

Sommaire

Titre	Page
Généralités	3
	4
Interactions microorganismes milieu physique	5
1- Microenvironnement et niche	6
2- Organisation spatiale-biofilms	6
2-1 Définition	6
2-2 Généralités	
2-3 Types de biofilms	6
2-3-1 Biofilms simples	
2-3-2 Biofilms complexes	
2-3-3 Biofilms très complexes	7
2-3-4 Tapis microbiens	
2-4 Formation de biofilms	8
2-4-1 Adhérence	
- Supports d'adhérence	
- Dynamique d'adhérence	
A- phase réversible	
B- phase irréversible	9
B1- interaction électrostatique	10
B2- Interaction hydrophobe	
B3- interaction spécifique	
2-4-2 Phase de division	
2-4-3 phase de maturation	
2-4-4 Phase de dispersion	
2-5 Propriétés du biofilm	11
2-6 Importance des biofilms dans le domaine médical	12
2-7 Utilisations des biofilms	13
Perception du quorum et les populations de microorganismes	14
1-	
2- Définition	
3- Propriétés	
4- Mécanisme du <i>quorum sensing</i>	
5- Signaux (auto inducteurs)	
6- Quelques exemples de signaux	15
Bactéries viables non cultivables	
1- Définition	16
2- Causes de stress	

3- Dénombrement des procaryotes viables non cultivables	17
4- Caractéristiques des bactéries viables non cultivables	18
5- Exemples de BVNC	
Interaction entre microorganismes	19
1- Interactions négatives	
1-1 Compétition	
1-2 Prédation	
1-3 Amensalisme	
2- Interactions positives	20
2-1 Commensalisme	
2-2 Mutualisme	21
2-2-1 syntrophisme	21
2-2-2 protocoopération	22

Partie 1 Interaction microbienne

Généralités :

1-Ecologie : est l'étude des relations des organismes entre eux et des organismes avec leur milieu.

2-Ecologie : science de l'environnement.

3-Ecologie : science de la distribution des êtres vivants dans leurs milieux, et leur interaction, parmi les facteurs qui rentrent en jeu sont l'alimentation appelés facteurs trophiques.

4-Ecologie microbienne : étude des microorganismes, dans leur environnement naturel en insistant particulièrement sur les conditions physiques, les processus et les interactions à l'échelle des cellules microbiennes.

2- Ecosystème : proposé par Transley en 1935, comprenant tous les organismes vivants d'une communauté ainsi que leur environnement physique et chimique. Cet écosystème peut être le sol, l'eau ; il peut s'agir des cavités naturelles de l'homme, oropharynx.. Chacun de ces biotopes possède sa propre flore bactérienne qui diffère quantitativement et qualitativement ainsi que de point de vue des interactions entre les différentes bactéries.

Que l'on retrouve ce qu'il est convenu de nommer les flores bactériennes ou microflores.

2-1- composition de l'écosystème :

2-1-1 Communauté biotique : composé de l'ensemble des êtres vivants : animaux, végétaux et microorganismes qui se trouvent dans le même milieu. L'ensemble de ces êtres constitue une communauté (terme employé en Amérique ou biocénose (terme employé en France).

Biocénose : est un ensemble plus au moins riche en espèces entre elles, existe des liens, les trois catégories d'organismes d'une biocénose sont :

- Producteurs : végétaux chlorophylliens.
- Consommateurs : animaux herbivores et carnivores.
- Décomposeurs : microorganismes et certains animaux.

2-1-2 Milieu abiotique : (Biotope) ; c'est le milieu physique et chimique dans lequel vivent les végétaux, animaux et microorganismes. Ce milieu l'élément non vivant, ou abiotique de l'écosystème. Il renferme la totalité des ressources nécessaires à la vie. Il varie selon les écosystèmes, dans les étangs, il est composé d'eau et des substances dissoutes (O₂, CO₂, sels minéraux).

Remarque : l'homme est un écosystème où se trouve en lui des bactéries qui sont à l'état transitaire pour les bactéries saprophytes, soit à l'état commensal sans pathogénicité et peuvent devenir pathogènes opportunistes (BPO) soit des bactéries pathogènes obligatoires ou spécifiques (BPS).

2-2 Organisation des microorganismes dans un écosystème :

2-2-1 **Population** : groupe d'individus de la même espèce, vivant ensemble dans le même habitat : population bactérienne.

2-2-2 **Communauté** : un groupe de populations réunies de façon naturelle vivant ensemble dans le même habitat : communauté microbienne.

2-2-3 **Niche** : désigne l'habitat qu'occupe le microorganisme en même temps que le rôle qu'il y tient. La notion de niche englobe celle de l'habitat et la complète par une notion de fonction.

3-Dominance et diversité de la biocénose :

Dominance et diversité sont deux attributs de la biocénose.

3-1 **Dominance** : elle existe lorsqu'une espèce ou plusieurs espèces contrôlent les conditions du milieu qui influencent sur les autres espèces.

Exemple le colibacille dans le tube digestif.

3-2 **Diversité** : difficile à mesurer. On peut l'évaluer en déterminant tout simplement le nombre d'espèces présentes. Une meilleure estimation consiste à calculer l'indice de diversité qui prend en compte le nombre d'espèces présentes et l'abondance numérique de chacune.

La biodiversité varie d'un écosystème à l'autre et d'une région à l'autre, chez l'homme, les parties les plus sceptiques sont la cavité buccale et le colon.

I-Interactions des microorganismes et milieu physique

Les microorganismes sont influencés par leur environnement physique immédiat, que soit le sol, l'eau, les profondeurs marines ou un hôte végétal ou animal.

1-Le microenvironnement et niche :

La localisation physique d'un microorganisme constitue son propre environnement, dans ce microenvironnement physique, les flux des oxydants, des réducteurs et des aliments exigés par ce microorganisme peuvent être limités. En même temps, il se peut que la diffusion des déchets produits ne se fasse pas à vitesse suffisante, pour éviter l'inhibition de la croissance, qu'entraînent de fortes concentrations des déchets. Ces flux et ces gradients créent une niche particulière qui comprend : le microorganisme ; son habitat physique, le temps d'utilisation de nourriture et les aliments disponibles pour sa croissance et son fonctionnement.

2-Organisation spatiale des communautés microbiennes et biofilms :

Les microorganismes ne disposant pas d'un environnement physique structuré, tendent à créer leur propres micro environnement et niches en créant des bio films.

2-1 Définition de bio film :

C'est une communauté de microorganismes (bactéries, algues, protozoaires, mycètes) adhérant entre eux et surface et marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice

2-2 Généralités :

- Le mode de vie en biofilm est l'un des deux modes de comportement des organismes unicellulaires, l'autre alternative étant la flottation libre de type dit planctonique.
- Les biofilms sont sauf exception observés dans les milieux aqueux ou exposés à l'humidité.
- Ils peuvent se développer sur n'importe quel type de surface naturelle ou artificielle qu'elle soit minérale (roche, interface air-liquide), organique (peau, tube digestif des animaux, racines et feuilles des plantes), industrielle (canalisation, coques des navires) ou médicale (prothèses, cathéters), il est possible à un bio film d'adhérer sur des matériaux non adhésifs comme poly tétra fluoro- éthylène ou téflon.

- L'environnement du bio film permet aux cellules à coopérer et agir les unes avec les autres de manière différente qu'en environnement libre.
- Les bactéries vivant dans un bio film ont des propriétés sensiblement différentes de des bactéries flottantes de la même espèce.

2-3 Types de bios films :

2-3-1 Bio films simples : se développent lorsque les microorganismes s'attachent en formant une couche monocellulaire.

2-3-2 Bio films complexes : si les particularités de l'environnement (lumière, nutriments plus complexes et comporter des couches d'organismes de différents types exemple : bio films qui comprend des organismes photosynthétique en surface, des chimio organo trophes facultatifs au milieu et peut être des organismes réducteurs de sulfate en bas.

2-3-3 Bio films très complexes : c'est une structure à quatre dimensions, comportant des agrégats de cellules, des pores interstitielles et des canaux. Cette structure permet aux nutriments d'atteindre la biomasse, et les canaux sont formés par les protozoaires qui se nourrissent des bactéries.

Ces bio films peuvent être observés par microscope confocale, exemple : bio films formés sur les instruments médicaux comme cathéters souvent en contact avec les liquides du corps humains.

2-3-4 Tapis microbiens : ce sont des bio films épais macroscopiques qui peuvent exister en milieu marin et des d'eau douce, sur les rochers, sédiments dans les lacs hyper salés. Une caractéristique des tapis est la présence de gradients extrêmes. La lumière ne pénètre que 'un mm dans ces communautés et sous cette zone photosynthétique, les conditions sont anaérobies et les bactéries sulfato réductrices jouent un rôle important.

2-4 Formation et développement de biofilms :

1- Adhérence : capacité d'une bactérie à se fixer à un substrat, c'est un facteur écologique très important.

1-1 Supports d'adhérence (cas de la cavité buccale) :

Dans la cavité buccale trois substrats sont prêts à la fixation des bactéries et qui sont :

- Fixation à une surface dentaire : émail dentaire, ou ciment. C'est une adhérence stable puisqu'il s'agit de surface non desquamant ce qui favorise la formation de communauté bactérienne multi couches typique de la plaque dentaire.
- Adhérence à une cellule épithéliale Elle est propre aux muqueuses, elle est instable par la desquamation des cellules et par conséquent le non formation de la communauté bactérienne.
- Adhérence à la surface d'une bactérie déjà en place : Adhérence inter bactérienne, elle peut être homotypique (bactéries de même espèces) ou hétérotypique (bactéries d'espèces différentes) cela donne une structure d'épais de mais.

1-2 Dynamique d'adhérence : L'adhérence d'une bactérie à une surface se déroule en deux phases :

A-Phase réversible : la bactérie subit l'influence de forces qui peuvent être contradictoires faisant que la bactérie est maintenue à proximité de la surface ou qu'elle en est écartée. Ces forces sont : l'agitation brownienne (du liquide, du milieu ou de flagelles), ou la répulsion électrostatique. Cette dernière s'explique par le fait que la surface bactérienne et la surface dentaire sont garnies de charges négatives (la répulsion est contrebalancée par la force de Van Der Waals (liaison chimique faible) le résultat est le maintien de la bactérie à une certaine distance de la surface.

B-Phase irréversible : peut s'établir selon trois types d'interactions, elle se produit suite à des contacts répétés avec la surface :

B1 : Interaction électrostatique : des cations divalents en particulier Ca^{++} établissent un pont entre une charge négative de la bactérie et une charge négative de la surface.

B2- Interaction hydrophobe : elles sont établies entre séquences moléculaires à caractère hydrophobe présentes sur les deux surfaces. Elles assurent un environnement stable qui permet à d'autres interactions faibles de se produire, c'est une coopération positive.

B3- Interactions spécifiques : elles sont responsables de liaisons fortes et sélectives :

- **Interaction ligand-récepteur :** dans laquelle les molécules d'adhésines bactériennes jouant le rôle de ligand porte le nom d'adhésines les plus connues s'appellent les lectines.

- **Interaction enzyme-substrat** : exemple *Streptococcus mutans* dont l'enzyme glucosyl transférase synthétise des polymères de type glycane en présence de saccharose. Le glycane est fortement adhésif à la surface dentaire et la liaison maintient la cellule sur la dent.

1-3 Médiateurs bactériens d'adhérence :

- **Fimbriae** : appendice extracellulaire responsables d'adhérence. Ils sont présents chez les G+ et G-, constitué de protéines polymérisés sous forme de filaments permettant la création d'un pont entre la bactérie et la surface à coloniser.
- **Glycocalyx** : matrice polysaccharidique ou gluco protéique sécrétée par la bactérie et l'entoure lui donnant un caractère hydrophobe exemple : capsule et pseudo capsule, il permet de combler l'espace entre bactérie et surface.
- **L'acide lipo-teichoïque (LTA)** : molécule linéaire intégrée à la paroi des G+, composée de glycéro phosphate, d'un mono saccharide et d'un acide gras, elle est dite amphipatique (constitué d'un domaine hydrophile (glucidique) et domaine hydrophobe (lipidique)).

2-Division : Les microorganismes se divisent commençant ainsi les micro- colonies. A partir d'une concentration suffisamment dense d'individus, les micro- colonies commencent à la sécrétion du bio film proprement dit.

3-Maturation : Le bio film grandit et mûrit s'épaissant jusqu'à devenir macroscopique voire géant en conditions optimales.

4-Dispersion : dite phase planctonique induite par le vieillissement du bio film ; certains stress ou carence, les micro- organismes peuvent activement se séparer du bio film et retourner à l'état planctonique de libre circulation et peuvent aller coloniser de nouvelles surfaces, le détachement se fait sous l'action des forces mécaniques ou chimiques de l'environnement.

2-5 Propriétés et fonctions de bio- films :

2-5-1 Des séries entières de gènes voient changer la durée et le rythme de leur mécanisme d'activation, correspondant au changement de fonctions.

2-5-2 Les biofilms fournissent aux bactéries des résistances contre diverses agressions.-

2-5-3 La matrice protège et relie les microorganismes : Matrice (éléments constitutionnels des microorganismes qu'elle abrite : protéines, lipides, ADN, ARN, polysaccharides, peptidoglycane, cellulose et une importante quantité d'eau).

2-5-3-1 Protection passive : la matrice joue le rôle de barrière physique contre l'entrée d'agent anti-bactérien (protection de l'intérieur de la communauté).

2-5-3-2 Protection métabolique : les bactéries entourées de biofilms sont moins actives métaboliquement, donc moins réceptives aux agents anti bactériens et à la disruption de l'environnement.

2-5-3-3 Protection active : La résistance de bacille pyocyanique a été attribuée à des pompes d'efflux de bio film, expulsant activement les composants anti bactériens. Quelques bio films se sont avérés contenir des canaux de communication entre cellules.

2-5-3-4 Protection génétique : dans certains cas, la résistance aux antibiotiques peut exponentiellement multipliée. L'implantation des bactéries dans un bio film est caractérisée par le changement de l'expression génétique.

Cet environnement d'échange de matériel génétique permettant le transfert d'information est donc propice à l'acquisition de nouveaux caractères.

Importance de biofilms en domaine médical :

1-Les dents sur lesquelles le bio film forme une plaque qui conduit à la carie.

2-Les lentilles de contact ou les bactéries provoquent une irritation oculaire grave.

3- Les Legionella du biofilm sont protégés des effets de chloration (système de climatisation)

4-Le bacille pyocyanique produit l'alginate qui inhibe la diffusion des antibiotiques (cas de mucoviscidose)

5-Infections nosocomiales

6-Endocardites infectieuses

7-Mucoviscidose

60% des infections bactériennes impliquent des biofilms

60-70% des infections nosocomiales sont liées à l'implantation d'un dispositif médical.

-Caractéristiques dominantes des biofilms médicaux :

1- **Récalcitrance** : des bactéries aux antibiotiques.

2- **Persistance** : malgré une réponse immunitaire soutenue.

3- **Hétérogénéité** métabolique : la population bactérienne due à l'accumulation de multiples micro-niches :

- zones privées de nutriments ou les bactéries prennent un phénotype dormant de phase stationnaire, ces gradients de concentration d'oxygène faisant altérer des zones anoxiques/acides avec des zones oxygénées /neutres.

Cette hétérogénéité participe sans doute largement aux propriétés récalcitrance et de persistance.

2-7- Utilisation de biofilms :

1-Traitement des eaux usées : les eaux résiduelles passent sur et à travers des bio films développés sur des filtres qui entraînent et digèrent les composés organiques nocifs, les protozoaires déplacent les solides en suspension y compris les microorganismes pathogènes.

2- dans la nature : peuvent servir de bio indicateurs de pollution chronique et en tant que bio intégrateurs, leur analyse physico chimique peut apporter d'intéressantes informations sur les contaminants de l'environnement.

-Legionella d'origine hydro-tellurique résiste au chlore ce qui facilite sa survie dans les installations.

-Dans l'eau, les biofilms épilitiques bioaccumulent des métaux métalloïdes toxiques, ils peuvent dans une certaine mesure s'en détoxifier ou les séquestrer. Ils contribuent donc à épurer la colonne d'eau de plusieurs types de polluants xénobiotiques.

- Détérioration des installations industrielles et des dispositifs médicaux par bio-corrosion qui résulte des biofilms composés de bactéries réductrices de sulfates en sulfure d'hydrogène.

Perception du quorum et les populations de microorganismes

-Définition1 : c'est un mécanisme de régulation contrôlant l'expression de

Certains gènes bactériens. Le quorum contribue à synchronisation de l'expression (ou répression) de gènes particuliers au sein d'une population bactérienne en fonction de la densité de celle-ci (nombre de cellules par unité de volume).

Il repose sur la capacité de bactéries à communiquer avec leurs congénères en utilisant des signaux moléculaires.

Définition 2 : nombreuses bactéries communiquent entre elles et ont un comportement coopératif. Cette coopération se réalise grâce aux systèmes de perception du quorum ou auto induction.

2-Propriétés :

- Il existe chez les bactéries G+ et G-.
- Les communications des bactéries peuvent se faire :
 - Entre individus au sein d'une même espèce
 - Entre individus d'espèces différentes
 - Avec des organismes supérieurs comme les plantes et les animaux.

3-Mécanismes du *quorum sensing* (cas de lactone homosérine lactone) :

1-Une molécule, l'auto- inducteur est sécrété en permanence par les bactéries. Cette molécule diffuse librement dans le milieu, et peut passer à travers la paroi et la membrane.

2-Lorsque la population est plus importante, la concentration en auto inducteur augmente. A grande concentration, cet-auto-inducteur forme un complexe avec un facteur de transcription présent normalement dans la bactérie.

3-Le complexe auto -inducteur- facteur e transcription, active un gène, ceci induit la production d'un signal qui confère à la bactérie des propriétés, qui varient selon l'espèce de bactéries, la nature de l'auto inducteur et le gène activé.

4-Les signaux (auto inducteurs) :

Le signal est la conséquence directe de la croissance de la population. Toutes les cellules sécrètent des molécules signaux d'un type particulier et se caractérisent par :

-le signal est une molécule de faible poids moléculaire appelée auto inducteur parce qu'elle est produite par les cellules elles- mêmes.

- Les bactéries synthétisent des auto-inducteurs différents qui régulent des caractéristiques différentes.

- parfois des espèces différentes donnent le même auto-inducteur mais pour réguler des gènes différents.

- certaines bactéries produisent toute une série (gamme) d'auto inducteurs mais pour réguler des gènes d'expression de diverses propriétés.

5-Quelques exemples de signaux :

a-Fructification des Myxobactéries : au moins cinq signaux différents sont utilisés dont deux ont été caractérisés et qui sont : le facteur A : un mélange de peptides et d'acides aminés, le facteur protéique C sont tous deux libérés et contribuent au déclenchement du processus.

b-Certaines activités sont aussi régulées par la perception du quorum chez les G+ le signal étant un oligo-peptide :

-Conjugaison chez *Enterococcus faecalis*

-Stimulation de sporulation chez *Bacillus*

-Production de toxines et de facteurs de virulence chez *Staphylococcus aureus*

- Production de mycélium chez les streptomyces
- Forme de colonies, la communication intercellulaire ou la perception du quorum a son importance.

c-Bioluminescence de *Vibrio cholerae fischeri* (lumière bleu verte) est due à un signal : acyl homosérine lactone par l'intervention d'une enzyme appelée **luciférase**, selon la réaction suivante :



Bactéries viables non cultivables (BVNC)

1-Définition 1 : suite à un stress : manque de nourriture, certaines bactéries qui normalement se cultivent très bien, n'arrivent plus à croître sur les milieux de laboratoire, mais, conservent les caractéristiques de cellules vivantes : activité métabolique, entretien de la structure.

Définition 2 : la viabilité des bactéries sans croissance est considérée par certains chercheurs comme une réponse au stress, par les bactéries non sporulantes qui adoptent une forme de dormance.

Remarque : croissance : augmentation de la taille de cellules ou le nombre de cellules ou les deux.

2- causes de stress :

- La non possibilité de culture est due aux milieux et conditions de culture non appropriées

-basse température, haute température, variation de pression osmotique, carence nutritive, déshydratation, exposition prolongée à la lumière naturelle, stress oxydatif : causé par l'O₂ et les dérivés actifs d'O₂.

L'O₂ est toxique à cause de la production de peroxyde d'hydrogène, d'hydroxyde de super oxyde et de radicaux hydroxydes. Ces produits sont détruits par le super oxyde dismutase, la catalase et la peroxydase.

Les produits de réduction de l'O₂ sont extrêmement toxiques car ce sont de puissants agents oxydants qui détruisent les constituants cellulaires, le microorganisme doit se protéger ces produits pour ne pas être tué.

Exemple : certaines cellules privées de nourriture et transférées dans un milieu riche et aérobie, produisent des radicaux intra cellulaires toxiques létaux (comme l'anion super oxyde O₂⁻), ces radicaux sont des produits secondaires du métabolisme aérobie et font l'objet de détoxification par des enzymes spéciales comme le super oxydase dismutase mais, les cellules en état de disette sont incapables de faire ça.

Remarque : les facteurs causant le stress peuvent être létaux pour les cellules bactériennes et l'effet de chacun d'entre eux dépend notamment de la durée d'exposition.

-Dénombrement des procaryotes viables non cultivables :

-Méthode de John R Postgate : pour déterminer le potentiel de la croissance des bactéries viables non cultivables, ce chercheur culture de microorganisme a développé ce qu'on appelle le test de micro viabilité qui consiste à : culture de microorganisme sur un film de gélose, sous un couvre-objet, le potentiel qu'une cellule de changer de morphologie est un signe de viabilité.

- Cellules traitées par deux colorants fluorescents : styo 9 et l'iodure de propidium, sous microscope à fluorescence, le sty9 donne une lumière verte lorsqu'il est lié à des cellules vivantes. L'iodure de propidium qui est exclu des cellules vivantes émet une lumière rouge quand il est lié aux cellules mortes.
- Comparaison des quantités de cellules marquées par un AC fluorescent et à l'orange d'acridine, avec le dénombrement de la population obtenue par la méthode du nombre le plus probable (NPP).
- Libération de dérivés cellulaires marqués radio activement pour contrôler les effets du stress sur les microorganismes non cultivables.
- Cytométrie en flux : permet l'évaluation des bactéries viables non cultivables.
- PCR, ARNr permettent de reconnaître la diversité des microorganismes non cultivables.

5-Characteristiques des bactéries viables non cultivables :

- Morphologiquement plus petites ;
- Réduction de transfert des éléments nutritifs
- Réduction du taux de respiration et de synthèse de macromolécules

Remarque : les BVNC ont la capacité devenir cultivables une fois mises dans un milieu propice.

Exemples de bactéries viables non cultivables :

- Les premières bactéries à l'état de VNC étaient : *E.coli*, *Vibrio cholerae* provenant d'eau froide (15°C) et d'une salinité élevée (35g/l), il y'a également *M.tuberculosis* et *Campylobacter jejuni*

- Dans l'alimentation, le stockage prolongé à 4°C, aliments fumés ou salés, agents conservateurs, denrées alimentaires : *E.coli* O157:H7, *C.jejuni*, *Shigella dysenteriae*, *Listeria monocytogenes* peuvent se trouver à l'état de VNC.

Rôle des BVNC : responsables d'infections et de réapparition d'infections chez les personnes déjà guéries.

Interactions entre microorganismes

Les interactions ont lieu entre les individus d'une même population ou encore entre ceux des populations différentes, ces interactions peuvent prendre plusieurs formes.

Les interactions positives ou négatives se produisent dans des systèmes biologiques complexes et entraînent des réponses rétro-inhibitrices de divers membres des communautés microbiennes.

1-Interactions négatives :

1-Compétition : interaction entre deux organismes cherchant à utiliser les mêmes ressources (alimentaires, spatiales ou autres)

Elle peut se produire entre individus de même espèce c'est la compétition intra spécifique ou entre individus d'espèces différentes c'est la compétition interspécifique.

Exemple : dans un chimiostat, on peut voir des microorganismes dotés de système de transport actif d'affinité différente entrer en compétition pour un aliment limitant, ceci peut conduire à l'exclusion de la population dont la croissance est lente.

Facteur limitant ; celui qui exerce l'action la plus efficace sur la présence de l'espèce.

2-Prédation :

Définition : consommation d'un organisme vivant, animal, végétal ou microorganisme par un autre.

Exemple 1 : les Myxobactéries vivent dans le sol, sur le fumier et la pourriture végétale, la plupart des espèces se nourrissent d'autres microorganismes. Elles libèrent des enzymes qui lysent d'autres bactéries et champignons et vivent grâce aux produits ainsi solubilisés.

Exemple 2 : Bdellovibrio : attaque et vit à l'intérieur d'autres bactéries comme *E.coli* et Pseudomonas. Il perce la paroi cellulaire et croit à l'extérieur de la membrane plasmique (mode d'attaque périplasmique), puis lyse sa proie.

Exemple 3 : Vampirococcus : s'attaque à la surface de sa proie (relation dite épibiotique).

Exemple 4 : Daptobacter : pénètre son hôte et se nourrit du contenu cytoplasmique.

Avantages de la prédation :

1-La simple digestion et l'assimilation d'une proie bactérienne peut conduire à l'augmentation de la vitesse de recyclage des éléments nutritifs (cycles géochimiques).

2-La prédation peut aussi fournir un environnement protecteur, riche en éléments nutritifs pour une proie donnée.

3-**Amensalisme** : du latin : pas à la même table. Décrit l'effet négatif qu'un organisme exerce sur un autre. C'est un processus basé sur la production par un organisme d'un composé spécifique qui agit négativement sur un autre organisme

Exemple : production d'antibiotiques, production de bactériocines.

L'amensalisme peut aussi dépendre de produits métaboliques, comme les acides organiques issus des fermentations, ces produits inhibent la croissance en modifiant le pH.

II-Interactions positives : peuvent être basées sur le transfert de matériel lié à l'énergétique, à la communication entre cellules et à la protection physique. Plusieurs interactions mutualistes importantes des microorganismes chimio-lithotrophes jouent un rôle critique en rendant la matière organique disponible pour un organisme associé.

1-Commensalisme : du latin, *cum* : avec, *mensa* : table. : Association entre deux espèces dans laquelle l'une (le commensal) tire profit de l'autre, qui lui fournit sa nourriture sans l'affecter.

Ces relations incluent des situations où un déchet produit par un microorganisme sert de substrat pour l'autre.

Exemple 1 : Certaines bactéries anaérobies strictes qui peuvent croître en présence d'O₂ (habituellement toxique pour ces bactéries), si elles sont cultivées avec des bactéries aéro-anaérobies facultatives capables de désoxygéner le milieu : *E.coli* et Bactéroides vivants dans le colon.

Exemple 2 : *Haemophilus influenzae*, bactérie exigeante en NAD (facteur V) qui est capable de se croître sur un milieu de culture ne contenant pas le facteur V, si l'on cultive en présence de *S.aureus* producteur de NAD.

Exemple 3 : la microflore intestinale (*E.coli*) joue un rôle passif dans la défense de l'organisme contre les agents pathogènes bactériens.

Remarque : parfois le commensalisme peut basculer vers le parasitisme, ceci est dû à un déséquilibre ou une modification de l'environnement : *E.coli* peut provoquer des infections urinaires quand elle rentre dans la vessie.

2-Mutualisme :

Latin, mutus : réciproque : une relation dans laquelle un certain bénéficie réciproque revient aux deux partenaires. Il s'agit d'une relation obligatoire ou les mutualistes sont des hôtes dépendant l'un de l'autre métaboliquement.

Exemple 1 : les Lichens constituent un excellent exemple de mutualisme, se sont une association entre un Ascomycete spécifique (le mycete) et certains genres d'Algues vertes ou des cyanobactéries.

Exemple 2 : l'écosystème du rumen constitue un bon exemple d'interactions mutualistes. Il contient une population microbienne importante et diversifiée (10 organismes/ml), on trouve les procaryotes, des mycetes anaérobies comme Neocallimastix et des ciliés et autres protozoaires.

Des matériaux végétaux complexes sont découpés en composés organiques simples que l'animal peut alors absorber, il se forme ainsi des déchets gazeux comme le méthane qui sont libres dans l'environnement. Les glucides dégradés dans le rumen : amidon, pectine, cellulose, hémicellulose.

Les étapes de la transformation des matières végétales sont :

- 1- **Hydrolyse** : assurée par les bactéries, champignons et protozoaires
Cellulose → glucose + Co₂
- 2- **Fermentations** : production d'acides organiques et les produits de la méthanogénèse, elles sont assurées par les bactéries lactiques.
- 3- **Methanogénèse** : assurée par les bactéries méthanogènes
 $H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4$
- 4- **Acétogénèse** : assurée par les bactéries acétogènes comme Clostridium.
- 5- **Cycle de Krebs** : assuré par les entérobactéries

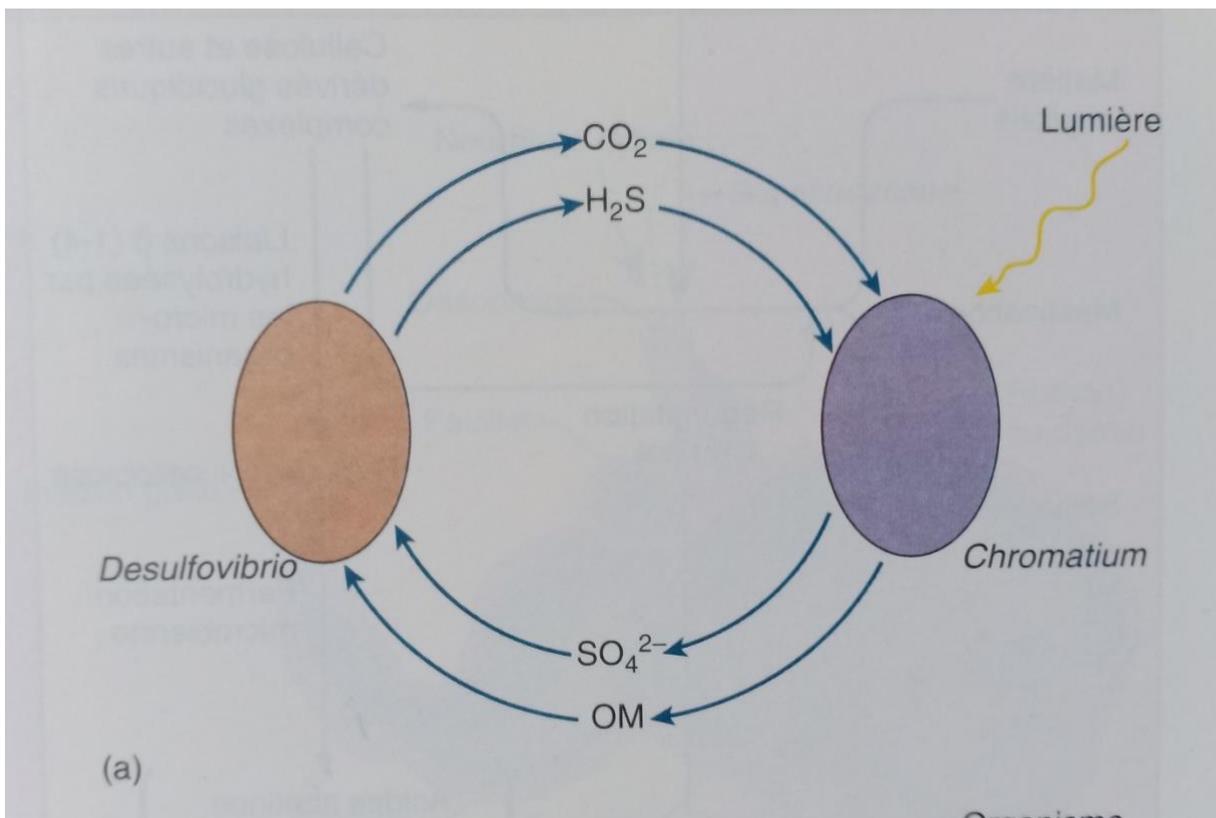
2-1 **Syntrophisme** : du grec, *syn* : ensemble et *trophe* : nourriture : c'est une association où la croissance d'un organisme dépend ou est amélioré par des facteurs de croissance, des éléments nutritifs ou des substrats fournis par un autre organisme se développant à proximité.

Parfois les deux organismes en tirent bénéfice, ce type de mutualisme est appelé : alimentation croisée ou phénomène satellite.

Exemple : un syntrophisme a lieu dans les écosystèmes méthanogènes anaérobies tel que les digesteurs de boues, les sédiments anaérobies en eaux douces et les sols inondés. Dans ces milieux, les acides gras peuvent être dégradés pour produire H₂ et CH₄ par l'intervention de deux groupes bactériens : Syntrophobacter qui produit H₂, et Methanospirillum qui synthétise le CH₄.

2-2 **proto-coopération** : relation mutuellement bénéfique semblable à celle de mutualisme mais elle n'est pas obligatoire.

Exemple 1 : Association entre Desulfovibrio et Chromatium dans laquelle le cycle de carbone et de soufre sont liés.



La matière organique (MO) et le soufre nécessaires à *Desulfovibrio* sont produits par *chromatium* au cours de réduction photosynthétique du CO₂ en matière organique et l'oxydation du sulfure en sulfate.(schéma a)

Exemple2 : un microorganisme cellulolytique (*Cellulomonas*) libère à partir de cellulose, du glucose qui peut être utilisé par microorganisme fixateur d'azote (*Azotobacter*). (Schéma b)

