

---

---

## CHAPITRE I

### A –LES DEBUTS DE LA MICROBIOLOGIE.

#### 1-LA DECOUVERTE DU MONDE MICROBIEN :

Le monde microbien a été découvert par un Hollandais : Van Leuwenhook (1632-1723) grâce à des microscopes simples qu'il construisit lui-même et qui fournissaient d'excellentes images à des grossissements allant jusqu'à plus de 300fois.

La plupart des micro-organismes unicellulaires que nous connaissons aujourd'hui (bactéries, protozoaires, algues, levures ....), ont été décrits pour la première fois par Leuwenhook avec une précision telle qu'il était parfois possible d'identifier les espèces d'après ses descriptions

#### 2-LA NOTION DE GENERATION SPONTANEE.

Dès que l'existence des microbes fut révélée, les scientifiques commencèrent à s'interroger sur leur origine. Il y eut ainsi 2 écoles :

a- La première croyait que les microbes se formaient spontanément à partir de la matière organique. Ceci donna naissance à la théorie de la génération spontanée.

+

b- La seconde (dont faisait partie Leuwenhook) soutenait que les microbes ne prenaient jamais naissance à partir de la matière organique mais qu'ils utilisent la matière organique pour se développer. Pour cette école, les microbes sont déjà présents dans l'air et que leur origine était tout autre que la matière organique.

Mais des raisons techniques rendaient difficile d'obtenir la preuve de l'absence de la génération spontanée dont la théorie persistera très longtemps.

Il a fallu attendre les travaux de PASTEUR et de TYNDALL, au 19ème siècle, pour que le scientifique reconnut la défaite de la doctrine de la génération spontanée. Leurs nombreuses expériences ont montré qu'aucun microbe ne se développe à partir de la matière organique désinfectée et mise à l'abri de l'air. Mais dès que cette matière organique est mise au contact de l'air, les microbes se développent. Donc les micro-organismes ne naissent pas à partir de la matière organique mais existent dans l'air.

Quant à l'origine des bactéries, c-a-d , l'origine de la vie en quelque sorte, on ne la connaît pas de manière précise jusqu'à l'heure actuelle les recherches continuent dans cette voie comme la découverte de micro-organismes moins évolués que les bactéries : les Archéobactéries, qui constituent un des chaînons de l'évolution qui s'est déroulé entre le début de la vie et les bactéries.

---

---

### **1-Rôles des micro-organismes.**

La découverte des micro-organismes a permis d'expliquer beaucoup de phénomènes jusque là inconnus, en particulier, l'origine de la fermentation, des maladies et de la transformation de la matière organique dans le sol.

#### **a- Rôles des micro-organismes dans la fermentation.**

La fermentation, qui est un processus aboutissant à la formation d'alcool et d'acides organiques, était considérée comme un phénomène purement chimique. Mais par la suite, Pasteur confirma l'hypothèse de Schwann et de ses collaborateurs selon laquelle, la fermentation alcoolique était due à des levures, la fermentation lactique et butyrique, à des bactéries .

c'est en étudiant la fermentation butyrique que Pasteur découvrit la vie anaérobie, c.-à-d., l'existence de genres pouvant se développer en absence d'oxygène.

#### **b- Rôles des micro-organismes dans les maladies**

C'est Koch (1876) puis Pasteur et Joubert qui montrèrent que les maladies humaines et des animaux étaient dus à des microbes. Ceci a permis le développement de la bactériologie médicale.

Un savant Américain (1882) montra également le rôle des microbes dans la pathologie végétale.

Ces découvertes orientèrent les recherches sur les systèmes immunitaires, par la recherche de vaccins .Ceci a permis de développer une autre science, très liée à la microbiologie : l'immunologie. D'autres sciences, telles que la physiologie, la biochimie et la génétique, apportèrent leur aide à la microbiologie dont l'isolement a diminué au fil des années.

#### **c- Rôles des micro-organismes dans le sol..**

Les travaux de Pasteur sur la fermentation ont montré le rôle spécifique des micro-organismes dans la transformation de la matière organique .Deux autres microbiologistes : Winogradsky et Beijerinck (1890) ont pensé que ces mêmes micro-organismes pouvaient également être responsables des modifications géochimiques dans le sol. Ils montrèrent qu'une petite quantité de sol pouvait contenir des milliards de cellules microbiennes. Ils montrèrent également que certaines bactéries fixent l'azote atmosphérique dans le sol et d'autres, décomposent des matériaux azotés complexes en nitrate (NO<sub>3</sub>) qui est la source principale d'azote pour les plantes vertes.

Donc les micro-organismes contribuent à la fertilisation des sols et au développement des plantes.

## 2-Découverte des virus.

En 1892, Iwanowsky montra que certaines maladies (mosaïque du tabac) sont provoquées par des entités infectieuses pouvant traverser des ultrafiltres capables de retenir les bactéries. Ces entités infectieuses appelées virus étaient donc beaucoup plus petites que tous les micro-organismes connus auparavant. On démontra par la suite que ces virus étaient des parasites obligatoires, constitués uniquement de quelques protéines et d'un seul acide nucléique (ARN ou ADN). Leur structure et leur développement sont entièrement différents de ceux des organismes cellulaires connus.

## B- PLACE DES MICRO-ORGANISMES PARMIS LE REGNE VIVANT.

La découverte des micro-organismes rendait de plus en plus difficile leur classement parmi le règne animal ou végétal. Heureusement en 1866 un zoologiste Allemand : HAECKEL proposa une solution logique en demandant la création d'un troisième règne : le règne des Protistes (voir page 1 du photocopié). Un 4<sup>ème</sup> règne a été créé pour grouper les virus qui sont des organismes acellulaires (non cellulaires).

Les **protistes** sont divisés en deux grandes classes :

- les **protistes supérieurs** ou **protistes Eucaryotes**.
- les **protistes inférieurs** ou **protistes procaryotes**.

De grandes différences existent entre les cellules eucaryotes qui caractérisent les protistes supérieurs, les animaux, les plantes et les cellules procaryotes qui caractérisent les protistes inférieurs (voir tableau page 2 du photocopié).

Il a fallu attendre 1969 pour que **ROBERT .H.WHITAKER** proposa un autre système de classification à cinq (5) règnes. Ce système ne fut adopté qu'après les travaux récents de **LYN MARGULIES (1985)** qui ont étayé et confirmés la théorie sur ces cinq règnes proposés près d'une vingtaine d'années auparavant par **WHITAKER**.

- REGNE des **MONERES** (Bactéries et cyanophycées ou algues bleues).
- REGNE des **PROTOCTISTES**. (Protozoaires, algues "autres que bleues "et moisissures Ondulipodiées).
- REGNE des **FUNGI** (Champignons).
- REGNE des **ANIMAUX**
- REGNE des **VEGETAUX**.

Cette classification est prise en compte jusqu'à l'heure actuelle.

CARACTERES DISTINCTIFS ENTRE UNE CELLULE  
EUCARYOTE ET UNE CELLULE PROCARYOTE

	<b>Cellule Procaryote</b>	<b>Cellule Eucaryote</b>
<b>APPAREIL NUCLEAIRE</b>	+	+
<b>1- Structure</b>		
• Membrane nucléaire	-	+
• Association ADN-Histones	-	+
• Chromosomes	1	Plusieurs
<b>2- Information génétique</b>		
•Appareil nucléaire	+	+
•Mitochondries	-	+
•Chloroplastes	-	+
•Plasmides	+	-
•Division	Amitose	Mitose
•Recombinaison génétique	Totale (zygote)	Partielle (Mero zygote)
<b>3- Systèmes membranaires</b>		
• Membrane nucléaire	-	+
• Réticulum endoplasmique	-	+
• Appareil de golgi	-	+
• Lysosomes et peroxydases	-	+
• Vacuoles	-	+
<b>4- Respiration</b>		
• Mitochondries	-	+
• Membrane plasmique et mésosomes	+	-
<b>5- Photosynthèse</b>		
• Chloroplastes	-	+
• Chromatophores	+	-
<b>6- Composition chimique de la paroi</b>	Mucopeptidique	Complexe et variable
		Chitine
		Cellulose
		Pectine
		Lignine Etc.....
<b>7 Stéroïdes dans la membrane plasmique</b>	-	+
<b>8-Endocytose –Exocytose</b>	-	+
<b>9-Mouvements cellulaire amiboïdes</b>	-	+

## CHAPITRE II

### A- LES ALGUES BLEUES OU CYANOPHYCEES (planche N° 1).

Elles sont caractérisées par :

- Un pouvoir photosynthétique identique à celui des plantes.
- La présence d'une paroi externe rigide dont le matériau de base est un mucopeptide
- Des mouvements par glissement sur les surfaces solides.

On les rencontre sur toute la surface du globe : les océans, les mers, les eaux douces, les eaux thermales et même dans le sol. Certaines sont très peu exigeantes en éléments nutritifs. Elles peuvent fixer l'azote atmosphérique, se multiplier et végéter dans les terres les plus arides.

Elles sont classées suivant le fait qu'elles soient unicellulaires ou pluricellulaires.

### B- LES BACTERIES OU SCHIZOMYCETES (planche 2 et 3).

Il existe certains micro-organismes possédant les mêmes structures que les algues bleues mais qui ne sont pas photosynthétiques. Certains auteurs les classent parmi les bactéries mais elles peuvent être identifiées grâce à leur structure des dérivées non pigmentés des algues bleues, d'où le nom, de Algobactéries qui leur est souvent attribué

Ex1 : Le genre Beggiatoa qui est l'homologue de l'algue bleue Oscillatoria

Ex2 : Le genre Leucotrix qui est l'homologue de l'algue bleue Rivularia

#### 1- les Mycobactéries unicellulaires

Elles sont caractérisées par des mouvements par glissements au contact des surfaces solides (au même titre que les algues bleues).

- La finesse et la flexibilité de leur paroi.
- Elles sont toutes unicellulaires.

Certaines forment des corps fructifiants ± complexe à l'image de Chondromyces

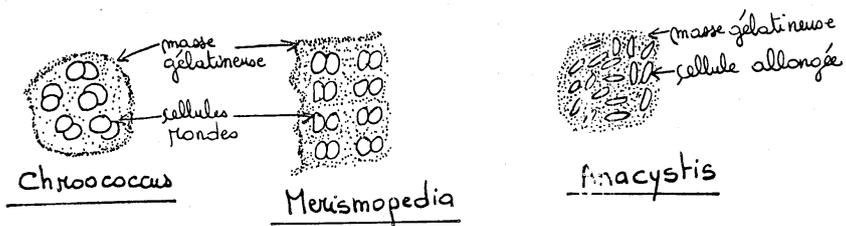
#### 2-Les Spirochètes unicellulaires.

- Elles sont caractérisées par une structure hélicoïdale.
- Leur paroi est mince et flexible (au même titre que les Myxobactéries).
- Leur déplacement se fait grâce à un filament axial inséré entre l'enveloppe externe et la couche de mureine (paroi proprement dite). Ce filament, constitué de fibrilles, est enroulé autour de la bactérie, le déplacement se fait par contraction puis relâchement du filament fixé aux 2 pôles de la bactérie

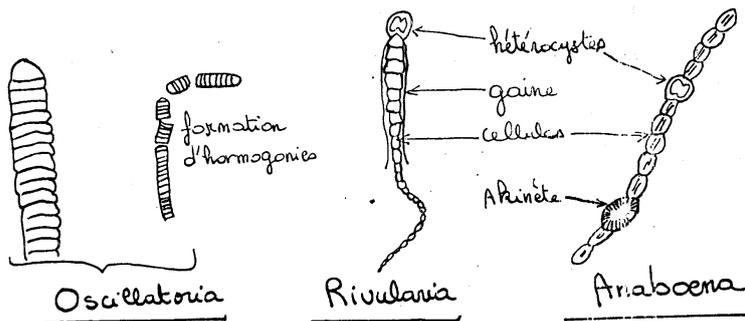
- La plupart sont parasites et sont à l'origine de nombreuses maladies (fièvres boutonneuses, fièvres à poux ou à tiques, syphilis, hémorragies ...etc.)

PLANCHE 1 :  
LES MONERES  
Les algues bleues  
 =  
Cyanophycées

1- famille des coccogonophycées



2- famille des hormogonophycées

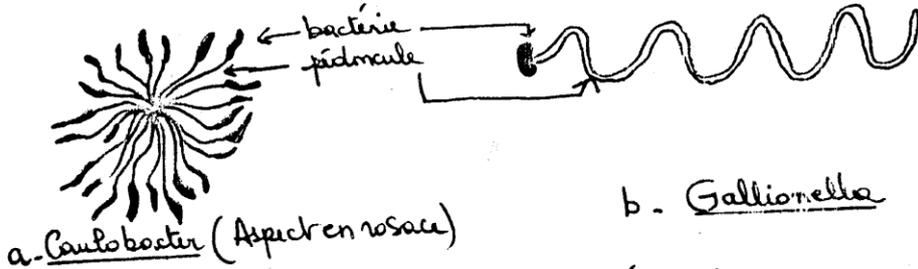
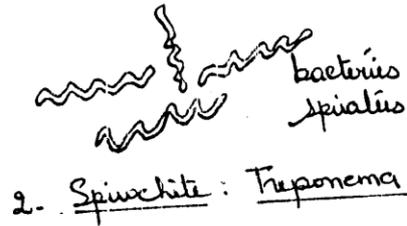
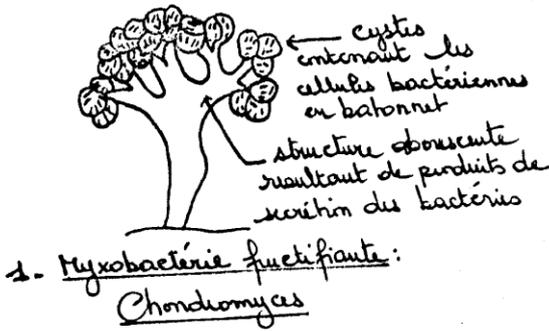


Notes de cours microbiologie. ALI OUSALAH. A.

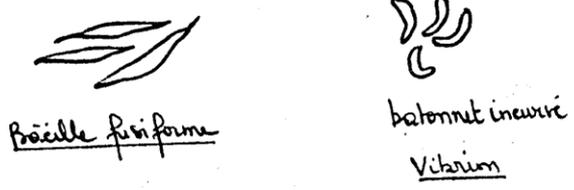
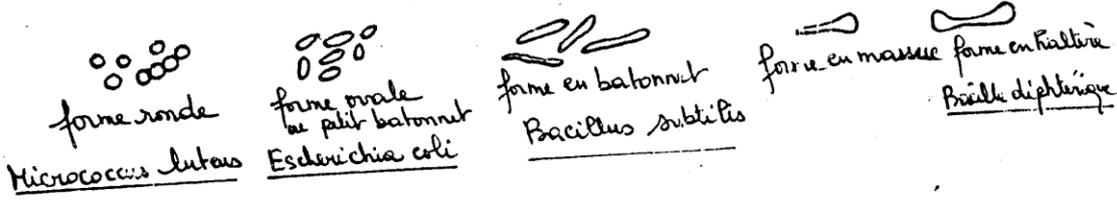
PLANCHE 2

LES MONERES

Les bactéries



3. bactéries à pédoncules



4. bactéries non photosynthétiques

notes de cours. Ali ou SALAH. A. Microbiologie

### **3- Les Eubactéries**

Elles sont caractérisées par la rigidité de leur paroi et par leur mobilité (quand elle existe) à l'aide de flagelles .Elles sont divisées en 5 groupes.

#### **a- Les Eubactéries photosynthétiques, unicellulaires.**

Elles sont pour la plupart **anaérobies** .On les trouve au fond des eaux. Pour la photosynthèse, elles utilisent les rayonnements les plus pénétrants du spectre lumineux (Radiations rouges et infra- rouges). Leur photosynthèse diffère de celle des végétaux elles absorbent le dioxyde de carbone sans rejeter l'oxygène.

Les pigments photosynthétiques sont différents chimiquement de ceux des végétaux et algues .Ils sont contenus dans des appareils spéciaux : les chromatophores de formes variables (cylindrique, lamellaire, tubulaire, vésiculaire.), qui seraient des expansions de la membrane plasmique

Elles comprennent 3 familles : les bactéries sulfureuses vertes : Chlorobiaceae

- Les bactéries sulfureuses pourpres : Chromatiaceae.
- Les bactéries non sulfureuses pourpres : Rhodospirillaceae.

Leur couleur est due à la **bactéριοchlorophylle verte** ou à des **pigments caroténoïdes** jaunes ou rouges.

#### **b- Les eubactéries non photosynthétiques ; unicellulaires.**

Elles sont les plus nombreuses et les plus importantes dans tous les domaines de la microbiologie.

- Certaines participent aux transformations cycliques de la matière organique (cycle de C ; N, S,....etc.) ex : les Azotobacteriaceae.
- D'autres sont responsables de maladies infectieuses ex : Enterobacteriaceae.
- D'autres sont utilisées dans l'industrie pour la production d'enzymes de vitamines, d'antibiotiques etc.
- Elles se multiplient par scission binaire transversale.
- Leur forme est très variable (planche 2).

#### **c- Les eubactéries à pédoncules..Unicellulaires.**

Elles forment des pédoncules.

Ex : 1 **Caulobacter** :

Cellule incurvée possédant un pédoncule propre à la bactérie, qui lui sert pour se fixer sur un support.

Elles prennent parfois l'aspect de rosace

-

Ex : 2 **Gallionella** :

Cellule réiniforme, le pédoncule résulte de produits de sécrétion (acellulaire)

**d-Les Eubactéries filamenteuses..**

Elles forment des filaments non ramifiés constitués par des chaînes de cellules accolées .Les septums séparant les cellules sont parfois presque invisibles. Ex : Sphaerotilus.

On distingue deux groupes principaux :

1 : Des bactéries formant des chaînes recouvertes d'une gaine, elles sont Mobiles grâce à des flagelles situés à un pôle de la cellule.

2 : Des bactéries formant des filaments rigides de large diamètre .Elle possèdent flagelles tout autour de leur corps.

**e-Les Eubactéries mycéliennes : Actinomycètes.**

Les actinomycètes se rapprochent des autres bactéries par leur structure Procaryote, leur dimensions cellulaires ( $\cong 1\mu$ ), leur sensibilité aux antibactériens et aux bactériophages. Par contre certains caractères les rapprochent des champignons, en particulier leur macromorphologie, leur structure du type mycélien, et un cycle de développement très apparenté.

Au sein même du grand groupe des actinomycètes, on distingue une certaine Evolution du point de vu structure et développement qui les fait rapprocher des Bactéries vers les champignons.

**Exemple :**

1- Mycobacterium. : Se sont les actinomycètes les moins évolués. Ils se présentent sous forme de bâtonnets .Le mycélium est rudimentaire et exceptionnellement ramifié. Ce genre renferme plusieurs espèces pathogènes pour l'homme, en particulier :

- *Mycobacterium tuberculosis* .....Age  
nt de la tuberculose.

- *Mycobacterium lepreae*..... Agent de la lèpre.

2-Actinomycès : Se sont les seuls qui soient anaérobies ou aérobies facultatifs .Ils produisent un mycélium végétatif qui se fragmente en éléments ronds

3-Nocardia : Ce genre produit un mycélium végétatif  $\pm$  ramifié qui se fragmente en éléments ronds et allongés. Chaque élément est capable de donner un hyphe.

Quelques espèces peuvent produire un mycélium aérien rudimentaire portant rarement de courtes chaînes de spores.

4-Actinoplanès et Streptosporangium : Se sont des actinomycètes parfois aquatiques, dont le mycélium aérien produit des sporanges remplis de spores. Dans le cas de Streptosporangium .les espèces sont mobiles grâce à des flagelles (adaptation à la vie aquatique).

5- Streptomyces : Leur organisation se rapproche le plus de celle des champignons de même que l'aspect morphologique de leurs colonies sur milieu de culture .Ils forment un mycélium végétatif qui ne se fragmente pas et un mycélium aérien terminé par des hyphes spéciaux ! Les sporophores qui portent des spores immobiles disposées en chaîne. Chaque spore est capable de germer et de donner une nouvelle colonie.

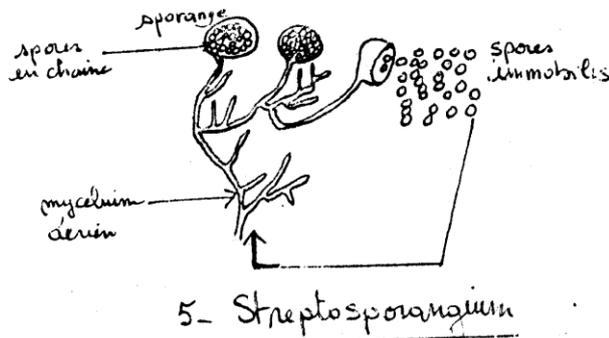
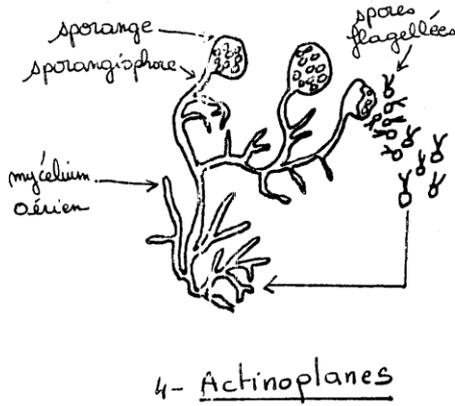
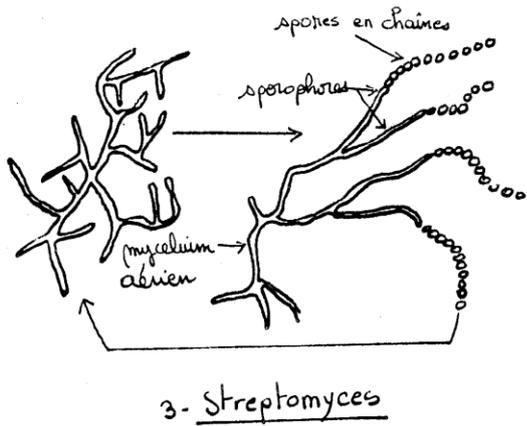
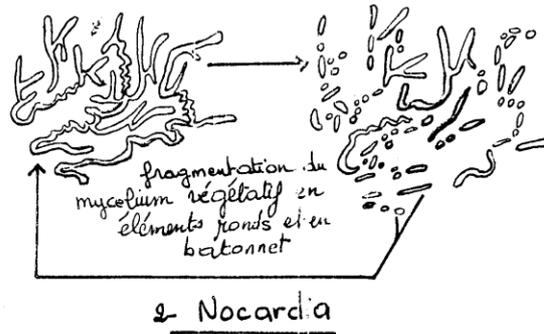
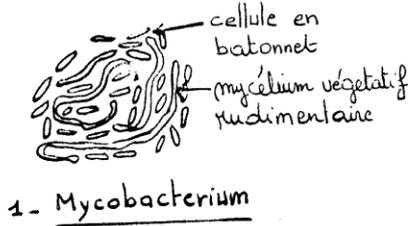
Le genre Streptomyces constitue le groupe le plus important de micro-organismes du point de vue production d'antibiotiques.

Ex : Streptomyces griseus : produit la streptomycine.

PLANCHE 3

LES MONERES

Les actinomycetes



ALI OUSALAH. A.

### 6 – Le groupe des rickettsies des Chlamydies et des Mycoplasmes.

Se sont des bactéries qui se distinguent par leur très petites taille, trois à cinq fois plus petites que les bactéries normales .Elles se caractérisent par le fait que les :

- Rickettsies et les Chlamydies soient parasitent obligatoires.
- Mycoplasmes se caractérise par l'absence totale de paroi.

#### **A- Les rickettsies :**

Elles sont polymorphes ; bâtonnets, ronds, en courtes chaînes ou filamenteuses. Elles parasitent les arthropodes qui constituent les vecteurs de maladies graves transmissibles aux animaux et à l'homme.

- Leur classification est d'ailleurs déterminée principalement par les signes cliniques observés chez les hôtes

:

- Groupe qui provoque le typhus : **Rickettsia prowazekii**
- Groupe qui provoque les fièvres boutonneuses : **Rickettsia conorii**
- Groupe qui parasite les globules rouges des vertébrés : **Rickettsia tsutsugamushi**

#### **B – Les chlamydes :**

Les chlamydies possèdent et partagent la plupart des propriétés des Rickettsies, mais n'infectent pas les vertébrés .Leur cycle de développement est très différent de celui des bactéries .Sous leur forme infectieuse appelée corps élémentaires, ils pénètrent dans la cellule de l'hôte par endocytose .dans le cytoplasme de l'hôte, ils se réorganisent en particules plus grandes, non infectieuses appelées corps initiaux. Chaque corps initial se multiplie plusieurs fois formant un agrégat de corps élémentaires qui sont libérés de la cellule hôte altérée. Chaque corps élémentaire va entreprendre un nouveau cycle de multiplication sur une autre cellule intacte.

Leur cycle se rapproche un peu de celui des virus, certains microbiologistes les ont même rapproché des virus mais il a été nettement démontré grace au microscope électronique que ces chlamydies avaient exactement les mêmes structures que celles des bactéries. Leur classification est également basée sur leur pouvoir pathogène.

Groupe responsable de la conjonctivite et du trachome

- *Chlamydia psittaci*.
- *Chlamydia trachomatis*

#### **C – Les Mycoplasmes :**

Se sont les seules bactéries sans paroi .Elles sont globuleuses mais à cause de leur plasticité elle peuvent prendre plusieurs formes (annelées, spiralées, en bâtonnets, filamenteuses.....).grace à cette plasticité elles passent au travers de filtres qui retiennent habituellement les bactéries. Elles parasitent l'homme, les animaux et les insectes. Elles provoquent des infections toxiques au niveau des voies respiratoires, mais ne sont pas parasites stricts.

## CHAPITRE III

### LES PROTOCTISTES

Du grec protos : premier ; ktistos : établis.

Ce règne regroupe des êtres n'appartenant ni à des animaux, ni à des plantes, ni à des champignons (ne possédant pas d'ondulipodes et se développant à partir de spores), ni à des procaryotes. Ils constituent des micro-organismes eucaryotes et leurs descendants immédiats se trouvent être toutes les algues (sauf les algues bleues), les moisissures ondulipodiés (Myxomycètes, Plasmodiophoramycètes, Oomycètes) et les protozoaires.

#### A- LES ALGUES.

- Elles ont des dimensions variables, elles peuvent être microscopiques (diatomées) ou avoir plusieurs mètres de longueur.
- Leur paroi est très souvent cellulosique.
- Leur substance de réserves est constituée surtout d'amidon.
- Elles réalisent toutes la photosynthèse grâce aux plastes
- Leur reproduction peut être asexuée ou sexuée. Les deux processus peuvent apparaître au cours d'un cycle de développement parfois complexe.
- Leur classification repose sur la reproduction, le système pigmentaire, la composition des parois cellulaires, la nature des matières de réserves et le nombre de flagelles

On distingue ainsi les :

- Rhodophycées ou algues rouges dont la chlorophylle est masquée par des pigments rouges (phycoérytrines).
- Chromophores qui comprennent plusieurs groupes dont les algues brunes, la chlorophylle est masquée par la phycoxanthine.
- Chlorophylliens ou algues vertes où la couleur de la chlorophylle prédomine par rapport à celle des autres pigments

#### B. LES PROTOZOAIRES.

Les protozoaires constituent les premières formes animales.

- La plupart sont aquatiques mais certains sont telluriques et d'autres parasites
- Ils sont unicellulaires, la plupart sont mobiles.
- Présentent une variabilité dans leur morphologie, dimension, structure et fonctions.
- Ils sont considérés comme des formes dérivées de certaines espèces d'algues unicellulaires eucaryotes qui auraient perdu leur pouvoir photosynthétique.

Leur classification est basée sur l'appareil locomoteur.

On distingue 4 groupes :

- 1- **Les rhizopodes** : se déplacent par l'intermédiaire de pseudopodes.  
ex : Amibe.

Entameaba histolytica agent d'un certain type de dysenterie.

- 2- **Les zoroastrismes ou flagellés**, se déplacent par l'intermédiaire de flagelles.

Ex : le trypanosome, Trypanosoma gambiense agent de la maladie du sommeil.

- 3- **Les ciliés** : se déplacent par l'intermédiaire de cils ex : la paramécie.

- 4- **Les sporozoaires** : sont tous immobiles et parasites.

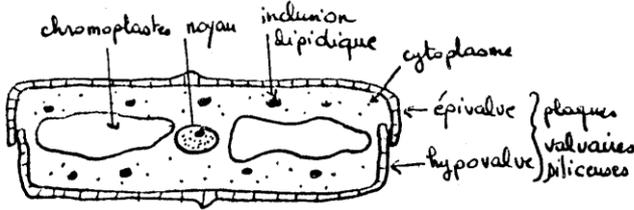
Ex : *Plasmodium vivax* (fièvre tierce) responsable du paludisme transmis par l'anophèle.

Ex : *Plasmodium malariae* (fièvre quarte).

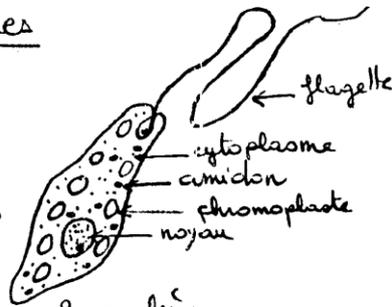
Ex : *Plasmodium falciparum*, (fièvre quotidienne).

PLANCHE 4  
Les Protoctistes

Les algues

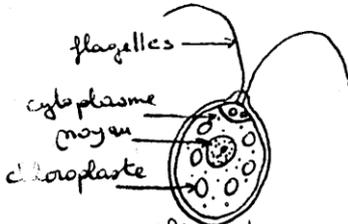


1 - Diatomée

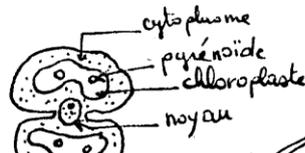


2 - Euglène

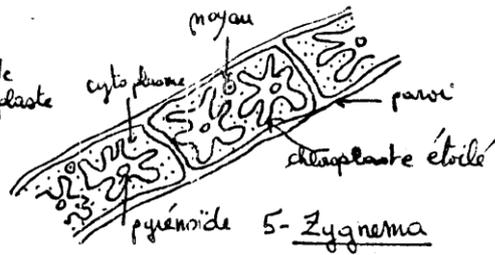
CHROMOPHYTES



3 - Chlamydomonas



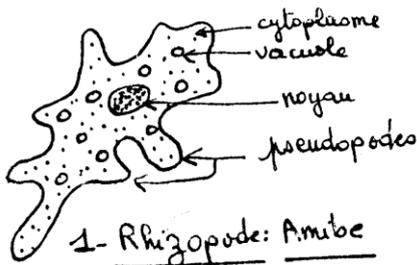
4 - Cosmarium



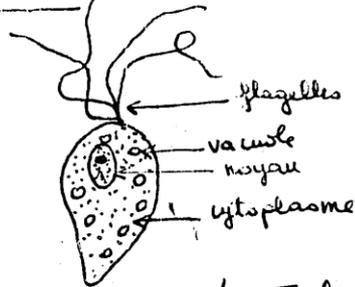
5 - Zygnema

CHLOROPHYTES

Les protozoaires



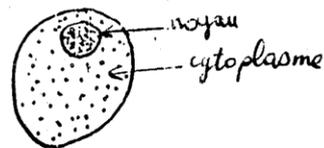
1 - Rhizopode: Amibe



2 - Flagellé: Trichomonas



3 - Cilié: Paramecie



4 - Sporozoaire: Caelotropha

Notes de cours. Microbiologie. ALI OU SALAH. A.

## C- LES MOISSURES ONDULIPODIEES

### 1-Myxomycota ou Myxomycètes.

Du grec **Myxa** : mucus et **Mykes** : champignon, se sont des moisissures muqueuses généralement pigmentées en jaune ou orange bien que non photosynthétique. Leur stade nutritionnel est appelé Plasmodium, qui peut atteindre plusieurs centimètre de diamètre .Le Plasmodium n'est pas multicellulaire mais c'est une masse coenocytique (Cytoplasme multinuclée).

Ex : Physarum, Filago, Mucilago. Dans des conditions défavorables ils produisent des sporophores supportant des spores de résistances (zoospores mobiles par deux (2) ondulipodes).

### 2- Plasmodiophoramycota ou Plasmodiophoramycetes

Du latin, Plasmodium : masse cytoplasmique **coenocytiques**, Phorein : porter .Ressemble au Myxomycètes par la présence dans leur cycle de Plasmodium mais ne produisent de sporophores .Les spores de résistances sont des kystes. Ce groupe est économiquement très important car il est composé de nombreux phytopathogènes dont : Plasmodiophora brassicae. (Qui infecte le chou).

### 3- Oomycète ou Oomycètes

Du grec Opine : œuf. Tire leur nom de leur mode de reproduction sexuée où un grand œuf est fertilisé par une petite cellule. Ces protoctistes ont des filaments coenocytiques qui rappellent les hyphes des champignons. Mais contrairement aux champignons leur paroi est constituée de cellulose et non de chitine et dans leur cycle biologique il y a formation de spores ondulipodiées. Les Oomycètes regroupent de nombreux agents phytopathogènes dont : Phytophthora, Pythium, Plasmopara, Perenospora, Plasmopara viticola, agent du mildiou de la vigne.

Phytophthora infestans ; agent du mildiou de la pomme de terre, à l'origine d'une grande famine qu'a connue l'Irlande au 19ème siècle et qui a été la cause d'une émigration massive des Irlandais vers les Etats Unis d'Amérique.

---

---

## CHAPITRE IV

### LES FUNGI OU CHAMPIGNONS

Ils possèdent les caractères suivants :

- Pas de pigments chlorophylliens donc pas de photosynthèse.
- Caractérisés par une structure mycelienne immobile. En effet, ils sont caractérisés par une structure de filament, les hyphes, ramifiés dont l'ensemble est connu sous le nom de mycelium. Ces hyphes constitués de tubes résistants composés principalement de chitine. A l'intérieur de ces tubes se trouve enfermer une masse cytoplasmique mobile contenant de nombreux noyaux. Cette organisation est dite coenocytique.
- Chez de nombreuses espèces, les hyphes présentent des cloisons transversales mais toutes les cellules communiquent entre elles par un pore central.
- La reproduction peut être asexuée ou sexuée ou les deux phénomènes à la fois au cours d'un même cycle de reproduction
- La classification des champignons est basée sur la structure mycélienne et la reproduction. On distingue ainsi :

#### **1 - Les siphonmycetes.**

- Champignons dont l'organisation est typiquement coenocytique avec un mycelium non cloisonné.
- Ils peuvent être aquatiques avec production de zoospores, ex : phycomyces .ils peuvent également être terrestres, ex : myxomyces.
  - La reproduction peut être asexuée ou sexuée.

#### **2 - Les septomycetes :**

##### **a- les ascomycètes :**

- mycélium cloisonné.
- les spores (ascospores) se forment à l'intérieur de sacs appelés asques.
  - la reproduction peut être asexuée ou sexuée.

##### **b-les basidiomycètes :**

- le mycélium est cloisonné.
- les spores (basidiospores) sont situées dans les parties terminales des ramifications myceliennes appelées basidies ou basides .ex : champignons à chapeau. La formation des spores est externe (interne chez les ascomycetes).

##### **c-les deutéromycètes :**

- le mycélium est cloisonné.
- la reproduction sexuée n'existe pas ou n'est pas encore connue .C'est le groupe le plus étudié en microbiologie car il comporte des espèces pathogènes pour l'homme, les animaux et les plantes et aussi pour leur capacité à produire des antibiotiques.

Ex : La Pénicilline est produite par : Penicillium notatum.

### 3 -Les levures :

- Elles sont considérées comme une collection de micro-organismes appartenant aux trois classes précédentes (Ascomycetes, Basidiomycetes, Deyteromycetes).
- Les levures ont perdu leur organisation coenocytique et sont devenues unicellulaires, absence de mycelium.
- La reproduction peut être asexuée ou sexuée.
- La reproduction asexuée se fait surtout par bourgeonnement.
- Chez quelques genres elle se fait par scission binaire.
- Les levures sont classées d'après leur type de reproduction.

On distingue :

- Les levures ascosporegènes : produisant des spores à l'intérieur de sacs (asques).

Ex : Saccharomyces cerevisiae.

- Les levures basidiosporegènes ; produisant des spores à l'intérieur de basides.

Ex : Sprobolomyces.

- Les levures anascosporegènes : ne produisant pas de spores, leur reproduction

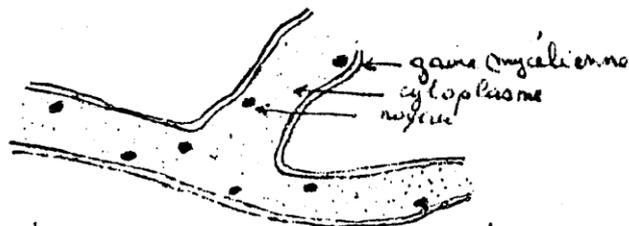
est asexuée et surtout par bourgeonnement .ex : Candida, Torulopsis

PLANCHE 5

FUNGI

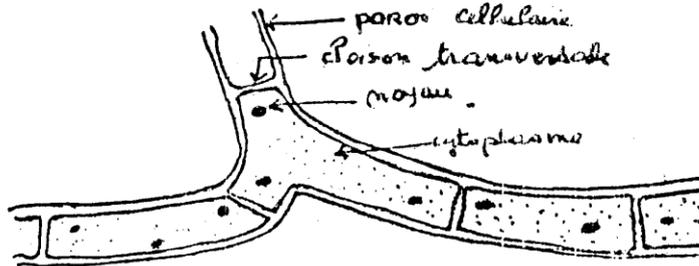
Les champignons: Le mycélium

Kluyveropis  
(phycomycetes)



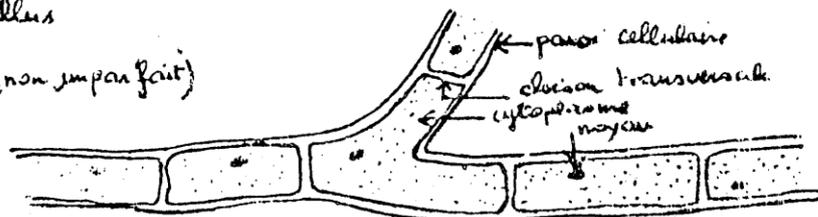
1 - Mycélium non cloisonné = Siphon

Ascochisma  
(Ascomycetes)



2 - Mycélium cloisonné à cellules plurinucléées

Aspergillus  
(champignon imparfait)

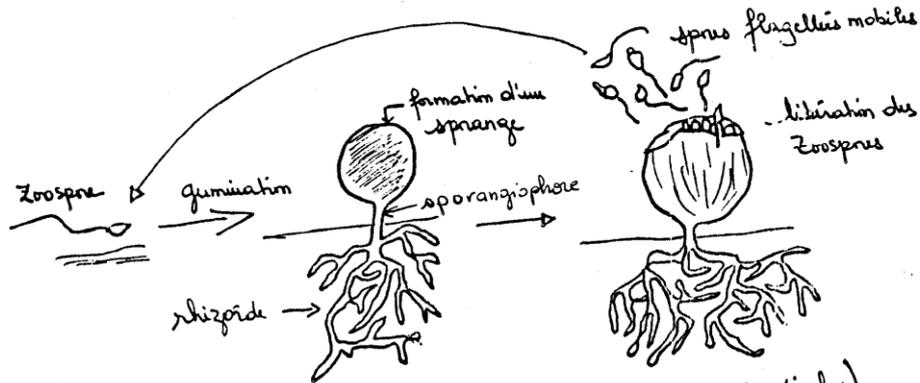


3 - mycélium cloisonné à cellules uninucléées

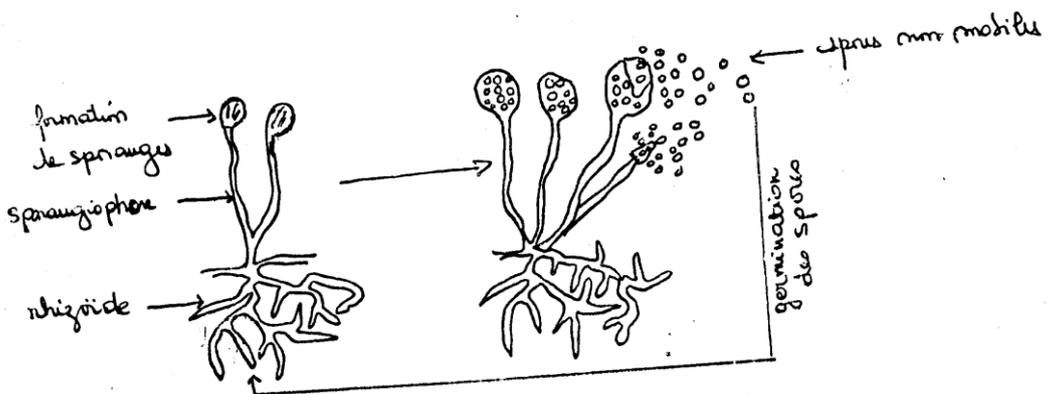
Notes de cours. Microbiologie. ALI OUSALAH. 4.

PLANCHE 6

Les Champignons: Les phycomycètes.



1. Cycle d'un phycomycète aquatique (Chytriales)



2. Cycle d'un phycomycète terrestre (Rhizopus)

Notes de cours. Microbiologie. ALI, OUSALAH. A.

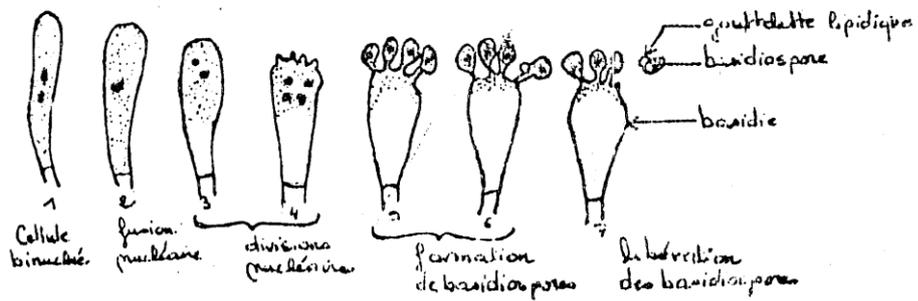
# FUNGI

PL n°7

## Les champignons ascomycètes et basidiomycètes



Les étapes de la formation d'un ascus



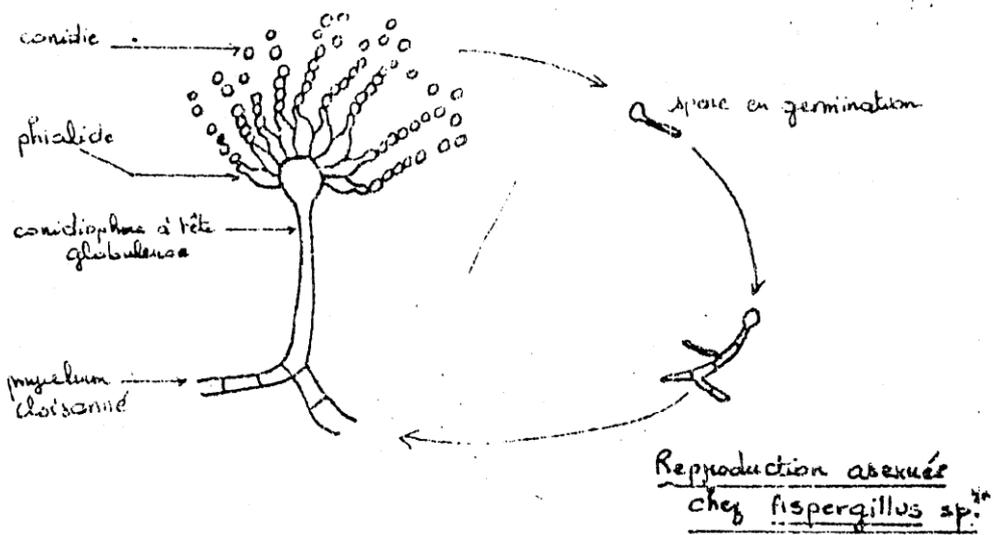
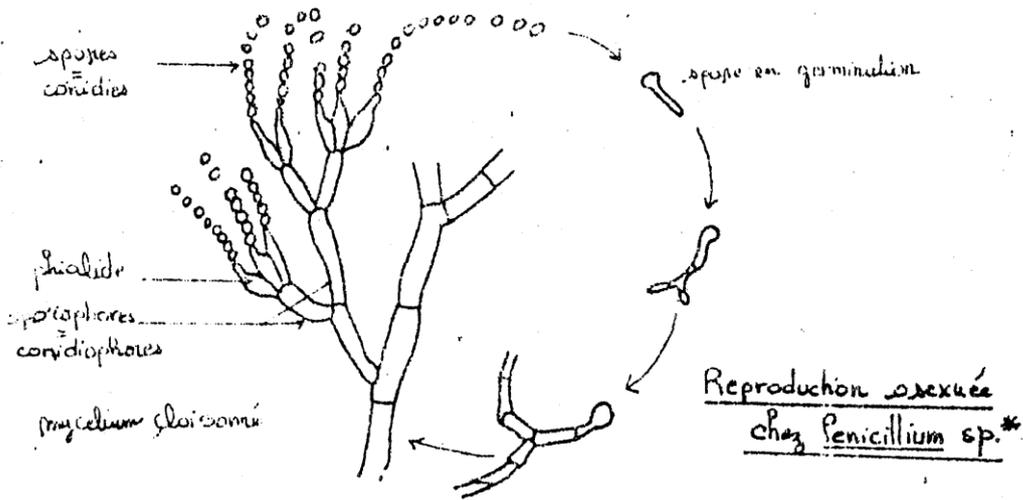
Les étapes de la formation d'une basidie et la libération des basidiospores

Notes de cours. Microbiologie. ALI OUSALAH. A.

FUNGI

Les champignons imparfaits

PL. n° 8.

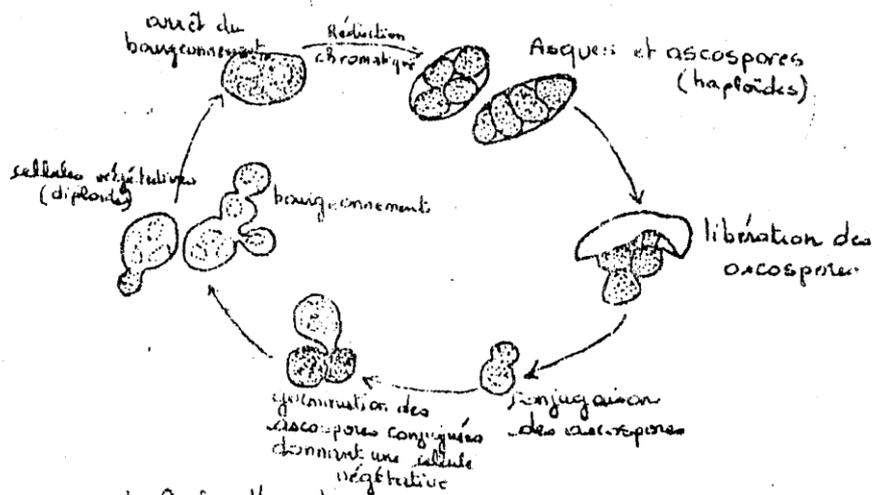


\* Certaines espèces d'Aspergillus et de Penicillium ont une reproduction sexuée connue (production d'anne et d'ascospores). Elles sont classées parmi les actinomycètes.

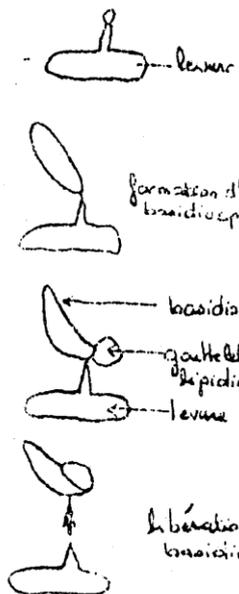
Notes de Cours. Microbiologie. ALI OUSALAH. A.

- PL. n° 9

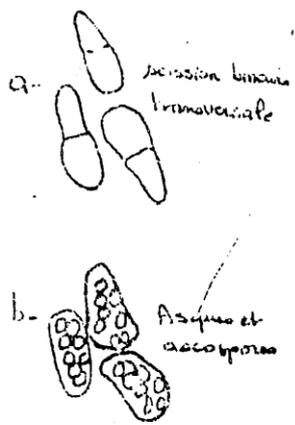
Les levures



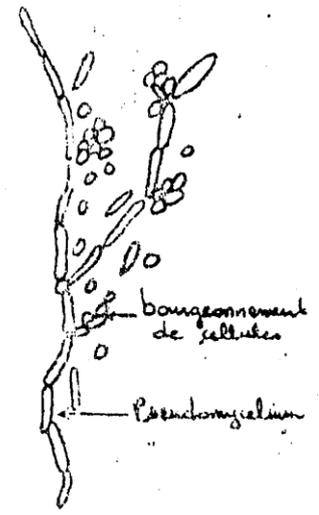
1- Cycle d'une levure ascosporeuse: Saccharomyces cerevisiae  
(Levure de bière)



2- Levure basidiosporogène: Sporobolomyces



3- Schizosaccharomyces  
a- Division binaire  
b- Ascus et ascospores



4- Levure anascosporee formant un pseudomycelium: Candida albicans

## CHAPITRE V

### MORPHOLOGIE ET STRUCTURE BACTERIENNE

#### I- MORPHOLOGIE

##### A – Macromorphologie des bactéries :

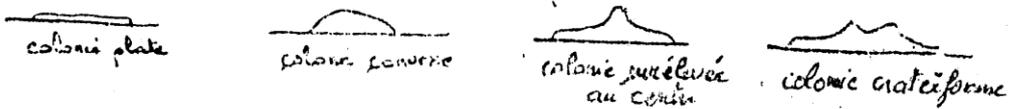
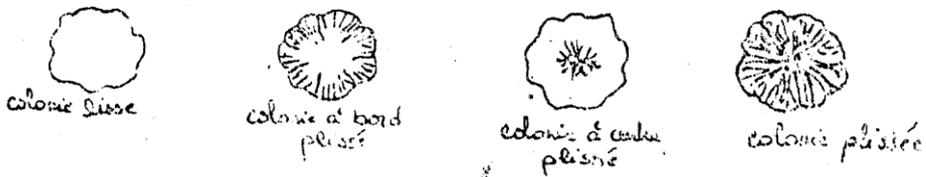
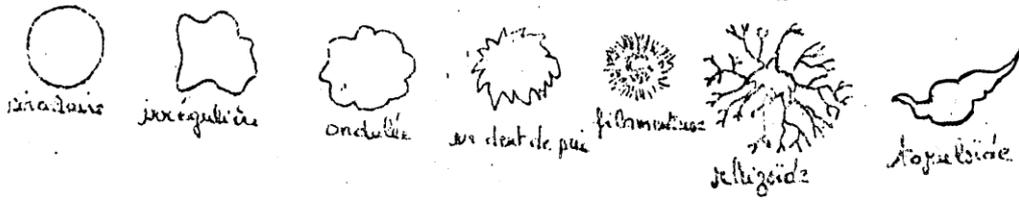
- a)- Sur milieu solide : On peut noter la forme des colonies .Leur aspect, leur couleur, les pigments diffusibles (quand ils existent) dans le milieu de culture etc. ....
- b)- Sur milieu liquide : On peut noter un trouble homogène, un voile en surface, un dépôt au fond du milieu liquide etc.....

##### B – Micromorphologie des bactéries : ( voir planches 2 et 10 ).

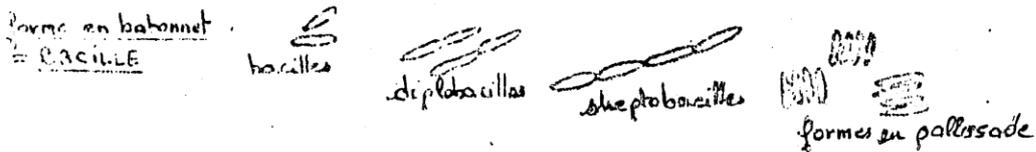
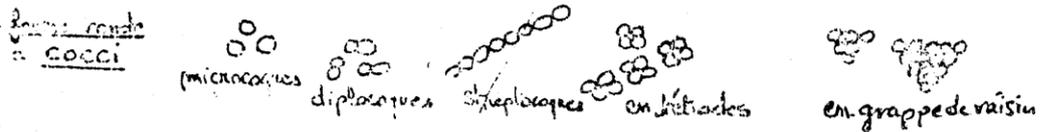
- a)- Taille : La plupart des bactéries ont une taille variant de 1 à 5  $\mu$  (microns) de long et 0,1 à 2  $\mu$  de large. Mais il existe certains cas extrêmes tels que :
- Les Mycoplasmes : 0,1 x 0,25  $\mu$ .
  - Les Spirochètes: pouvant atteindre 15 à 30  $\mu$  de long et parfois même 500  $\mu$  certaines espèces du genre *Spirochaeta*
- b) – Forme : La forme est très variable. Cocci, bacille, coccobacille, fuseau, vibrions, spirale, massue, haltère, etc.....
- c) – Arrangement des cellules bactériennes : Isolées, par deux, en tétrade, en chaînes, en grappe , en palissade , en rosace , en arbre fructifiant , etc.....

Formes et aspects des bactéries PL n°10

1- Observations macroscopiques



2- Observations microscopiques



## II-. STRUCTURE DE LA CELLULE BACTERIENNE

### LES ELEMENTS ESSENTIELS CHEZ LES BACTERIES .

#### A- LA PAROI :

La paroi représente 15 à 30 % du poids sec bactérien. Elle a un rôle protecteur et donne la forme à la bactérie.

La résistance de la paroi permet à la bactérie d'avoir à l'intérieur une pression osmotique supérieure à celle du milieu extérieur .

Cette solidité de la paroi est due à sa structure chimique.

#### 1-Composition chimique de la paroi :

a) – **Constituant de base** : l'élément de base de la paroi et une substance appelée **Mucocomplexe** ou **Peptidoglycane** ou encore **Mureïne**.

Cette substance est constituée par des chaînes de sucres aminés : le N acétylglucosamine et l'acide N acétylmuramique. Ce dernier est parfois associé à de courtes chaînes peptidiques constituées de quatre(4) acides aminés : 2 Alanines (Let D), l'acide glutamique et, soit la lysine, soit l'acide diaminopimélique (D.A.P).

Ces constituants de base sont présents chez toutes les bactéries mais la paroi peut contenir d'autres composants variables suivant les espèces (sucres : glucose, galactose, rhamnose, arabinose, xylose, autres acides aminés, quelques lipides etc.....).

Structure des bactéries dites GRAM<sup>+</sup> et GRAM<sup>-</sup> :

Bien avant que la structure du Mucocomplexe ne soit mise en évidence, un médecin Danois GRAM mit au point en 1884 une méthode de coloration des bactéries .Il a réussi à constater que les bactéries pouvaient être divisées en deux(2) grands groupes :

- Les bactéries GRAM<sup>+</sup> qui prennent cette coloration.
- Les bactéries GRAM<sup>-</sup> qui ne prennent pas cette coloration.

#### **b1- Coloration de GRAM / :**

Cette coloration consiste à réaliser d'abord un **frottis bactérien** sur lame .Les bactéries sont ensuite **fixer à la chaleur** puis colorées .Cette coloration, va se faire en quatre (4) temps.

**1<sup>er</sup> temps** : **Le violet de gentiane** ; c'est le colorant primaire, toutes les cellules qu'elles soient GRAM<sup>+</sup> ou GRAM<sup>-</sup> seront colorées en violet.

**2<sup>ieme</sup> temps** : **Le lugol** qui est une solution iodo-iodurée, va pénétrer à l'intérieur de toutes les cellules et au contact du violet de gentiane, on a formation d'un complexe.

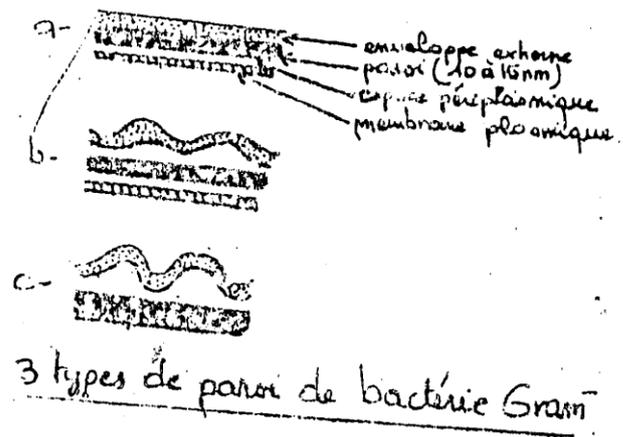
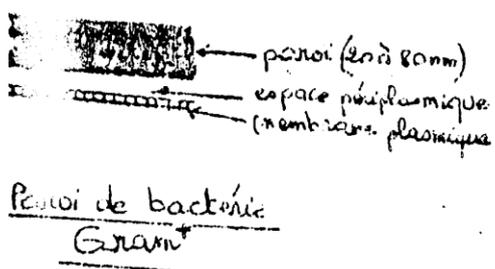
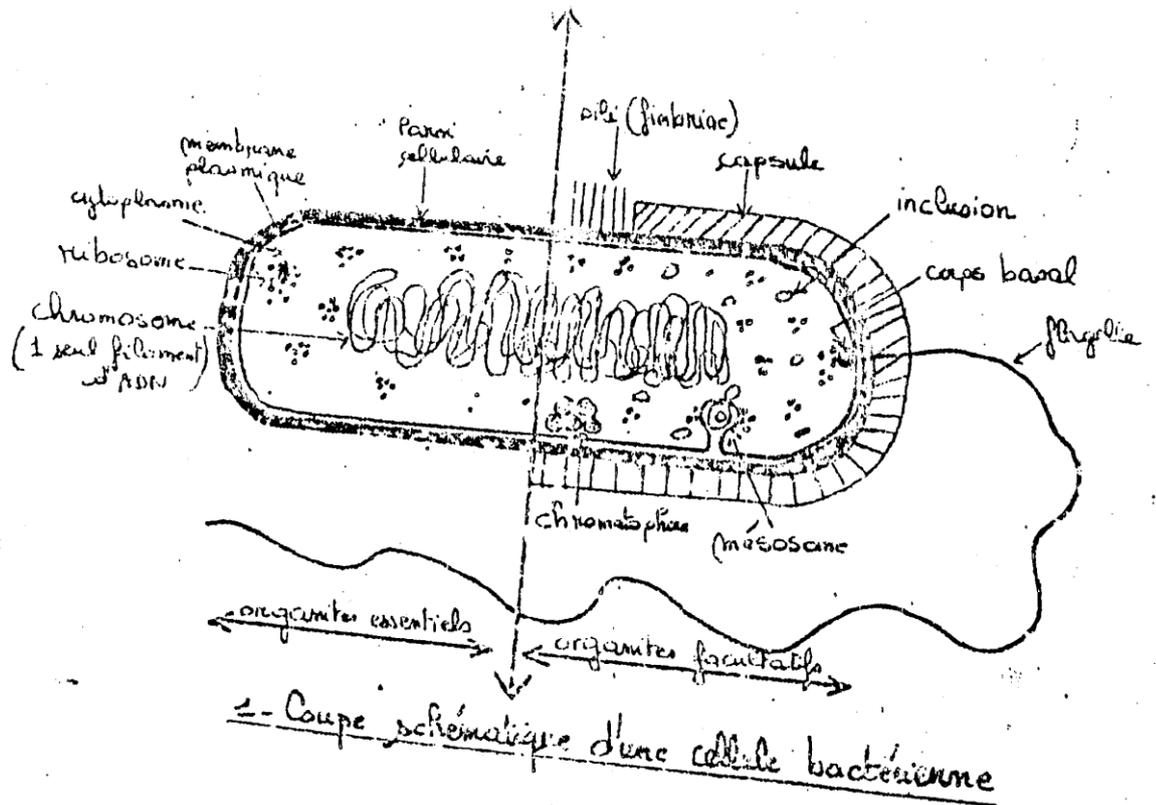
**3<sup>ieme</sup> temps** : L'alcool à 96° qui est nommé agent décolorant.

**4<sup>ieme</sup> temps** : Colorant de contraste qui est **la fuchsine** phéniquée de ZHEIL ou la safranine.

Le cytoplasme est le siège de la coloration de GRAM .En conclusion on peut dire que la coloration de GRAM se traduit donc par une différence de structure pariétale entre la bactérie dite GRAM<sup>+</sup> et la bactérie GRAM<sup>-</sup>.

Structure d'une cellule bactérienne

PLn° 11



2- Structure schématique de la paroi des bactéries Gram<sup>+</sup> et Gram<sup>-</sup>

Notes de cours. Microbiologie. ALI ou SALAH. A.

**b2 – Structure de la paroi des bactéries GRAM<sup>+</sup>.**

La paroi est épaisse, elle varie de 20 à 80 nm. Elle offre un aspect homogène au microscope électronique. Elle est composée de mureine, d'acides teichoïques (se sont des polysaccharides phosphatés).

Ex : polyribitol-phosphates, polyglycérol-phosphates.

La mureine et les acides teichoïques sont intimement liés et forment une structure dense et homogène

**b3.- Structure de la paroi des bactéries GRAM<sup>-</sup>**

La paroi est plus fine, varie entre 10 et 15 nm ; elle présente une structure stratifiée plus ou moins complexe ; elle est caractérisée par une enveloppe externe souple, constituée de l'extérieur vers l'intérieur d'une couche de lipoprotéines et d'une couche de lipopolysaccharides. En dessous, se trouve une fine couche rigide constituée de mureine (même composition que celle des GRAM<sup>+</sup>, sauf les acides teichoïques)

L'association, de ces couches varie suivant les groupes bactériens. Chez la plupart des bactéries GRAM<sup>-</sup> il y a une association intime entre l'enveloppe externe et la couche de mureine. Dans certains groupes, la couche externe peut être ondulée et présente peu ou pas de contact avec la mureine. Cette dernière peut être collée avec la membrane plasmique ou séparée par un espace périplasmique.

**2 – Cas particulier des sphéroplastes et des protoplastes .****a)- Traitement des bactéries par le**

Les lysosymes ont pour effet de dépolymériser la mureine. En scindant (hydrolysant) la liaison établie entre le N-acétylglucosamine et l'acide N-acétylmuramique. Ils hydrolysent spécifiquement les liaisons (1-4) entre AM-----AG. Les lysosymes agissent uniquement au niveau de la mureine. Lorsque ce traitement est réalisé en milieu isotonique, les bactéries perdent leur forme et deviennent sphériques.

En microscopie électronique, ces bactéries GRAM<sup>+</sup> traitées aux lysosymes apparaissent complètement dépourvues de paroi, le cytoplasme n'est limité que par la membrane plasmique. Ce type de cellule est appelé protoplaste. Les protoplastes sont incapables de se diviser et de se transformer en bactéries, le phénomène de réversion n'existe pas (pas de resynthèse de mureine). Chez les bactéries GRAM<sup>-</sup> les lysosymes détruisent uniquement la mureine, l'enveloppe externe non rigide demeure autour de la cellule ; ceci laisse apparaître au microscope électronique des cellules globuleuses nommées sphéroplastes. Ces dernières peuvent proliférer en culture et sont capables de synthétiser la mureine. On peut parler de phénomène de réversion. Les mycoplasmes (eubactérie dépourvue de paroi) sont des sphéroplastes qui ne pourront jamais évoluer et produire des parois.

**b)-Traitement des bactéries à la pénicilline .**

La pénicilline entraîne la formation de protoplastes et de sphéroplastes dans le cas où les cellules sont en voie de croissance (la pénicilline bloque la synthèse de la mureine et donc de la paroi). Cette antibiotique n'attaque pas la mureine mais empêche sa synthèse.

**2- Rôle de la paroi .**

Elle se caractérise par sa rigidité et confère à la bactérie sa forme caractéristique ; elle a un rôle protecteur. Sa résistance permet à la cellule d'avoir une pression osmotique largement supérieure à celle du milieu extérieur. Elle a un rôle dans la détermination de la structure

antigénique .Ex : Chez les bactéries GRAM+ , se sont les structures polyosidiques de la mureine et les acides teichoïques qui sont responsables de la spécificité antigénique .Chez les bactéries GRAM – ,la paroi contient les antigènes somatiques O :AgO qui sont les polysaccharides de l'enveloppe externe .Une même espèce de bactérienne peut avoir plusieurs AgO différents suivants les souches . Ex : Escherichia coli Présente 157 AgO différents au niveau de la paroi donc cela nécessite l'intervention de 157Ac (Anticorps) différents .

## **B – LA MEMBRANE CYTOPLASMIQUE**

Elle sépare la paroi du cytoplasme.

### **1-Mise en évidence de la membrane cytoplasmique :**

On peut la mettre en évidence par plasmolyse en milieu hypertonique. On peut la mettre également en évidence par formation, de protoplastes ; en plaçant ces derniers dans un milieu hypotonique, ils éclatent et on recueille les fragments de membranes plasmiques par ultracentrifugation différentielle.

### **2-Structure de la membrane cytoplasmique**

La membrane cytoplasmique a une épaisseur de 8nm, au microscope électronique, elle présente un feuillet interne transparent aux électrons de nature lipidique, compris entre deux(2) feuillets denses opaques aux électrons de nature protéique. La membrane plasmique est constituée de 60 à 70% de protéines et de 30à 40% de phospholipides additionnés parfois de composants mineurs tel que : glucose, glucosamine. Il n'y a aucune trace de stérols, composé qui doit être exclusivement présent au niveau du système membranaire des cellules eucaryotes .Dans certains cas la membrane plasmique peut s'invaginer du côté du cytoplasme et donner des structures particulières : **les MESOSOMES**.

Les mésosomes sont des structures membranaires, intra cytoplasmiques observées surtout chez les bactéries GRAM +, chez les bactéries GRAM<sup>-</sup>, ils sont rarement observés et peu développés. Ils se situent souvent au voisinage du noyau ou près de l'étranglement de la bactérie au moment de la division cellulaire, participent ainsi au phénomène de réplication de l'ADN donc de la division cellulaire. Jouent un rôle non négligeable dans la formation du septum qui préfigurera la future paroi des deux cellules filles. On leur attribue également un rôle dans le processus de sécrétion et la libération d'exo enzymes (auto lysines).

Les mésosomes présentent une structure vésiculaire, tubulaire, lamellaire Lorsque les bactéries GRAM + sont transformées en protoplastes les mésosomes sont expulsés vers l'extérieur en dehors de la membrane.

### **3- Rôle de la membrane plasmique.**

Cette membrane a un rôle dans :

- a) – **L'osmorégulation** : Elle joue un rôle de barrière en empêchant la fuite de substances ou composés intra-cytoplasmique d'une part et la pénétration anarchique des constituants extracellulaires. Elle est dite semi-perméable ou sélective.
- b) – **La biosynthèse** : La membrane cytoplasmique constitue un support pour de nombreux enzymes intervenants dans la synthèse des protéines, phospholipides, mureine et acides téchoïques.

- c) – **La respiration** : La membrane plasmique représente l'équivalent structural et fonctionnel des mitochondries des cellules eucaryotes. Elle est le siège des enzymes respiratoires et de la production d'énergie stockée sous forme d'ATP.
- d) **La réplication chromosomique** : Au cours de la division cellulaire l'élongation de la membrane plasmique entraîne la séparation des deux chromosomes fils attachés à cette membrane.
- e) – **La photosynthèse** : Chez les bactéries photosynthétiques, la photosynthèse est concentrée au niveau de la membrane plasmique et plus particulièrement au niveau d'appareils spéciaux : **les chromatophores**, qui sont des expansions de la membrane cytoplasmique.

### **C – LE CYTOPLASME :**

Le cytoplasme est un hydrogel colloïdal, son pH est compris entre 7 et 7,2 comprenant une phase dispersante constituée par une solution de sels minéraux et de composés solubles de nature protéique et une phase dispersée formée de nucléoprotéines et de lipides.

Les principaux éléments constitutifs sont :

**C1- ARN et ribosomes** : L'ARN est présent sous ses trois formes : ARN messager – ARN de transfert – ARN ribosomal.

Les ribosomes sont très nombreux dans le cytoplasme, ils sont sphériques de 10 à 30 nm de diamètre, ils sont caractérisés par leur constante de sédimentation qui est dans le cas des cellules procaryotes de 70 S (SVEDBERG).

Les ribosomes contiennent 63% d'ARN et 27% de protéines. L'ARN ribosomal représente 80 à 90% de l'ARN total contenu dans la cellule bactérienne. Le reste est représenté par l'ARN messager et l'ARN de transfert.

### **C2 – Substances de réserves :**

D'une façon générale, chaque espèce ou chaque groupe bactérien synthétise une seule catégorie de substance.

**Ex 1** : Groupe transformant le C assimilé en polymères de réserves qui peut être de l'amidon ou plus fréquemment du glycogène.

**Ex 2** : Groupe qui accumule l'acide polyβhydroxybutyrique, c'est le cas des genres : Micrococcus et Pseudomonas.

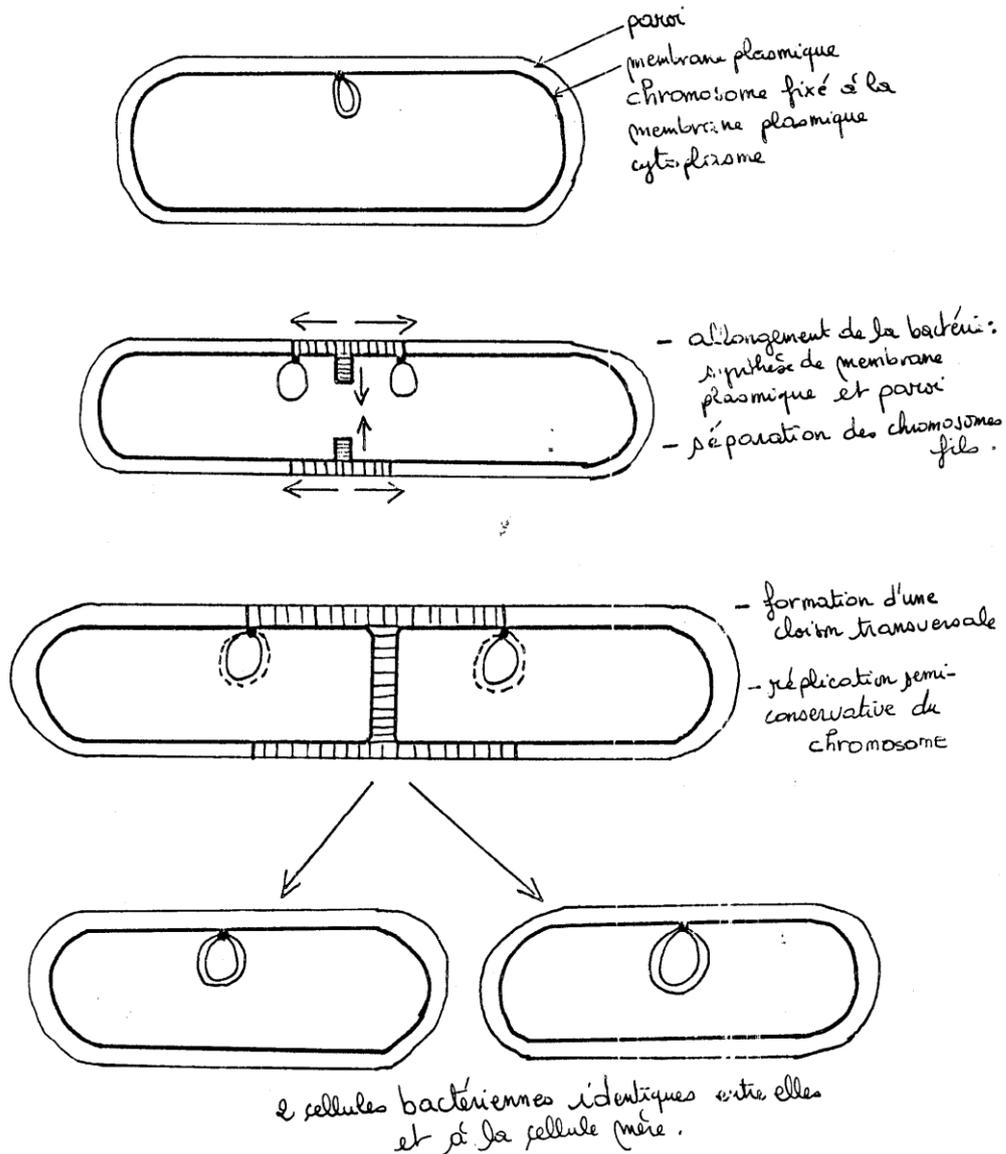
**Ex 3** : Certaines bactéries ont des granulations métachromatiques qui sont colorées en rouge par des colorants basiques. Ces granulations métachromatiques sont des inclusions de phosphates inorganiques.

**Ex 4** : Certains groupes de bactéries tirant leur énergie à partir de H<sub>2</sub>S ou Fe OH présentent des inclusions de soufre ou de fer.

### **D – APPAREIL NUCLEAIRE (voir cours de génétique)**

PLANCHE 12

Division cellulaire chez les bactéries  
(Scission binaire transversale)



Notes de cours. Microbiologie. ALI. ou. SALAH. A.

---

---

### **LES ELEMENTS FACULTATIFS CHEZ LES BACTERIES .**

**1-La capsule :** de nombreuses bactéries élaborent des substances organiques visqueuses qui entourent leur paroi d'une couche ± compacte. Lorsque cette couche présente une surface externe libre nettement définie on l'appelle **capsule** .par contre lorsque la couche est diffuse et abondamment sécrétée, elle est désignée sous le nom de couche visqueuse ou **zooglé**

**a- Mise en évidence**

La capsule a une épaisseur de 0,2 à 0,5µm.

En microscopie optique, elle peut être mise en évidence par l'encre de chine.

La capsule n'est pas colorée par l'encre de chine ni par les colorants de Gram ou d'autres colorants. au microscope électronique, elle apparaît comme un dépôt amorphe (sans structure) ou rarement fibrillaire.

**b- Composition chimique :**

Elle est fréquemment constituée de polyholosides formés par de longues chaînes d'acides polyaldobioniques.

Un acide aldobionique est composé d'un acide uronique (glucuronique, galacturonique,...) et d'un ose (glucose, galactose, rhamnose, sucres aminés....). Cette composition chimique n'est pas générale.

Certaines bactéries possèdent des capsules constituées uniquement d'un polymère de glucose : le dextran.

Chez quelques espèces de bacilles Gram + la capsule est polypeptidique. Elle est constituée par un seul type d'acide aminé : l'acide glutamique.

**c- Rôle de la capsule :**

La capsule ne joue pas un rôle vital comme celui de la paroi ou de l'appareil nucléaire.

Toutes les bactéries ne produisent pas de capsule et chez une même espèce voir une même souche, la formation est largement influencée par les constituants du milieu particulièrement les glucides.

Une bactérie décapsulée peut croître et se multiplier normalement dans un milieu favorable riche en sucre simples, elle peut synthétiser une capsule. Sans être indispensable à la bactérie, la capsule a un rôle protecteur et est le support de propriétés immunologiques et pathologiques des bactéries.

**c-1- Rôle protecteur :**

- La capsule protège les bactéries contre de nombreux prédateurs : Protozoaires
- Dans l'organisme, la capsule des bactéries pathogènes empêche les globules blancs de les phagocyter.
- Les bactériophages sont incapables de se fixer et de pénétrer dans les bactéries capsulées.
- Les bactéries capsulées résistent à l'attaque de certains agents physico-chimiques nocifs ex : la capsule protège contre la dessiccation.

**c-2- Rôle dans la pathogénécité**

Ex : un pneumocoque capsulé est pathogène .un pneumocoque non capsulé n'est pas pathogène car il est phagocyté par les globules blancs de l'organisme hôte. Cette règle n'est pas absolument générale.

**c-3- Rôle dans l'immunologie**

Les substances capsulaires sont le support de l'antigénécité. Injectées chez un animal, elles l'obligent à élaborer des anticorps agglutinants. Ces substances sont responsables de la spécificité sérologique grâce à la nature et l'enchaînement des polyholosides constitutifs, qui peuvent varier chez une même espèce de bactérie.

Ex : chez pneumocoque : 70à 80 types sérologiques (sérotypes différents). Cette classification présente un intérêt diagnostique et épidémiologique

**2 – LES FLAGELLES**

Ce sont des organes locomoteurs responsables de la mobilité des bactéries .

**a- Mise en évidence des flagelles .**

On distingue deux méthodes .

**1<sup>er</sup> méthode** : Observation des bactéries à l'état frais , entre lame et lamelle , dans une goutte d'eau .L'observation est réalisé grâce au microscope optique , les mouvements des bactéries doivent être distinguer des mouvements browniens .c'est la méthode directe .

**2ieme méthode** : Méthode indirecte .

Ensemencement des bactéries test sur milieu semi- solide ( milieu manitol-mobilité) et lecture des résultats après croissance .

**b-** mise en évidence des flagelles :

Les flagelles ne se colorent pas par les colorants habituels . on utilise une solution de AgNO<sub>3</sub> (nitrate d'argent ) ammoniacal qui se dépose autour des flagelles et les rend visible au microscope optique ,mais la meilleure méthode c'est l'étude au microscope électronique ( à transmission ou à balayage), qui permet de détailler leur forme et leur mode d'insertion et leur dimension .

**c- Disposition des flagelles.**

On distingue deux (02) types de disposition.

**1- Type polaire :**

- Un flagelle à un pole de la bactérie, la bactérie est dite **Monotriche** .
- Un flagelle au niveau de chacun des pôles, la dite bactérie est dite **amphitriche**.
- Une touffe à un ou au deux (02) pôles, la bactérie est dite **Lophotriche**.

**2- Type peritriche.**

La bactérie est dite peritriche lorsqu'elle porte de nombreux flagelles insérés sur tout le pourtour de la bactérie.

**d- Structure et composition chimique :**

Les flagelles apparaissent sous forme d'organites simples, filamenteux, sinueux, généralement plus long que la bactérie elle-même.

- Longueur : 6 à 20  $\mu\text{m}$
- Diamètre ; 0,01 à 0,03  $\mu\text{m}$ .

Ils sont caractérisés par leur forme c'est à dire leur longueur d'onde et leur amplitude qui peuvent varier d'une espèce à une autre. L'analyse chimique montre que ces flagelles sont constitués par une protéine : la flageline (PM : 30 à 40000), de nature fibreuse. Le flagelle se forme par sa partie distale grâce à certains éléments du milieu extérieur (plus particulièrement des acides aminés).

**Mode d'insertion :**

Des expériences réalisées sur des bactéries Gram+ dont la paroi a été détruite par des lysozymes, aboutissent à la formation de protoplastes ciliés. Ceci prouve que le flagelle ne s'insère pas à la paroi.

Des études au microscope électronique montrèrent que le flagelle traverse la paroi et s'insère sur la membrane plasmique au niveau d'un granule ou disque basal.

**Cas particuliers :**

- Chez les spirochètes le filament axial (constitué de fibrilles équivalents du flagelle)
- Est fixé au deux (02) pôles de la bactérie.
- Le filament se trouve entre l'enveloppe externe et la couche mureique
- Chez les vibrions les flagelles sont recouverts d'une gaine qui est le prolongement de l'enveloppe externe.
- 

**e- Rôle des flagelles :**

**1- rôle dans la mobilité :** Le mécanisme du mouvement bactérien est encore mal connu jusqu'à l'heure actuelle. certaines expériences ont montré l'intervention de l'ATP chez certains groupes bactériens.

**2- Rôle antigénique :** La spécificité des antigènes flagellaires (Ag H) repose sur le nombre et la séquence des acides aminés dans la molécule protéique.

- **3- Les Pili ou Fimbriae :**
- sont des appendices filiformes, rigides, creux à l'intérieur (canal central). ils ne servent pas à la locomotion.
- on distingue deux (02) types de Pili.

**a- Pili communs : Pili I.**

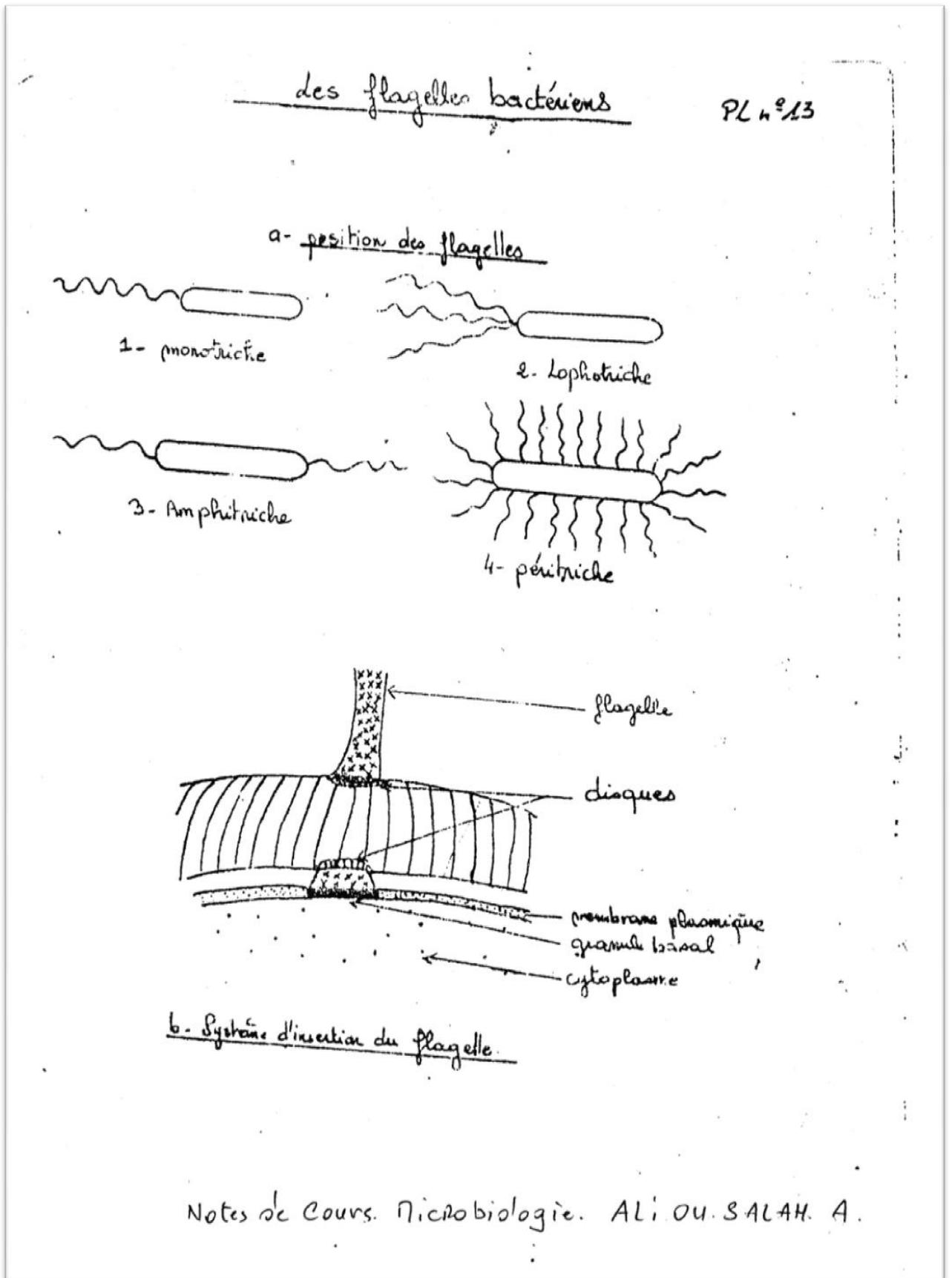
- leur nombre varie entre 100 et 200 par cellule. Leur longueur varie entre 0,2 et 5  $\mu\text{m}$ . Leur diamètre entre 30 et 250 Å.

- Ils ont des propriétés hémagglutinantes (précipitent les hématies). Dans l'organisme, ces Pili servent à l'adhésion des bactéries sur certaines muqueuses comme les cellules de la muqueuse intestinale.

#### **b- Pili sexuels : Pili F**

Ils sont moins nombreux ( de 1 à 4 ) par cellule , beaucoup plus long que les Pili communs ; jusqu'à 20 ou 25  $\mu\text{m}$  , leur extrémité est terminée par un renflement

Ces Pili F n'existent que chez les bactéries mâles (donatrices d'ADN). Ils ont un rôle dans la conjugaison bactérienne. Ils permettent le transfert du chromosome (une copie) et des plasmides d'une bactérie à une autre grâce au canal central dont le diamètre est légèrement supérieur à celui du filament d'ADN. A l'extrémité renflée de ces Pili peuvent se fixer spécifiquement certains bactériophages qui injectent leur matériel génétique par le canal central des Pili.



### 3- Les formes de résistances chez les bactéries. .

Parmi les formes de résistances chez les bactéries on distingue :

#### a-Les cystes ou kystes .

Dans des conditions défavorables certaines bactéries synthétisent une paroi externe autour d'elles, formant des microcystes ou microkystes, souvent de forme ronde (cas des azotobacter, bactéries fixatrices d'azote moléculaire N<sub>2</sub>) . Chez les Myxobacteries fructifiantes, les cystes contiennent des milliers de cellules bactériennes

Les cystes sont moins résistants à la chaleur que les Endospores

#### b- Les Spores.

Elles ne sont pas présentes chez toutes les bactéries .Elles caractérisent Surtout trois (03) genres bactériens : Bacillus, Clostridium, Sporosarcina. Elles sont présentes également chez les genres :

- sporolactobacillus. Gram +.

- Desulfatomaaculum. Gram –

Jusqu'à il y a quelques années on croyait que chez Metabacterium bactérie considérée comme géante pouvant atteindre 5 microns de long, pouvait former jusqu'à huit (08) spores différentes au niveau de la même cellule. En fait il s'agissait de granules métachromatiques et non de plusieurs spores.

#### b-1- Morphologie des spores .

Les spores se forment généralement à l'intérieur de la bactérie (Endospores) elles sont de forme généralement ovoïde (allongée) ou encore sphérique. Elles peuvent être déformantes ou non. Elles sont très réfringentes, leur position dans les bactéries est variable.

- Spores centrales ; déformantes ou non.
- Spores subterminales ; déformantes ou non.

- Spores terminales ; déformantes ou non.

La position caractérise les genres ou les espèces.

Les spores ne se colorent pas avec les colorants habituels.

#### b-2- Structure des spores.

Une coupe d'une spore observée au microscope électronique montre de l'intérieur vers l'extérieur :

- Une masse cytoplasmique très réduite limitée par une paroi mince, la paroi sporale.
- Un cortex transparent aux électrons.
- Une enveloppe sporale ou tunique sporale divisée en plusieurs couches .
- Parfois, une enveloppe externe, très mince, l'Exosporium.

### **b-3- Composition chimique de la paroi .**

Les spores se distinguent par leur faible teneur en eau (15 à 20%) alors que les cellules végétative contiennent jusqu'à 80% .

-L' exosporium est de nature protéique .

-L'enveloppe sporale ou tunique sporale est constituée d'acide Nacétylmuramique plus un hexapeptide combiné à des molécules d'acides teichoïques , ces constituants peuvent être associés à des protéines riches en cystéine .

- Au niveau du cortex se localise une substance spécifique aux spores l'acide dipicolinique (DPA),

Acide pyridine 2,6dicarboxylique , qui constitue 10% du poids sec de la spore . Cet acide se présente sous forme de chaînes reliés par des ions calcium ( $Ca^{++}$ ) c'est le dipicolinate de calcium .

-De nombreuses expériences ont montrés que c'est ce complexe DPA- $Ca^{++}$  qui confère aux spores leur résistance à la chaleur ( thermoresistance ) .

- En effet , lorsque le calcium est remplacé par le strontium , les spores formées sont thermosensibles , bien que leur teneur en DPA et leur formes soient normales . Si on incube ces spores défectives dans une solution de calcium , celui -ci se substitue partiellement au strontium et on constate un accroissement parallèle de la résistance à la chaleur .

-La paroi sporale , très fine est de nature mucopeptidique au même titre que la couche mureïque des Gram+, sans acides teichoïques .

-La région cytoplasmique a une texture homogène et présente une faible densité aux électrons .Le matériel génétique n'est pas très visible même au microscope électronique .

### **b-4- Déterminisme de la sporulation :**

La formation des spores est déclenchée dans des conditions défavorables de culture dues à l'épuisement des substances nutritives du milieu dans lequel vivent ces bactéries

Cette sporogénèse nécessite l'accumulation de quelques ions,  $Mn^{++}$ ,  $Mg^{++}$   $Ca^{++}$ ,  $K^{+}$  qui catalysent un certain nombre de synthèse enzymatiques nécessaires

A la formation de la spore .Du point de vue génétique, cette sporulation est commandé par une dizaine de gènes répartis au hasard le long du chromosome .

Ces gènes non exprimés durant la période végétative des bactéries interviennent Au cours de sporulation

Il existe des mutants asporogènes qui sont bloqués dans la biosynthèse d'un Métabolite essentiel constituant de la spore.

Ex : Mutants  $DPA^{-}$  incapable de synthétiser l'acide dipicolinique ne peuvent Sporuler à cause du gène responsable non fonctionnel ; si on leur fournit du DPA Elles sporulent normalement.

### **b-5- formation de la spore :**

La sporulation a lieu après arrêt des divisions cellulaires .elle se fait en plusieurs étapes .ou stades .

**Stade 1** : Le matériel génétique se dispose en un filament axial tout le long de la bactérie .

**Stade 2** :Le matériel nucléaire se divise en deux parties .

Apparition d'un fin septum transversal à partir de la membrane plasmique qui partage la cellule en deux parties inégales , la plus petite donnera naissance à la spore .

**Stade 3** :La synthèse du septum se poursuit délimitant une zone autonome comprenant un noyau , un cytoplasme et une double membrane , l'une cytoplasmique , l'autre préfigurant la future paroi : c'est la présore .

**Stade 4** :Formation du cortex .A partir de ce stade , la sporulation est irréversible .

La formation du DPA débute , ainsi que l'accumulation des ions  $Ca^{++}$  .

**Stade 5** : Formation des enveloppes sporales tandis que le cortex devient de plus en plus mur . C'est à ce stade qu'apparaît la thermoresistance .

**Stade 6** :La spore entièrement formée et mure est libérée du sporange car des enzymes lytiques.

Ces différentes étapes se succèdent à intervalles d'environ une (01) heure .La sporulation dure six(06) à sept (07) heures .

### **b-6- Propriétés de la spore.**

Les spores sont douées de propriétés remarquables de résistance.Ces spores ne sont détruites que par chauffage d'au moins 10minutes à 120°C en chaleur humide ( autoclavage).

Cette résistance est due surtout au complexe DPA- $Ca^{++}$  et aussi à l'état déshydraté de la spore .Cet état déshydraté est conservé grâce à l'imperméabilité des enveloppes et plus particulièrement du cortex .

Les spores sont également résistantes à d'autres agents physiques comme les rayons UV, les rayons X et les hautes pressions .

Elles sont également moins sensibles aux désinfectants que les formes végétatives . Les antibiotiques bactéricides peuvent n'avoir aucune action sur les spores .Ces propriétés de résistance posent des problèmes dans les hôpitaux et les industries alimentaires .

**b-7- Germination** .

La germination des spores peut être déclenchée par plusieurs facteurs :

- l'apport en éléments nutritifs .
- L'âge de la spore .
- La température : des spores soumises à des températures comprises entre 58 et 60°C voient leur temps de germination se raccourcir . ce phénomène est mis à profit au cours de la tyndallisation .

Dans tous les cas la germination se déroule en deux( 02) phases .

**1ere phase :**

Elle est rapide (quelques minutes ) et est caractérisée par des changements physico-chimiques :

- dissolution du complexe DPA-  $Ca^{++}$ ...donc disparition du cortex .La spore perd son imperméabilité et sa thermorésistance .
- Elle gonfle en absorbant de l'eau .

**2eme phase :**

Elle est plus lente (une heure). Toutes les enveloppes se déchirent. Cette phase est caractérisée par la synthèse de tout ce qui est nécessaire à la nouvelle cellule végétative.

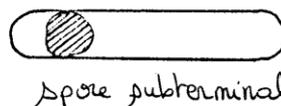
Dès l'apparition des cellules végétatives, les processus de divisions et de croissance vont réapparaître.

Notes de cours. PLANCHE 14 ALI OU SALAH. A.

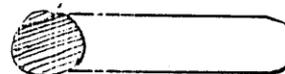
Les spores



spore centrale

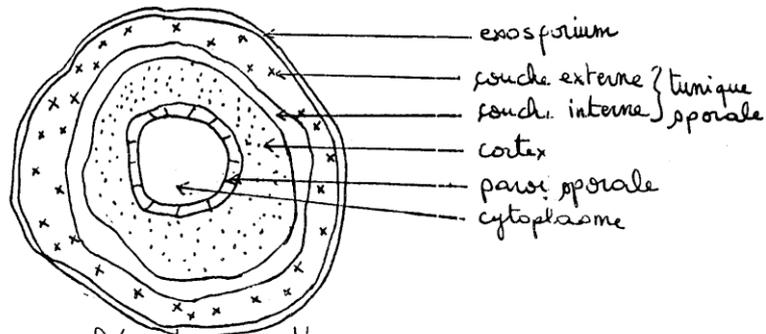


spore subterminale

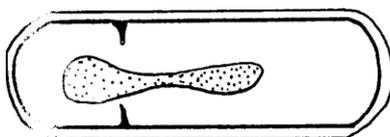


spore terminale

Position des spores dans la bactérie

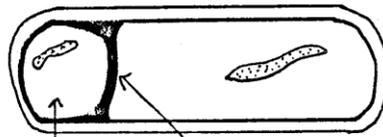


Coupe schématique d'une spore



division nucléaire

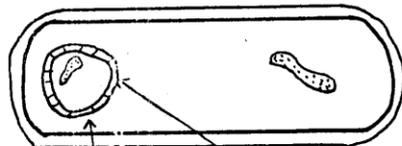
1-



protospore

membrane double délimitant le protospore

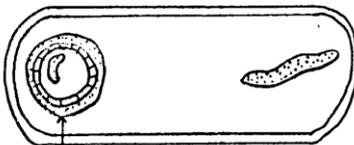
2-



endospore

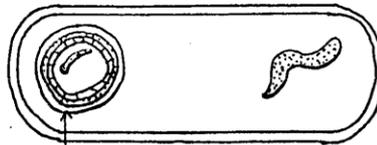
paroi sporale

3-



cortex

4-



enveloppe interne

5-



enveloppe externe } tunique sporale  
enveloppe interne }

6-

Sporulation chez une bactérie

## CHAPITRE VI

### LES BESOINS NUTRITIFS DES BACTERIES

Pour qu'une bactérie croît et se reproduise, elle doit subvenir à trois (03) types de besoins à partir du milieu dans lequel elle vit. Ces besoins sont :

- Elémentaires.
- Energétiques.
- Spécifiques.

#### I – BESOINS ELEMENTAIRES.

En plus de l'eau qui est la molécule la plus abondante de la matière vivante et indispensable à toute vie, les bactéries doivent trouver des éléments nécessaires à leur développement.

##### **A- Éléments minéraux.**

Ils sont ajoutés dans le milieu de culture sous forme de sels qui se dissocient en ions dans l'eau.

Les principaux éléments minéraux sont le phosphore et le soufre.

1- **P** est apporté sous forme de sels :  $K_2HPO_4$  ;  $KH_2PO_4$ .

**Rôle** : fait partie des acides nucléiques, de nombreux coenzymes et de l'ATP (il permet la récupération, l'accumulation et la distribution de l'énergie dans la cellule.

2 -**S** est apporté sous forme de  $FeSO_4$ .

**Rôle** : présent dans les acides aminés, donc dans les protéines sous forme de groupement thiols (SH).

3- certains éléments jouent un rôle dans l'équilibre physico-chimique de la cellule notamment :

4 -le Na et le Cl .....  $NaCl$ ,  $NaNO_3$ .

-Le K .....  $K_2HPO_4$ ,  $Kh_2PO_4$  OU  $KNO_3$ .

-Le Mg .....  $MgSO_4$ .

5- D'autres éléments sont présents dans les enzymes ou coenzymes, tel que le Fer (Cytochromes), ou dans la chlorophylle.

6 – certains éléments jouent le rôle d'activateur enzymatique : Ca, Co, Cu, Mg, Mn, Mo etc.....

7 – le Ca apporté sous forme de  $CaCO_3$  est le constituant principal du cortex et des spores bactériennes. Il est à l'origine de la thermoresistance des spores DPA-Ca-DPA-Ca-DPA-Ca-DPA-Ca. (dipicolinate de calcium ).

Les éléments tels que : Fe, Mg, Mn, Mo, Co, Cu sont apportés en quantités infimes et même à l'état de traces par les produits chimiques servant à préparer.

Les milieux de culture. Ce sont des Oligo-éléments, toxiques en grande quantité. Ils sont fournis à des doses généralement de 1 à 10mg /litre de milieu de culture.

8- Les autres éléments tels que le Na, K, Ca etc. sont fournis à des doses variant 0,5g et 5 g/litre de milieu de culture.

- ces éléments peuvent constituer des facteurs limitants de croissance :

Ex : Lactobacillus exige les ions Mn et Mg pour bien croître.

- intervenir dans la synthèse des antibiotiques.

Ex : la synthèse de la pénicilline exige du Soufre (S).

- sécrétion de pigments diffusibles ou autres :

Ex : le pigment rouge de Serratia marcescens (prodigiosine) est dû à

La présence de Fer et de Mg dans le milieu de culture.

### **B-La source de carbone.**

Le carbone constitue un des éléments les plus abondants de la bactérie, il doit être Fourni en grande quantité.

1-Le plus simple des composés est le CO<sub>2</sub> qui peut être utilisé par certaines bactéries

(Bactérie photosynthétiques et quelques autres bactéries), comme seule source de carbone. Le CO<sub>2</sub> peut être libre ou combiné à des éléments minéraux (CaCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

2-Chez la plupart des bactéries, la source de carbone est apportée sous forme de substances hydrocarbonées (organiques).

- Simples : Alcool, Acide lactique, Acide acétique.

- Plus ou moins complexes : Oses, ex : glucose, dissaccharides : ex : saccharose, Polyosides, ex : raffinose, Amidon, Cellulose, etc. les polymères de sucres aminés (chitine). Les glucides sont ajoutés en général à raison de 10gr/l de milieu de culture.

4- Certaines bactéries peuvent utiliser plusieurs sources de carbone alors que d'autres sont extrêmement limitées, comme Pseudomonas methanica , qui ne peut utiliser que le méthane ou le méthanol comme source de carbone .

5-

4- Les substances carbonées jouent également le rôle de source énergétiques . Leur dégradation libère de l'énergie que la bactérie utilise pour ses propres synthèses .

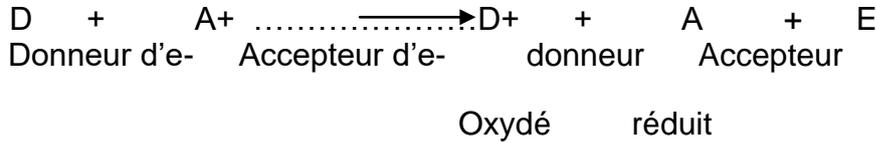
### **B- La source d'azote**

Pour leurs protéines qui représentent environ 10% de leur poids sec , les bactéries ont besoin de substances azotées. L'azote peut être utilisé :



**B – Couples d’oxydoréduction.**

Les électrons libérés au cours des oxydations sont nécessairement acceptés par une autre substance qui elle est réduite. Donc l’oxydation d’un substrat, qui est le donneur d’électrons est couplée à la réduction d’une autre substance qui est l’accepteur d’électron.



Ex :  $FADH_2 + 2Fe^{+++} \xrightarrow{\dots DHase \dots} FAD + 2H^+ + 2Fe^{++} + E$  .  
 L’énergie libérée va être stockée sous forme d’ATP c’est à dire ,va servir à la synthèse de l’ATP.

**III –TYPES TROPHIQUES.**

Selon le mode de vie des bactéries, selon leurs besoins élémentaires et énergétiques, on distingue divers types physiologiques appelés types trophiques. Ces types sont fondés sur la nature de la source d’énergie, sur la nature de la source de carbone et sur la nature de l’accepteur final d’électrons au cours des réactions d’oxydoréductions. Ces types trophiques ont un intérêt primordial dans la classification bactérienne.

**A- SOURCE DE CARBONE .**

- Il existe deux(02) types trophiques importants représentés par :
- ⊗ L’autotrophie.
  - ⊗ L’hétérotrophie.

**1- AUTOTROPHIE.**

Les bactéries sont dites autotrophes lorsqu’elles sont capables de se développer en milieu inorganique contenant le CO2 comme seule source de carbone, ou encore des sels de CO2 ex : CaCO3. Cette source de carbone est de nature minérale.

On distingue des bactéries :

**Autotrophes strictes :**

- Ex :** la plupart des bactéries photosynthétiques  
 Les bactéries nitrifiantes Nitrosomonas (NH3, NO2)  
 Certaines bactéries sulfureuses Thiobacillus.

**Autotrophes facultatifs :**

Bactéries utilisant soit le CO2, soit une source de carbone organique :  
 Ex : Hydrogenomonas, tire sont énergie à partir de l’hydrogène.  
 Egalement Pseudomonas.

**2- HETEROTROPHIE :**

Les bactéries sont dites hétérotrophes lorsque la source de carbone assimilable est obligatoirement un composé organique. Les majeures parties des bactéries sont hétérotrophes.

On distingue deux (02) sous groupes :

Les bactéries nécessitant une seule source organique sont dites :

**« PROTOTROPHES »**

Les bactéries nécessitant plusieurs sources de carbone organique sont dites :

**« AUXOTROPHES »****a )- Les prototrophes :**

Les bactéries ont besoins d'une source de carbone organique .Elles peuvent se développer sur un milieu minimum ; c'est a dire un milieu qui apporte tous les éléments dont la bactérie a besoin sous forme de sels minéraux. Il suffit d'ajouter une source d'azote et une seule source de carbone comme par exemple le glucose (bactérie phototrophe pour le glucose). Beaucoup de bactéries sont prototrophes.

**b)- Les auxotrophes :**

Ce sont des bactéries dépourvues d'un ou de plusieurs systèmes enzymatiques intervenant dans la synthèse de métabolites essentiels (AA, nucléotides...). Il faut les leur apporter avec le milieu de culture ( les substances quelles ne peuvent synthétiser )

Parmi les bactéries auxotrophes on retrouve plusieurs bactéries pathogènes

Ex : **Lactobacillus**, cette bactérie exige pour se développer pas moins de 18vitamines et 9 acides aminés .

## **B – SOURCE D'ENERGIE .**

En se basant sur l'origine de la source d'énergie, on a séparé les bactéries en deux grands groupes .

- 1 – Les Phototrophes : Energie d'origine lumineuse .
- 2 – Les Chimiotrophes : Energie d'origine chimique .

### **1 – Phototrophie .**

La source d'énergie d'origine lumineuse est transformée en énergie chimique par les bactériochlorophylles ( a,b,c,d) stockée sous forme d'ATP.

L'ATP va être produit par photophosphorylation cyclique et acyclique. Cette dernière nécessite un donneur d'e- exogène, autre que l'eau ( comme chez les plantes) qui apporte un pouvoir réducteur nécessaire à la réduction du CO<sub>2</sub> en composés organiques (c-a-d nécessaire à la photosynthèse ).

Ce donneur d'e- peut être un minéral la bactérie est dite **PHOTOLITHOTROPHE**

Un composé organique la bactérie est dite .....**PHOTOORGANOTROPHE**.  
(pour plus d'information voir polycopié sur les types trophiques ).

### **2 – Chimiotrophie .**

La source d'énergie est d'origine chimique .Elle provient de composés organiques ou minéraux grâce à des réactions d'oxydoréductions .

Si le composé est minéral la bactérie est dite ..... **CHIMIO LITHOTROPHE**.

Si le composé est organique la bactérie est dite.....**CHIMIOORGANOTROPHE**.

(pour plus d'information voir polycopié sur les types trophiques ).

## **C –ACCEPTEUR FINAL D'ELECTRONS.**

En se basant sur la nature de l'accepteur final d'électrons , on a divisé les bactéries en deux groupes respiratoires :

Bactéries aérobies et bactéries anaérobies .

### **Mise en évidence des types respiratoires .**

Pour mettre en évidence les types respiratoires , on utilise un milieu de culture solide ou milieu gélosé additionné d'extrait de viande et de foie ( milieu V F ).Le milieu VF est distribué dans des tubes stérilisés à l'autoclave, puis refroidit ( vers 45 – 50°C ) et avant qu'il ne se solidifie , on ensemence de manière homogène la bactérie à étudier.

On laisse le milieu se solidifier en position verticale ( non inclinée ) . Après une incubation de 2 à 3 jours à une température optimale de croissance , on peut obtenir 4 types de résultats :

## IV – BESOINS SPECIFIQUES : FACTEURS DE CROISSANCE .

### A- Définition .

Les facteurs de croissance sont des substances organiques indispensables à la croissance et que la bactérie n'est pas capable de synthétiser.

Les bactéries prototrophes ne nécessitent pas de facteurs de croissance , elles sont capables , à partir d'un seul composé organique de réaliser la synthèse de tous les métabolites essentiels à leur développement .

Par contre les bactéries auxotrophes , dont le système enzymatique est déficient, ne peuvent synthétiser un ou plusieurs métabolites essentiels . On doit les leur fournir par un apport extérieur : on parle alors de FACTEURS DE CROISSANCE .

Ex : *Escherichia coli* est une bactérie prototrophe elle pousse sur milieu minimum ; glucose+KNO<sub>3</sub> +sels minéraux .

*Proteus vulgaris* est un bactérie qui ne pousse sur ce milieu que si on ajoute une faible quantité de Nicotinamide (vitamine nécessaire à la synthèse de coenzymes tels que NAD et NADP )

Si on ajoute dans le milieu précédent un extrait réalisé à partir de E.coli (qui contient donc du Nicotinamide ),*P .vulgaris* va se développer .

Donc le Nicotinamide qui est synthétisé par E.coli mais non par *P.vulgaris* constitué un métabolite essentiel pour les deux bactéries mais un facteur de croissance uniquement pour *P.vulgaris* . *P.vulgaris* a donc besoin que d'un facteur de croissance , le Nicotinamide .

Ex : Bactéries exigeantes en plusieurs facteurs de croissance .

Cas des bactéries lactiques : *Lactobacillus* exige pour se développer , 18 acides aminés,8 vitamines différentes et certaines bases puriques et pyrimidiques .

### B – Nature et propriétés des facteurs de croissance .

#### 1 – Nature .

Les facteurs de croissance sont représentés par trois catégories de substances .

- Les acides aminés : nécessaires à la synthèse des protéines .
- Les vitamines : interviennent dans la synthèse de coenzymes indispensables dans les réactions d'oxydoréductions donc à la production d'énergie .
- Les bases puriques et pyrimidiques , nécessaires à la synthèse des acides nucléiques.

#### 2 – Propriétés .

Les facteurs de croissance possèdent les propriétés suivantes :

##### **a) – Ils agissent à des concentrations infimes :**

- ⊗ - 1 à 24 µg/l.....Vitamines .
- ⊗ - 10mg/l .....bases puriques et pyrimidiques.
- ⊗ - 25mg/l .....Acides aminés .

La croissance d'un micro-organisme exigeant un facteur de croissance donné peut être proportionnelle à la concentration de ce facteur .ce rapport est rigoureusement fixe dans certaines limites de concentration .la connaissance de ce rapport permet le dosage des facteurs de croissance par voie microbiologique .

**b) – Le second caractère a trait à la spécificité des facteurs de croissance**

**1 ) – Exemple : la Nicotinamide :**

Un simple changement de position du groupement CO-NH<sub>2</sub> sur le noyau benzénique ou son remplacement par un autre groupement tel que COOH ou CH<sub>3</sub> , lui enlève toute son activité .

**2 ) – Exemple : Acide para-aminobenzoïque ( P.A.B) .**

Le PAB est un facteur de croissance pour certains mutants de E.coli . Une autre substance de structure analogue : le para-aminobenzenesulfanilamide,non seulement n'est pas facteur de croissance pour la bactérie , mais inhibe son développement même en présence de P.A.B.

En raison de son analogie de structure , il entre en compétition avec le PAB et empêche le développement de E.coli par blocage du métabolisme  
Le Para-aminobenzenesulfanilamide est appelé Antimétabolite .

**C – Phénomène Satellitisme et de Syntrophie .**

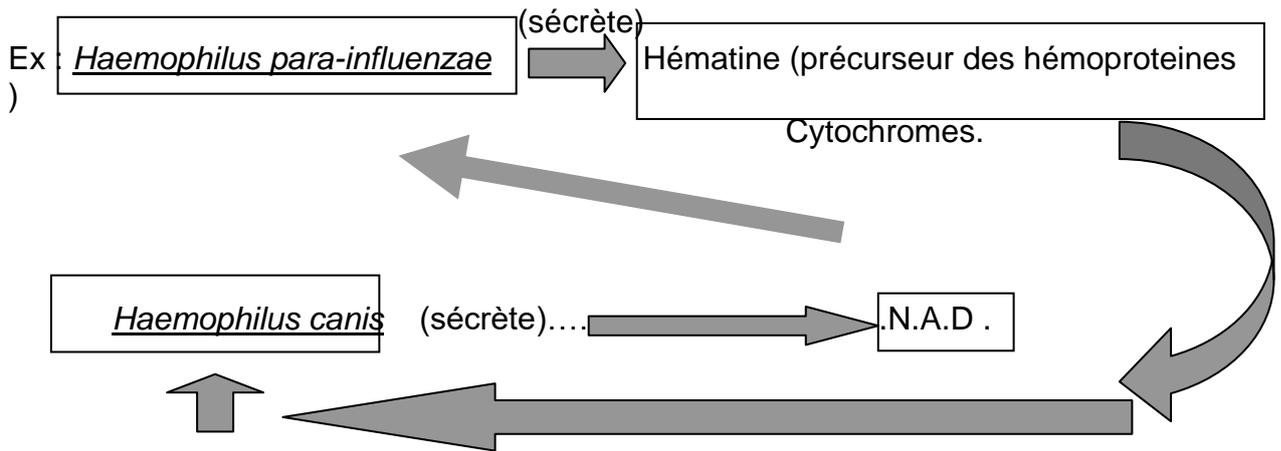
**1 – Phénomène de Satellitisme .**

Ce phénomène est crée par la production , par une espèce bactérienne, d'un facteur de croissance permettant le développement d'une ou de plusieurs autres espèces vivant au voisinage .

Ex : Cas d'un Staphylocoque non auxotrophe à l'égard du NAD excrète cette substance et permet à une autre bactérie du genre Haemophilus d'utiliser le NAD et de se développer .

**2 –Phénomène de Syntrophie ( Symbiose ).**

C'est une variante du phénomène de Satellitisme ..Dans ce cas , on a 2 micro-organismes auxotrophes pour 2 substances différentes .Chacune d'elles excrète un facteur de croissance nécessaire au développement de l'autre .



**V - CATABOLISME BACTERIEN .**

**A – PENETRATION DES SUBSTANCES ..**

Pour être assimilé par une bactérie , un substrat doit se trouver au contact d'enzymes capables de le transformer au cours d'une ou de plusieurs étapes .

**1 – Hydrolyse .**

Les substances fournies à la bactérie ne peuvent être assimilés que si elles pénètrent au niveau du cytoplasme , après avoir traversé la paroi et la membrane plasmique .la plupart de ces substances sont de poids moléculaires élevé et de trop grande taille . Pour être assimilées,elles doivent être hydrolysées en fragments de faible P.M par des enzymes hydrolytiques ou hydrolases, excrétées par les bactéries dans le milieu : EXOENZYMES.

( amylases ,proteases ,....) et ceci par rapport à certaines enzymes agissant à l'intérieur de la cellule : ENDOENZYMES ( enzymes respiratoires ,  $\beta$  galactosidases.....) .

Ex : Substrat protéinique .....→ fragments assimilables : petits peptides et A.A.

Substrat polyholosidiques .....→fragments assimilables oses ou holosides simples

Substrat lipidique .....→ fragments assimilables glycérol et Acides gras .

**2 – Pénétration active .**

Les fragments obtenus diffusent lentement par osmose à travers la paroi et la membrane plasmique semi-perméable . Ce mécanisme , très lent ,est activé grace à des transporteurs appelés **Perméases**. Ces Perméases sont inductibles, c.a.d.,synthétisés en présence du substrat. Elles sont localisées au niveau de la membrane plasmique ( comme les enzymes respiratoires ). ( la planche 1 du polycopié montre le mécanisme d'action de deux types d'enzymes : Exoenzymes et Endoenzymes.

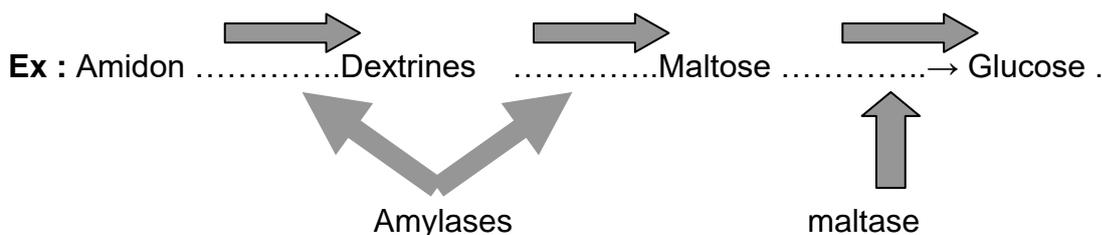
**B – DEGRADATION DES GLUCIDES .**

Les substances glucidiques susceptibles d'être dégradées sont nombreuses et variées.

Elles comprennent des polymères ( amidon ,cellulose ), des triholosides ( raffinose ), des diholosides (saccharose ,maltose ,lactose ) ou des oses ( glucose , galactose ,fructose ,...).

La dégradation se fait par des hydrolases : Exoenzymes le plus souvent , et c'est généralement sous forme de glucose que les substances glucidiques pénètrent à l'intérieur des cellules bactériennes .

**1 – Glucides complexes .**



Une bactérie dégradant l'amidon est dite Amylolytique



Pour voir si une bactérie est cellulolytique on doit :

- ⊗ Soit , vérifier si le glucose a été produit , grace à un ,réactif .
- ⊗ Soit voir si la bactérie pousse sur un milieu minéral additionné d'un source de cellulose .

**2 – Glucides simples** : Ex : le glucose .

La dégradation des polysaccharides conduit souvent (dégradation endogène) au glucose .

La dégradation du glucose conduit d'abord à la formation du pyruvate (en passant par plusieurs étapes) .Cette dégradation du glucose en pyruvate porte le nom de glycolyse .

La dégradation du glucose peut se faire en aérobiose c.à.d. par la voie oxydative, ou en anaérobiose, c.à.d. par la voie fermentative .

a ) – Dégradation du glucose par la voie oxydative.

- ⊗ - Cas des bactéries aérobies et anaérobies facultatives .

L'accepteur final d'e- est l'oxygène .

Le pyruvate produit à partir du glucose est totalement oxydé en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O par le cycle de KREBS . ( voir cycle de KREBS ) .

Bilan énergétique : L'oxydation complète d'une seule molécule de glucose par la voie oxydative (aérobie ) conduit à la production de 38 moles d'ATP (énergie stockée ) .

38 X 7 Kcal .....→ 266Kcal .

Production de substances à pouvoir réducteur représentées par 2 NADH<sub>2</sub> , 1 NADPH<sub>2</sub> et 1FADH<sub>2</sub> .Il y a également formation de 2 CO<sub>2</sub> et 2 H<sub>2</sub>O .

Remarque : beaucoup de bactéries ne possèdent pas tous les enzymes nécessaires intervenant dans le cycle de KREBS . Ceci va entraîner l'accumulation d'un acide tel que l'acide fumarique ,citrique ,oxalique et surtout acétique .Le produit accumulé sera caractéristique du type de micro-organisme .

Ex : Si c'est l'acide acétique qui s'accumule , les bactéries sot dites acétiques .Elles sont utilisées pour la fabrication du vinaigre à partir de substrats alcooliques .Donc la dégradation du glucose par la voie oxydative conduit à la formation de ,CO<sub>2</sub> ,H<sub>2</sub>O,acides.

c) – Dégradation du glucose par la voie fermentative .

Cas des bactéries anaérobies strictes ou facultatives .

L'accepteur final d'e- est un composé organique : Pyruvate ou un produit de dégradation du Pyruvate comme par ex l'acide lactique ou l'ethanol ou meme le substrat oxydable , c.a.d le glucose .( Voir polycopié ) .

On distingue plusieurs types de fermentations .

- ⊗ La fermentation lactique .....→ formation de l'acide lactique (Lactobacillus ) .

- ⊗ La fermentation propionique et butyrique .....→ Clostridium .
- ⊗ La fermentation alcoolique .....→ Ethanol .....→ Zygosarcina , Levures .
- ⊗ La fermentation acides mixtes et butandiolique ,cette fermentation peut conduire, dans un :
  - 1<sup>er</sup> cas : à la synthèse de nombreux acides : Acétique, formique, lactique et succinique.
  - 2eme cas : à la synthèse de l'acetoïne et du 2,3 butandiol .

Ces deux processus sont très importants dans la détermination des bactéries .

- Dans le 1<sup>er</sup> cas , la formation d'acides organiques est considérable et peut être mise en évidence par la réaction au rouge de méthyle .
- Dans le 2ieme cas , la production d'acides organiques est plus faible et est compensée par la synthèse de Butanediol et d'acetoïne que l'on peut rechercher par la réaction de Vosges-proskawer ( réaction V.P°).

### c) – Mise en évidence de la dégradation du glucose ou autre sucre .

Que ce soit en aérobiose ou en anaérobiose , la dégradation du glucose ( et des glucides en général) , conduit à la formation d'acides ou parfois acetoïne ( en anaérobiose ) .

La production d'acides peut être mise en évidence en ajoutant dans le milieu de culture bactérienne, un indicateur coloré .

#### C1 – Le bleu de bromothymol .

Bleu à pH > 7,5 .

Jaune à pH < 6.

Milieu de culture liquide à pH 7 + glucide + bleu de bromothymol( non toxique).

Le milieu est bleu .On ensemence la bactérie et on laisse incuber quelques jours .

- ⊗ - Si le milieu reste bleu .....→ la bactérie n'utilise pas le glucide .
- ⊗ - Si me milieu devient jaune .....→ la bactérie produit des acides à partir du glucide qu'elle a dégradé.

La présence de bleu de bromothymol permet de détecter même des quantités très faibles d'acides.

#### c-2 – Le rouge de Méthyle . Reaction : R.M .

Il est jaune à pH neutre , rouge à Ph < 4,5 .

- ⊗ Toxique pour les bactéries , il est ajouté à la fin de la croissance de la bactérie .
- ⊗ Si le milieu reste jaune la réaction est dite RM+.
- ⊗ Si le milieu devient rouge la réaction est dite RM- .

**Remarque** : quand la réaction est RM- la cellule ne produit pas beaucoup d'acide mais cela ne veut pas dire que la bactérie ne dégrade pas le glucide .

#### c-3 – Production d'acetoïne. Réaction V.P .

1 ml d'une culture bacterienne + 0,5 ml d'anaphtol + 0,5 ml NaOH à 16 % .

Si le milieu devient rouge (violacé)....→ production d'acetoïne ....→VP+

Si le milieu reste tel qu'il était .....→ VP- .

**C – Dégradation des protéines et des lipides .**1- Dégradation des protéines .

**Protéines .....proteinases .....→Peptides  
 ...peptidases.....→Acides Aminés ( assimilation par les bactéries )**

**Les acides aminés assimilés sont métabolisés soit par :- Désamination ( perte de NH<sub>2</sub>).**

**Décarboxylation ( perte d'un CO<sub>2</sub>).**

2 – Dégradation des lipides .

Lipides .....lipases .....→ Acides gras ; Glycérol .

Ces deux substances sont réintégrer dans le métabolisme bactérien après avoir été transformées en AcétylCoA (Acide gras ) ou en phospho-glycéraldéhyde( glycérol).

**VI – REACTIONS ANABOLIQUES OU DE SYNTHÈSE .**

Au cours des réactions cataboliques (dégradation des substances nutritives ), de l'énergie est libérée et est stockée sous forme d'ATP.Ces réactions sont dites exergoniques .

La bactérie va utiliser cette énergie au cours de réactions anaboliques, endergoniques, pour fabriquer ses constituants cellulaires, se développer et se multiplier .

## CHAPITRE VII

### LA CROISSANCE BACTERIENNE

La croissance est définie comme l'accroissement ordonné de tous les composants d'un organisme .

- ⊗ Chez les organismes pluricellulaires .....Elle conduit à une augmentation de taille.
- ⊗ Chez les bactéries.....Elle aboutit , au contraire , à une augmentation du nombre de cellules .

#### I – Paramètres permettant de mesurer la croissance .

La croissance peut être définie par deux paramètres de grandeur .

##### A – Concentration cellulaire .

C'est le nombre de cellules bactériennes par unité de volume . Cette grandeur peut mesurer le nombre total de bactérie ( mortes ou vivantes ) ou uniquement le nombre de bactéries vivantes .

##### B – Densité microbienne .

C'est la masse cellulaire par unité de volume . Cette grandeur est mesuré généralement par l'opacité du milieu contenant des cellules bactériennes en pleine croissance .

Ces deux paramètres sont très distincts :

- ⊗ L' augmentation du nombre de cellules bactériennes est un phénomène discontinu ,  
( 1 .....→2.....→4.....8.....→.16.....→.32.....→.64.....).
- ⊗ L'accroissement de la masse bactérienne est un phénomène continu en fonction du temps.

#### II – Méthodes permettant de mesurer la croissance .

##### A – Méthodes déterminant la concentration cellulaire .

Elles permettent de compter le nombre total de cellules bactériennes ( mortes ou viables) ou uniquement les cellules viables .

##### 1- Nombre total de cellules .

Le nombre total de cellules bactériennes peut-être déterminé au microscope optique en utilisant une lame de verre à la surface de laquelle ont été aménagées plusieurs cavités rectangulaires ou carrées de capacité connue Hématimètre ; cellule de Malassez. Ou cellule de Thomas.

**Cette méthode a le désavantage de :**

- a)- tenir compte même des cellules mortes (donc n'interviennent pas dans la croissance) l'erreur peut être très grande car les cellules mortes peuvent parfois représenter jusqu'à 30% du total des cellules .

- b)- nécessiter l'utilisation d'objectif à fort grossissement donc à faible profondeur de champ, ceci en raison de petite taille des cellules bactériennes .
  - c)- la mobilité des bactéries et parfois le mouvement Brownien rendent la méthode très difficilement utilisable .
- Cette méthode et surtout utiliser pour les levures ou pour les spores de champignons de taille plus grande celles des bactéries .

2 ) – **Nombre de cellules viables** .

Ex : méthode des suspensions dilutions . Cette méthode consiste à déterminer le nombre de cellules bactériennes par comptage des colonies que chaque cellule vivante aura donné .

La numération des colonies bactériennes se fait sur milieu gélosé coulé dans des boites de Petri . ( méthode décrite en détail en T.P ) .

Cette méthode a le désavantage de ne pas tenir compte de la masse bactérienne .

**B – Méthodes déterminant la densité microbienne** .

1<sup>re</sup> méthode : C'est la détermination du poids sec des bactéries .

Après incubation → croissance ..... → recueillir par  
 qlqs jours ( suspension bactérienne ) centrifugation puis pesé.

Surnageant ..... → éliminer puis recueillir le culot, puis le laver en le Remettant dans de l'eau , puis centrifuger .  
 Recommencer l'opération plusieurs fois de manière  
 A enlever tout les constituants du milieu extérieur .

Cette méthode est imprécise et ne s'applique que lorsque la masse cellulaire est très grande .

Elle est très appliquée dans le cas des champignons.

2<sup>ème</sup> méthode :

Consiste à doser l'azote total contenu dans les bactéries . En effet , il existe un rapport constant (environ 14%) entre la teneur en azote et le poids sec des bactéries .

$$\frac{\text{Teneur en azote bactérien}}{\text{Masse bactérienne}} = 14\% \rightarrow \text{Masse} = \frac{N \times 100}{14}$$

3<sup>ème</sup> méthode : Turbidimétrie ou opacité.

Cette méthode consiste à mesurer le trouble microbien en milieu liquide, par mesure de la densité optique à l'aide d'un appareil : le Spectrophotomètre.

Les suspensions bactériennes suivent quantitativement la loi de BEER- LAMBERT.

$$D O = \log \frac{I_0}{I} = K d C .$$

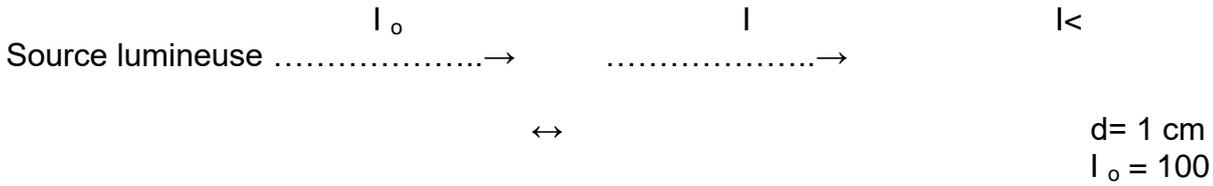
$I_0$  = l'intensité du flux lumineux incident.

$I$  = l'intensité du flux lumineux transmis.

$d$  = distance parcouru par la lumière à travers la suspension.

$C$  = densité microbienne.

$K$  = constante variant suivant l'organisme considéré et suivant la longueur d'onde de la lumière.



$$D O = \log \frac{I_0}{I} = \log I_0 - \log I = \log 100 - \log I$$

$$D O = 2 - \log I$$

$$D O = K d C \dots \rightarrow D O = K C \quad Y = a x$$

C.a.d que la densité optique est facteur linéaire de la densité microbienne mais jusqu'à un certain seuil variant entre 0,2 et 0,3 mg/ml correspondant environ à  $10^7$  bact/ml.

C.a.d dès que la DO dépasse 0,6 il faut diluer la culture bactérienne et refaire la lecture en tenant compte du facteur de dilution.

Puisque la DO est directement proportionnel à la Masse bactérienne, on peut facilement étudier la Croissance bactérienne en fonction du temps.

Seul désavantage, lorsque la bactérie sécrète des diffusible dans le milieu.

**III - EXPRESSION DE LA CROISSANCE .**

La croissance d'une bactérie placée dans des conditions idéales de croissance , peut être définie par deux constantes :

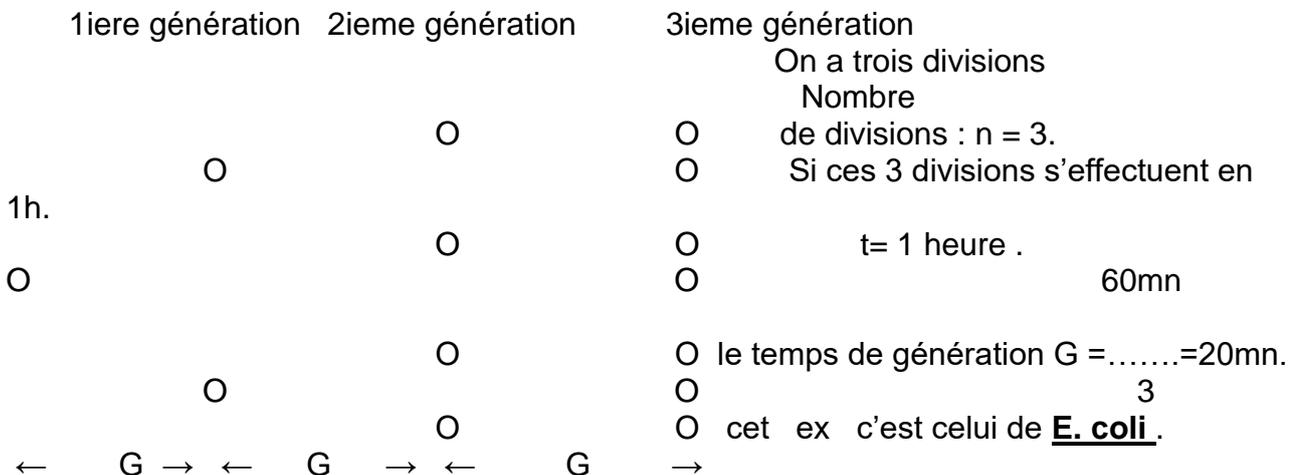
- ⊗ le temps de génération .
- ⊗ le taux de croissance

**A – le temps de génération .**

C'est le temps nécessaire à une bactérie pour donner deux bactéries.  
Ou c'est le temps nécessaire au doublement d'une population.

Le temps de génération G est donné par la formule :  $G = \frac{t}{n}$

$t$  temps (connu)  
 $n$  nombre de division.



Le temps de génération varie suivant les espèces bactériennes et également en fonction des conditions de culture .

G = 10mn pour Vibrio parahaemolyticus .

G = 800 à 900 mn pour Mycobacterium tuberculosis .

**B – le taux de croissance .**

Il est défini comme étant le nombre de division par unité de temps .

$$\mu = \frac{n}{t} = \frac{\text{nombre de divisions}}{\text{temps (connu)}} = \frac{1}{G}$$

Pour E.coli  $\mu = \frac{3}{1} = \frac{3 \text{ (divisions)}}{1 \text{ (heure)}} = 3$  . Pour V.parahaemolyticus  $\mu = 6$ .

Pour M . tuberculosis .  $\mu = 0,075$ .

**C – Expression mathématique de la croissance .**

Si on considère une population de concentration initiale No , elle augmentera à chaque génération de la manière suivante .

Après 1 génération :  $N_1 = 2 N_0$  .

2 "  $N_2 = 2 \times 2N_0 = 2^2 N_0$

3 " :  $N_3 = 2 \times 2^2 N_0 = 2^3 N_0$ .

N " :  $N_n = 2^n N_0$  . Cette équation peut être

En fonction du taux de croissance .  $\mu = \frac{n}{t} \rightarrow n = \mu t$  .

$$N_n = 2^{\mu t} N_0$$

$$\frac{N_n}{N_0} = 2^{\mu t} \quad \log \frac{N_n}{N_0} = \log 2^{\mu t}$$

$$\log_2 \frac{N_n}{N_0} = \mu t$$

$$\log_2 N_n - \log_2 N_0 = \mu t$$

$$\log_2 N_n = \mu t + \log_2 N_0$$

$$Y = a x + b$$

**IV - CROISSANCE EN MILIEU NON RENOUVELE.**

La courbe de croissance d'une bactérie peut être reproduite en représentant le nombre, la masse bactérienne ou la densité optique en fonction du temps. On distingue six phases caractérisées par la valeur du taux de croissance  $\mu$  (nombre de division par unité de temps).

- 1- La phase de latence ( $\mu = 0$ ).
- 2- La phase d'accélération ( $\mu$  augmente et tend vers la valeur maximale).
- 3- La phase exponentielle ou logarithmique ( $\mu$  constant et maximum).
- 4- La phase de ralentissement ( $\mu$  diminue et tend vers zéro).
- 5- La phase stationnaire ( $\mu = 0$ ).
- 6- La phase de déclin ( $\mu < 0$ ).

**A – Phase de latence .**

Lorsqu'on ensemence une petite quantité de culture bactérienne dans un milieu neuf on constate que la croissance ne commence pas immédiatement. Il faut attendre 2 à 3 heures pour remarquer un trouble visible.

Cette période où  $\mu = 0$  s'appelle phase de latence.

Elle peut être due soit à l'âge de l'inoculum, soit à une adaptation enzymatique de la bactérie ou aux deux phénomènes à la fois.

**1 – Age de l'inoculum .**

La phase de latence est observée lorsqu'on ensemence dans un milieu neuf, des bactéries provenant d'une culture âgée poussant sur un milieu différent de ce milieu.

La phase de latence due à l'âge de l'inoculum s'explique par le temps nécessaire :

- a- ) – à la restauration du nombre de ribosomes qui a considérablement diminué avec l'âge.
- b- ) – à la reconstitution des systèmes enzymatiques qui ont subi des altérations progressives au cours du vieillissement des cultures bactériennes.

**2 – Adaptation enzymatique .**

Si l'ensemencement d'une colonie jeune de bactérie se fait dans un milieu nutritif de composition différente, on peut observer une phase de latence qui est due à une adaptation enzymatique, c.a.d à la synthèse d'une ou de plusieurs enzymes nécessaires pour que cette bactérie puisse métaboliser le ou les nouveaux substrats.

Ex : une bactérie en phase exponentielle poussant sur milieu contenant du glucose.

- ⊗ Ensemencée dans un milieu neuf + glucose → Pas de phase de latence.
- ⊗ " " " " " + xylose → Phase de latence due au temps nécessaire à la synthèse d'enzymes permettant la dégradation du xylose.

**B – Phase d'accélération .**

Cette phase est due comme la précédente , à l'âge de la bactérie et à l'adaptation enzymatique .La phase d'accélération est caractérisée par le début des divisions cellulaires ,le taux de croissance (  $\mu$  ) augmente progressivement .

Remarque : Les phases de latence et d'accélération sont facultatives et peuvent être éliminées si on ensemence d'une culture bactérienne qui est déjà en phase exponentielle .

**C – Phase exponentielle ou phase logarithmique .**

Cette phase traduit les capacités maximales de synthèse de la bactérie ( synthèse d'enzymes

Aux réactions cataboliques ,elles mêmes nécessaires à la synthèse des différents constituants cellulaires ).Cette phase est encore appelée phase physiologique .

Cette phase est caractérisée par un taux de croissance maximum et constant .Donc par un temps de génération minimum Elle dure quelques heures (22 h certains Pseudomonas et 44 h chez E . coli ) . La phase exponentielle se maintient jusqu'à épuisement des éléments nutritifs . Elle se traduit sur la courbe de croissance par une droite dont la pente est déterminée par le taux de croissance , lui même sous la dépendance des conditions d'environnement , comme la température ,le pH. La nature et la concentration des éléments nutritifs .

**- Phénomène de diauxie .**

Si on ensemence E. coli dans un milieu contenant du glucose et du lactose .On constate que la courbe de croissance comporte deux(02) phases exponentielles séparées par un palier .

L'analyse du milieu montre que la fin de la 1iere phase exponentielle correspond à l'épui-

-sément total du glucose et que le lactose est exclusivement consommé pendant la 2ieme phase exponentielle .

La croissance totale est la somme des croissances partielles qu'on aurait obtenues à partir des mêmes concentrations de chacun des deux sucres pris isolément .

Ce phénomène s'explique par le fait que le glucose réprime la synthèse de la  $\beta$  galactosidase

( enzyme indispensable à l'utilisation du lactose ), il doit être complètement consommé pour

que l'enzyme puissent être synthétisé pendant la période intermédiaire de latence et que la croissance puisse reprendre au dépend du lactose .

Ce phénomène de DIAUXIE ne s'observe pas avec les mélanges :

Glucose + mannose ; glucose fructose ; glucose- saccharose .

Par contre ce phénomène s'observe avec les mélanges :

Glucose-maltose ; glucose – lactose ; glucose-xylose ; glucose –arabinose ; glucose – inositol ; glucose melibiose ; glucose –sorbitol.

Remarque : C1 ; courbe de croissance obtenue avec glucose + fructose .

C2 ; courbe de croissance obtenue avec glucose + mannose .

C3 ; courbe de croissance obtenue avec E .coli + un phage .

C'est au cours de la phase exponentielle que sont synthétisés les Antibiotiques,vitamines ou autres substances .

### D – phase de ralentissement .

Cette phase s'explique par l'épuisement des éléments nutritifs dans le milieu de culture qui s'accompagne d'une chute du taux de croissance c.a.d une diminution du nombre de divisions .

### E – Phase stationnaire .

Cette phase dure quelques heures .Le taux de croissance est nul mais **le nombre de cellules est maximum et constant** ( donc arrêt de divisions par manque de substances nutritives ). Cet arrêt de divisions peut parfois être due à l'accumulation de certains éléments toxiques provenant du métabolisme bactérien au cours de la phase exponentielle ( on parle alors d'**exotoxines** . Cet arrêt de croissance peut aussi être due au pH qui est devenu trop acide  
( glucides.→ dégradation .→ production d'acides→pH bas →pas de croissance .  
C'est au cours de cette phase que les Bacillaceae commencent à sporuler .

### F - Phase de déclin .

Au cours de cette phase le nombre de cellules bactérienne diminue par autolyse, c.a.d sécrétion d'enzymes lytiques endogènes .Ceci entraîne la libération, à partir de cellules lysées , de protéines ,sucres , bases puriques et pyrimidiques , phosphore et autres éléments, qui vont permettre à certaines bactéries encore vivantes, de les utiliser et de se diviser de nouveau .

Ce phénomène est désigné par le terme de **cannibalisme** ou encore **croissance cryptique** .

Au cours de cette lyse bactérienne, des endotoxines peuvent être libérées (présentes au niveau de la paroi , plus exactement au niveau de l'espace périplasmique ) .

Le taux de croissance est  $< 0$  (inférieur à 0) ; on parle plutôt de taux de mortalité .Ce taux peut être constant ou non .

### V – CROISSANCE EN MILIEU RENOUVELE : Croissance en culture continue.

Dans certains cas , en vue de l'obtention régulière et importante de masse microbienne ou de certains substances , comme les antibiotiques ou les vitamines, on peut maintenir indéfiniment les bactéries en phase exponentielle, en renouvelant constamment le milieu de culture et en éliminant parallèlement les produits du métabolisme qui peuvent être toxiques .

## C H A P I T R E   V I I I

### LES INHIBITEURS DE LA CROISSANCE.

#### ***I – LES AGENTS PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES .***

##### **A – La température .**

Suivant leur comportement à l'égard de la température, on a divisé les bactéries en trois (03) groupes :

- Psychrophiles .
- Mésophiles .
- Thermophiles .

##### **1 – Bactéries Psychrophiles .**

Leur température optimale de croissance est comprise entre 05°C et 15 ° C. Elles arrivent à bien pousser à 0°C.

Les températures extrêmes de croissance sont :

- Limites supérieures : jusqu'à 30°C.
- Limites inférieures : jusqu'à - 08°C.

Ex : quelques espèces de Pseudomonas et Achromobacter .

##### **2 – Bactéries Mésophile**

**Dans ce groupe sont rassemblés la plupart des bactéries .**

Leur température optimale est comprise entre 25°C et 40°C . 30°C pour les bactéries saprophytes du sol ou de l'eau . 37°C pour les bactéries vivant dans l'organisme ( saprophytes ou pathogènes ).

Les températures extrêmes de croissance sont :

- limites supérieures :entre 45°C et 50°C.
- limites inférieures : 10°C .

##### **3 – Bactéries Thermophiles .**

Leur température optimale de croissance est comprise entre 45°C et 65°C .

On distingue quelques espèces de Bacillus , B. stearotherophilus , ainsi que quelques espèces d' Actinomycètes des genres - Thermoactinomyces et Thermomonospora .

Les températures extrêmes de croissance sont :

- limites supérieures : 75°C à 80°C .
- limites inférieures : 35°C .

##### **Remarque :**

**1-** Les fortes températures ont une action létale sur les bactéries .

- Une température de 60°C à 80°C tue les formes végétatives .

- Une température de 120°C (autoclavage ) tue les bactéries même sporulantes en quelques minutes

**2 –** Les basses températures ( - 10°C à -20°C ) inhibent la croissance , mais leur action n'est pas létale . Un grand nombre de bactéries peut se multiplier de nouveau lorsque la température augmente et devient favorable à la croissance.

##### **B - LE pH .**

Suivant leur comportement à l'égard du pH , on a divisé les micro-organismes en 3 groupes .

Acidophiles  
Neutrophiles

**Basophiles .**

- 1 - Les champignons et les levures sont acidophiles .....→p H optimum : entre 3 et 6 .
  - 2 - La grande majorité des bactéries est neutrophiles ou légèrement Basophiles , le p H optimum est compris entre 7 et 7,5 .
- \* Certaines bactéries peuvent pousser dans une gamme très large de p H .  
Ex : E.coli ..... peut pousser entre p H 4,4 et 9 .
- D'autres bactéries sont acidophiles .  
**Lactobacillus** ..... p H optimum = 6.

**Thiobacillus thiooxydans** .....**p H optimum 2 à 3 et peut pousser à p H = 0**  
( équivalent au p H d'une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N ).

- Certaines bactéries sont Basophiles : **Vibrio** ; p H optimum = 9.

**C - LA CONCENTRATION IONIQUE.**

La croissance des bactéries est partiellement ou totalement inhibé lorsque la concentration en NaCl atteint ou dépasse 2 % .

On distingue ainsi :

- 1 - Les bactéries non Halophiles qui tolèrent une concentration en NaCl jusqu'à 2% c'est le cas de la majorité des bactéries .
- 2 - Les bactéries faiblement Halophiles : tolèrent une concentration de 2 à 5% de NaCl , c'est le cas des bactéries marines .
- 3 - Les bactéries modérément Halophiles : tolèrent une concentration de 5 à 15% NaCl ...cas de certaines espèces de **Bacillus** et de **Micrococcus** et quelques Actinomycètes .
- 4 - Les bactéries extrêmement Halophiles ( strictement Halophiles ) poussent à une concentration de 15 à 30% de NaCl .....cas de **Halobacterium** .

**D - LES RAYONS U . V ET LES RAYONS X .**

Les rayons U.V et X ont une action bactéricides à certaines doses . Ils peuvent être utilisés comme agent stérilisants . Ils provoquent des altérations au niveau des bases puriques et pyrimidiques .Les rayons U.V sont considérés comme agents mutagènes .

**II – LES AGENTS CHIMIQUES .****A – LES FACTEURS LIMITANTS .**

Un facteur limitant peut être défini comme étant un substrat nutritif dont l'épuisement entraîne un arrêt de croissance bactérienne même lorsque tous les autres constituants nutritifs du milieu de culture sont en excès .

Ex : Le glucose constitue un facteur limitant lorsque sa concentration est faible.

Les facteurs de croissance constituent des facteurs limitants pour les bactéries auxotrophes .

**B - LES ANTISEPTIQUES .**

Les antiseptiques sont des substances antibactériennes de nature chimique très variée à action non spécifique .Ils sont utilisés comme agents désinfectants .

**1 - Principaux antiseptiques .****a ) - Les acides et les bases .**

Suivant leur nature et leur concentration, ces substances peuvent avoir une action destructrice ou seulement inhibitrice .

**b) – Les halogènes et oxydants .**

Ex : l'iode , le chlore le peroxyde d'hydrogène ( H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> , eau oxygène ) sont de puissants bactéricides qui se présentent sous différentes formes :

- I K ( iodure de potassium ) .....Lugol .
- NaOCl ( hypochlorite de sodium ) eau de Javel.

**c) - Les sels de métaux lourds .**

Ex : les sels de mercure ou d'argent, de cuivre ou de zinc .....ont une action bactéricide puissante à très faible dose .

**d) – Les alcools .**

Ex : l'alcool éthylique qui a également un pouvoir bactéricide mais uniquement sur les formes végétatives .Les spores en sont résistantes . L'alcool méthylique ( méthanol) est moins actif mais plus nocif pour l'homme . Les alcools propylique et butyliques ( propanol et butanol ) ont un pouvoir bactéricide plus important qui augmente avec le P.M .

**e) - Les solvants :**

Ex : L'éther , le toluène ainsi composés phénoliques qui peuvent être bactériostatiques ou bactéricides

**f) - Les colorants .**

Les colorants sont utilisés surtout dans de nombreux milieux de culture , à des fins sélectives .

Ex : le milieu EMB ( Eosine –bleu de méthylène ) permet de sélectionner les Enterobacteriaceae et d'éliminer les autres bactéries .

**g) - Les savons et détergents .** Leur pouvoir antiseptique varie avec les espèces microbiennes.

## 2 - M O D E D ' A C T I O N .

Les antiseptiques agissent rapidement sur les cellules bactériennes , soit :

**a) - Au niveau de la paroi .**

b)

En provoquant des altérations ,ex : une hydrolyse de la paroi par les acides .....→ cellules sans paroi .....→ éclatement des bactéries .

**c) - Au niveau de la membrane plasmique .**

Un grand nombre d'agents bactéricides dont les composés phénoliques et les détergents agissent directement sur la membrane cytoplasmique .

Grace à leur groupement liposolubles , ces agents se fixent sur la membrane plasmique ( lipoprotéines ) modifient et dénaturent la structure de la membrane en la privant de ses fonctions vitales de perméation .

L'altération de la structure de la membrane entraîne une fuite des substances internes de la bactérie ( perte de la semi- perméabilité ), désorganisation du métabolisme , dégénérescence puis la mort de la cellule .

d) - **Au niveau du cytoplasme .**

- Les agents oxydants ( $H_2O_2$  °, ainsi que les dérivés halogènes oxydent les groupements SH libres des enzymes et les altèrent de manière irréversible .
- Les sels de métaux lourds comme le mercure ou ses dérivés , es combinent avec ces mêmes groupements SH et les inactivent .
- Les alcools coagulent toutes les protéines cytoplasmiques .
- Les colorants basiques (bleu de méthylène , violet de gentiane ) réagissent avec les ARN en les inactivant .

**C - LES ANTIMETABOLITES .**

**1 - Définition .**

Les Antimétabolites sont des substances **synthétiques antibactériennes** présentant des **analogies structurales** avec divers métabolites essentiels et divers facteurs de croissance .

**2 - Mode d'action .**

Les antimétabolites ont une action spécifique sur les bactéries et sélective ( peuvent agir sur certaines bactéries et non sur d'autres ).

Ils exercent une action **bactériostatique** en remplaçant par compétition les métabolites ou les facteurs de croissance ,grace à une analogie structurale avec ces substances .

La plupart des antimétabolites ont une faible action antibactérienne, à l'exception des **sulfamides** qui sont **fortement bactériostatiques** .

**3 – Différents types d'antimétabolites .**

On distingue trois (03) types principaux d'antimétabolites .

**a) - Les analogues structuraux des vitamines .**

Ex : les sulfamides = analogues structuraux de l'acide para-aminobenzoïque(PAB) qui est un facteur de croissance faisant partie de la molécule d'acide folique, entrant dans la synthèse des bases puriques et pyrimidiques et de quelques acides aminés comme la serine et la méthionine . chaînes de réactions enzymatiques.

Précurseurs de bases.....→ bases puriques et pyrimidiques  
 Enzymes et coenzymes dont  
 Acide folique

On s'est aperçu que l'action des sulfamides sur une bactérie ; Staphylococcus aureus , est beaucoup plus importante sur milieu synthétique que sur milieu contenant de la peptone ou de l'extrait de levure .

On a pensé que ces deux (02) substances contenaient un composé antisulfamide . Ce composé a été isolé puis identifié comme étant le PAB . L'action bactériostatique du sulfamide s'annule lorsque la concentration du PAB est très importante .

Par contre , en présence d'une concentration très élevée de sulfamides les bactéries s'appauvrissent rapidement en acide folique et cessent de produire des bases puriques et pyrimidiques , donc pas de synthèse d'ARN et d'ADN donc arrêt de croissance .

Conclusion : L'efficacité d'un sulfamide dépend de sa concentration ( par rapport à celle du PAB ) et de son affinité relative (par rapport à celle du PAB )pour le Coenzyme l'acide folique .

**b) - Les analogues d'acides aminés .**

Principalement ceux qui s'incorporent dans les protéines à la place des acides aminés :

**Ex : Parafluorophénylalanine ..... Phénylalanine .**

**5 -Méthyl-tryptophane ..... L - Tryptophane .**

**c) – Les analogues des bases puriques et pyrimidiques.**

Comme : le 5- fluorouracile ..... Uracile .

Le 8 -azaguanine ..... Guanine .

L'incorporation de ces antimétabolites dans les ARN ou les ADN conduit à l'arrêt de la croissance bactérienne ou à des modifications géniques aboutissant à la formation de mutants .

## **C - LES ANTIBIOTIQUES .**

### **1 - Définition :**

Selon **Waksman** ( 1953) ; un antibiotique est un composé chimique produit par un micro-organisme et ayant le pouvoir en solution diluée d'inhiber la croissance d'autres micro-organismes ( définition d'antibiotique au sens strict).

Parfois on regroupe sous le nom d'antibiotique (au sens large ) les antibiotiques(sens strict) les sulfamides et les toxines ( exotoxines ,endotoxines, mycotoxines ).

Mais les sulfamides sont des produits de synthèse (non produits par des micro-organismes) Les toxines, bien que produites par des micro-organismes ,n'ont pas une action spécifique elles sont actives sur les plantes ,les animaux et même l'homme .

2 - **Historique .**

**En 1887** Pasteur et Joubert remarquèrent l'antagonisme entre certains micro-organismes. Cet antagonisme reçu le nom d'antibiose en 1889 (par Villemin ).

**En 1929** Fleming , qui cultivait une bactérie pathogène( **Staphylococcus aureus** ) S'est aperçu qu'un champignon qui est venu polluer par hasard ses boîtes de Petri , inhibait la croissance de la bactérie .Après expérience Fleming conclut que le champignon (**Penicillium notatum**) sécrétait une substance, qu'il désigna par le terme d'antibiotique, qui inhibe la bactérie in-vitro et même in-vivo( inoculé à certains animaux atteints par la bactérie pathogène). Cet antibiotique fut appelé **Pénicilline**.

**En 1940** Chain et florey ont purifié la Pénicilline défini sa structure chimique et confirmé sa valeur thérapeutique .

**En 1944** Waksman isola la **Streptomycine** à partir de **Streptomyces griseus**  
La streptomycine était le premier agent thérapeutique actif contre le bacille de la tuberculose.

**Entre 1944 et 1975** de nombreux antibiotiques ont été découverts (un peu plus que 3000) . Parmi les antibiotiques produits par les micro-organismes ,environ 70% sont produits par des Actinomycètes et surtout par un seul genre **Streptomyces** .

**3 - Principaux antibiotiques**

Les antibiotiques sont classés d'après leur structure chimique . On distingue ainsi :

a) - **Les β lactamines .**

Caractérisés par le noyau β lactame , qui peut être associé soit :

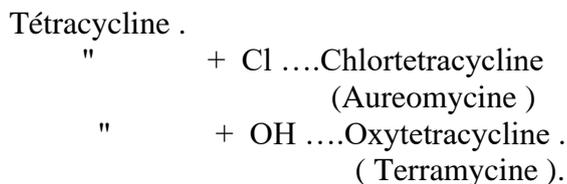
- ⊗ à un noyau thiazoline .....cas des Pénicilline .
- ⊗ à un noyau dihydro-thiazine ..... Cas des Céphalosporines .

b) - **Les Oligosaccharides ou Aminosides .**

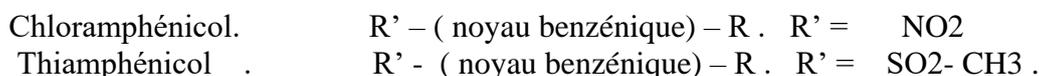
Streptomycine , Néomycine , Kanamycine , caractérisés par :  
Noyau Streptidine ( Desoxystreptamine ) + Ose + Osamine .

c) - **Les Tétracyclines .**

Tétracycline, chlortétracycline , Oxytétracyline , présentent un noyau commun à 4 cycles ..... le noyau tétracycline .



d)- **Les Chloramphénicols .**





Par contre la cyclosérine n'a aucun effet sur la liaison de la Dala avec le reste de la chaîne peptidique. De ce fait la chaîne peptidique est incomplète et ne va être incorporée au niveau de la paroi .

### ■ Action de la Pénicilline ,Bacitracine ,Novobiocine .

Ces ATB empêchent la polymérisation des chaînes peptidiques en inhibant toutes les transpeptidases qui s'établissent entre Dala-Gly-Lys et également les peptidases qui permettent de relier la Lala à la chaîne d'acide muramique-Glucosamine qui existe déjà au niveau de la paroi . Ces ATB ont une action bactéricide .

### b- ATB actifs sur la membrane plasmique .

Parmi lesquels on distingue les Polymyxines (A,B ,C,D,E), la Thyrotricine , la Gramicidine et également la Bacitracine , ces ATB ont une action bactéricide .Ils agissent aussi bien sur les cellules en voie de développement que sur les non proliférantes .Agissent également sur les protoplastes en milieu isotonique, ce qui montre leur action spécifique au niveau de la membrane plasmique.

Ces ATB peuvent agir de trois (03) manières différentes .

**B1.) –Les polymyxines et la thyrothricine** provoquent une désorganisation de la structure lipoprotéique de la membrane, en se fixant sur les phospholipides ; ceci provoque la destruction de la barrière osmotique, c-à-d la perte de la semi-perméabilité donc fuite vers l'extérieur des constituants cellulaires ce qui va provoquer la dégénérescence bactérienne ( provoque la même action que certains antiseptique < les détergents , composés phénoliques, certains solvants ).

**B2.) La Gramicidine** provoque des perturbations dans le transfert des ions à travers la membrane ,conduisant à l'entrée excessive d'ions  $K^+$

**B3.) Ces ATB** peuvent également inhiber l'**ATP ase** donc pas d'énergie libérée, blocage de l'anabolisme, arrêt de la croissance .

### C - ) - Antibiotiques actifs sur les acides nucléiques .

*C-1* –Antibiotiques agissant sur la réplication de l'ADN.

- La Mitomycine : forme de nombreuses liaisons entre les deux chaînes de l'hélice d'ADN et empêche leur séparation au moment de la division cellulaire .

La réplication de l'ADN par la DNA polymérase , qui nécessite une séparation totale des deux (02) chaînes devient impossible .La Mitomycine inhibe ( empêche) la réplication de l'ADN et bloque la division cellulaire .

- L'Acide Nalidixique empêche l'incorporation de la Thymine au niveau de l'ADN : l'acide Nalidixique inhibe la synthèse de l'ADN .

### C- 2 – Antibiotiques agissant sur la transcription de l'ADN ou ARN<sub>m</sub> .

- L'Actinomycine forme un complexe avec l'ADN et bloque l'activité de l'ARN polymérase qui copie l'une des chaînes de l'ADN en l'utilisant comme matrice pour la synthèse de l'ARN .

**D – ATB actifs sur la synthèse des protéines .****D-1- Antibiotiques actifs sur la sous unité 30 s.****1- Les Tétracyclines .**

Les tétracyclines se fixent sur la sous unité 30s ,inhibant ainsi la mise en place du t ARN porteur d'un acide aminé , ce qui entraîne un blocage de la synthèse des protéines ; les tétracyclines ont une action dite Bactériostatique .

**2- Les Aminosides .**

Les Aminosides se fixent sur la sous unité 30s et occasionnent des erreurs de lecture du code génétique, provoquant ainsi l'incorporation d'acides aminés ne correspondant pas à l'information des codons de l'ARN<sub>m</sub> .

Les protéines formées dites non sens sont génétiquement léthales.

Les Aminosides tels que la Streptomycine, sont bactériocides. Ils peuvent agir deuxièmement ,sur la respiration bactérienne, la synthèse d'ARN et d'ADN et également sur la membrane plasmique provoquant la perte de la semi-perméabilité .

**D -2. Antibiotiques actifs sur la sous unité 50s.**

1- Les **macrolides** se fixent sur la sous unité 50s et empêche la transcription ( c.a.d déplacement du ribosome),en inhibant un facteur, le facteur G ,qui se trouve dans la sous unité 50qs et qui est responsable de la translocation .

Les macrolides ont une action bactériostatiques .

**2 – Les Chloramphénicols .**

Ils empêchent la formation des peptides par inhibition des peptidases et des transpeptidases qui permettent de transférer le peptide du site donneur au site accepteur ou l'acide aminé suivant est incorporé .Les Chloramphénicols ont une action bactériostatique.

**E – Antibiotiques inhibiteurs des phosphorylations .**

- L'Antimycine : inhibe la photo-phosphorylation cyclique des chromatophores chez les bactéries photosynthétiques .
- La Gramicidine (peptidique ) : inhibe la phosphorylation oxydative chez les bactéries en agissant au niveau des cytochromes .

■

**4 - Activité des ATB sur une population bactérienne , in-vivo.**

L'activité d'un ATB dépend de sa qualité, de sa concentration , de la bactérie testée et du milieu de culture.

**A – Activité d'un ATB en fonction de la concentration en ATB .****Pour un même Antibiotique .**

- On prépare un tube témoin sans ATB .( C °= 0µg/ml ) .

- a C °= 0,5 µg/ml la courbe de croissance n'est pas modifiée .Cette concentration est dite concentration **sub-inhibitrice** .

- a  $C^{\circ} = 1$  ou  $2 \mu\text{g/ml}$  la courbe de croissance est légèrement modifiée la concentration est dite **partiellement inhibitrice** .
- a  $C^{\circ} = 4 \mu\text{g/ml}$  la courbe de croissance est très modifiée la concentration est dite **C.M.I** .C'est la **concentration minimale inhibitrice** , c'est-a –dire , la concentration la plus faible qui permet une inhibition totale de la bactérie , cette concentration est dite **bactériostatique** .
- a  $C^{\circ} = 8 \mu\text{g/ml}$  la courbe de croissance est encore plus modifiée est elle est dite partiellement **bactéricide** .
- a  $C^{\circ} = 16 \mu\text{g/ml}$  , la courbe de croissance poursuit sa modification ,la concentration est dite **C.M.B** .c'est la **concentration minimale bactéricide** ( la concentration la plus faible qui permet de tuer toutes les bactéries elle est également dite **concentration létale** .
- un point essentiel mérite d'être cité c'est la **C.I.50** ou **C.I 50%** ou encore la concentration qui permet d'inhiber 50 % de la population bactérienne .( voir courbe de croissance ) .

### B – Activité en fonction de l'ATB .

On considère que les ATB sont en excès ( cas général ) .

On obtiendra un certain nombre de courbe de croissance .

La courbe a – courbe témoin .

La courbe b - action nulle .

La courbe c – action faiblement bactériostatique .

La courbe d – action faiblement bactériostatique .

Certains antibiotique provoque uniquement un retard dans la croissance bactérienne ,ils sont dits **Bactérioralentisseurs** .

La courbe e – action **bactériostatique** .

La courbe f – action faiblement **bactéricide** .

La courbe g – action **bactéricide ou action létale** .

### 7- Technique de mesure : l'Antibiogramme .

L'antibiogramme est la méthode analytique qui permet de définir in-vitro la sensibilité ou la résistance d'un micro-organisme à plusieurs ATB .cette méthode permet aussi de sélectionner les ATB les plus actifs contre les germes pathogènes.

L'antibiogramme doit tenir compte d'un certain nombre de facteurs propres à l'ATB , à ses propriétés, ou au milieu de culture et à la bactérie.

**a – L'ATB doit- être stable et conserver son activité au cours du test :**

Ex : A  $37^{\circ}\text{C}$  , température favorable à la croissance de nombreuses bactéries, certains

ATB perdent leur activité (comme la Chlortétracycline qui perd son activité à 80%.

Il faut éviter d'utiliser des ATB qui diffuse mal dans un milieu gélosé ,comme la Polymixine .

**b- Le milieu de culture doit avoir une composition rigoureusement définie permettant une reproduction fidèle des résultats.**

Ex : Certains milieux à base de sérum peuvent inhiber l'activité antibiotique .

- Le glucose augmente celle de la Pénicilline et diminue celle de la Streptomycine .

Mais le facteur le plus influent est le pH.

L'activité optimale de chaque antibiotique est conditionnée par un pH optimum.

La Pénicilline est plus active à pH 6,6 .

La Streptomycine est plus active à pH 7,4 et 100fois moins active à pH 6 .

En général on choisit le pH neutre (7) pour faire un antibiogramme .

**c- Le nombre de bactéries mises en contact avec l'ATB doit-etre à peu près le même pour tous les tests .**

En milieu solide , les zones d'inhibition sont inversement proportionnelles à l'abondance de l'inoculum . La bactérie doit –être pure .

Le temps d'incubation ne doit pas être trop prolongé car l'ATB peut perdre son activité et permettre la multiplication des cellules bactériennes les moins sensibles .

Il existe deux(2) méthodes de mesure de la sensibilité d'un micro-organisme aux ATBs.

1- La méthode de dilution sur milieu liquide . ( voir TP ) .

2 -La méthode de diffusion sur milieu solide . ( voir TP ) .

**7 – Résistance aux antibiotiques .**

Pour qu'un antibiotique soit actif, il doit :

- ⊗ Pouvoir pénétrer dans la cellule .
- ⊗ Rencontrer la cible moléculaire pour la modifier ou la perturber .
- ⊗ Au cours de son contact avec la cellule ,il ne doit subir aucune transformation susceptible de l'inactiver .

**a- Types de résistance .**

On distingue deux (2) de résistance : la résistance naturelle et la résistance acquise .

**a-1- Résistance naturelle .**

- ⊗ Cette résistance peut-être due à la non pénétration de l'ATB dans la cellule , à la suite d'une diminution de la perméabilité cellulaire . Ce mécanisme intervient dans la résistance de certaines espèces aux Macrolides, aux Tétracyclines et à l'Actinomycine (se sont toutes de grosses molécules) .

Cette résistance peut également être due à ce que l'organisme résistant ne possède pas le système biologique sur lequel agit spécifiquement l'ATB considéré .

Par exemple , les ATB agissant au niveau de la paroi mureique des bactéries ,sont inactifs à l'égard des Eucaryotes , comme les champignons et les levures, dont la paroi a une constitution différente .

**a-2- Résistance acquise.**

C-à-d ,qu'à l'intérieur d'une même espèce théoriquement sensible à un ATB

Dans un premier temps,peuvent apparaître par la suite des germes résistants à cet ATB . Cette résistance peut être d'origine chromosomique ou extra-chromosomique ( Plasmidique) .

**Origine chromosomique .**

Dans ce cas , la résistance peut-être due à une mutation ,à une transformation (passage d'un morceau d'ADN d'une bactérie à une autre ) ou à une Transduction (par l'intermédiaire d'un phage) .

Ce phénomène est très rare :

Ex : Mutation ; se produit à une probabilité de  $10^{-6}$  à  $10^{-9}$  pour obtenir une bactérie résistante à un ATB . ce type de résistance concerne généralement la monorésistance, c-a-d résistance à un seul ATB .

Ex : Une cellule bactérienne est résistante à la Pénicilline à une probabilité de  $10^{-6}$ .

Une cellule bactérienne est résistante à la Pénicilline à une probabilité de  $10^{-7}$

La probabilité de résister au deux(2) ATB à la fois est de  $10^{-13}$ .

Cette possibilité est très rare ; donc dette résistance chromosomique a peu d'importance du fait de sa rareté .

⊗ **Origine extra-chromosomique .**



L'apparition de bactérie résistante simultanément à plusieurs ATB ,a conduit les biologistes à reconnaître un autre type de résistance :la résistance contrôlée par des gènes portés par des éléments d'ADN bicatenaire ,circulaire , indépendants du chromosome bactérien et qui sont appelés **PALSMIDES** ou **facteurs de résistance**. Ce type de résistance est le plus fréquent; il touche 80à 90% des souches à résistance acquise .

Ex : La bactérie **Shigella = Enterobacteriaceae** pathogène( sensible aux sulfamides la Streptomycine , au chloramphénicol et à la tétracycline,devient multi-résistante (résistante à ces ATB et Antimétabolites ) et dans une proportion de 40%, lorsqu'elle est mise en contact de **E.coli** (résistante à ces 4 substances ) .

Les 4 gènes qui sont à l'origine de cette résistance, se trouvent sur un même plasmide de **E.coli** qui a été transféré chez **Shigella** .

Les plasmides sont rencontrés surtout chez les **Staphylocoques( cocci G<sup>+</sup>)** et les **Bacilles à G<sup>-</sup>** . Ils sont transmis in-vivo ou in-vitro , par transduction chez les **Staphylocoques** et par conjugaison chez les **bactéries G<sup>-</sup>** .

**b- Mécanismes de résistance aux ATB .**

La transformation d'une bactérie sensible en une bactérie résistante met en jeu des mécanismes se rapportant à deux (2) types .

- ⊗ La modification de la pénétration de l'ATB ,c-a-d une baisse de la perméabilité cellulaire à certains ATB ,comme le Chloramphénicol, l'Actinomycine , la Tétracycline et les Macrolides .

- ⊗ La résistance peut être due à la production d'enzymes endo ou Exo cellulaires qui détruit l'ATB . C'est le cas le plus fréquent .

#### ⊗ Cas des $\beta$ lactamines .

Les bactéries résistantes à ces ATB élaborent des enzymes : **les  $\beta$  lactamases** qui inactivent les ATB par ouverture du cycle  **$\beta$  lactame** .On parle de **Pénicillinases** ou de **Céphalosporinases** suivant que ces enzymes détruisent les Pénicillines ou les Céphalosporines .

Les Pénicillinases qui ont été étudiées,peuvent-etre Endocellulaires (**E.coli** ) ou Exocellulaires ( **B .cereus ; B. subtilis** ) .

Les Penicillinases sont induites par la Pénicilline et certains de ses analogues structuraux .Elles hydrolysent la Pénicilline en acide Penicillinoïque, inactif contre la bactérie .

Les  **$\beta$  lactamases** sont génétiquement contrôlées par le chromosome (**B.cereus**) ou par des plasmides (Staphylococcus **aureus** ) .

Les  **$\beta$  lactamases** des bacilles **G<sup>o</sup>** forment un groupe complexe, divisé en quatre (4) classes suivant leur profil d'activité sur un certain nombre de Pénicillines et de Céphalosporines et également suivant l'origine du gène responsable de leur formation ( Chromosomique ou Plasmidique ) .

#### ⊗ Cas des Aminosides.

Les bactéries résistantes à ces ATB produisent des enzymes hydrolysant les Aminosides par destruction des liaisons reliant les sucres aux sucres aminés ou au noyau Streptidine ou Dihydrostreptidine qui entre dans la composition des Aminosides

Certaines bactéries produisant des enzymes phosphorylant ou acétylant les groupements OH des Aminosides et les rendent aussi inactifs .

#### ⊗ Cas des Aminosides.

Les bactéries résistantes produisent des acétyltransférases qui acétylent les chloramphénicols et les rendent inactifs.

## CHAPITRE IX

### MICROBIOLOGIE DU SOL

Loin d'être un milieu inerte, le sol de part les populations très variées qui l'habitent constitue un système complexe en perpétuel activité. Les groupes auxquels appartiennent ces populations sont les suivants :

#### **I- LA MICROFLORE .**

Ce groupe comprend :

- ⊗ Les bactéries non mycéliennes ,classées dans de nombreux groupes .
- ⊗ Les Actinomycètes ou bactéries myceliennes .

Les champignons comportant des formes inférieures et des formes plus évoluées , et parmi lesquelles ,on inclut également les levures .

Les algues , qui sont représentés dans les sols surtout par des formes unicellulaires ou filamenteuses .

Les virus .

#### **II – LA FAUNE DU SOL ( MICROFAUNE ET MESOFAUNE ).**

Ce groupe comprend :

Les protozoaires – Les acariens – Les nématodes – Les annélides – Les collemboles et les termites ( groupe faisant partie des insectes ).

#### **I – LA MICROFLORE DU SOL .**

##### **1 – METHODES D'ETUDE.**

##### **A – Détermination de la biomasse microbienne**

La biomasse bactérienne varie en général de 330 à 7000 Kg /ha .elle est , en général sensiblement inférieure à celle des champignons et du même ordre de grandeur que celle des actinomycètes , elle dépasse par contre celle des algues , des protozoaires et des nématodes réunis.

##### **B – Numération directe par comptage au microscope .**

Difficultés et imprécisions : Cellules bactériennes trop petites , mobilité , mouvement Brownien , comptage à la fois des bactéries vivantes et mortes etc.....

Les densités observées sont 300 à 1000 fois plus élevées que celles déterminées par la méthode indirecte .

##### **C – Numération indirecte .**

*C'est la méthode des suspensions dilutions .elle tient compte uniquement des cellules vivantes .( voir T.P ).*

##### **2 – Distribution quantitative des différents groupes .**

La distribution des micro-organismes dans les sols est fonction des caractéristiques physico-chimiques de ces sols . leur densité (par suspension-dilution) oscille entre  $10^5$  et  $10^9$  germes par gramme de sol sec (g/gss) et peut même atteindre  $10^{10}$  ou plus

par gramme de sol sec .dans la rhizosphère de certaines plantes (blé ) , dans les fumiers , les composts et les déjections animales , la densité peut atteindre  $10^{10}$  à  $10^{12}$  germes / gss ou même plus.

Micro-organismes	Densités minimales(/gss)	Densités moyennes(/gss)	Densités maximales(/gss)
Bactéries	$10^4$ ( ou moins )	$10^6$ à $10^9$	$10^{12}$
Actinomycètes	$10^3$ ( ou moins )	$10^5$ à $10^7$	$10^8$
Champignons	$10^2$ ( ou moins )	$10^3$ à $10^5$	$10^6$
Algues		$10^3$ à $10^4$	

**3- Les bactéries du sol**

Elles représentent la plus grande partie de la microflore tellurique .les bactéries peuvent être hétérotrophes , autotrophes, aérobies strictes ou facultatives ,anaérobies strictes , mésophiles ,thermophiles ou psychrophiles .

**3-1. Classification taxinomique .**

Remarque : Voir polycopié , classification bactérienne .

Parmi les micro-organismes qui dominent souvent dans le sol , on signalera plus particulièrement les **Pseudomonas**, les **Bacillus** et les **Arthrobacter** .

Les **clostridium**, **Micrococcus** et **Xanthomonas** sont aussi bien représentés . Les micro-organismes impliqués dans la fixation de l'azote ( **Azotobacter**, **rhizobium** etc..) et surtout ceux qui interviennent dans la nitrification ( **Nitrobacter**,**Nitrosomonas** etc. ...) représentent, dans bien des cas , une faible fraction , cependant elles jouent un rôle important .

Les bactéries contribuent énormément à la fertilisation du sol grace à leur pouvoir de décomposer et de minéraliser la matière organique en composés assimilables par les plantes .

**3- 2. Classification en groupes physiologiques .**

Les micro-organismes interviennent dans les différents cycles biogéochimiques( carbone , azote, soufre, ...) .ainsi on distingue plusieurs groupes physiologiques .

Un groupe physiologique est un ensemble de micro-organismes qui , bien que taxonomiquement très différents présentent tous la même aptitude à se développer dans un environnement bien précis et à y mener à bien le même type de réactions biochimique .

**Les groupes les plus fréquemment étudiés sont les suivants :**

Cycle de l'Azote	Cycle du Carbone	Cycle du Soufre
Groupe des fixateurs d'azote	Groupes des Amylyolytiques	Groupe des sulfatoréducteurs
Groupe des Ammonificateur	Groupe des pectinolytiques	Groupe des sulfato-oxydants
Groupe des nitrificateurs	Groupe des chitinolytiques	Groupe des minéralisateurs du ss Soufre organique .
Groupe des dénitrificateurs	Groupe des hémicellulolytiques	
Groupe des protéolytiques	Groupe des cellulolytiques	

**Ex de groupes physiologiques bactériens dans divers types de sols.  
Nombre de germes /gramme de sols sec .**

	Sol de jardin	Sol de champ	Sol de forêt de conifères	Sol de terre marécage
Humidité du sol(en %)	18	18	21	37
Total des aérobies	$8,4 \times 10^6$	$8,1 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
Total des anaérobies	$0,28 \times 10^6$	$0,14 \times 10^6$	$0,35 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$
Bactéries nitrifiantes	$8,8 \times 10^2$	$17 \times 10^2$	0	$0,17 \times 10^2$
Bactéries dénitrifiantes	$8,3 \times 10^2$	$4 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$3,7 \times 10^2$
Bactéries fixatrices de $N_2$ ( $N_2$ (aérobies).	$23 \times 10^2$	$18 \times 10^2$	0	$0,17 \times 10^2$
Bactéries pectinolytiques	$5,4 \times 10^5$	$7 \times 10^2$	$8 \times 10^5$	$3,7 \times 10^3$

#### **4 – LES ACTINOMYCETES DU SOL .**

Les actinomycètes , bactéries mycéliennes à Gram positive, sont hétéotrophes, aérobies strictes , mésophiles ou thermophiles ( voir photocopié sur la classification).

Dans le sol , le genre **Streptomyces** représente 70 à 90 % du total des actinomycètes, les genres **Nocardia** et **Micromonospora** représentent 2 à 10% pour chacun .D'autres actinomycètes en nombre beaucoup plus réduit sont présents sous tous les climats et sur tous les types de résidus . Pendant longtemps, on a considéré que leur rôle dans le sol était négligeable, eu égard à leur lenteur de croissance et à leur faible pouvoir compétitif .il semble au contraire que leur action soit importante, en raison de leur double aptitude :

- ☼ A dégrader les substances organiques non biodégradables par les bactéries et les champignons.
- ☼ A produire des substances antibiotiques et probiotiques .

Les actinomycètes interviennent également dans les différents cycles biogéochimiques ex : cycle du carbone, de l'azote ,du soufre , du phosphore,etc...

Les actinomycètes sont , en général saprophytes. Quelques uns sont, cependant pathogènes pour les plantes( *Streptomyces scabies*) ,les animaux et même l'homme ex : *Actinomyces madurae* , *Streptomyces somaliensis* ,*Nocardia brasiliensis* ,*Nocardia asteroides*,*Actinomyces pelletieri*.

#### **5 – LES CHAMPIGNONS DU SOL .**

Les champignons constituent la mycoflore tellurique . Ce sont des Eucaryotes ,hétéotrophes,non photosynthétiques,aérobies, mésophiles ,parfois thermophiles .

Pour la classification voir cours chapitre Fungi.

Les champignons imparfaits ou Deuteromycetes , les Zygomycetes sont les plus importants en microbiologie des sols , comparativement aux Ascomycetes et aux Basidiomycetes .

Les Levures qui appartiennent à chacun des groupes Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes , mais ne produisant pas de mycelium sont relativement peu nombreuses

dans les sols (  $10^2$  à  $10^3$  / gss ), à l'exception du genre **Lipomyces** qui semble être exclusivement tellurique , les autres genres sont surtout retrouvés au niveau de la phyllosphère .

Les champignons imparfaits et les Zygomycetes sont nombreux .Dans le sol il existent à l'état de :

- ⊗ Mycelium , dont la croissance leur permet de se déplacer vers les milieux ou il y a plus de matière organique .
- ⊗ Organe de propagation ou de conservation , dont la vitalité est assez variable, quelques minutes, quelques jours voir quelques années .

On distingue les zoospores les conidies et les chlamydozoospores, ces dernières sont les plus résistantes. On également citer comme organe de résistance , les sclérotés, les zygotes ( Zygomycetes) et les ascospores (Ascomycetes).

Le rôle des champignons dans l'assimilation de l'azote est minime, leur pouvoir ammonifiant paraît inférieur à celui des bactéries .

Le rôle essentiel des champignons se retrouve dans la minéralisation du carbone organique, en particulier les sources les plus complexes. Ils possèdent parfois (cas des agents de pourriture des bois ) une grande aptitude à dégrader de grandes quantités de matière organique en se contentant de faibles quantités d'azote .

Du point de vue groupes écologiques, on distingue :

#### ⊗ **Champignons du sol** :

- **Saprophytes obligatoires** : qui se nourrissent de cadavres animaux, de débris végétaux et d'humus .
- **Champignons susceptibles de s'associer aux racines** : parasites facultatifs sur débris végétaux et également sur racines vivantes .

#### ⊗ **Champignons des racines**:

- **Parasites spécifiques** : sur racines vivantes .
- **Symbiotes mycorhiziens**.

Les champignons les représentés dans les sols sont :

- ⊗ - **Penicillium** : Présent dans les sols les plus divers , mais surtout dans les sols vierges. Leur importance diminue en allant des zones tempérées vers les régions subtropicales .
- ⊗ - **Aspergillus** : Présents également en général en grand nombre , surtout dans les sols cultivés. la dominance relative de ce genre dans une population fongique est un indice d'un climat ou d'un microclimat sec .
- ⊗ **Fusarium** : Saprophytes , mais occasionnellement parasites de nombreuses plantes( palmiers, melon, tomate, pomme de terre etc....) . on les retrouve surtout dans les sols cultivés et dans les rhizosphères de nombreuses plantes.

Parmi les autres champignons , on peut citer **Trichoderma**, **Gladiocladium** , **Alternaria** (appartenant aux champignons imparfaits) , **Mucor** (Zygomycetes ) , ou encore **Pythium** (Oomycetes)

## 6 - **LES ALGUES** .

Dans le sol, les algues sont surtout représentés par les **Cyanophyceae** et les **Chlorophyceae**

**6-1 – APERCU SYSTEMATIQUE.****⊗ LES CYANOPHYCEAE.**

Les Cyanophyceae ou algues bleues ( récemment appelées Cyanobactéries) appartiennent au règne des MONERES . Leur paroi est mureique . Leur déplacement ( sur les surfaces solides ) se fait par glissement . La chlorophylle est accompagnée de phycocyanine ( pigment bleu-vert ) .La photosynthèse est identique à celle des plantes .

Les groupes les plus intéressants sont :

- Les Coccogonophycideae : Unicellulaires, vivants en colonies dans une gelée abondante ( **Chr oococcus** , **Anacystis** ,....) se divisent par scission binaire

- Les **Hormogonophycideae** : Filamenteuses , certaines possèdent des hétérocystes

( **Nost oc**, **Anaboena** ,....) , cellules spécialisées dans la fixation de l'azote atmosphérique N<sub>2</sub> . D'autres en sont dépourvues (**Oscillatoria** ..) la division se fait par hormogonies.

- Les **Chlorophyceae** :

Les **Chlorophyceae** sont des algues Eucaryotes. Dans le sol , elles ne sont représentées que par des formes unicellulaires ou filamenteuses telles que :

- Les **Volvocales** , unicellulaires ou en colonies mobiles ex : **Chlamydomonas**.
- Les **Chlorococcales** : non mobiles , ce sont les mieux représentées dans le sol, ex :  
( **Chlorococcum** , **Chlorella** , ) .
- Les **Ulothricales** qui sont elles exclusivement filamenteuses .

**7 – 2. ROLE DES ALGUES .**

Les algues assimilent le CO<sub>2</sub> de l'air (photosynthèse ) et certaines fixent le N<sub>2</sub> atmosphérique .elles apportent donc au sol des matières organiques riches dont le C/N est souvent inférieur à 10 et peut même s'abaisser jusqu'à 3,5 .

Les algues à hétérocystes , en présence uniquement d'eau et sels minéraux, peuvent se multiplier et végéter dans les terres les plus arides . Leurs faibles exigences nutritionnelles font qu'on les rencontre sur toute la surface du globe .

Le développement des algues sur les roches s'accompagne d'altérations superficielles conduisant à la formation de graviers et de sables , puis de complexes organo-minéraux ; il se forme alors un sol primitif où s'installe une microflore active .En consommant le CO<sub>2</sub> et libérant des substances alcalines, les algues tendent à élever le pH du sol et il a même été envisagé de les utiliser pour combattre l'acidité des sols .

**8 – LES VIRUS .**

Le sol renferme également des virus ou phages parasitant les végétaux et les animaux .

Pour leurs caractéristiques , classification , mise en évidence etc. ..(voir photocopié de cours).

Les phages sont des virus qui parasitent les bactéries( bactériophages), les actinomycètes (actinophages) et les cyanophycées ( cyanophages ) . On ne connaît pas de phages parasitant les champignons ,les levures et les algues Eucaryotes .

On a isolé des phages se développant sur un grand nombre de germes , tels que : Azotobacter ,Rhizobium , Agrobacterium, Arthrobacter , Pseudomonas , Streptomyces ,Norcardia etc. ...

Les virus des végétaux (et des animaux) peuvent subsister dans le sol suivant deux modes de conservation :

- Conservation dans les tissus du vecteur (ex : nématodes ou champignons ),ou meme dans les débris végétaux .
- Conservation à l'état adsorbé sur les argiles .

**CHAPITRE X**

**LES MICRO ORGANISMES ET LES MALADIES**

**I - POUVOIR PATHOGENE**

**1 -TOXINOGENESE** : C'est un pouvoir pathogène lié à la production de toxine .

On distingue deux (02) types de toxines .

- ⊗ Les Exotoxines : Synthétisées par la cellule ( micro-organisme producteur de toxine) puis libérées dans le milieu de culture ou pousse le germe (pathogène)..
- ⊗ Les Endotoxines : substances faisant partie de la cellule bactérienne , ne sont libérées qu'après autolyse de la cellule bactérienne .

Ex : Une plaie a été infecté par le bacille Tétanique ( ***Clostridium tetani*** ). Les bacilles vont se multiplier au niveau de la plaie sans jamais pénétrer dans l'organisme. Ils élaborent une toxine, qui en diffusant le long du filet nerveux, va parvenir jusqu'au système nerveux central . Elle sera alors responsable de tous les symptômes de la maladie ( contraction permanente des muscles ).Le pouvoir pathogène du bacille tétanique est du uniquement à sa toxine, donc à la toxinogénèse.

**TABLEAU N ° 01**

Quelques propriétés des Exotoxines et Endotoxines.

	<i>EXOTOXINES</i>	<i>ENDOTOXINES</i>
<b>Origine</b>	Bacilles Gram <sup>+</sup>	Bacilles Gram <sup>°</sup>
Relations Cellules –Toxines	<b>Libérées hors de la cellule</b>	Font partie du corps cellulaire.
<b>Nature</b>	<b>Protéines solubles</b>	Complexes glucido-lipido-proteiques (insolubles)
<b>Pouvoir toxique</b>	<b>Très élevé</b>	<b>Modéré</b>

TABLEAU N ° 02

TOXICITE COMPAREE DE QUELQUES SUBSTANCES

SUBSTANCES TOXIQUES	INDICE DE TOXICITE
Strychnine (poison végétal : noix vomique)	1
Arsenic	0,03
Crotactine (venin de serpent )	10
Ricine ( poison végétal : Ricin )	20
Endotoxines Bactériennes	0,1
Exotoxine Diphtérique	2000
Exotoxine Dysentrique	700 000
Exotoxine Tetanique	700 000
Exotoxine Botulique	700 000

## 02 - VIRULENCE .

La virulence est définie comme un pouvoir pathogène lié à l'envahissement des organes de l'hôte .

EX : Inoculation d'une souris avec une suspension de Pneumocoques capsules (responsables de la pneumonie ). Après 24 h l'animal meurt . Après autopsie on constate que les pneumocoques peuvent être isolés du sang , du cœur , du foie , des reins , des poumons , etc..... Les pneumocoques ont pénétré dans l'organisme, sont passés dans la circulation sanguine puis se sont répandus dans tous les organes de l'hôte , malgré les moyens de défense de celui-ci . On dit qu'ils sont virulents .

## II - INFECTION BACTERIENNES

### A – Transmission par voie respiratoire .

#### 1 – Tuberculose .

☼ **Agent pathogène : *Mycobacterium tuberculosis* (Actinomycète Gram+).**



☼ **Infection :** peut se multiplier dans tous les tissus mais se fixe de préférence au niveau des poumons . La tuberculose est caractérisée par le développement de tubercules pulmonaires, foyers infectieux entouré par un tissu de réaction de l'hôte à l'infection . Ces tubercules s'ouvrent et libèrent dans les bronches de grandes quantités de bacilles qui sont rejetés par expectorations et peuvent contaminer d'autres individus .

☼ **Prévention :** Vaccin B.C.G .( bacille de Calmette et Guérin ).

☼ **Traitement :** Streptomycine et autres substances, surtout la Rifampicine à action exceptionnellement puissante .

## 2 –Diphtérie :

- ⊗ **Agent pathogène :** *Corynebacterium diphtheriae* (bacille Gram + ).
- ⊗ **Infection :** Localisation ,au niveau de la gorge ou il forme une fausse membrane fibrineuse riche en germes .Le bacille ne pénètre pas dans les tissus mais secrète une toxine qui détermine des lésions cellulaires locales (nécrose) et des lésions à distance .Action directe sur le cœur ,paralyse du voile du palais et des membres inférieurs .
- ⊗ **Prévention**  
Vaccin .
- ⊗ **Traitement :** Antitoxines associées à certains antibiotiques .

## 3 – Méningite épidémique

- ⊗ **Agent pathogène :***Neisseria meningitidis* (diplocoque Gram -).
- ⊗ **Infection :** Les cocci peuvent végéter dans le nasopharynx de l'homme et dans certaines circonstances ou la résistance de l'organisme est diminuée ,atteindre les méninges du système nerveux ou ils se localisent et se multiplient .
- ⊗ **Traitement :** Sulfamides et certains antibiotiques .

## 4 - Pneumonie .

- ⊗ **Agent pathogène :** *Diplococcus pneumoniae*( *diplocoque Gram*
- ⊗ **Infection :** Poumons, maladie caractérisée par une exsudation emplissant les alvéoles pulmonaires et par une expectoration sanglante .
- Traitement :** Sulfamides mais surtout , un antibiotique la Pénicilline .

## 5- Angine .

- ⊗ **Agent pathogène :** *Streptococcus pyogènes* (streptocoque Gram + ) .
- ⊗ **Infection :** inflammation des muqueuses du pharynx et de la gorge . Apparition dans la gorge de fausses membrane blanches riche en germes .
- ⊗ **Traitement :** Sulfamides et surtout un antibiotique la Pénicilline

## B - TRANSMISSION PAR VOIE DIGESTIVE

### 1 – Typhoïde

- ⊗ **Agent pathogène :** *Salmonella typhi*(*Enterobacteriaceae, Gram<sup>-</sup>*).

☼ **Infection : Origine** ; eau et aliments souillés. Infection ganglionnaire de l'intestin grêle .La destruction des bacilles met en liberté les endotoxines responsables de l'élévation de température, des symptômes digestifs (constipation puis diarrhée ) et nerveux (maux de tête, vertige...).

☼ **Prévention** : Vaccin .

☼ **Traitement** : Chloramphénicol, Ampicilline, Streptomycine .

## 2 – Choléra .

☼ **Agent pathogène** : *Vibrio comma* (bacille en virgule, Gram<sup>-</sup> ).

☼ **Infection** : Origine :eau et aliments souillés. Irritation extrême de la muqueuse intestinale :diarrhée,vomissements et déshydratation intense.

☼ **Traitement** : rétablir d'urgence l'équilibre hydro-électrolytique pour compenser les pertes en eaux et sels .Traiter aussi avec les antibiotiques.

## C -TRANSMISSION PAR CONTACT

### 1 - Tétanos

☼ **Agent pathogène** : *Clostridium tetani* (bacille Gram+).

☼ **Infection** : Souillure de plaie. Le germe n'envahit pas les tissus mais se multiplie localement sur la plaie .Il sécrète une exotoxine qui diffuse jusqu'au système nerveux et provoque une contraction permanente des muscles .

☼ **Prévention** : Vaccin .

### 2 - Furonculose

☼ **Agent pathogène** : *Staphylococcus aureus* ( cocci Gram+).

☼ **Infection** :Provoque l'apparition de furoncles sur la peau ;destruction locale des cellules par une exotoxine et production de pus .

☼ **Traitement** :divers Pénicillines .

**D - TRANSMISSION PAR MORSURES ANIMALES.****1 – Peste**

- ☼ **Agent pathogène :** *Yersinia pestis* (Enterobacteriaceae Gram <sup>-</sup>).
- ☼ **Transmis** à l'homme par l'intermédiaire de la puce, du rat et par morsure du rat.
- ☼ **Infection :** Les germes provoquent l'inflammation des ganglions lymphatiques et peuvent passer dans le sang, jusqu'aux poumons ou ils déterminent une broncho-pneumonie (inflammation des bronches et des poumons).
  
- ☼ **Prévention :** Dératisation, désinfection.
- ☼ **Traitement ;** Streptomycine, tétracycline, sulfamides.

**III - INFECTIONS VIRALES .****A - TRANSMISSION PAR VOIE RESPIRATOIRE .****1 – Grippe :**

- ☼ **Agent pathogène :** *Myxovirus*.
  
- ☼ **Infection :** Se multiplie au niveau du rhino-pharynx .Ils déterminent une inflammation locale des tissus et des signes généraux souvent bénins ; fièvre, frissons,douleurs musculaires et fatigue intense .possibilité de surinfection bactérienne ( Pneumocoques ,Staphylocoques).
  
- ☼ **Prévention :**Vaccins (aléatoire ) .

**2- Variole .**

- ☼ **Agent pathogène :** *Poxvirus* .
  
- ☼ **Infection :** Eruption cutanée ;vésicules pustules et atteinte sévère de l'état général( fièvre, maux de tête, douleurs de la colonne vertébrale et également lésions buccales ) .
  
- ☼ **Prévention :** Vaccins .

**B - TRANSMISSION PAR VOIE DIGESTIVE ET RESPIRATOIRE.****1 – Poliomyélite .**

- ☼ **Agent pathogène ;** *Poliovirus*.
  
- ☼ **Infection :** Multiplication au niveau du rhino-pharynx puis dans la muqueuse intestinale .Le virus passe ensuite dans le sang et progresse jusqu'au système nerveux central. Il se multiplie dans certaines cellules ou il détermine des lésions souvent irréversibles conduisant à une paralysie.
  
- ☼ **Prévention :** Vaccins .

**C - TRANSMISSION PAR MORSURES .****1 – Rage .**

- ☼ **Agent pathogène : *Rhabdovirus* .**
- ☼ **Infection :** Provoque une encéphalite à évolution mortelle .
- ☼ **Symptômes :** fièvre, nausées, vomissements, maux de tête, aérophobie, hydrophobie, crises convulsives .L'homme n'est qu'un hôte accidentel. réservoir de virus ;chien ; chacal : renard : chauve-souris...
- ☼ **Prévention :**Vaccin..

**IV - TOXI-INFECTION DUES A DES MYCOTOXINES .**

Les mycotoxines sont des toxines produites par des champignons inférieurs (*Aspergillus*, *Penicillium* , *Fusarium*.....).Aucune n'a été reconnue responsable des syndromes brutaux assimilables aux toxi-infections bactériennes .Par contre elles peuvent intervenir dans certaines maladies comme le cancer du foie .Ce cancer apparaît plus souvent chez les individus ayant absorbé des aflatoxines produites par *Aspergillus flavus* ( certaines souches se développant dans les arachides stockées, à une température relativement élevée et une humidité convenable .

**UTILISATION DES MICRO-ORGANISMES DANS LES INDUSTRIES****I -- PRODUCTION DE BIOMASSE .**

Elle consiste à préparer par culture dans des fermenteurs ,des masses cellulaires importantes à deux fins .

**1- Alimentation des animaux .**

Les micro-organismes utilisés sont des levures qui doivent être riches en protéines , lesquelles doivent avoir une composition équilibrée en acides aminés, une digestibilité convenable et une absence totale de toxicité .les substrats carbonés employés pour la fermentation sont des substances de déchets ou de faibles prix (mélasses, hydrocarbures ...).

Résultat : source de protéines alimentaires économiquement très intéressantes pour la majorité des pays.

**2– Ensemencement de nouveaux milieux.**

- Production de levures de boulangerie pour la panification.
- Production de Lactobacilles ,Streptocoques ,*Penicillium* ,*Geotrichum* ,pour la fabrication du yaourt, du beurre et des fromages .
- Production de *Rhizobium* destinés à imprégner les graines de légumineuses pour augmenter le rendement des plantes fourragères .

## II – PRODUCTION D’ANTIBIOTIQUES .

Les antibiotiques sont produits dans les industries, dans des fermenteurs à très grandes capacités .Les micro-organismes produisent de nombreux antibiotiques utilisés dans la thérapeutique .Ex :

- Pénicillines, Céphalosporines .....(champignons ) .
- Bacitracine, polymixines.....(bactéries).
- Streptomycine , Néomycine ,Tétracyclines ,Erythromycine , Chloramphénicol ,Rifampicine ,etc. ....( actinomycètes : ***Streptomyces*** ) .

La Production d’antibiotiques dans les industries nécessitent plusieurs travaux préliminaires qui doivent être effectués dans des laboratoires. Ces travaux se déroulent par étapes :

- Isolement et purification des souches .
- Tests d’antagonisme contre des germes pathogènes .
- Sélection des antibiotiques produits .
- Détermination des antibiotiques produits .
- Amélioration de la Production d’antibiotiques par :
  - \*La recherche des meilleures sources de carbone, d’azote, et de sels minéraux .
  - \*La recherche des mutants à rendement plus élevé .
- Dans le cas ou l’antibiotique est nouveau, faire des tests de toxicité en utilisant des animaux de laboratoire, avant de passer à la commercialisation .

## III - PRODUCTION D’ALCOOLS.

- ☼ Fabrication du vin à partir de jus de raisin ,en utilisant des levures (fermentation ) .
- ☼ Fabrication de bière à partir d’orge germé, en utilisant également des levures (fermentation ) .

## IV - PRODUCTION D’ACIDE ACETIQUE .

La production d’acide acétique à partir du vin, pour la fabrication du vinaigre, est réalisée par une bactérie ; ***Acetobacter*** ,dans des conditions strictement aérobies .

## V - PRODUCTION D’ACIDE LACTIQUE.

La production d’acide lactique est réalisée par certains micro-organismes : les ferments lactiques, qui interviennent dans la préparation de nombreux dérivés du lait : yaourt , beurre ,fromages .

- ☼ **Pour la fabrication du yaourt** :On utilise un mélange de ***Streptococcus thermophilus*** et de ***Lactobacillus bulgaricus*** .
- ☼ **Pour la fabrication du beurre** : On utilise ***Streptococcus lactis*** et ***Streptococcus cremoris*** .
- ☼ **Pour la fabrication de fromages** : On utilise divers ferments lactiques mais aussi des champignons ( ***Penicillium*** ,***Geotrichum*** )pour la maturation des fromages .

**VI - PRODUCTIONS DIVERSES .**

- ☼ **Production d'acide citrique** : très utilisé en industrie alimentaire .Sa production est assurée par *Aspergillus niger* .
- ☼ **Production d'acide itaconique** :très utilisé comme matière première de détergents et de matières plastiques ; il est produit par *Aspergillus terreus* .
- ☼ **Production d'acide gluconique** : utilisé en thérapeutique ; produit par certaines espèces d'*Aspergillus* et de *Penicillium*.
  
- ☼ **Production de vitamines** : par certains *Streptomyces* et certaines bactéries.
  
- ☼ **Production de diverses enzymes** : par de nombreux micro-organismes, pour la fabrication de sirops sucrés, utilisation dans les industries textiles, dans la thérapeutique etc. ...