre et analyser ce monde complexe et très vaste.

Les micro-organismes communiquent avec le milieu dans lequel ils vivent en effectuant des échanges multiples, qui peuvent être positifs ou négatifs, et ils sont classés selon leur mode de vie en symbiotes, parasites, commensalistes, mutualistes....ect. Ces modes de vie peuvent être obligatoires ou changer selon les conditions environnementales dans lesquels ils se trouvent.

Les micro-organismes entretiennent aussi des relations avec d'autres micro-organismes dans les écosystèmes, et ceci dans le cadre d'échanges à double profit ou à profit unique et parfois dans le cadre d'une coemption au niveau de la même niche écologique.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressé au fonctionnement des écosystèmes, aux différents échanges existants entre les micro-organismes et leur environnement, et ainsi nous avons abordé les flores intestinales, les pathologies humaines dues aux micro-organismes, les maladies des plantes, les associations mycorrhiziennes, les bactéries viables et non cultivables, puis l'impacte des organismes génétiquement modifiés sur l'environnement.

**Chapitre I : Généralités sur la
Microbiologie de l'environnement**

I.1. Définition Microbiologie Générale

La microbiologie est un domaine des sciences appliquées qui a pour objectif d'étudier les micro-organismes et les activités qui les caractérisent. La microbiologie se consacre à l'identification et à la caractérisation des micro-organismes, à l'étude de leur origine et de leur évolution, les produits de leurs activités et leurs besoins ; et à comprendre les relations qu'ils entretiennent entre eux et avec le milieu où ils vivent.

I.2. Définition de la microbiologie de l'environnement

C'est l'étude des relations existantes entre les micro-organismes de l'environnement. Le plus important est de savoir qu'il y'a des interactions entre les micro-organismes et l'environnement (des échanges positifs et négatifs).

I.3. Définition de l'écologie microbienne

L'écologie microbienne aborde la place et le rôle des micro-organismes dans un habitat (environnement).

I.4. Définition de la physiologie

C'est le mode de fonctionnement : la structure de la cellule, la nutrition, le métabolisme, la croissance.

I.5. Ecologie des microorganismes dans les écosystèmes simples ou complexes (Exemple du sol) :

I.5.1. Définitions :

- **Ecologie et Ecosystème :**

L'écologie est l'étude des écosystèmes. L'écosystème est un système dynamique constitué par un grand nombre d'individus vivant dans un même

Interactions des micro-organismes

milieu. Ce milieu se maintient et se régularise grâce à de nombreuses relations entre ses composants.

L'étang est un bon exemple d'écosystème : "un étang est une masse d'eau qui contient un système équilibré d'eau et de substances abiotiques, de producteurs, de consommateurs et de réducteurs (micro-organismes décomposant).

I.5.2. 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- S'installe à l'intérieur d'un autre : endosymbiote.
- 2- Il ya 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 même niche spécifique. Les interactions qui se produisent entre deux espèces différentes peuvent être neutres, négatives ou positives.

I.5.3. Les types d'interactions entre micro-organismes :

La compétition : c'est une interaction négative, 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. Exemple : les streptocoques et la moisissure *Penicillium*. Quand ils sont combinés, la pénicilline, l'antibiotique produit par *Penicillium*, détruit les streptocoques.

Le parasitisme : Ce sont les formes extrêmes d'interaction négatives. Dans le cas du parasitisme, une espèce est l'hôte et une autre espèce est le

Interactions des micro-organismes

parasite: celui-ci profite de son hôte, vivant sur lui sans le détruire. C'est le cas de certains virus.

Le commensalisme : c'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.

Le mutualisme : c'est une relation positive qui est obligatoire pour les deux partenaires, aucun d'eux ne pouvant survivre sans l'autre. Exemple : les termites et certaines espèces de protozoaires flagellés qui se trouvent dans le tractus intestinal des termites.

Le symbiotisme : est une relation à échanges positifs entre les deux organismes. Chacun tire profit de l'autre.

I.5.4.Les Interactions Micro-organismes – sol :

I.5.4.1.Définition du sol :

Nous nous intéressons au sol car il contient le plus grand nombre de micro-organismes. Le sol est la matière extérieure lâche de la surface de la Terre, c'est l'habitat d'une variété d'organismes, y compris les bactéries, champignons, protozoaires, insectes, nématodes, des vers, et de nombreux autres animaux. Les virus sont également présents dans les sols.

I.5.4.1.2.Spécificité de l'écosystème tellurique (le sol) :

Composition : Les sols sont composés de matière inorganique minérale, de matière organique, habituellement d'environ 5%, d'eau, plus ou moins 50%, et des microorganismes et macro-organismes.

➤ Détail :

- **L'oxygène dans le sol** : Le sol est riche en Oxygène, ainsi, les micro-organismes du sol sont en contact physique étroit avec l'oxygène.
- **L'eau** : Est l'un des principaux facteurs qui influent sur l'activité microbienne dans le sol et sa disponibilité est variable. Ainsi, la teneur en eau du sol dépend des précipitations, du drainage et la couverture végétale.
- **Autres gaz** : Présence de « Co » et de « CO₂ ».
- **Le pH** : se situe entre 6 à 9.
- **Les bactéries et les champignons** utilisent différentes stratégies fonctionnelles pour profiter du sol. La plupart des bactéries du sol sont situées sur les surfaces des particules du sol et nécessitent de l'eau et des éléments nutritifs.
- **Une grande variété d'insectes et d'animaux** sont aussi présents dans les sols, et ceux-ci utilisent souvent les champignons et les bactéries comme sources de nourriture, ainsi que les résidus de transformation.

I.5.4.2. Associations des micro-organismes du sol :

Les plantes sont la principale source de matière organique dont la plupart des micro-organismes du sol dépendent ; en outre, elles sont fortement colonisées par des microorganismes, beaucoup d'entre eux ont développé des relations étroites avec les végétaux (mutualisme, pathogènes). Différents types de micro-organismes sont associés aux feuilles, tiges, fleurs, graines et aux racines.

I.5.4.2.1. Les micro-organismes du sol :

Un gramme (1g) de sol contient environ 1 milliard de bactéries réparties en 5 à 25 000 espèces. Rares sont les microorganismes pathogènes. En revanche, un grand nombre d'entre eux favorisent la croissance des végétaux, assurent la dégradation de polluants, et fournissent des composés d'intérêt tels des enzymes, des antibiotiques. Parmi les microorganismes

Interactions des micro-organismes

bénéfiques, nous retrouvons les champignons mycorhiziens, qui entretiennent des relations très étroites avec les plantes. Ils apportent à la plante des éléments nutritifs, essentiellement le phosphore utiles à sa croissance, et d'autre part ils renforcent ses défenses naturelles vis-à-vis du stress d'origine biotique ou abiotique. D'autres microorganismes, en particulier les bactéries du genre *Bacillus* ou *Pseudomonas* qualifiées de « PGPR », sont également capables de stimuler la croissance des plantes et de s'opposer à l'activité d'agents pathogènes.

➤ **Exemples de micro-organismes vivants dans le sol :**

Actinomycètes : groupe de bactéries appartenant à la flore du sol, qui jouent un rôle important dans la décomposition des matières organiques.

Azotobacter : bactérie aérobie stricte et libre dans le sol qui fixe l'azote atmosphérique chez la plupart des végétaux et le transforme en ammonium.

Mycorhizes : mycorhize est une association entre les racines des plantes et des champignons. Cette association est essentielle à la survie des deux partenaires. Chez la plante, elle augmente sa capacité d'absorber les minéraux essentiels et sa résistance aux maladies des racines. Et elle permet au champignon de tirer les glucides directement de son partenaire.

Rhizobium : bactérie aérobie stricte qui fixe l'azote atmosphérique en association avec des plantes hôtes (légumineuses) et le transforme en ammonium.

Trichoderma : champignon filamenteux qui crée une barrière physique et stimule le développement racinaire par libération d'éléments nutritifs et minéraux. Elle détruit les champignons pathogènes par production d'enzymes cellulolytiques et grâce à la production de molécules à activité biocide.

I.5.4.2.1. 1. Rôle des Bactéries dans le sol :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires. Leur rôle est qu'elles servent aux transformations des éléments utiles à la plante, tel que le carbone, l'azote, le soufre et phosphore. Ainsi, les bactéries, sont responsables de nombreux processus, tel que la libération des éléments nutritifs à partir de la matière organique et des minéraux du sol, l'oxydation de l'ammonium en nitrates (nitrification - bactéries nitrosomonas et nitrobacters : cycle de l'azote), la production d'hormones de croissance qui favorisent le développement des racines. La compétition avec les micro-organismes pathogènes limitant ainsi les risques de maladie et la formation des agrégats du sol.

I.5.4.2.1. 2. Rôle des champignons dans le sol :

Les champignons sont des organismes pluricellulaires, parfois unicellulaires, aérobie, plus résistants que les bactéries aux conditions difficiles. Leur Taille est très variable. Ils sont répartis en 4 groupes selon leur régime alimentaire : les décomposeurs (ils décomposent la matière organique fraîche), les prédateurs, les pathogènes et parasites (occasionnent des dégâts sur les cultures) et les symbiotiques (Exemple : les champignons mycorrhiziens).

Ainsi, les champignons assurent la décomposition de la matière organique des éléments, ils contribuent à la stabilisation des agrégats du sol. Ils participent à l'amélioration de la nutrition des plantes par la solubilisation et le transport actif d'éléments minéraux (surtout phosphore), via les mycorhizes. Ils assurent la régulation des populations nuisibles pour les cultures (Exemple : *Trichoderma*) et la dégradation de certains pesticides et polluants. Enfin ils constituent une Source d'alimentation pour d'autres membres de la chaîne alimentaire.

I.5.4.2.1. Rôle des microorganismes dans le cycle de Carbone :

Au cours de leur croissance et de leur métabolisme, les micro-organismes interagissent les uns avec les autres dans les cycles des nutriments, tel que le carbone, le soufre, l'azote, le phosphore, le fer et le manganèse. Le cycle des éléments nutritifs est aussi appelé : cycle biogéochimique.

A. Définition du cycle du carbone :

Le carbone peut être présent sous des formes réduites, tels que le méthane (CH₄) et la matière organique (carbone organique), et sous des formes oxydées, tel que le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂) et la calcaire (CaCO₃ ; carbone inorganique). Le cycle du carbone est la circulation du : CO₂, du CO, du CaCO₃ et du CH₄ dans l'écosystème.

B. Les réservoirs de carbone :

Le plus grand réservoir de carbone sur Terre provient des sédiments et des roches, telles que la calcaire (CaCO₃). En plus des organismes tel que les plantes, les micro-organismes et les animaux, qui contiennent de grandes quantités de carbone sous forme de composés organiques, tels que la cellulose, amidons, les graisses et les protéines. Et il y'a aussi l'humus qui renferme la matière organique morte.

C. Rôle de la photosynthèse dans le cycle du carbone :

La photosynthèse joue un rôle important dans le cycle du carbone, car elle fait circuler le CO₂. Elle se fait par les organismes autotrophes (plantes vertes). Ces derniers réduisent le dioxyde de carbone en matière organique. La photosynthèse est la première étape du cycle du carbone dans laquelle les cyanobactéries, les algues et les bactéries sulfureuses vertes, incorporent le dioxyde de carbone dans la matière organique en utilisant l'énergie solaire.

I.5.5. Notions sur les réservoirs Naturels

I.5.5.1. Définition :

Un réservoir Naturel est tout milieu organique ou minéral ou tout être vivant, hébergeant et favorisant le développement d'organismes ou de matières, et ceci durant une période.

I.5.5.1. Les différents réservoirs naturels :

1/ Eau :

L'eau constitue un réservoir important de micro-organismes divers, et nous retrouvons Par ordre d'importance décroissante : l'eau salée qui est le liquide des océans, et qui est de loin le réservoir le plus important. L'eau douce que nous retrouvons dans les cours d'eau (lacs et marais). Les glaciers, dont l'eau est stockée pour un temps sous forme de neige ou de glace et enfin l'eau atmosphérique (vapeur d'eau). L'eau va circuler entre les différents réservoirs, suivant un cycle naturel (**Fig.1**).

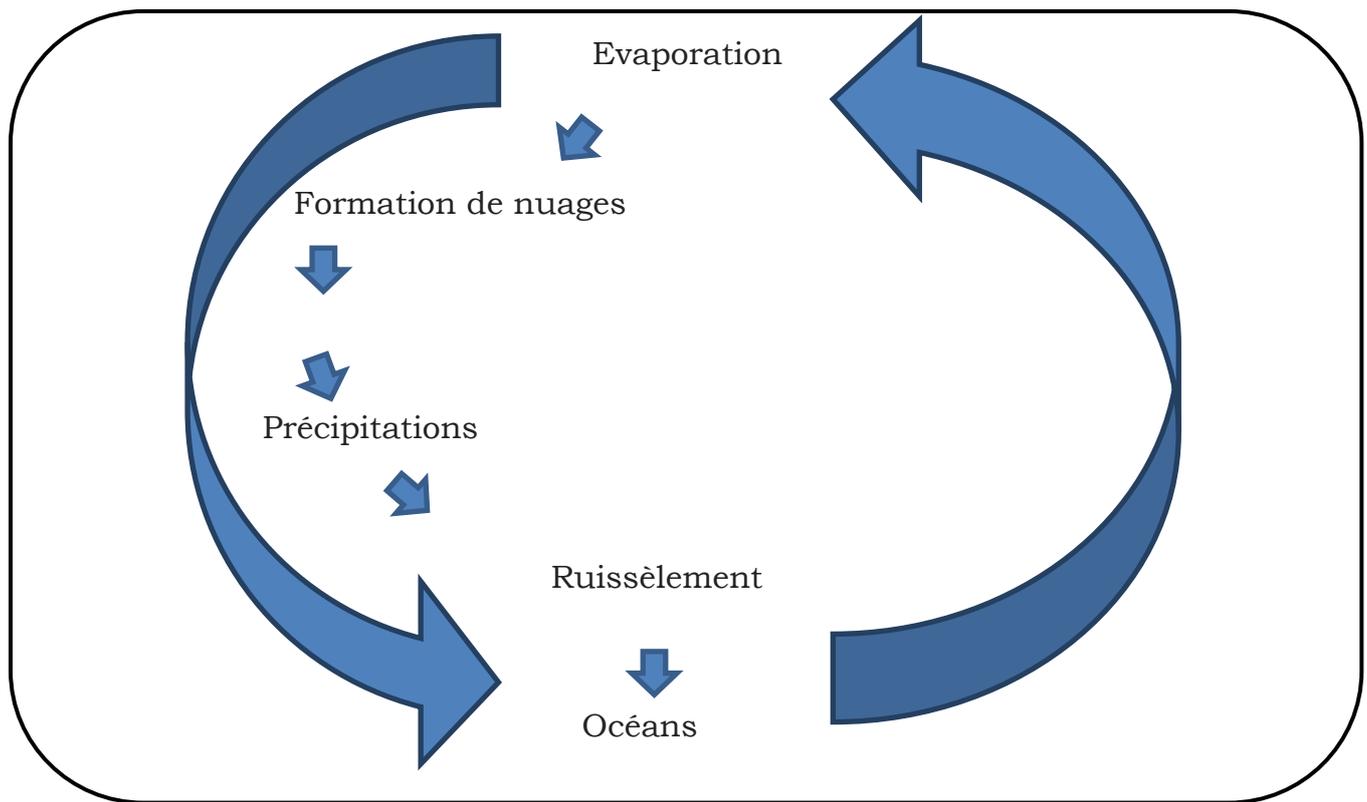


Figure 1 : Schéma du Cycle de l'eau

2/ Le sol :

Le sol constitue un véritable réservoir naturel de micro-organismes, de Carbone, d'eau et de gaz. Au niveau du sol, nous retrouvons le cycle du carbone, qui est le plus important, au cours de ce dernier, le carbone « **C** » circule entre la terre, l'hydrosphère, les plantes et même l'air.

3/ Les plantes :

Les plantes participent au cycle de l'eau par la photosynthèse (réservoir eau) et aussi au cycle du carbone par respiration et décomposition (réservoir carbone), tout comme elles interagissent avec les micro-organismes. Et de tout cela nous pouvons percevoir le rôle important que joue les plantes dans les écosystèmes.

Chapitre II :
Interactions des micro-organismes
avec le milieu physique

II. Organisation spéciale de la communauté microbienne :

C'est le mode par lequel s'organisent les micro-organismes dans l'environnement, parmi ces modes, nous retrouvons les biofilms et les tapis microbiens.

II.1. Les Biofilms :

Dans leur environnement naturel, certains microorganismes sont attachés à une surface, et englobés dans une matrice d'exopolysaccharide. Ce mode de développement est appelé biofilm, et passe par des étapes pour se former **(Fig.2)**.

L'étape initiale consiste à un attachement qui fait intervenir des appendices générateurs de mouvements (flagelles), qui permettront d'approcher la surface à coloniser. Ce sont donc les bactéries mobiles qui s'organisent en biofilm. Dans un deuxième temps, une association stable avec la surface ou avec d'autres micro-organismes déjà présents s'établit. Ces rassemblements de bactéries conduisent à l'élaboration du biofilm. Il y'a également la formation d'une matrice d'exopolysaccharide, Cette matrice renforce la structure du biofilm tout en lui conservant une grande plasticité.

Au sein du biofilm, les micro-colonies sont séparées par des canaux aqueux qui forment un réseau de circulation permettant, d'une part, d'acheminer l'oxygène et les nutriments dans les régions enfouies du biofilm, et d'autre part, d'évacuer les déchets. Le matériel soluble peut diffuser à travers la matrice d'exopolysaccharide et être utilisé par les bactéries. Ainsi, nous pourrions observer que l'état métabolique d'une bactérie à l'intérieur d'un biofilm dépend de sa localisation au sein de la structure.

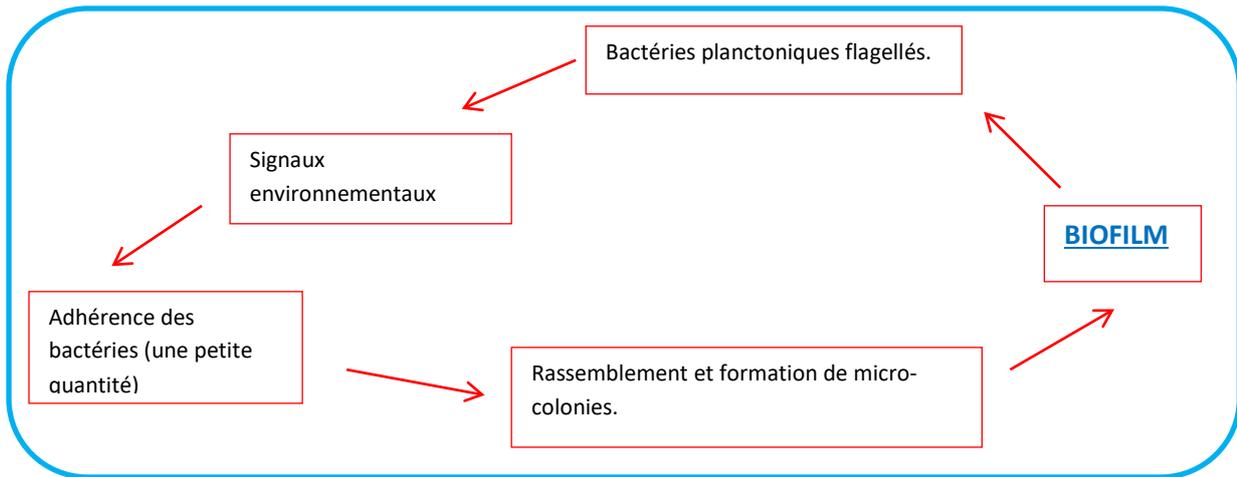


Figure 2 : Schéma montrant les étapes de formation de biofilms

II.1.1. Types de Biofilms :

Les biofilms sont très hétérogènes, dans le temps et dans l'espace. Ils sont constamment remodelés, suite à l'influence permanente de facteurs endogènes et exogènes. Ils présentent une grande diversité aussi bien au niveau structural (une ou plusieurs espèces de micro-organismes au sein du biofilm, épaisseurs diverses) qu'au niveau des supports colonisés. Un biofilm peut être constitué d'une ou de plusieurs espèces de micro-organismes : on parle respectivement de biofilms homogènes ou de biofilms hétérogènes. La plupart des biofilms rencontrés sont hétérogènes. La présence d'une espèce de micro-organisme ou d'une autre au sein du biofilm dépend des conditions environnementales. Par exemple, les biofilms éclairés par la lumière du soleil sont composés majoritairement d'organismes phototrophes, comme les algues ou les cyanobactéries, réalisant la photosynthèse et produisant leur biomasse à partir de carbone minéral. Les biofilms formés en absence de lumière sont constitués principalement de bactéries hétérotrophes (dégradation de la matière organique) et chimiotrophes (transformation de substances minérales).

Les biofilms peuvent se former sur des surfaces, biologiques ou inertes, d'une grande diversité: tissus vivants, appareillage médical (sonde, cathéter, broches...), système de canalisation industriel ou d'eau potable, surfaces

Interactions des micro-organismes

immergées. Les propriétés physiques et chimiques de la surface jouent un rôle dans les mécanismes de formation du biofilm. Selon le type de support sur lequel se forme le biofilm, l'organisation structurale de ce dernier sera différente. Un biofilm fixé dans la lumière d'une canalisation a une structure très complexe, et contient divers composants : produits issus de réactions de corrosion, boue, algues unicellulaires et bactéries filamenteuses. Un biofilm formé à la surface d'un cathéter a une organisation plus simple : on distingue des micro-colonies de coques associées à une matrice d'exopolymères .

Tous les biofilms n'ont pas la même épaisseur. Les biofilms des eaux naturelles oligotrophes sont plus fins que ceux des milieux aqueux riches comme la plaque dentaire ou les cathéters. Les biofilms récemment formés sont souvent monocouches, à l'inverse des biofilms plus anciens qui sont stratifié. L'architecture du biofilm dépend des conditions nutritives, ce qui suggère une facilité de remodelage des biofilms. De bonnes conditions nutritives sont nécessaires aux étapes de formation du biofilm, alors que les phases de développement tardif sont possibles dans des conditions nutritives moins bonnes.

II.1.2. Ecologie des Biofilms :

On distingue différents types d'interactions qui ont des effets positifs ou négatifs pour les membres de la communauté bactérienne. On peut citer comme exemple bénéfique la coopération dans les systèmes de dégradation de certains nutriments complexes, ou encore la production d'enzymes profitables à l'ensemble de la communauté de micro-organismes. A l'opposé, les différentes colonies de micro-organismes occupant une même niche écologique entrent en compétition pour l'acquisition des ressources se trouvant dans le milieu. Deux mécanismes de compétition entre bactéries est la production de bactériocines et la baisse du pH.

L'architecture complexe et irrégulière des biofilms, n'est pas figée, ainsi les micro-organismes bougent à partir du lieu de leurs premières divisions cellulaires : il y a une véritable dynamique interne au sein des biofilms. Les

Interactions des micro-organismes

micro-colonies de bactéries sont imbriquées au sein d'une matrice d'exopolymères contenant des canaux aqueux et de spores, permettant des échanges d'eau, de nutriments, de déchets, mais aussi d'information et de caractères transmissibles génétiquement (caractères de résistance aux antibiotiques par exemple). L'échange de plasmides au sein des biofilms se fait par des phénomènes de conjugaison. Ainsi, l'organisation en biofilm permet de sélectionner et de répandre des caractères de résistance à des agents antimicrobiens. Dans les régions inaccessibles à ces canaux, par exemple au sein des conglomérats de cellules, des mécanismes de diffusion passive assurent les échanges métaboliques. La diffusion des nutriments se fait de façon inégale au sein du biofilm, suite à l'existence de gradients. Ceci explique que toutes les cellules n'ont pas la même activité métabolique et donc pas la même vitesse de croissance.

II.2. Les Tapis microbiens :

Les tapis microbiens sont formés par des constructions de cyanobactéries. Ces dernières sont des micro-organismes photosynthétiques, de ce fait ils sont rapprochés aux algues. Et en raison de l'absence d'une membrane isolant le matériel nucléaire (ADN) du contenu du cytoplasme, elles ont été rapproché aux bactéries et rangés parmi les procaryotes. Ce sont donc des bacteries. On trouve ces constructions microbiennes surtout dans les régions côtières, notamment aux USA et sur le nord méditerranéen.

II.3. Le manteau fongique (Mycorhize) :

Le mycorhize est le résultat d'une symbiose entre un champignon et une plante. La symbiose est un type de relation entre organismes à "bénéfice mutuel", c'est-à-dire que les deux organismes tirent profit de l'association.

Le champignon va coloniser les racines de la plante par ses hyphes qui sont de fins filaments capables d'explorer un grand volume de sol (**Fig.3**).

Si le développement du champignon est réalisé à l'intérieur des cellules de la racine, on parle d'endomycorhize (**Fig.4**). Ce phénomène est extrêmement

Interactions des micro-organismes

courant : environ 80 % des plantes vasculaires sont associées en endomycorhize. Dans le cas des ectomycorhizes, les hyphes du champignon ne rentrent pas à l'intérieur des cellules racinaires (**Fig.4**). Environ 10 % des végétaux réalisent ce type d'association.

Les champignons ectomycorhiziens forment des fructifications parfois comestibles : les truffes, bolets, pézizes...

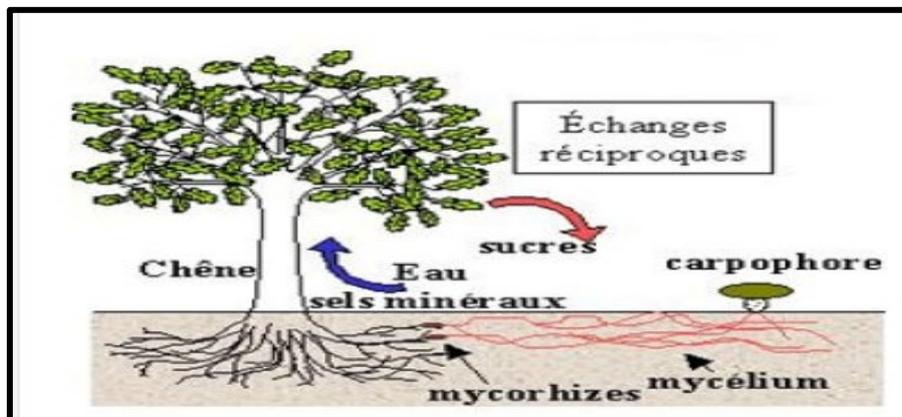


Figure 3 : Exemple d'un mycorhize

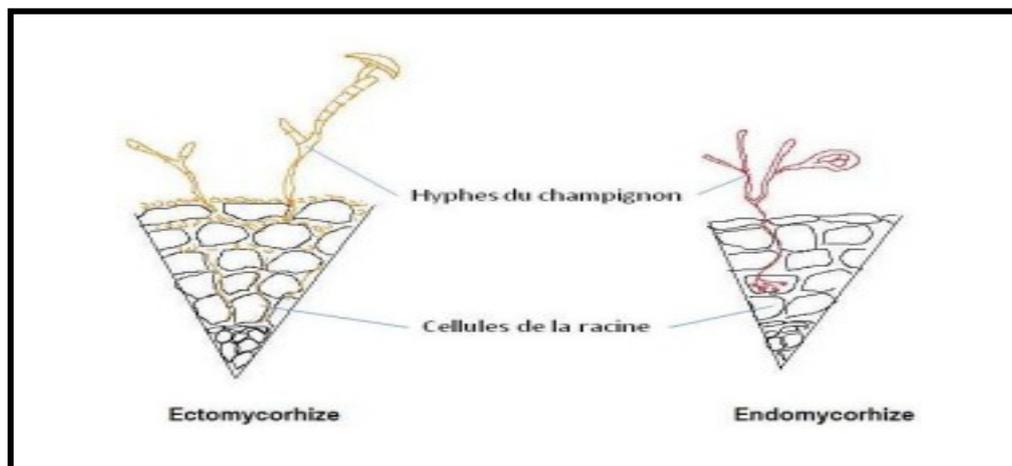


Figure 4 : Structure des mycorhizes

II.3.1. Rôle des mycorhizes :

Ce qu'il faut savoir c'est que Le phosphore soluble est peu disponible dans le sol, ainsi, les mycorhizes jouent un rôle essentiel dans la mise à disposition de cet élément pour la plante, Le réseau d'hyphes (filaments du champignons) permet une meilleure exploration du sol. Enfin, les mycorhizes sont également un lieu de stockage de polyphosphates qui seront dégradés et transférés à l'hôte en cas de besoin.

II.4. Les bactéries viables et non cultivables « VBNC »

Définition :

Ce sont des bactéries viables mais non cultivables, c'est-à-dire des bactéries qui sont dans un état de très faible activité métabolique et ne se divisent pas, mais qui sont vivantes et ont la capacité de devenir cultivables une fois mises dans un milieu plus propice. Les bactéries en état VBNC ne peuvent pas croître sur des milieux de croissance standards.

Les bactéries peuvent entrer dans un état dit VBNC en réponse à un stress, en raison d'éléments nutritifs défavorables, ou de température inadéquate.

Les cellules qui sont dans l'état VBNC sont morphologiquement plus petites, et démontrent une réduction du transport des éléments nutritifs, du taux de respiration, et de synthèse de macromolécules.

Elles peuvent rester dans cet état pendant plus d'un an. Il a été montré que de nombreux agents pathogènes (pathogènes pour les humains) et non pathogènes peuvent entrer dans l'état VBNC. Cet état a des implications importantes dans la microbiologie.

II.4.1. Facteurs entraînant la mort cellulaire :

Ces facteurs peuvent être naturels ou provoqués par des procédés industriels tel que des températures hautes utilisées pour la stérilisation ou la pasteurisation, les choc osmotiques, l'utilisation de solvants organiques, l'exposition à une forte concentration saline ou à un pH trop acide voir trop

basique, un manque de substrats nécessaires à la survie, une conservation prolongée à de basses températures, une confrontation à une Enzyme (exemple : lysozyme) ou une confrontation aux Antibiotiques.

II.4.2. Exemples de VBNC :

A/Le *Vibrio* :

Le *Vibrio* est une bactérie pathogène pour l'homme et qui vie à l'état VBNC lorsque les conditions climatiques lui sont défavorables, ainsi lorsque ces conditions le permettent, cette bactérie reprend ses divisions et ceci conduit à la réapparition des infections à *Vibrio*. Ainsi, Le changement climatique mondial apparaît être à l'origine de la réapparition de formes dormantes de *Vibrio*. De nombreux types de bactéries, dont les pathogènes humains, sont capable d'entrer dans cet état (Non cultivable), conservant une structure cellulaire et une biologie, et continuant une expression significative des gènes alors que ces bactéries ne sont pas cultivables par les méthodes classiques de laboratoire.

B/*Listeria monocytogenes*

C'est un pathogène d'origine alimentaire avec une remarquable capacité à persister, à long terme, dans une variété d'aliments prêts à être consommés. Cette bactérie vie à l'état VBNC.

II.4.3. Analyses et méthodes de recherche des bactéries non cultivables :

A/La Fluorometrie :

Cette technique nécessite l'utilisation de système de microscopie à fluorescence. Nous rajoutons un réactif fluorescent, et nous observons sous microscope.

B /La double coloration CTC-DAPI :

La double coloration **CTC-DAPI** permet de dénombrer et de différencier les cellules mortes des cellules vivantes. Le CTC est un sel de fluorescence

Interactions des micro-organismes

rouge. Le CTC est le colorant permettant de dénombrer les cellules viables, la réduction du CTC par les cellules est le signe que la respiration cellulaire a lieu, cela signifie que le métabolisme est actif.

La coloration au DAPI permet de dénombrer la totalité des cellules, ce fluorophore se lie spécifiquement à l'ADN et émet une fluorescence bleue. Les colorations peuvent être réalisées simultanément, ou séparément sur deux échantillons.

C/ La méthode LIVE/DEAD :

C'est une méthode qui permet de dénombrer les cellules mortes et vivantes en même temps. Ce test est utilisé pour l'étude des cellules viables Procaryotes et microorganismes unicellulaires Eucaryotes.

D/ Méthode PCR : C'est la réplication d'un fragment d'ADN cible pour faire une identification précise et directe.

Chapitre III :
Interactions Micro-organismes/Micro-
organismes
Et
Interactions Micro-oraganismes/
Organismes supérieurs

III.1. Interactions micro-organismes / micro-organismes :

III.1.1. Signaux de communication :

III.1.1. Le Quorum-sensing :

Les bactéries communiquent entre elles avec des molécules chimiques qu'elles relâchent dans leur environnement, ces molécules chimiques sont captées par d'autres bactéries. Plusieurs informations sont ainsi échangées, dont des renseignements sur la proximité et l'absence d'autres bactéries. Cette aptitude leur permet d'accomplir des activités concertées comme si elles ne formaient qu'un seul organisme. Cette aptitude est appelée : « quorum-sensing » et confère aux bactéries de nombreux avantages.

Ce système repose sur la synthèse, la diffusion et la perception de signaux chimiques appelés auto-inducteurs libérés dans le milieu extracellulaire. A une faible densité cellulaire, la quantité d'auto-inducteurs libérés n'est pas suffisante pour être perçue par les membres de la population bactérienne. Lorsque la densité de la population augmente, la concentration extracellulaire des phéromones s'accroît et on dit que le quorum est atteint lorsque la détection d'un seuil minimal de l'auto-inducteur par des récepteurs intracellulaires spécifiques des bactéries va induire la régulation transcriptionnelle synchronisée des gènes cibles au sein de toute la communauté bactérienne.

Le « Quorum Sensing » est un système de communication répandu chez les bactéries, mais on peut observer des variations suivant les souches, notamment sur la nature des auto-inducteurs perçus et répartis en trois classes : AHL (Acyle Homosérine Lactone), spécifique des bactéries à Gram négatifs, AI-2 (Auto-Inducteur-2), que l'on retrouve chez les deux types bactériens et AIP (Peptide Auto-Inducteur), spécifique des bactéries à Gram positif.

III.1.1.1. Les Usages des « quorum sensing » :

Lorsque les bactéries pathogènes s'infiltrant dans le corps humain, elles ne sécrètent pas immédiatement de toxines pour ne pas signaler leur présence au système immunitaire : une trop petite armée serait facilement vaincue par les défenses de l'hôte. À la place, elles investissent toute leur énergie à se multiplier jusqu'à ce que la colonie bactérienne détecte, grâce aux signaux de communication, qu'elle est numériquement avatagée. À ce moment, un signal est relâché pour sécréter massivement et en même temps des toxines, causant un maximum de dommages.

Le « quorum sensing » permet également aux bactéries de s'organiser en biofilms : de véritables « forteresses » composées de communautés bactériennes protégées par une matrice de polymères. Dans les poumons des personnes atteintes de fibrose kystique, des biofilms se forment et deviennent impossibles à éradiquer par les antibiotiques, ces derniers étant conçus pour agir sur des bactéries solitaires, pas des bactéries organisées.

III.1.2. Interactions et dynamiques microbiennes :

La dynamique microbienne représente la croissance microbienne. Cette croissance est déterminée par dénombrement de biomasse vivante.

Au cours de sa croissance un micro-organisme va interagir avec son environnement et avec d'autres micro-organismes qui sont avoisinants. Et pour exemple : on s'intéresse au phénomène « **Killer** » chez les levures du genre *Saccharomyces cerevisiae*. Celui-ci intervient lorsqu'une souche dite "killer" sécrète une toxine létale vis-à-vis d'une autre souche dite sensible.

III.1.2.1. Les cultures mixtes de micro-organismes :

Une culture mixte se caractérise par la présence de deux ou plusieurs types de micro-organismes. En règle générale, les cultures mixtes présentent plusieurs souches et espèces de bactéries. Ces cultures sont réalisées dans des buts précis, tel que l'obtention de certaines substances.

III.1.3.La succession écologique :

La succession écologique est le processus naturel d'évolution et développement d'un écosystème . Il regroupe plusieurs stades, et il y'a deux types de successions : La succession primaire qui est l'établissement d'une vie sur un substrat qui n'a jamais été colonisé, et La succession secondaire qui est l'établissement d'une vie sur un substrat qui a déjà été colonisé par d'autres espèces.

III.1.3.Conséquences de la succession microbienne dans la dégradation de la matière organique :

Ce sont les conséquences de l'évolution et le développement d'un micro-organisme dans son environnement. Nous prenons pour Exemple la dégradation de la matière organique dans le sol, qui se fait par des micro-organismes précis. La figure qui suit **(Fig.5)**, résume le processus de dégradation de la matière organique dans le sol. Cette dégradation se fait en plusieurs étapes et par des micro-organismes différents.

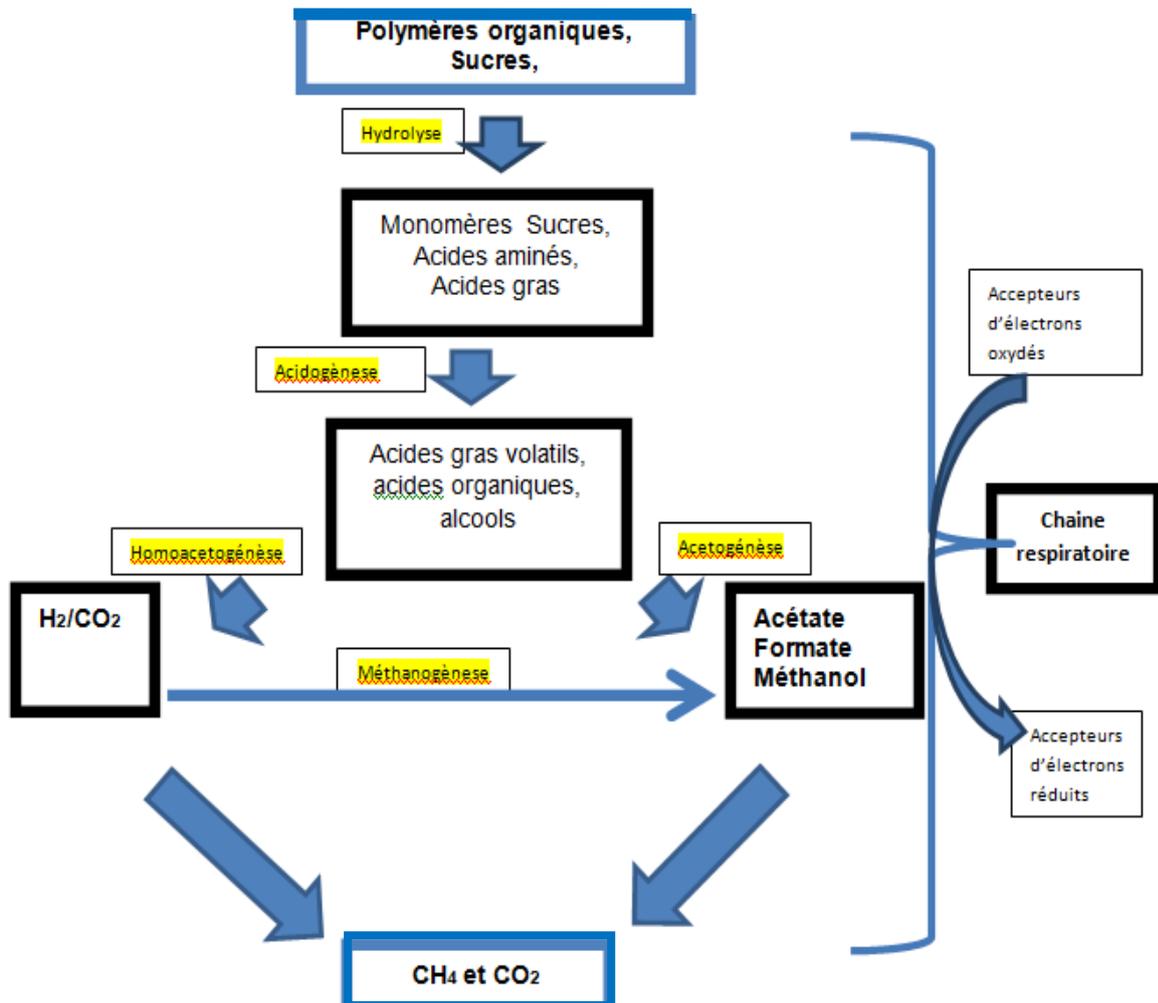


Figure 5: Schémas des principales voies mis en jeu dans la dégradation anaérobie de la matière organique.

III.1.1.2. Exemples d'interactions entre micro-organismes :

Dans le cas du Mutualisme :

Le cas de l'interaction entre le champignon *Aspergillus niger* et la bactérie *Salmonella typhimurium*. Lors de cette interaction, la croissance de *S. typhimurium* est augmentée, probablement via l'utilisation de métabolites fongiques, et en retour, la colonisation bactérienne des hyphes de *A. niger* confère au champignon une résistance contre un composé toxique (cycloheximide).

Nous retrouvons également parmi les interactions mutualistes, la coopération métabolique, qui correspond à l'association de deux organismes pour la synthèse ou la dégradation d'un composé qu'ils ne pourraient pas prendre en charge individuellement. Dans les sols, une coopération métabolique entre *Stenotrophomonas maltophilia* et *Penicillium janthinellum* a par exemple été reportée pour la dégradation de composés aromatiques polycycliques de hauts poids moléculaires. Une coopération entre des bactéries et des champignons des sols a également été reportée concernant la dissolution des minéraux à partir des roches.

Dans le cas de la Prédation :

Concernant les organismes du sol, des cas de bactéries mycophages, qui produisent les enzymes nécessaires à la dégradation des parois fongiques, ont été reportés . Ces bactéries appartiennent principalement aux *Collimonas*, *Myxobacteria* et *Paenibacilli* . A l'inverse, certains champignons sont capables de lyser et consommer des bactéries et il a même été suggéré que les bactéries constituent une source d'azote importante pour certains champignons saprotrophes.

Dans le cas de l'Antibiose :

L'antibiose correspond à une interaction biologique dans laquelle un organisme subit l'effet délétère d'un composé produit par un autre

Interactions des micro-organismes

organisme. Ce type d'interaction est très présent dans les sols, et joue un rôle important dans la sélection des organismes des différents écosystèmes de ce compartiment. Il a par exemple été montré que certaines espèces de champignons agaricoïdes produisent des antibiotiques capable d'inhiber la croissance des bactéries à Gram positif, permettant la sélection des bactéries à Gram négatif dont les *Pseudomonas*. Une observation similaire a été faite concernant le champignon *Coprinopsis cinerea*.

L'antibiose est un mécanisme souvent impliqué dans l'antagonisme de souches bactériennes utilisées pour le bio-contrôle des pathogènes, comme par exemple les souches *Bacillus cereus* et *P. fluorescens*, qui produisent de multiples antibiotiques inhibant la croissance de plusieurs champignons pathogènes.

III.2. Interactions des micro-organismes avec les organismes supérieurs

Ce sont les interactions des micro-organismes avec les plantes ou avec les animaux ou l'homme.

III.2.1. Interactions Micro-organismes /plantes :

Ce sont les relations existantes entre les plantes et les micro-organismes, ces dernières peuvent être bénéfiques ou délétères. Parmi les relations bénéfiques : nous retrouvons les mycorrhizobium et parmi les relations délétères, nous retrouvons les maladies des plantes. Nous pouvons citer pour exemple de ces interactions les phyllo bactéries qui se localisent sur les veines foliaires et sur les stomates des plantes. Ces bactéries ne sont pas nocives en elles-mêmes, mais elles représentent un point d'entrée pour les pathogènes, et ceci à l'endroit où elles se localisent sur la plante. Nous pouvons également citer les rhizobactéries qui se trouvent dans La rhizosphère, c'est la zone où sont relâchés les exsudats racinaires. Dans cette zone, les rhizobactéries ne sont pas en contact direct avec les racines de la plante, elles sont présentes dans le sol qui est autour des racines pour interagir.

III.2.2. La microflore trouvée dans le sol et qui interagit avec les plantes :

Les groupes microbiens et les autres microorganismes trouvés dans la rhizosphère sont : bactéries, actinomycètes, champignons, protozoaires, algues. Certains membres de cette communauté microbienne exercent des effets délétères ou bénéfiques sur la croissance et la santé de la plante. Les principaux délétères sont : champignons pathogènes, oomycètes, bactéries, certains nématodes. Les principaux bénéfiques sont : les champignons mycorhiziens (endo- et ecto-), les bactéries et actinomycètes fixatrices d'azote, et les bactéries et champignons promoteurs de croissance – PGPR/PGPB « Plant Growth Promoting Rhizo Bacteria ».

III.2.2.1. Interactions bénéfiques :

Ces interactions permettent de faciliter l'accès aux ressources : azote, fer, phosphate, eau. Elles peuvent aussi empêcher un pathogène de nuire. C'est le cas des symbioses fixatrices d'azote.

III.2.2.1.1.Exemples d'interactions bénéfiques :

A. Obtention du Phosphore :

Le Phosphore est présent dans les sols mais pas toujours sous forme assimilable par les plantes (minéral, inorganique), nous trouvons la plupart du temps les formes organiques(l'inositol, le phosphate et les esters de phosphate). Ainsi, pour faciliter l'accès au phosphore : nous retrouvons les mycorhizes et les PGPR solubilisatrices de phosphate. Ces bactéries minéralisent les formes organiques.

B. Obtention du Fer :

Le Fer est peu disponible, et pour cela, les plantes ont développé deux stratégies d'acquisition pour obtenir le Fer, qui sont le système des plantes gramineuses, et celui des plantes non graminées, qui s'associent avec des

Interactions des micro-organismes

bactéries, ces bactéries synthétisent des sidérophores et des protéines membranaire spécifiques pour capter le Fer.

C. Pour les hormones de croissances :

Certaines bactéries du sol sont productrices de cytokinines, de gibberellines, Ce sont des hormones de croissance. L'Action directe de ces hormones est la promotion de croissance racinaire.

D. Stimuler les défenses de la plante :

Certaines bactéries vont favoriser les systèmes de défense des plantes vis-à-vis des pathogènes. En provoquant une apoptose des pathogènes. c'est le cas de *Pseudomonas* qui synthetise une substance appelée « HCN », cette dernière est impliquée dans la suppression d'agents pathogènes, tel que *Puccinia*. Dans cet exemple : *Pseudomonas* a un rôle bénéfique envers la plante, et ceci en tuant le pathogène *Puccinia* (*Puccinia* ravage la plante). Le composé « HCN » agit directement sur les cellules de l'agent pathogène en bloquant la cytochrome-oxidase dans la chaîne respiratoire, provoquant ainsi la mort (par apoptose) du pathogène.

II.2.2.2 Interactions délétères :

Ce sont les maladies des plantes qui sont dues à des virus, bactéries ou champignons. Elles sont sources de pertes économiques considérables pour l'agriculture. Parmi ces relations délétères nous retrouvons les bactérioses et les maladies fongiques.

II.2.2.2.1. Bactérioses :

Ce sont les maladies causés par les bactéries, et les principaux groupes de bactéries pathogènes sont le genre « *Agrobacterium* », qui provoque des galles. Le genre « *Burkholderia* » qui provoque des flétrissements, et des pourritures ou des nécroses chez les plantes. On retrouve également le genre « *Ralstonia* » qui est responsable de maladies vasculaires chez les plantes.

II.2.2.2.1.1. Les principaux symptômes des bactérioses :

Une même bactérie peut provoquer des symptômes différents sur différents organes. Ainsi, nous retrouvons les nécroses, les galles, les pourritures, les flétrissements....ect.

A. Les nécroses et les brûlures : ce sont des attaques localisées qui aboutissent à la mort lente des cellules. La feuille présente des petites plaques de cellules mortes et sèches (**Fig.6**).

B. Les tâches huileuses ou pourriture molle : l'attaque des bactéries se matérialise par une prolifération rapide qui détruit les tissus sous-jacents (**Fig.7**).

C. Les galles ou tumeurs : il s'agit d'une prolifération anarchique des cellules de la plante hôte provoquée par les bactéries (**Fig.8**).

D. Les chancres : sont des taches colorées sur les tiges ou feuilles, ils peuvent être dus à plusieurs types de bactéries (**Fig.9**).

E. Fletrissement des feuilles: il s'agit d'une prolifération à l'intérieur des tissus conducteurs de la plante hôte. Les feuilles se flétrissent du côté des tissus atteints (**Fig.10**).



Figure 6 : Photo d'une Nécrose sur feuille



Figure 7 : Photo de pourriture molle



Figure 8 : Photo de galle sur chêne



Figure 9 : Photo de Chancre sur feuille et chancre sur tronc d'arbre



Figure 10 : Photo de flétrissement sur feuille

II.2.2.2.1.2. Les étapes de développement des bactérioses :

Les bactérioses débutent par une phase de conservation : au cours de laquelle les bactéries peuvent se conserver entre deux phases d'infection dans des débris végétaux (malades ou résidus de culture), dans des chancres ou bien dans les semences. Pour bon nombre d'espèce, les semences constituent le principal acteur de la dissémination longue distance. Puis succède la phase d'infection qui se fait le plus souvent en utilisant des ouvertures naturelles comme les stomates, ou les blessures occasionnées par des insectes phytophages ou lors de tailles des plantes. Une fois à l'intérieur de la plante, la bactérie évolue et provoque l'infection en donnant des symptômes. Ces symptômes changent selon le type de bactérie qui infecte. Ainsi nous retrouvons trois (3) types de comportement infectieux, qui sont le comportement nécrogène, le comportement macergène et le comportement oncogène.

A. Le comportement nécrogène :

Il repose essentiellement sur la capacité de certaines bactéries à élaborer un système de sécrétion et à injecter des effecteurs protéiques dans le cytoplasme des cellules hôtes. Ces effecteurs perturbent le métabolisme des cellules hôtes et provoquent leur mort. Certaines bactéries nécrogènes

Interactions des micro-organismes

utilisent également des toxines telles que « *Pseudomonas savastanoi* », agent de la graisse à halo du haricot.

B. Le comportement macergène :

Il est lié principalement à la production d'enzymes dégradant les parois cellulaires végétales. Ces bactéries sont responsables de pourritures molles (**Fig.11**). Les principaux agents concernés sont les bactéries des genres *Pectobacterium*.



Figure 11 : Photo d'une Macération

C. Le comportement oncogène:

L'espèce type de ce comportement est *Agrobacterium tumefaciens*, qui est responsable de la galle. Cette bactérie est capable de modifier génétiquement les plantes qu'elle infecte. En effet, elle dispose d'un système moléculaire lui permettant de transférer un grand fragment d'ADN vers l'ADN génomique de la plante. Ce transfert est assuré par un système complexe. Il en résulte une sécrétion anarchique d'hormones. La synthèse de ces hormones provoque des dérèglements hormonaux dans les tissus infectés qui se mettent à proliférer pour former une tumeur. Cette tumeur constitue une niche favorable à la multiplication de la bactérie.

Après la phase d'infection, vient la phase de dispersion des bactéries qui se fait par la pluie ou par le vent ou même les insectes pollinisateurs et les machines agricoles.

II.2.2.2.2. Les maladies cryptogamiques :

Ce sont des maladies causés par les champignons. Les différentes formes de maladies cryptogamiques représentent environ 90 % des maladies des végétaux.

II.2.2.2.2.1. Etapes d'évolution de la maladie cryptogamique :

Les spores des champignons se déposent sur les plantes (transportées par le vent par exemple), en suite, elles germent et pénètrent à l'intérieur des tissus. Le champignon passe par les orifices naturels (stomates par exemple) ou pénètre par des blessures (notamment celles provoquées par des insectes), cette étape est la contamination. Puis succède la Période d'incubation ou Le champignon se ramifie et envahit les cellules des tissus ou les espaces intercellulaires. Ce qui entraîne une apparition et développement de symptômes. La plante attaquée peut dépérir (nécrose des tissus, détournement de la sève, obstruction des vaisseaux...).

II.2.2.2.2.2. Exemples de maladies cryptogamique :

A/L'alternariose :

C'est le nom d'une série de maladies fongiques dues au champignon du genre « *Alternaria* ». Cette maladie peut toucher les tomates, les carottes et le tabac (**Fig. 12**). Le champignon « *Alternaria* » se conserve dans le sol sous les débris végétaux. Cette maladie peut être transmise par les semences.



Figure 12 : Photo des Symptômes de l'Alternariose sur feuille de tabac

B/L'antracnose du pois chiche :

C'est une maladie fongique causé par un champignon nommé *Ascochyta rabiei*, sur plante de pois chiche. Les symptômes sont visibles sur tous les organes de la plante (feuilles, tiges, et graines).

***Ascochyta rabiea* :**

C'est un champignon qui forme des asques, ces derniers sont de petits sacs renfermant des spores (**Fig.13**). Il a une affinité pour la plante de pois chiche.



Figure 13 : Observation microscopique de « *Ascochyta rabiea* »

Symptômes sur la plante du pois chiche :

Ce champignon, ravage les récoltes de pois chiche ou il cause beaucoup de dégâts sur tous les organes de la plante. Nous observerons des cercles concentriques alternés à couleur foncé et claires (**Fig.14**). L'apparition de ces cercles concentriques sur les organes de la plante, nous permettent d'établir le diagnostic directement.



Figure 14 : Symptômes de l'antracnose sur plante de pois chiche

III.2.2. Interactions micro-organismes / Animal et homme

Ce sont les interactions entre l'homme et les microbes. Elles peuvent être positives ou négatives. Parmi les interactions positives, nous retrouvons la flore intestinale, et parmi les interactions négatives, nous retrouvons les maladies infectieuses.

III.2.2.1. Interactions positives :

III.2.2.1.1. Le microbiote intestinal :

Chez l'homme, nous retrouvons le microbiote intestinal humain (flore intestinale) qui est l'ensemble des micro-organismes : bactéries, fungi et aussi virus, se trouvant dans le tractus digestif humain. Il ne s'agit pas uniquement de bactéries intestinales, mais celles de tout le système gastro-intestinal. Le microbiote intestinal et son hôte humain sont un exemple de symbiose mutualiste, c'est-à-dire une coopération entre différentes sortes d'organismes impliquant un avantage pour chacun. Le microbiote intestinal est composé dans une très large majorité de bactéries anaérobies. La quantité de fungi est plus faible.

➤ **Bactéries retrouvées dans le tractus digestif :**

Parmi les bactéries retrouvées dans le tractus digestif, les *Actinobacteria* (ce groupe inclut les genres « *Bifidobacterium* », dont certaines souches de probiotiques connus) et les *Proteobacteria*.

➤ **Champignons retrouvés dans le tractus digestif:**

Les genres de fungi actuellement connus du microbiote intestinal sont : *Candida*, *Saccharomyces*, *Aspergillus*, et *Penicillium*.

III.2.2.1.2. Fonctions et produits de la microflore intestinale :

Les micro-organismes intestinaux effectuent une grande variété de réactions métaboliques essentielles qui produisent divers composés. La composition de la microflore intestinale et le régime alimentaire influent sur le type et la quantité des composés produits. Parmi ces produits, on retrouve les vitamines B12 et K. Ces vitamines essentielles ne sont pas synthétisées par

Interactions des micro-organismes

l'homme, mais par la microflore de l'intestin ensuite absorbées. En outre, les stéroïdes qui sont produits dans le foie et libérés dans l'intestin par la vésicule biliaire en temps qu'acides biliaires, sont modifiés au niveau de l'intestin par cette microflore intestinale; les composés stéroïdiens modifiés et bioactifs sont ensuite absorbés par l'intestin.

Autres produits générés par les activités de fermentation bactériennes méthanogènes :

Pendant le passage des aliments dans le tractus gastro-intestinal, l'eau est absorbée à partir de la matière digérée, qui progressivement devient plus concentrée et est converti en matières fécales. Les bactéries représentent environ un tiers du poids de la matière fécale. Ces organismes vivent dans la lumière du gros intestin sont constamment déplacés vers le bas par le flux de matière, et des bactéries qui sont perdu sont constamment remplacées par une nouvelle croissance. Ainsi, le gros intestin possède des propriétés de culture continue d'un chémostat. Le temps nécessaire pour le passage d' matière à travers le tractus gastro-intestinal complet est d'environ 24 h chez les humains ; le taux de croissance des bactéries dans la lumière est de une à deux fois par jour. Chez l'homme, environ 10^{13} cellules bactériennes sont éliminées par jour dans les fèces.

III.2.2.1.3. Rôle de la flore digestive :

Le microbiote intestinal a une Fonction physiologique qui permet les modifications de l'épaisseur et le renouvellement de la muqueuse de l'intestin. Et aussi une fonction immunitaire car le microbiote est impliqué dans la défense face à certaines maladies inflammatoires et allergiques. Il empêche certains pathogènes de se multiplier. Puis une fonction digestive en assurant la digestion de certaines matières, que l'estomac et l'intestin ont des difficultés à dégrader (ex : fibres et polysaccharides de végétaux).

III.2.2.1.4. Modification de la microflore normale :

Lorsque les antibiotiques sont administrés par voie orale, ils inhibent la croissance des agents pathogènes, ainsi que celle de la flore normale, ce qui conduit à la perte de bactéries sensibles aux antibiotiques dans le tractus intestinal. Ceci est souvent signalé par des selles molles ou de diarrhées. En l'absence de la gamme complète de la flore normale, les micro-organismes opportunistes telles que les résistants aux antibiotiques *Staphylococcus* , *Proteus*, *Clostridium difficile* , ou la levure *Candida albicans* peuvent s'établir. La mise en place de ces agents pathogènes opportunistes peut conduire à une détérioration de la fonction digestive ou même à la maladie. Par exemple, un traitement antibiotique permet à certains microorganismes tels que *C. difficile* (qui sont moins sensibles aux antibiotiques) de se développer sans la concurrence de la flore normale, ce qui provoque l'infection et la colite. Lorsque le traitement antibiotique est terminé, cependant, la flore intestinale normale est rétablie rapidement chez les adultes. Pour accélérer la mise en place d'une flore compétitive, la recolonisation de l'intestin par l'espèce désirée peut être accomplie par l'administration de probiotiques.

III.2.2.2. Dans le cas des interactions négatives :

Nous retrouvons les diverses maladies liées aux micro-organismes pathogènes, ce sont les infections que le corps ne tolère pas. Parmi ces infections, il y'a : les infections à Streptocoques, les infections à Staphylocoques, les infections à Pneumocoques, et aussi à Enterocoques, ainsi que d'autres.

III.2.2.2.1. infections à Pneumocoques :

A. Définition du Pneumocoque :

Le pneumocoque : *Streptococcus pneumoniae*, est un diplocoque à Gram positif, *encapsulé*, ayant les propriétés métaboliques des bactéries du genre *Streptococcus*.

B. Habitat du Pneumocoque :

Le pneumocoque colonise l'arbre respiratoire (rhino-pharynx) de l'homme. On le trouve le plus souvent chez les sujets jeunes (enfants).

C. Pouvoir pathogène

Lors d'une baisse de l'immunité générale, ou de présence d'anomalies du tractus respiratoire, et des troubles circulatoires, le pneumocoque peut se multiplier activement dans l'arbre respiratoire. Il va provoquer des bronchites, et des pneumonies aiguës. Les pneumonies à pneumocoque représentent 60 à 80 % de toutes les pneumonies bactériennes.

III.2.2.2.2. Infection à Staphylocoques :

A. Définition :

Les bactéries du genre *Staphylococcus* sont des coques (cocci) à Gram positif, groupés en amas ayant la forme de grappes de raisin, immobiles, non sporulés, catalase positif.

B. Habitat :

Staphylococcus aureus colonise la peau et les muqueuses de l'homme et des animaux (rhino-pharynx, intestin). On le trouve sur la muqueuse nasale chez la plupart des sujets normaux. Éliminé dans le milieu extérieur, cette bactérie peut survivre longtemps dans l'environnement.

B. Pouvoir pathogène :

Ce germe est pyogène, c'est-à-dire capable de provoquer une accumulation locale de pus. Certaines souches agissent aussi par libération d'une ou de plusieurs toxines (intoxication alimentaire).

C. Exemples d'infections à Staphylocoques :

Nous observons le plus souvent des atteintes plus ou moins sévères des pores de la peau (furoncle) (**Fig. 15**), atteinte du tissu sous-cutané (panaris).



Figure 15 : Exemples d'infections cutanées à *S. aureus*

III.2.2.2.2. Infection à Streptocoques :

Les streptocoques sont des cocci de taille et de forme irrégulières, à Gram positif, groupés en chaînettes plus ou moins longues (**Fig.16**), les Streptocoques sont immobiles et acapsulés.

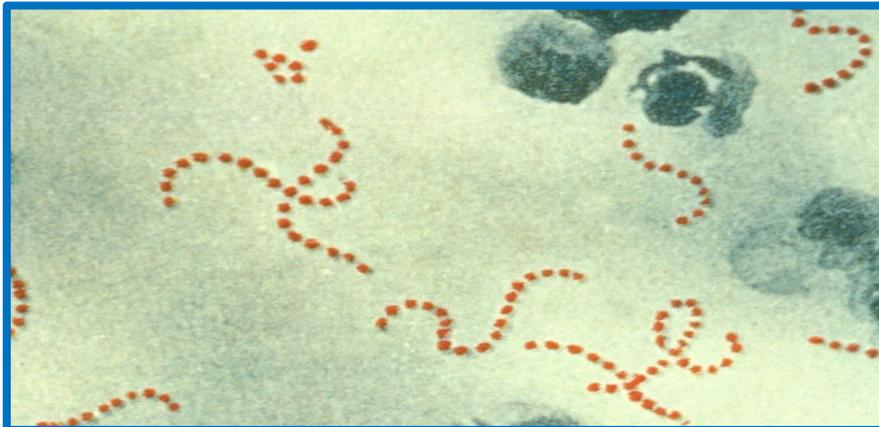


Figure 16 : Observation microscopique de *Streptococcus*

III.2.2.2.2.1. Substances élaborées par *Streptococcus pyogènes* :

1/La toxine érythroène : responsable de la scarlatine.

2/De nombreuses enzymes : les enzymes les plus retrouvés sont les hémolysines « O » et « S » qui sont appelées streptolysines. Elles sont antigéniques (provoquent l'apparition d'anticorps). Et une protéase contribuant à l'échappement à la phagocytose.

III.2.2.2.2.2. Maladies provoqués par *Streptococcus* :

1/infections aiguës : cutanées, ou sur les muqueuses ou septicémiques.
Exemple : chez les enfants : lésions au niveau du visage et des mains de type vésicules, de contagiosité ++)

2/La scarlatine : associe une angine et la diffusion d'une toxine sécrétée par le streptocoque (cette toxine sera sécrétée à partir du foyer angineux).

3/l'endocardite : Celle-ci est due à la greffe, sur un endocarde préalablement lésé. La contamination se fait au cours de la greffe.

Chapitre IV :
Bio fertilisation
Et
OGM : impact sur l'environnement

IV.1. Bio fertilisation :

IV.1.1. Définition :

Un bio-fertilisant (classé parmi les engrais biologique) est un produit qui contient des microorganismes vivants : microbiote bactérien, fongique. lorsqu'il est inoculé sur les semences, sur des racines, sur le sol ou sur des surfaces végétales, il colonise la rhizosphère ou l'intérieur de la plante en favorisant sa croissance en fixant l'azote atmosphérique, et en favorisant la mobilisation des nutriments primaires (azote, phosphore, potassium...), des vitamines et des oligoéléments des sols.

IV.1.2. Intérêt :

Les bio-fertilisants peuvent réduire le besoin en engrais chimiques, en produits phytosanitaires et dans une certaine mesure en engrais organiques. Ils peuvent aussi contribuer à la diminution des risques de pollution de l'environnement et l'amélioration de la production agricole.

Les micro-organismes présents dans les engrais biologiques restaurent en effet le cycle naturel des nutriments du sol, dopent la production de sol et le rendent plus fertile, en construisant et maintenant la matière organique du sol.

Quand les biofertilisants sont destinés aux racines on parle souvent de "bactéries promotrices du développement des plantes" (**Fig.17**) (PGPB : Plant growth promoting bacteria).

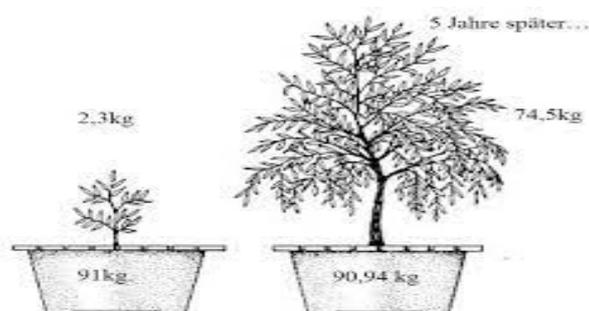


Figure 17 : photo montrant l'effet des bactéries promotrices de développement sur la croissance des plantes. A droite : une plante très développée après rajout de bactéries promotrices de développement.

IV.1.3. Exemples de Bio fertilisants :

Rhizobium, *Azotobacter*, *Azospirillum* et algues bleues (BGA) sont utilisés depuis longtemps.

Rhizobium inoculant est utilisé pour les cultures de légumineuses. *Azotobacter* peut être utilisé avec des cultures comme le blé, le maïs, la moutarde, le coton, la pomme de terre et d'autres cultures légumières.

Les inoculations d'*Azospirillum* sont recommandées principalement pour le maïs, la canne à sucre et le blé.

Les algues bleu-vert appartenant à un genre général de cyanobactéries, *Nostoc* ou *Anabaena*, fixent l'azote atmosphérique et sont utilisées comme inoculations pour les cultures.

Anabaena en association avec la fougère aquatique « *Azolla* » contribue à la fixation d'azote, ainsi, elles fixent jusqu'à 60 kg / ha / saison, et enrichit également les sols avec de la matière organique

Pour les besoins en Phosphate:

On fait appel pour ces besoins à d'autres types de bactéries, dites bactéries de solubilisation du phosphate, par exemple: la souche P5 de *Pantoea agglomerans* et la souche P13 de *Pseudomonas putida*, capables de solubiliser le phosphate insoluble à partir de sources de phosphate organiques et inorganiques.

IV.1.4. Les bonnes raisons de leur utilisation :

- 1-Ils répondent aux contraintes environnementales :
- 2- Ils améliorent le potentiel nutritif du sol :
- 3- Ils améliorent la production végétale :
- 4-Ils conservent la rentabilité de votre exploitation :
- 5- Ils s'appliquent de la même façon que des engrais classiques :

IV.2.Les OGM

IV.2.1.Définition :

Les OGM sont les organismes génétiquement modifiés. Le but de cette modification est d'avoir des plantes plus résistantes. Cette modification génétique se fait par la transgénèse ou transfert de gènes, il est possible d'obtenir ainsi plus rapidement, des plantes résistantes aux insectes ou tolérantes aux herbicides. Mais ces organismes génétiquement modifiés « OGM » pourraient avoir des risques potentiels sur l'environnement.

IV.2.Les différentes utilisations des OGM :

L'utilisation la plus connue des OGM est dans le domaine agricole, avec en particulier l'utilisation de plantes ou d'animaux génétiquement modifiés. Cependant, les OGM sont également largement utilisés pour la recherche fondamentale afin de mieux comprendre certains mécanismes biologiques. Dans l'industrie, afin par exemple de produire certaines molécules d'intérêt ; et enfin dans le domaine de la santé, où des micro-organismes OGM sont utilisés pour la production de vaccins ou de médicaments (insuline par exemple) ou encore comme vecteur pour des thérapies géniques.

IV.3.Impact OGM sur l'environnement :

Ces organismes génétiquement modifiés représente une solution pour nous, mais ont cependant des conséquences sur l'environnement, et parmi ces conséquences nous observons le développement d'insectes résistants et l'apparition de mauvaises herbes tolérantes.

La culture d'OGM de manière non contrôlée comporte des risques environnementaux significatifs. Ainsi, les plantes génétiquement modifiées peuvent se croiser avec des variétés sauvages et disséminer leurs gènes de manière incontrôlée dans la nature. A titre d'exemple, une plante génétiquement modifiée peut être tolérante à un herbicide et risque de transmettre cette tolérance à des plantes sauvages de la même famille.

Interactions des micro-organismes

Les plantes qui produisent une protéine insecticide peuvent ne pas être nocives uniquement pour les insectes cibles mais peuvent aussi affecter d'autres espèces d'insectes (dits non cibles), qui jouent un rôle dans l'équilibre écologique global en étant, par exemple, prédateur de parasites. Enfin, l'utilisation en continu de ces plantes génétiquement modifiées pour sécréter des insecticides favorise l'apparition, chez les insectes cibles, de la résistance à la molécule insecticide.

Les surfaces d'OGM cultivées en France en 2019 correspondent à 89% à des variétés rendues tolérantes aux herbicides (VrTH). La culture de VrTH est susceptible d'entraîner une augmentation de l'utilisation d'herbicide et donc une pollution accrue des milieux (air, sol, eaux) ainsi que l'apparition de résistance aux herbicides.

Plus spécifiquement concernant les nouvelles techniques de sélection, il existe un risque de déstabilisation des écosystèmes en raison de la rapidité accrue de sélection des plantes. En effet, une plante avec un trait favorable peut se comporter comme une plante invasive dans les écosystèmes, et la dissémination trop rapide dans la nature de plantes génétiquement modifiées peut remettre en cause les équilibres naturels existants.

Enfin, la très faible diversité de traits aujourd'hui obtenus par les techniques de génie génétique et la nature de ces traits encourage le développement de systèmes agricoles non durables (monocultures, rotations courtes) avec des impacts sur la biodiversité et la résilience des écosystèmes.

Conclusion

Interactions des micro-organismes

Conclusion :

Les interactions des micro-organismes représentent les relations qu'entretiennent les micro-organismes avec leur milieu, elles sont très nombreuses, diversifiées et complexes, certaines d'entre elles sont positives et d'autres négatives.

Les micro-organismes interagissent entre eux pour des échanges bénéfiques ou nocifs, tout comme ils interagissent avec les organismes supérieures qui sont les plantes et les animaux, et de ce fait, apparaissent les pathologies humaines, et les phyto-pathologies, tout comme les systèmes mycorhiziens qui sont bénéfiques aux légumineuses. Puis, les flores intestinales des humains et animaux, qui sont une symbiose mutualiste sur laquelle se base la vie de ces derniers.

Les micro-organismes jouent également un rôle très important dans le cycle du carbone, et décomposent la matière organique dans les sols, participant ainsi au renouvellement de la composition de ces derniers.

Ces interactions diverses entre micro-organismes permettent aussi leur utilisation dans de nombreux domaines, comme la fabrication des antibiotiques, des vaccins et même leur utilisation en agriculture comme bio-fertilisants ou en lutte biologique, pour faire face aux pathogènes qui ravagent les récoltes.

Ainsi, nous pouvons dire que les micro-organismes sont retrouvés à toutes sortes de niveaux et qu'ils sont à la base de tous les écosystèmes.

Références Bibliographiques

References bibliographiques:

Cossart P., 2016. « La nouvelle microbiologie – Des microbiotes aux CRISPR », Éditions *Odile Jacob Sciences*, Paris.

Doucour H., Verdier V., 2017. Mécanismes des interactions parasitaires pathogènes et symbiotiques.

Gibson R.W., Jones M.G.K. and Fish N. (1988). Resistance to potato leaf roll virus and potato virus Y in somatic hybrids between dihaploid *Solanum tuberosum* and *S. brevidens*. *Theor. Appl. Genet.* 76: 113-117.

Guenoc C., 2018. Etude de l'interaction physique entre le champignon ectomycorhizien *Laccaria bicolor* et la bactérie auxiliaire de la mycorhisation *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiologie et parasitologie.* 206p.

Halpin, P. 1997. Global climate change and natural-area protection: management responses and research directions; *Ecological Applications*, Vol 7, n°3, p. 828 –843.

Jones J.D.G., Carland F.C., Harper L., Lim E. and Dooner H.E. .1990. Genetic properties of the maize transposon Activator (Ac) in tobacco. *Plant Gene Transfer, VCLA Symposium* 129: 59-64.

Maillet F., Poinot V., André O., Puech-Pagès V., Haouy A., Gueunier M., Cromer L., Giraudet D., Formey D., Niebel A., Martinez E., Driguez H., Bécard G., Dénarié J., *Nature*, 2011, 496, 58-64.

Interactions des micro-organismes

Oliver J-D. 2005. Les bactéries viables mais non cultivables. *Journal De Microbiologie*. Vol: 43. P: 93-100.

Parsek M. R. & Greenberg E. P., 2005. Sociomicrobiology: the connections between quorum sensing and biofilms. *Trends in Microbiology*, DOI : 10.1016/j.tim.2004.11.007.

Rousk J. & Bengtson P., 2014. Microbial regulation of global biogeochemical cycles. *Frontiers in Microbiology*, 2014. DOI : 10.3389/fmicb.2014.00103.

Rapport final de la Revue de la résistance aux antimicrobiens (*The Review on Antimicrobial Resistance*) disponible en anglais ici : <https://amr-review.org/>

Tekete C., Verdier V., Koita O., 2019. Evolution des systèmes infectieux. 206p.

Sites web:

www.ebiologie.fr/doc-cours-cours-de-physiologie-vegetale-ii-157.html

www.sb-roscoff.fr/ETSymbioses2008/pdf/Biofutur/30-33-Gough298

www.upmc.fr/cours-cours-de-microbiologie/ii-295.html

www.ebiologie.fr/interactions-microorganismes/UI/134.html

www.cours-upd/biofertilisants-argi-france/upd/Goug3767