

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

---



**CENTRE UNIVERSITAIRE AHMED ZABANA DE RELIZANE**  
**INSTITUT DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES**  
**DE LA NATURE ET DE LA VIE**

*Département de Biologie*

---

---

***Polycopié de Microbiologie Générale***

***Destiné aux étudiants de la 2<sup>ème</sup> année licence***

***Tronc Commun (LMD) Domaine SNV***

***Elaboré par :***

***M<sup>me</sup> DERMECHE Keltoum***

## *Sommaire*

1. Définition .....	1
2. Historique .....	2
3. Place des microorganismes dans le monde vivant. ....	3
4. Caractéristiques générales de la cellule procaryote.....	4

### *Chapitre II : Classification bactérienne*

1. Principes et méthodes de la taxonomie bactérienne.....	5
1.1. Classification phénétique. ....	5
1.2. Classification génotypique. ....	6
1.2.1. Le GC% (ou coefficient de Chargaff).....	6
1.2.2. Hybridation ADN / ADN.....	6
1.2.3. Etude des ARN ribosomiaux (ARNr). ....	7
1.3. Taxonomie numérique.....	7
1.4. Classification selon le manuel de Bergey .....	7

### *Chapitre III : La cellule bactérienne*

1. Définition .....	9
2. Techniques d'observation de la cellule. ....	9
3. Morphologie cellulaire .....	9
4. Éléments constants et inconstants des bactéries.....	9
5. Forme des cellules bactérienne .....	10
6. Taille.....	10

### *Chapitre IV: Structure des Microorganismes*

1. Paroi. ....	12
a) Composition chimique .....	12
b) Structure moléculaire.....	13
e) Fonctions.....	14

2. Membrane plasmique .....	14
a) structure de la membrane plasmique.....	14
b) Fonctions de la membrane plasmique.....	15
3. Cytoplasme.....	15
4. Chromatophore.....	15
5. Nucléotide .....	16
6. Plasmides.....	17
7. Capsule.....	17
8. Pilli (Fimbriae).....	17
9. Cils et Flagelle.....	18
10. Spore.....	19

***Chapitre V : Nutrition et Croissance bactérienne***

1. Nutrition.....	21
1.1. Besoins élémentaires.....	21
a) L'eau.....	21
b) Source d'énergie.....	21
c) Source de carbone .....	22
d) Source d'azote .....	22
e) Les oligoéléments.....	23
1.2. Types trophiques.....	23
2. Facteurs de croissance.....	23
3. Facteurs environnementaux, physico-chimiques.....	24
a) Température .....	24
b) PH.....	24
c) Pression osmotique.....	25
d) Besoins gazeux.....	25
2. Croissance bactérienne.....	26
2.1. Mesure de la croissance.....	26
a) Mesures directes.....	26
b) Mesure directe du nombre de cellules.....	27
c) Mesure par filtration sur membrane .....	28

2.2. Paramètres de la croissance.....	28
2.3. Courbes de croissance .....	29
3.3. Phénomène de diauxie.....	30
3. Agents antimicrobiens.....	31
2. Mode d'action des agents.....	32

***Chapitre VII : Notions de mycologie et de virologie***

1. Mycologie.....	33
1.1. Définition .....	33
1.2. Caractéristiques .....	33
1.3. Taxonomie.....	33
1.4. Morphologie .....	34
1.5. Ecologie et nutrition .....	35
1.6. Classification.....	35
1.7. Reproduction. ....	36
1.8. Cycle.....	37
2. Virologie.....	38
2.1. Historique .....	38
2.2. Définition .....	38
2.3. Structure spécifique.....	38
2.4. Différents types de virus .....	39

---

---

# *Chapitre I*

---

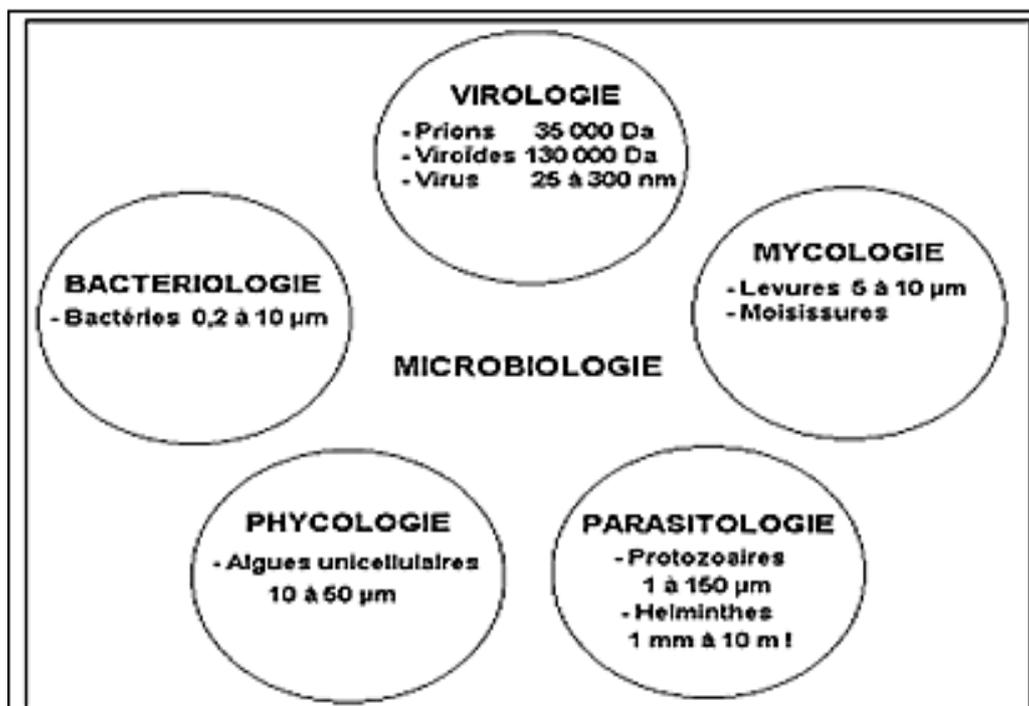
**Chapitre I : Le monde microbien****1. Définition :**

La microbiologie est la science des microorganismes les plus petits des êtres vivants : elle regroupe la Bactériologie et la Virologie.

Les micro-organismes existent sur la terre depuis des milliards d'années, ils constituent un ensemble important et diversifié d'organismes microscopiques existant en tant que cellule seule ou en groupe et fonctionnent en tant que populations ou assemblages d'organismes similaires. Les micro-organismes appelés aussi microbes et protistes, forment un ensemble d'organismes vivants invisibles à l'œil nu. Ils diffèrent et varient par leur morphologie, leur physiologie, leur mode de reproduction et leur écologie.

Le terme de microbe regroupe l'ensemble des micro-organismes capables de se nourrir, de respirer, de se reproduire de façon autonome.

Les protistes se composent (**Fig.1**): des bactéries, des protozoaires, des champignons (Mycètes) microscopique, et des algues. Les virus sont considérés comme des micro-organismes non vivants, acellulaires qui dépendent entièrement des cellules hôtes infectées.

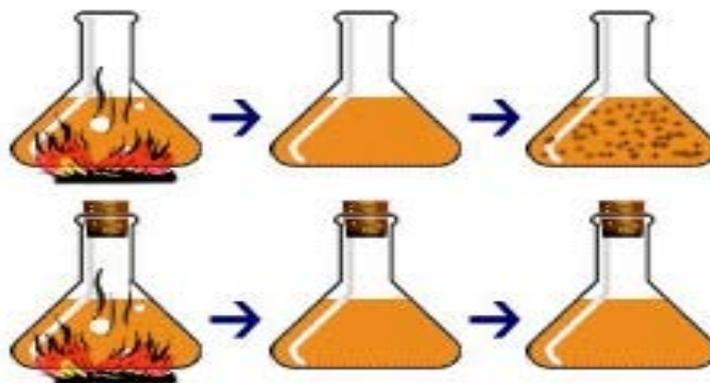


**Figure 1** : Classification biologique contemporaine des organismes vivants

## 2. Historiques :

- **En 1665, Robert Hooke** est le père de la théorie cellulaire (la plus petite unité structurale d'un organisme vivant est la cellule).
- **Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723)**, un hollandais et grand amateur d'instruments d'optique, découvre et décrit pour la première fois, dans une série de lettres à la « *Royal society of London* », entre 1674 et 1687, le monde microbien. Il observe et décrit en 1676 des micro-organismes grâce à un microscope qu'il a lui-même construit. Il emploie le terme « **animalcules** » pour qualifier les diverses formes présentes dans des échantillons.
- **En 1796, Edward Jenner** : Médecin britannique qui découvre vaccin contre la variole. En 1798, Jenner introduit le vaccin contre la variole.
- **1828: Christian Gottfried:** utilise pour la première fois le terme **bactérie**.
- **En 1857, Louis Pasteur (1822-1895)** démontre que la fermentation du sucre en acide lactique est due à un micro-organisme. Le chimiste montre qu'aucun micro-organisme ne se développe dans un ballon fermé et stérilisé contenant de la matière organique et que la génération spontanée n'existe pas (**Fig.2**).

Il affirma la biogenèse, que l'apparition de vie dans une solution non vivante provient de la contamination par des micro-organismes présents dans l'air 'La vie vient d'une vie' et développa les techniques de **pasteurisation** et de **stérilisation**.



**Figure 2: « Expérience de Pasteur »**

- **En 1876, le médecin allemand Robert Koch (1843-1910)** démontre que le charbon est dû à *Bacillus anthracis*. Il cultive des bactéries sur de la gélatine, puis découvre l'agent de la tuberculose (le bacille de Koch : *Mycobacterium tuberculosis*). Les postulats de Koch sont publiés pour la première fois en 1884.

- **En 1884, Hans Christian Gram (1853-1928)** développe une technique de coloration qui est encore aujourd'hui la plus utilisée dans l'étude et la classification des bactéries.
- **En 1912, Paul Ehrlich** découvre le premier traitement efficace contre la syphilis et une méthode de normalisation du sérum contre la diphtérie et le tétanos.
- **En 1928, Frederick Griffith** découvre la transformation bactérienne et établit les fondements de la génétique moléculaire.
- **En 1929, Alexander Fleming** découvre les propriétés antibactériennes de la pénicilline produite par *Penicillium*. L'humanité entre dans l'ère des antibiotiques.
- **En 1952, Zinder et Lederberg** découvrent la transduction généralisée.
- **En 1995, Craig Venter et ses collègues** : Séquençage complet du premier génome bactérien (*Haemophilus influenzae*). La microbiologie entre dans l'ère de la génomique « *microbiologie moléculaire* », dans le domaine des biotechnologies notamment.

### 3. Place des microorganismes dans le monde vivant:

- ✓ **Carl van Linné** (1735), le botaniste suédois, élaborera une première classification des organismes vivants en deux règnes *Plantae et Animalia*.
- ✓ **Karl van Nägeli** (1857), proposa de classer les bactéries et les champignons dans le règne des Plantes.
- ✓ **E. Haeckel** (1866), divise le monde vivant en trois règnes, **le règne animal, le règne végétal et le règne des protistes** qui rassemble les algues, les protozoaires, les champignons et les bactéries.
- ✓ **Edward Chatton** (1937), mis en opposition deux types de cellules, la cellule eucaryote (noyau est entouré d'une membrane et qui renferme des d'organites cellulaires) et la cellule procaryote (noyau sans membrane et dont l'organisation est très simple).
- ✓ **R.G.E. Murray** (1968), dans la continuité du travail **d'E. Chatton**, divise le monde vivant en deux règnes, celui des "*Eucaryotae*" et celui des "*Procaryotae*" (ou "*Monera*").
- ✓ **Robert H. Whittaker** (1969), décrit une classification à cinq règnes. Quatre règnes eucaryotes (**Animal, Végétal, Champignons et Protistes**). Les procaryotes se regroupent dans le règne des **monères**.
- ✓ **Carl WOESE** (1979), il est arrivé à diviser les organismes vivants en **trois domaines**. Le domaine des *Bacteria* ou *Eubacteria*, le domaine des *Archaea* et le domaine des *Eucarya* (animaux, plantes, les mycètes et les protistes).

#### 4. Caractéristiques générales de la cellule procaryotes et eucaryotes

Le progrès de la microscopie électronique a permis de distinguer les cellules eucaryotes des cellules procaryotes (protistes inférieurs).

Ces dernières se caractérisent par l'absence d'un vrai noyau et la présence d'un appareil nucléaire diffus dans le cytoplasme de la cellule dite haploïde.

Le tableau 1 résume les différences existant entre les cellules eucaryotes et procaryotes.

**Tableau 1** : Principaux caractères distinctifs des procaryotes et eucaryotes

	Procaryotes	Eucaryotes
<b>Représentants</b>	bactéries, archées	protistes, champignons, plantes, animaux
<b>Taille typique</b>	~ 1-10 $\mu\text{m}$	~ 10-100 $\mu\text{m}$
<b>Type de noyau</b>	nucléoïde; pas de véritable noyau	vrai noyau avec une enveloppe
<b>ADN</b>	circulaire (chromosome), avec des protéines HU pour eubactéries	molécules linéaires (chromosomes) avec des protéines <i>histone</i>
<b>ARN/synthèse des protéines</b>	couplé au cytoplasme	synthèse d'ARN dans le noyau synthèse de protéines dans le cytoplasme
<b>Structure cytoplasmique</b>	très peu de structures	très structuré par des membranes intracellulaires et un cytosquelette
<b>Mouvement de la cellule</b>	flagelle fait de flagelline	flagelle et cils fait de tubuline
<b>Métabolisme</b>	anaérobie ou aérobie	généralement aérobie
<b>Mitochondries</b>	aucune	de une à plusieurs douzaines
<b>Chloroplastes</b>	aucun	dans les algues et les plantes chlorophylliennes
<b>Organisation</b>	généralement des cellules isolées	cellules isolées, colonies, organismes complexes avec des cellules spécialisées
<b>Division de la cellule</b>	division simple	Mitose (multiplication conforme de la cellule) Méiose (formation de gamètes)

---

---

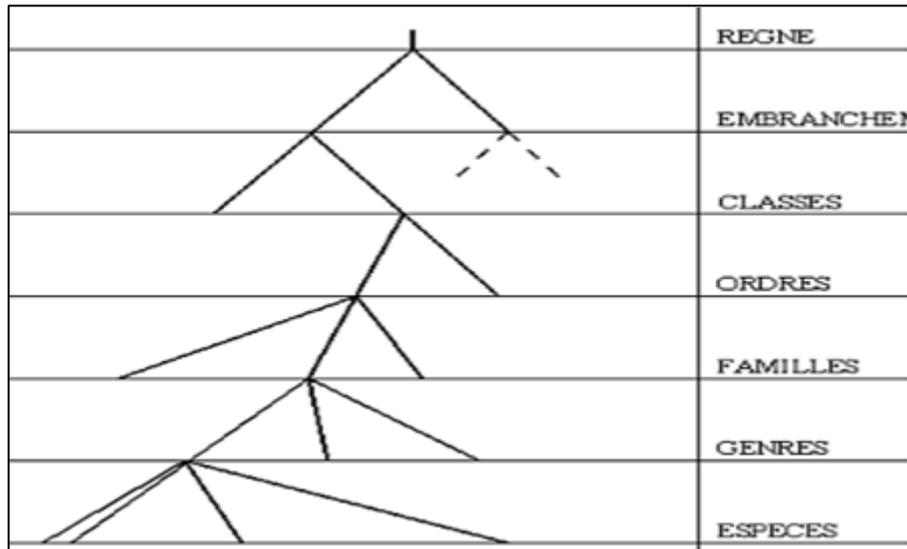
# *Chapitre II*

---

## Chapitre II : Classification bactérienne

La systématique a pour but de classer les êtres vivants de manière rationnelle en se basant sur les ressemblances et sur les relations qui existent entre eux. Elle repose sur deux disciplines, la taxonomie (ou taxinomie) et la nomenclature :

- La taxonomie est la science qui permet de classer les organismes en taxons ;
- la nomenclature est l'ensemble des règles utilisées pour donner un nom à chaque taxon (Fig.3).



**Figure 3** : les différents rangs et catégories taxonomiques des espèces.

### 1. Principes et méthodes de la taxonomie bactérienne

#### 1.1. Classification phénotypique

De nombreuses manipulations au laboratoire mettent en évidence les différences phénotypiques entre les bactéries :

- aspect macroscopique des colonies ;
- morphologie et structure de la cellule : morphovars (forme, Gram, flagelle, capsule, spore...)
- conditions de culture (type trophique, type respiratoire, température optimale, pH optimal, concentration en dioxygène, exigences nutritionnelles particulières...)
- caractères biochimiques : biovar ou biotype (ONPG, mannitol, indole, TDA...)
- Sérotypie : Sérovar (antigènes O et H des entérobactéries, antigènes des streptocoques...)
- Lysotypie : lysovar (sensibilité aux phages)
- Antibiotypie (sensibilité aux antibiotiques).

Dans cette classification, les caractères phénotypiques utilisés sont peu nombreux (une centaine au maximum) par rapport au nombre de gènes habituellement présents chez les bactéries (5 000 environ). De plus, ces caractères sont hiérarchisés les uns par rapport aux d'autres.

## 1.2. Classification génotypique

Les progrès de la biologie moléculaire ont permis de comparer les bactéries entre elles d'une manière plus rigoureuse. La classification est obtenue par la comparaison molécules d'ADN des bactéries.

### 1.2.1. Le GC% (ou coefficient de Chargaff)

Chaque base azotée est présente dans une certaine concentration molaire dans une molécule d'ADN donnée. Cette molécule d'ADN peut être caractérisée par le rapport molaire des bases :

$$\text{GC\%} = \frac{[\text{G}] + [\text{C}]}{[\text{G}] + [\text{C}] + [\text{A}] + [\text{T}]} \times 100$$

Ce rapport est mesurable grâce à une caractéristique particulière de l'ADN bicaténaire, l'hypochromicité.

Le GC% ne peut être qu'un critère d'exclusion : il permet seulement d'affirmer que deux individus sont éloignés du point de vue génétique. Il permet, par exemple, d'affirmer que deux souches n'appartiennent pas au même genre. Ainsi, l'espèce *Proteus morganii*, dont le GC% est égal à 50 %, est devenue *Morganella morganii*, car les autres bactéries du genre *Proteus* ont un GC% compris entre 38 et 42 %.

### 1.2.2. Hybridation ADN / ADN :

Cette méthode permet la comparaison de la totalité du génome de deux bactéries par la mesure du degré d'homologie des deux ADN. Les différentes techniques reposent sur le même principe : la renaturation in vitro de deux brins d'ADN hétérologues (chaque brin provenant de deux bactéries comparées) conduit à la formation d'un hétéro duplex. Le degré d'homologie est le pourcentage de séquences complémentaires par rapport aux séquences totales.

### 1.2.3. Etude des ARN ribosomaux (ARNr) :

Les ARNr s'associent à des protéines pour former les ribosomes. La sous-unité 30S d'un ribosome contient de l'ARNr 16S et la sous-unité 50S contient de l'ARNr 5S et de l'ARNr 23S. L'ARNr 5S est formé d'environ 120 nucléotides, l'ARNr 16S de 1 500 nucléotides et l'ARNr 23S comprend environ 2900 nucléotides. Le plus utilisé pour les études taxonomiques est l'ARNr 16S.

### 1.3. Taxonomie numérique :

En 1763, le botaniste français Adanson proposait une méthode de classification qui tenait compte de l'ensemble des caractères d'un organisme, chaque caractère ayant la même « valeur » (le même « poids »).

En 1957, Sneath applique une méthode similaire aux bactéries et développe une taxonomie qualifiée de numérique ou d'adansonienne.

La méthode consiste à étudier, pour chaque souche, plus d'une centaine de caractères morphologiques, biochimiques, culturels, structuraux... et à attribuer le même poids à chacun des caractères qui sont codés 1 (présence du caractère) ou 0 (absence du caractère). Le but recherché est de rassembler dans une classe de similitude les individus les plus semblables.

### 1.4. Classification selon le manuel de Bergey

Afin de classer les bactéries dans des familles attribuables, David Hendricks Bergey a publié en 1923 le premier *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* qui se basait sur les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles des bactéries.

Le manuel de Bergey de la bactériologie systématique est la norme de référence de la classification bactérienne.

Le tableau 2 présente les méthodes et les critères utilisées pour classer et / ou identifier des bactéries.

**Tableau 2 :** Méthodes et critères utilisés pour classer et/ou identifier les bactéries selon Bergey

Méthode ou critère	Classification	Identification
Caractéristiques morphologiques	Non ( <i>Oui pour Cyanobactérie</i> )	Oui
Coloration différentielle	Oui ( <i>paroi cellulaire</i> )	Oui
Tests biochimiques	Non	Oui
sérologie	Non	Oui
Typage bactériophage	Non	Oui
Profils d'acides gras	Non	Oui
Cytométrie en flux	Non	Oui
Composition en bases d'ADN	Oui	Non
Empreintes génétiques d'ADN	Non	Oui
Séquences d'ARNr	Oui	Non
PCR	Oui	Oui
<b>Hybridation d'acides nucléiques</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b> <i>(sondes d'ADN puces à ADN)</i>

A decorative frame consisting of multiple black lines. A thick horizontal line is at the top. Below it, a thin horizontal line is followed by a thin vertical line on the left and right. Then another thin horizontal line, followed by another thin vertical line on the left and right. The text is centered within this frame.

# *Chapitre III*

## Chapitre III: La cellule bactérienne

### 1. Définition :

Les bactéries sont des êtres unicellulaires (procaryotes) de petites tailles, de morphologie variable qui présente des caractéristiques propres. Ce sont des micro-organismes que l'on rencontre pratiquement partout. Leur présence est souvent manifeste : les blessures s'infectent, le lait s'acidifie, la viande se putréfie, mais, on ne peut les voir qu'au microscope et se divisent en eubactéries et en archaebactéries.

### 2. Technique d'observation de la cellule bactérienne :

Diverses techniques existent pour visualiser les bactéries au microscope optique, électronique ou autres microscopes (microscope à fluorescence, confocale) sans coloration (état frais) ou après coloration. Les frottis sont observés à l'immersion avec une goutte d'huile spéciale entre l'objectif et la préparation, cela permet d'obtenir une image plus nette.

### 3. Morphologie et Structure cellulaire :

Les bactéries sont des microorganismes que l'on rencontre pratiquement partout. Elles sont parmi les plus petites formes organisées de vie, unicellulaires de type procaryote de formes variées.

### 4. Eléments constants et inconstants de la structure bactérienne

Certaines structures sont présentes chez toutes les bactéries, ce sont les éléments « constants » ; d'autres sont retrouvés seulement chez certaines bactéries : ce sont les éléments « inconstants » ou « facultatifs » (**Fig.4**) (tableau 3).

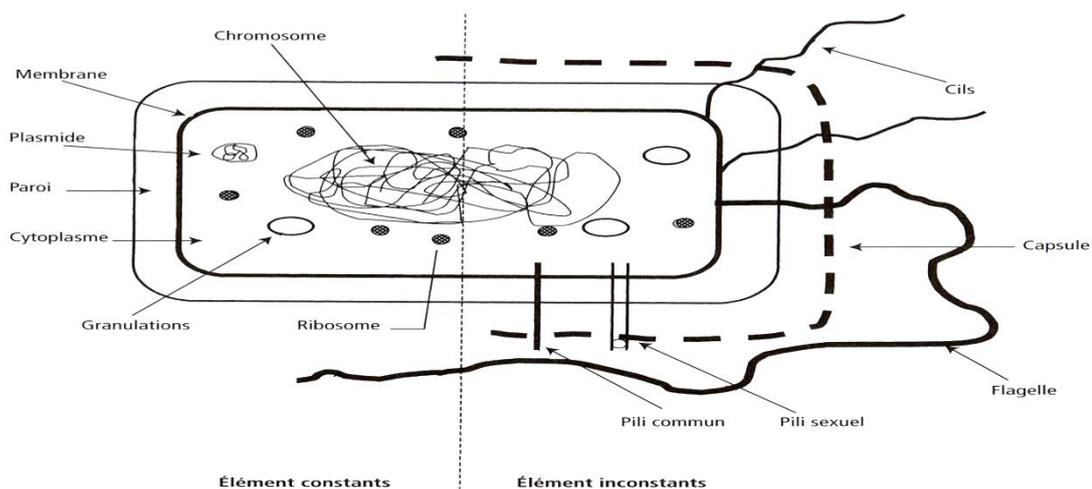


Figure 4 : Structure d'une bactérie

**Tableau 3** : Eléments constants et non constants des bactéries

Eléments CONSTANTS	Eléments FACULTATIFS
<b>Paroi</b> (Gram <sup>+</sup> : PG ; Gram <sup>-</sup> : mbr ext + PG)	<b>Capsule</b>
<b>Membrane plasmique</b>	<b>Mésosome (rôle incertain)</b>
<b>cytoplasme</b>	<b>Plasmide</b>
<b>Périplasma (espace périplasmique)</b>	<b>Vacuole à gaz (bactéries aquatiques)</b>
<b>Ribosomes</b>	<b>Inclusions de réserves</b>
<b>Polysomes</b>	<b>Pili = fimbriae</b>
<b>Appareil nucléaire : chromosome unique</b>	<b>Flagelles</b>
	<b>Chromatophore (bactéries photosynthétiques)</b>
	<b>Endospore (bactéries sporulant)</b>

### 5. Formes des cellules bactériennes :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires de formes variées.

- bactéries de forme arrondies ou cocci, isolées, en chaînette, en amas (nombre variable de cellules) : Staphylocoques, Streptocoques ...
- bactéries de forme allongée ou bacilles isolés, en chaînette ou amas, de longueur et diamètre variables : *E.coli*, *Salmonella*, *Bacillus* etc...
- bactéries de forme spiralée spirilles, spirochètes comme *Treponema*.
- un groupe particulier de bactéries de forme filamenteuse se rapprochant des moisissures : les Actinomycètes.

### 6. Taille :

Les bactéries les plus petites ont une taille d'environ 0,2 µm (Chlamydia) et les plus longues certains Spirochètes peuvent atteindre 250µm de long. En moyenne la taille se situe entre 1 et 10 µm.

Une espèce bactérienne peut apparaître sous forme de cellules isolées séparées ou en groupements caractéristiques variables selon les espèces (**Fig.5**) : association par paires, en amas réguliers, en chaînette, par quatre (tétrades) etc...

Cependant, il faut savoir que les groupements ne sont caractéristiques qu'au sortir de l'habitat naturel de la bactérie; exemples :

- Les Staphylocoques isolés d'un pus présentent des groupements caractéristiques en « grappe de raisin ».
- Les Streptocoques isolés d'un lait forment des chaînettes.

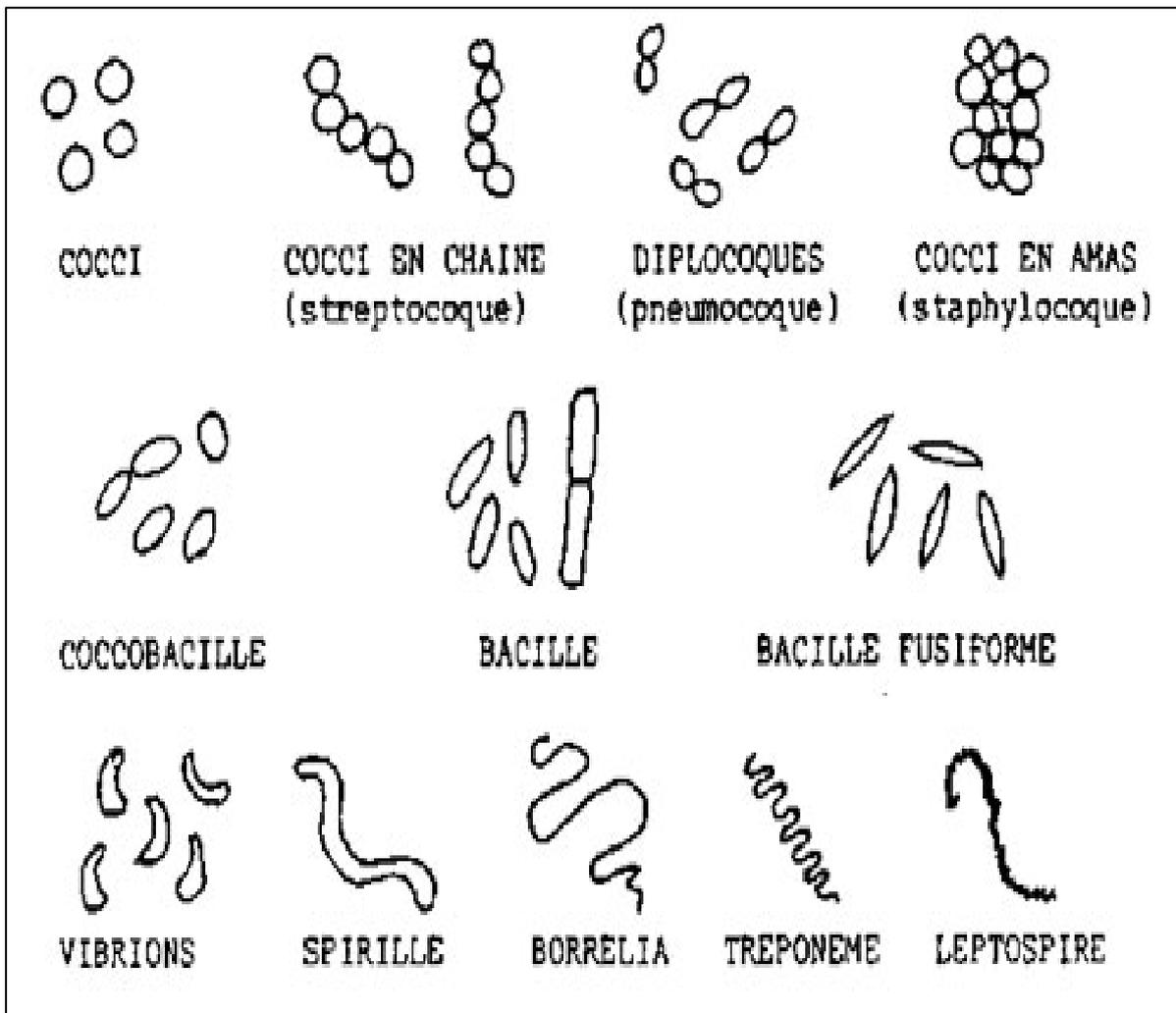


Figure 5 : Forme et taille des bactéries

A decorative frame consisting of multiple parallel lines forming a rectangular border around the chapter title. The frame is composed of several thin black lines, with a thicker line at the top and bottom, and thinner lines on the sides.

# *Chapitre IV*

## Chapitre IV: Structure des micro-organismes

## 1. La Paroi

C'est une enveloppe rigide assurant l'intégrité de la bactérie, donc responsable de la forme des cellules. Elle protège des variations de pression osmotique (5-20 atmosphères). Elle est absente chez les Mollicutes (*Mycoplasma*). En dehors des bactéries halophiles et thermophiles, la partie commune à toutes les parois bactériennes est le peptidoglycane (ou muréine), enveloppe la plus interne.

## a) Composition chimique :

Principaux constituants chimiques présents dans la paroi des bactéries Gram positives et Gram négatives :

- **Peptidoglycane** (ou muréine, mucocomplexe, mucopeptide), Il est formé d'une partie glucidique (polysaccharide) et d'une partie peptidique (**Fig. 6**).
- **Osamines** : (NAG) N-acétyl glucosamine, spécifique des parois bactériennes, et (NAM) Acide N-acétyl muramique, (NAG) et (NAM) sont liés par des liaisons osidiques  $\beta$  (1-4). Cette liaison peut être hydrolysée par le lysozyme (**Fig. 7**).

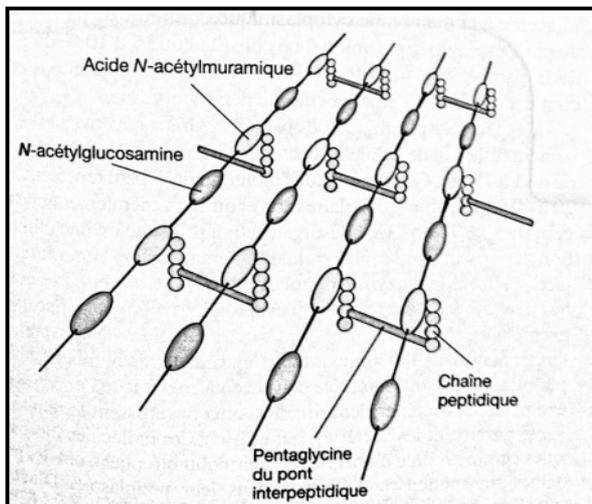


Figure 6 : Dessin du peptidoglycane

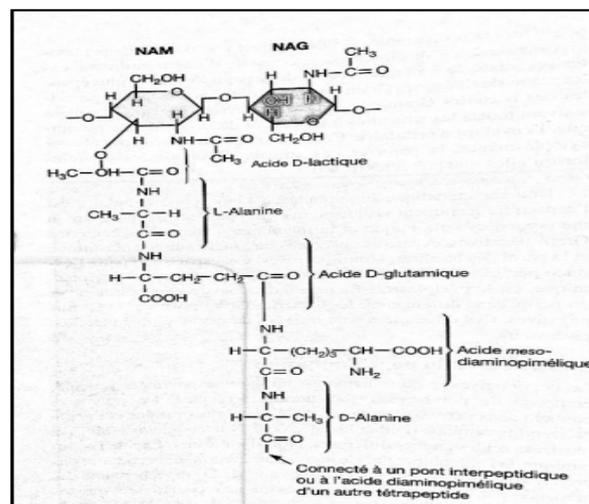


Figure 7 : Composition des sous unités du peptidoglycane

La chaîne polysaccharidique: faite d'une alternance de molécules de N-acétylglucosamine (NAG) et d'acide N acétylmuramique (NAM).

Le tableau 6 présente les Principaux constituants chimiques de la paroi des bactéries.

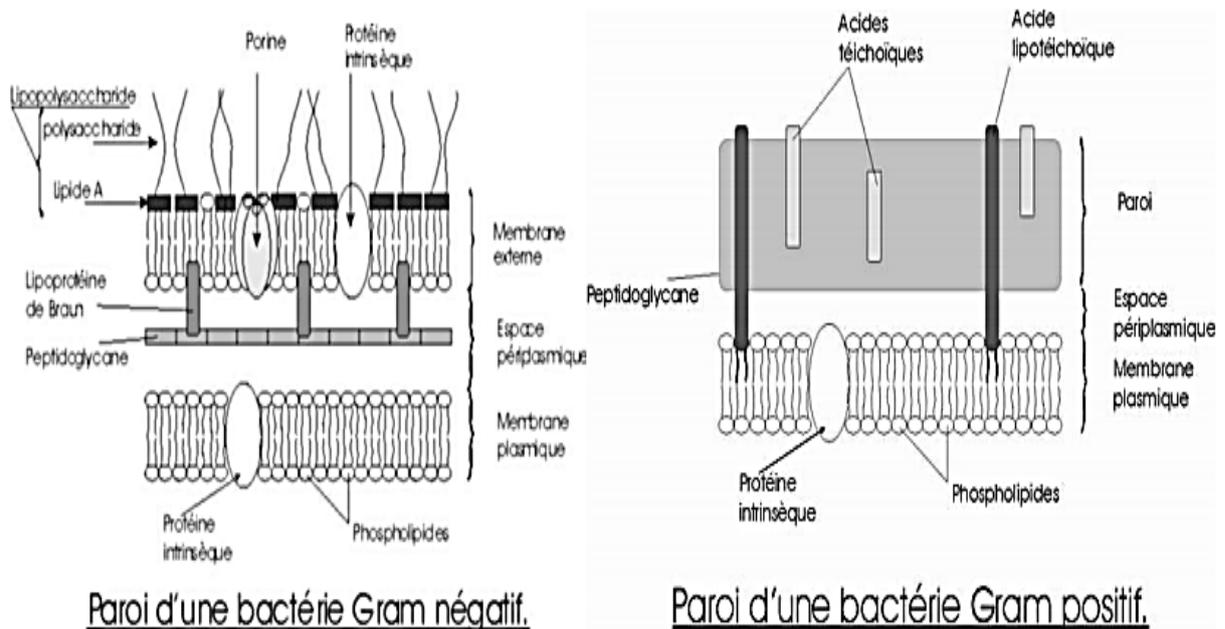
**Tableau 4 :** Principaux constituants chimiques présents dans la paroi des bactéries Gram positif et Gram négatif :

Paroi des bactéries Gram (+)	Paroi des bactéries Gram (-)
<b>Osamines : N-acétyl glucosamine (NAG) et Acide N-acétyl muramique (ANAM)</b>	
<b>Acides teïchoïques et lipoteïchoïques (polymères de polyribitol phosphate ou polyglycérol phosphate)</b>	<b>Pas d'acides teïchoïques ni lipoteïchoïques</b>
<b>Acides aminés dont 4 majeurs : Ala (D et L) D-Glu, L-Lys, acide diaminopomélique (DAP)</b>	<b>Mêmes acides aminés (moins de L-Lys et de DAP)</b>
<b>Peu de lipides (1 à 2 %)</b>	<b>Lipides en grande quantité (10 à 20 % dans la membrane externe).</b>

**b) Structure moléculaire de la paroi des Gram négatives et positives**

Le peptidoglycane, composé commun dans les parois des bactéries Gram (+) et (-) (**Fig.8**), est composé de motifs glucidiques et peptidiques qui sont de longues chaînes répétitives montrant une alternance NAG ~ NAM. La membrane externe de la paroi des bactéries Gram négatives est liée à la couche de peptidoglycane par la lipoprotéine de Braun.

Elle est formée d'une bicouche dont seule la partie inférieure est phospholipidique. La partie supérieure est constituée de lipopolysaccharide (LPS).



**Figure 8 :** Structure des bactéries Gram+ et Gram-

**c) Fonction :**

C'est une barrière (active chez les G- pour les transports). Le peptidoglycane assure la forme cellulaire.

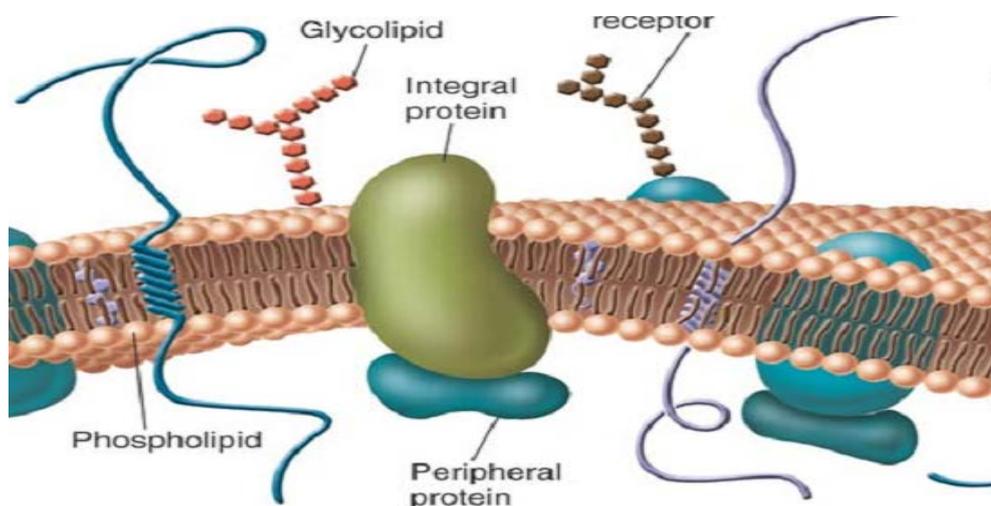
- ✓ Contre les chocs osmotiques
- ✓ Responsable de l'intégrité structurale et de la forme des bactéries
- ✓ Élément essentiel de l'identification
- ✓ L'origine de la formation du septum de division cellulaire des bactéries
- ✓ Rôle significatif dans la répartition du matériel génétique aux deux cellules filles.

**2. La membrane plasmique**

C'est une structure interne à l'interface entre le cytoplasme et les structures externes. La membrane cytoplasmique ne possède pas de stérols (différent des eucaryotes).

**a) Structure de la membrane plasmique**

Elle est constituée d'une double couche de phospholipides (35 %) et de protéines qui lui sont associées (65%). Certaines de ces protéines jouent un rôle dans la synthèse du peptidoglycane et sont appelées protéines de liaison aux pénicillines (PLP) ou penicillin-binding-proteins (PBP) car elles sont également la cible d'action des bêta-lactamines, famille d'antibiotiques à laquelle appartient la pénicilline. La membrane cytoplasmique (**Fig.9**) des bactéries se distingue de celle des cellules eucaryotes par l'absence de stérols. Elle est caractérisée par son extrême fluidité qui est liée au déplacement et à la rotation des groupements lipidiques.



**Figure 9** : structure de la membrane plasmique d'une cellule bactérienne

**b) Fonctions de la membrane plasmique**

La membrane a un rôle métabolique majeur: on y trouve la plupart des activités associées aux mitochondries dans la cellule supérieure :

- Perméabilité sélective et transport des substances solubles vers l'intérieur de la bactérie ; rôle de barrière osmotique et de transport grâce aux perméases.
- Fonction respiratoire par transport d'électrons et de phosphorylation oxydative pour les bactéries aérobies.
- Excrétion d'enzymes hydrolytiques.

Les flagelles bactériens y sont fixés. C'est là que se génère leur mouvement tournant. Elle est détruite par certains antibiotiques (polypeptides, antiseptiques).

**3. Le cytoplasme :**

Délimité par la membrane cytoplasmique. C'est un sorte de gel à pH neutre contenant de l'eau et :

- Des ribosomes: qui interviennent dans la synthèse des protéines. Sont associés en chapelets sur l'ARNm sous forme de polysomes.
- Des substances de réserve = inclusions cytoplasmiques : en général, chaque groupe de bactéries synthétise une seule catégorie de substances de réserve qui forment des agrégats, parfois de grande taille.
- Cela peut être des glucides (amidon et glycogène), des lipides (poly-hydroxy-butyrates), du polyphosphate, et parfois des minéraux (fer, soufre).
- Des organites spécialisés : On trouve des chromatophores (organites spécialisés dans la photosynthèse), des vacuoles à gaz (permettant aux bactéries aquatiques de flotter à la surface de l'eau).

**4. Chromatophore :**

C'est un organite spécialisé dans la photosynthèse, contient des pigments appelés: bactériochlorophyles. Bactéries pourpre: entourés d'une membrane en relation avec la membrane plasmique. Sous forme tubulaire, visculaire ou en amas. Bactéries vertes: avec une membrane indépendante de la mbp. De forme de vésicule ou en cigare de 100 à 150nm de longueur.

## 5. Nucléotide

C'est la région du cytoplasme qui contient le génome bactérien. Celui-ci possède une ou plusieurs molécules d'ADN doubles-brins ; on peut trouver en plus du chromosome, un ou plusieurs plasmides. Ils assurent des fonctions diverses et leur réplication est autonome. Le chromosome est une molécule circulaire mais dans certaines bactéries, il est linéaire.

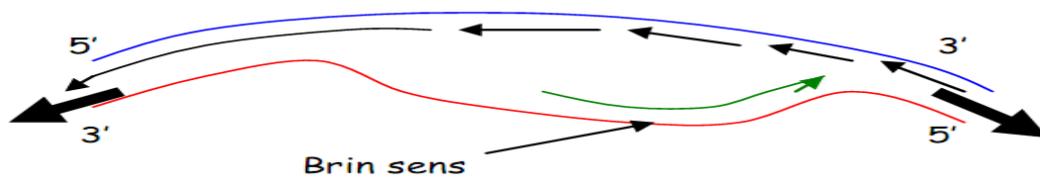
### ➤ Rôle.

C'est le support de l'hérédité. Ce nucléotide permet de lire le génome, de le transcrire en ADN (afin de synthétiser des protéines). Il subit aussi la réplication pour assurer la descendance.

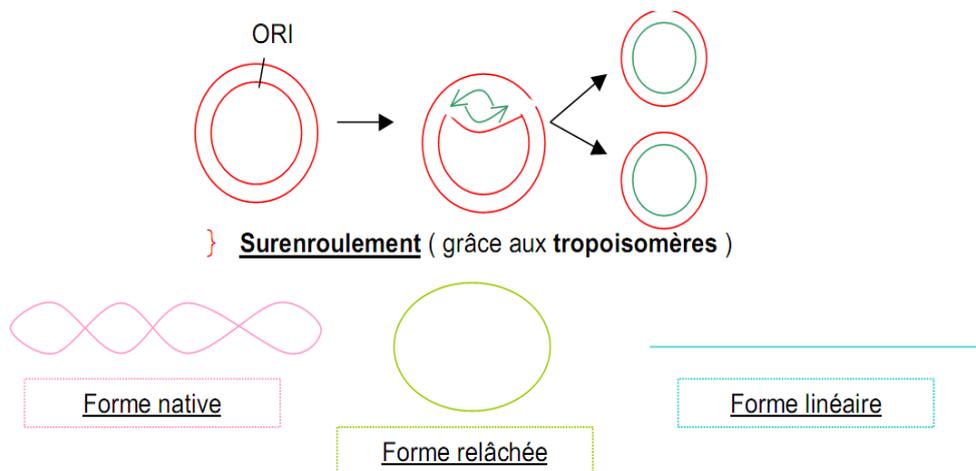
### ➤ Biosynthèse de nucléotides.

La réplication est la synthèse d'un nouveau génome : c'est un mécanisme semi-conservateur et bidirectionnel (**Fig.10**).

Il apparaît une fourche de réplication grâce à une DNA-polymérase. Il y a phosphodiesterification entre l'amorce d'ADN et ce qui est lu dans le sens 3' → 5'.



Quand il y a réplication dans le même sens que celui de l'ouverture de la fourche de réplication c'est le brin sens. Les fragments synthétisés sur le brin anti-sens sont reliés par une ADN-ligase. Les deux brins sont synthétisés en même temps dans les deux sens.

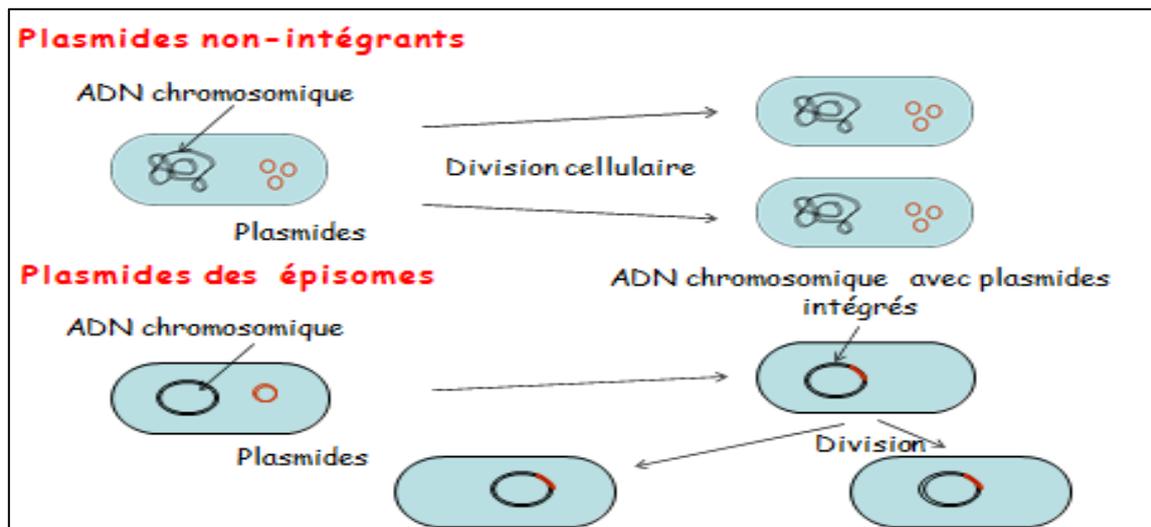


**Figure 10** : Mécanisme de réplication : bidirectionnel

## 6. Les Plasmides

La cellule bactérienne peut contenir des éléments génétiques extra chromosomiques, capables d'autoréplication. Découverts par Lederberg en 1952 (facteur F), puis le facteur R en 1959 (facteur de résistance aux antibiotiques), les plasmides occupent depuis une importance clinique et microbiologique importante.

Certaines bactéries possèdent plusieurs plasmides différents (**Fig11**). Les plasmides permettent à la bactérie une meilleure adaptation à son environnement.



**Figure 11** : Différents plasmides

## 7. Capsule

Ce constituant inconstant est le plus superficiel. Sa mise en évidence s'effectue par coloration négative (le colorant, encre de Chine est repoussé par la capsule et apparaît en clair sur fond noir). Constitué de polysaccharides acides (sucres sous forme d'acides uroniques tel l'acide galacturonique, l'acide glucuronique, mais aussi sous forme de sucres phosphorés), ce composant est lié à certains pouvoirs pathogènes, car il empêche la phagocytose. La capsule de *Bacillus anthracis* est constituée d'un polypeptide d'acide D-glutamique.

## 8. Pili ou fimbriae

Chez les bactéries à Gram négatif (exceptionnellement à Gram positif) peuvent exister des structures fibrillaire et rigide situées à la surface, plus fines que des flagelles : les pili ou fimbriae. Il s'agit de la polymérisation d'une sous-unité polypeptidique (piline) assemblée à des polypeptides mineurs comme l'adhésine.

## 9. Cils et flagelles

Les cils et les flagelles : Les bactéries mobiles se déplacent soit par glissement (cyanobactéries), soit par rotation autour d'un axe central (spirochètes), soit au moyen de cils ou de flagelles. Ce sont des organes locomoteurs spécialisés. Ils sont très rares chez les coques.

### a) Structure

Ils mesurent en moyenne 16 à 20  $\mu\text{m}$  (beaucoup plus que la bactérie) et sont très fins (300 Å d'épaisseur). Ils sont fixés à la bactérie par insertion dans la membrane cytoplasmique. Il existe différents modes d'insertion des flagelles, selon le nombre et la position de ceux-ci – (Fig .12) :

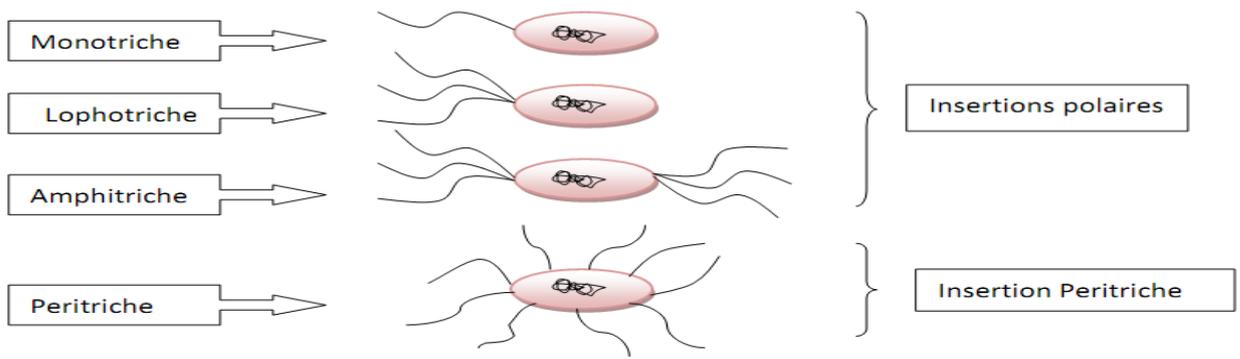


Figure 12 : Types flagellaires et modes d'insertion

### b) Architecture moléculaire :

Le flagelle bactérien est constitué de 3 parties : Le filament hélicoïdal, Le crochet, Le corpuscule basal (Fig.13).

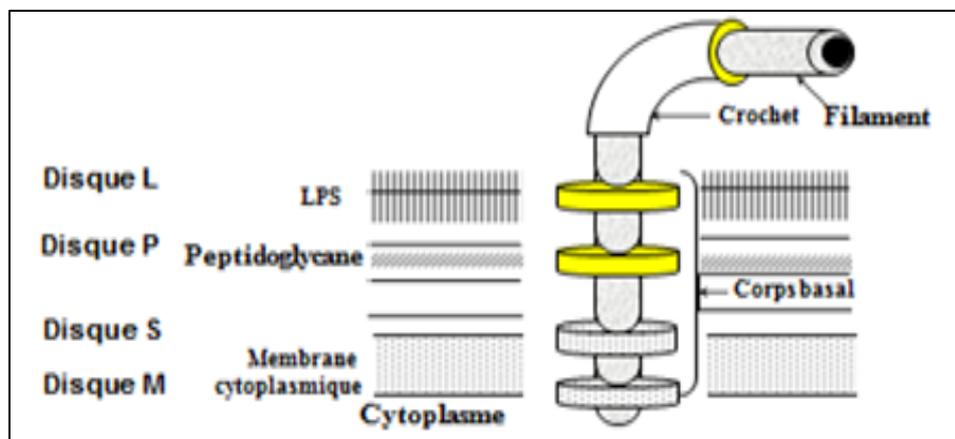


Figure 13 : Structure du corps basal du flagelle

**c) Fonctions du flagelle**

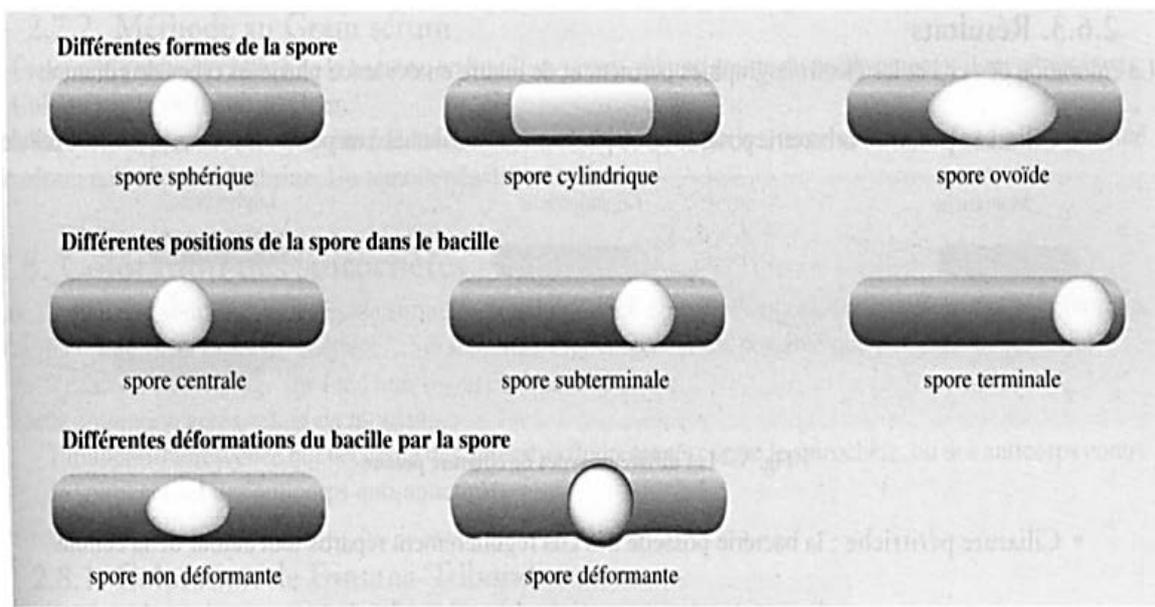
- **La locomotion :** Mises en évidence sur des milieux semi-gélosés (diffusion dans la gélose) ou sur milieu solide (envahissement de la surface de la boîte. Ex : Proteus).
- **Rôle antigénique :** Les antigènes flagellaires (Ag H) déterminent différents sérotypes (exemple : sérotypage des Salmonella). En présence de l'anticorps correspondant à leur Ag H, les bactéries agglutinent et les bactéries s'immobilisent. La spécificité antigénique repose sur le nombre et la séquence des acides aminés de la flagelline.
- **Fixation des bactériophages :** Les flagelles sont le lieu de fixation de certains bactériophages.

**10. Spore**

Ce sont des structures de résistance formées par certaines bactéries lorsque les conditions deviennent défavorables. Elle permet aux bactéries sporulantes de survivre dans des conditions difficiles et extrêmes de l'environnement. Les genres bactériens les plus connues qui forment des endospores sont Bacillus, Clostridium, Sporosarcina. Ce sont toutes des bactéries Gram (+). D'autres genres sont capables également de sporuler.

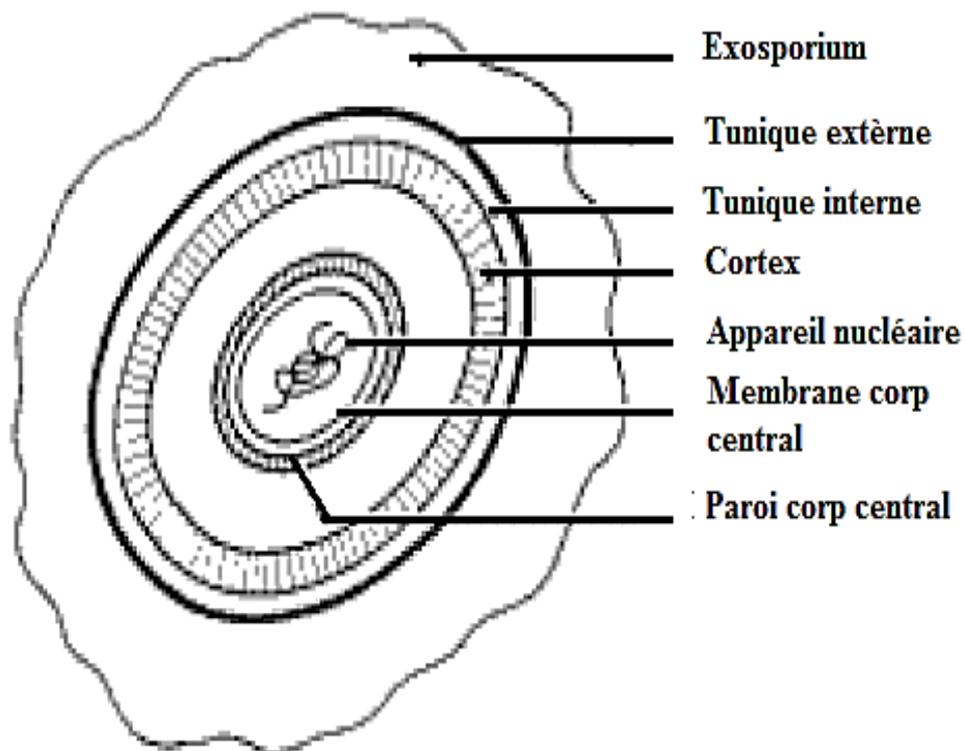
**a) Morphologie**

Les spores sont de petites unités ovales ou sphériques. Elles peuvent déformer ou non le corps bactérien. Leur position dans la cellule est variable : centrale, terminale, subterminale. Elles servent également dans l'identification bactérienne (**Fig.14**).

**Figure 14 : Différents spore**

**b) Structure :**

La spore (**Fig.15**) possède une paroi et une membrane plasmique identiques à celle de la cellule végétative. L'enveloppe la plus externe est mince, appelée exosporium. Sous l'exosporium on trouve le manteau ou la tunique, composée de plusieurs feuillets protéiques. Le cortex est localisé juste sous la tunique. Enfin le protoplaste (cytoplasme) ou cœur de la spore, contient les ribosomes, le nucleoïde et des enzymes inactives.



**Figure 15 :** Structure d'un endospore

---

---

# *Chapitre V*

---

## Chapitre V: Nutrition et croissance microbienne

### 1. Nutrition

Une bactérie peut avoir un métabolisme intense qui se traduit par une augmentation de la taille, mais, surtout du nombre des cellules. Cet état est dit végétatif. Dans certaines conditions, la bactérie ralentit son métabolisme et ne se divise plus. C'est l'état de repos. Dans les deux états, la bactérie a des besoins nutritifs (pour se diviser ou juste se maintenir en vie). Selon la nature de ces besoins, on définit des bactéries prototrophes et des bactéries auxotrophes.

Les bactéries prototrophes ont des besoins élémentaires (Eau-source d'énergie-source de carbone et d'azote – macro et micronutriments). Les bactéries auxotrophes nécessitent en plus des besoins élémentaires, des facteurs de croissances. Les facteurs environnementaux sont également très importants pour la croissance, le pH, la température, la pression osmotique, la présence ou non d'oxygène.

#### 1.1. Besoins élémentaires.

##### a) L'eau

L'eau représente 70% du poids cellulaire total chez *Escherichia coli*. Elle solubilise les nutriments, elle joue un rôle important dans leur transport et ceci dans les deux sens. C'est le solvant de la vie, où se déroulent toutes les réactions métaboliques (catabolisme plus anabolisme). Un paramètre appelé « **activity of water** », **aw**, ou **activité de l'eau**) quantifie la disponibilité de l'eau libre, non associée aux nutriments. Elle varie de 0 à 1.

Certains germes ne se développent que pour une valeur de l'Aw supérieure à 0,97. A l'opposé, les bactéries halophiles qui nécessitent la présence de sel (NaCl, 1 à 15%) l'*aw* est de l'ordre de 0.75.

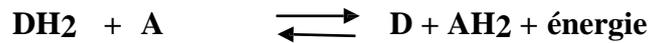
##### b) Source d'énergie

Sur la base de la source d'énergie, on distingue les bactéries chimiotrophes et les bactéries phototrophes.

**Les bactéries chimiotrophes** puisent leurs énergies des réactions chimiques d'oxydoréduction. Si les composés (donneurs d'électrons) sont inorganiques comme H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, Fe<sup>2+</sup> ou NH<sub>3</sub> ..., les bactéries sont dites chimiolithotrophes.

Si le donneur d'électron est organique, elles sont dites chimioorganotrophes.

La réaction type peut se résumer comme suit : D = donneur électrons ; A=accepteur d'électron.



**Les bactéries phototrophes** puisent leur énergie de la lumière. Si la source d'électrons est minérale, les bactéries sont dites **photolithotrophes**, si la source d'électrons est organique, les bactéries sont dites **photoorganotrophes**.

### c) Source de carbone

Le carbone est l'élément constitutif le plus abondant chez les bactéries. Si la source est le dioxyde de carbone (**CO<sub>2</sub>**) les bactéries sont dites autotrophes, c'est le cas des bactéries phototrophes et la plupart des bactéries chimiolithotrophes.

Si la source de carbone assimilable est un substrat organique, ces bactéries sont qualifiées d'hétérotrophes. Les bactéries hétérotrophes peuvent dégrader de nombreuses substances hydrocarbonées : alcools, acides organiques, sucres ou polyholosides.

Les **photoautotrophes** sont photosynthétiques. On peut citer les cyanobactéries, les bactéries vertes, les bactéries pourpres non sulfureuses.

**La photosynthèse bactérienne** est différente de celle des végétaux supérieurs. Elle ne conduit jamais à la libération d'oxygène libre. Les pigments et les donneurs d'électrons sont également différents (hydrogène, soufre, jamais l'eau comme chez les plantes).

Les **photohétérotrophes** sont photosynthétiques et puisent le carbone de composés organiques.

Les **chimioautotrophes**, n'ont besoin ni de matière organique, ni de lumière du soleil. Ils puisent leur énergie de substance inorganique et transforme le CO<sub>2</sub> en matière organique. Comme exemples, les bactéries des sources chaudes hydrothermales profondes (fumeurs noirs). Elles nourrissent tout un écosystème.

### d) Source d'azote

La synthèse des protéines et des acides nucléiques nécessite des substances azotées. L'azote représente 12% du poids sec des bactéries et 80% de l'air qu'on respire.

### e) Les oligoéléments

Ils sont indispensables à la cellule en très faibles quantités. On peut citer le cobalt, le zinc, le bore, le cuivre, le manganèse, le sélénium... Très importants pour le fonctionnement des enzymes. Ils ne sont pas tous requis par une même espèce.

### 1.2. Types trophiques (nutritionnels)

Tableau 4 : Types du besoin

<i>Type du besoin</i>	<i>Nature du besoin</i>	<i>Type trophique</i>
<i>Source d'énergie</i>	<i>Rayonnement lumineux</i>	<i>Phototrophe</i>
	<i>Oxydation de composés organiques ou inorganiques</i>	<i>Chimiotrophe</i>
<i>Donneur d'électrons</i>	<i>Minéral</i>	<i>Lithotrophe</i>
	<i>Organique</i>	<i>Organotrophe</i>
<i>Source de carbone</i>	<i>Composé minéral</i>	<i>Autotrophe</i>
	<i>Composé organique</i>	<i>Hétérotrophe</i>
<i>Facteurs de croissance</i>	<i>Aucun besoin</i>	<i>Prototrophe</i>
	<i>Nécessaires</i>	<i>Auxotrophe</i>

Les bactéries intracellulaires obligatoires, comme les *Chlamydiae*, tirent leur énergie de la cellule qu'elles parasitent et elles sont qualifiées de paratrophes.

### 1.3. Facteur de croissance

Selon les besoins nutritionnels nécessaire à la croissance des bactéries, on a défini les bactéries prototrophes et les bactéries auxotrophes. Les prototrophes ont des besoins élémentaires, alors que les auxotrophes nécessitent en plus, un ou plusieurs facteurs de croissance qu'elles sont incapables de synthétiser. Soit ils sont fournis par l'environnement ou rajouter dans le milieu de culture.

Les facteurs de croissance sont des vitamines B1, B6, B12, acide folique, des précurseurs de coenzymes (de NAD, de coenzyme A, de FMN, de FAD). La syntrophie est un phénomène d'interaction métabolique, qui se traduit sur un milieu solide par la présence de colonies satellites d'une bactérie auxotrophe autour de celles d'une bactérie prototrophe productrice du facteur de croissance.

#### 1.4. Les facteurs environnementaux, physico-chimiques

Les facteurs environnementaux, comme la température, le pH, la salinité, l'osmolarité et l'oxygène influencent et contrôlent la croissance bactérienne. Chaque bactérie possède des valeurs optimales pour chaque facteur et par conséquent, selon les valeurs optimales, on définit différentes catégories de bactéries.

##### a) Température

La température joue un rôle important dans la nutrition et le développement des microorganismes. Selon les températures optimales de croissance, plusieurs catégories de bactéries sont distinguées :

- **Les psychrotrophes** : Peuvent se cultiver à **0°C**. Température optimale de multiplication entre **20 à 25 °C**.
- **Les bactéries psychrophiles** : Température maximale **20°C**. Température optimale de croissance inférieure à **15 °C**.
- **Les cryophiles** : peuvent se développer à des températures négatives. Elles sont souvent isolées des matières fécales d'animaux polaires. Température optimale de croissance (**- 5 °C**).
- **Les mésophiles** : croissance entre **25 et 40 °C**. Optimum à **37°C**. la majorité des bactéries pathogènes.
- **Les thermophiles** : température optimale entre **50 et 60 °C**.
- **Les hyperthermophiles** ont une température optimale de croissance entre **70 °C et 110°C**.

##### b) pH

La majorité des bactéries se multiplient préférentiellement à des pH voisins de la neutralité (**6,5 à 7,5**), mais elles sont capables de croître dans une large gamme de pH.

On distingue :

- **Les acidophiles** préfèrent un pH acide. C'est le cas des lactobacilles dont le pH optimal est de **6**. *Thermoplasma acidophilum* a un pH optimal entre **0,8 et 3**.
- Les **alcalophiles** préfèrent des pH alcalins. Ainsi, le pH optimal est de **9** pour la multiplication de *Vibrio cholerae*. *Alkaliphilus transvaalensis* est capable de

croître à un pH de **12,5**. En culture, le métabolisme bactérien engendre des acides qui inhiberaient la multiplication bactérienne. Pour éviter cela, on rajoute des solutions tampons qui maintiennent un pH optimal.

**c) Pression osmotique:**

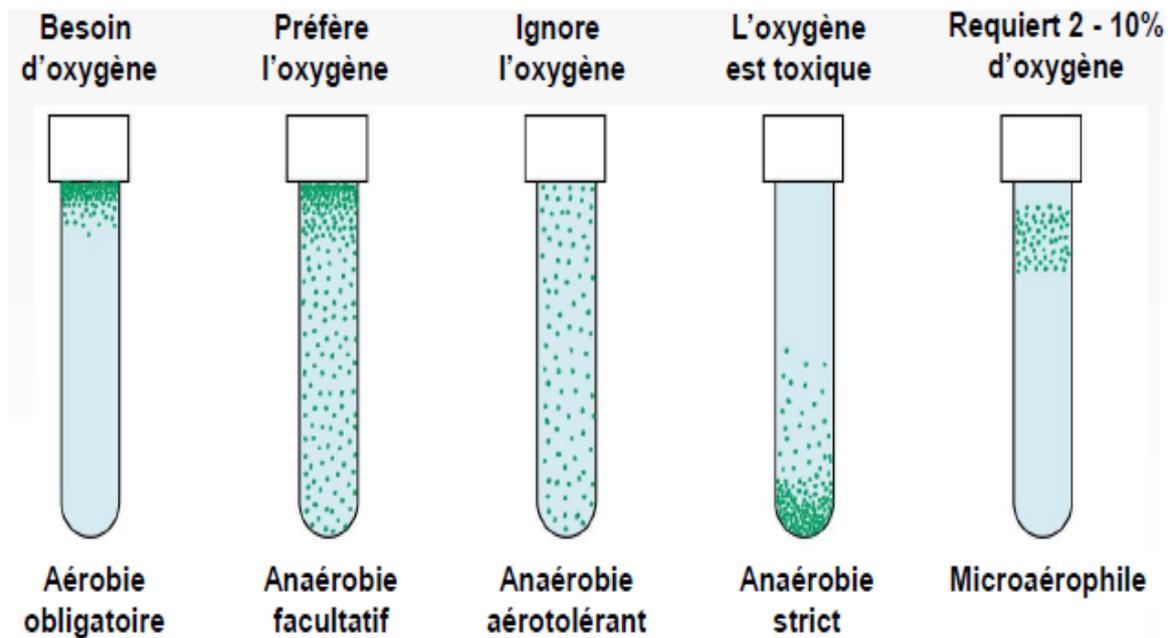
Les bactéries sont peu sensibles aux variations de pression osmotique car elles sont **protégées par leur paroi**. A l'inverse des Mycoplasmes. Selon leur sensibilité à la pression osmotique, on distingue trois catégories de bactéries.

- **Les bactéries non-halophiles** : NaCl inférieure à 0,2 M.
- **Les espèces halophiles** : NaCl supérieure à 0,2 M pour les moins halophiles (*Cobetia marina*) à 5,2 M pour les plus halophiles *Halobacterium salinarum*.
- **Les espèces halotolérantes** comme les *Staphylococcus*, les *Listeria* ou les *Lactobacillus*. Ils tolèrent 7.5 à 15% de NaCl. Les anciens conservent les aliments en rajoutant du sel ou du sucre ce qui entraîne une augmentation de la pression osmotique. La croissance des bactéries est limitée.
- Les bactéries **osmophiles** se multiplient en présence de grandes concentrations de sucre.

**d) Besoins gazeux**

L'oxygène est en réalité un gaz très toxiques s'il n'est pas neutraliser par les cellules qui en ont besoin. Lors de la respiration aérobie, il est neutralisé en se combinant à l'hydrogène pour former une molécule d'eau. C'est le cas des aérobies stricts. Selon les exigences en oxygène, on distingue quatre groupes de bactéries (**Fig16**) :

- **Aérobie strict** : la bactérie exige pour son développement la présence d'oxygène libre.
- **Anaérobie strict** : ces bactéries se développent en absence totale d'oxygène, ce groupe de bactérie ne possède ni catalase ni superoxydedismutase capables de d'éliminer les deux produits d'oxydation, le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et l'ion superoxyde qui sont toxiques pour la cellule.
- **Aéro-anaérobie facultatif** : appelées aussi anaérobie facultatif, les bactéries peuvent croître en présence ou en l'absence d'oxygène.
- **Microaérophile** : les bactéries microaérophiles se développent en présence d'une faible tension en oxygène.



**Figure 16 :** Groupes bactériens en fonction de la consommation d'oxygène

## 2. Croissance bactérienne

La croissance bactérienne se traduit par une augmentation du nombre de bactéries. On observe également un allongement de la taille et une augmentation du volume, plus visibles chez les formes en bâtonnets. Ces dimensions, lorsqu'elles sont atteintes, déclenchent la division cellulaire par scissiparité. Une bactérie donne deux cellules filles.

D'autres mécanismes de division existent chez des bactéries particulières, comme le bourgeonnement (observé chez les cyanobactéries) et la fragmentation (chez les bactéries filamenteuses).

### 2.1. Mesure de la croissance

Plusieurs techniques sont utilisées pour analyser, suivre et mesurer la croissance. Chacune a des avantages et des inconvénients. On distingue les méthodes directes et les méthodes indirectes. Certaines distinguent les cellules vivantes des cellules mortes et d'autres, en sont incapables.

#### a) Mesures directes : Dénombrement des bactéries après culture

Le résultat est exprimé en nombre de bactéries par ml. On peut partir de 1 ml de lait, de jus ou quelques mg de viandes broyées, dans 9 ml d'eau stérile (première dilution 1/10).

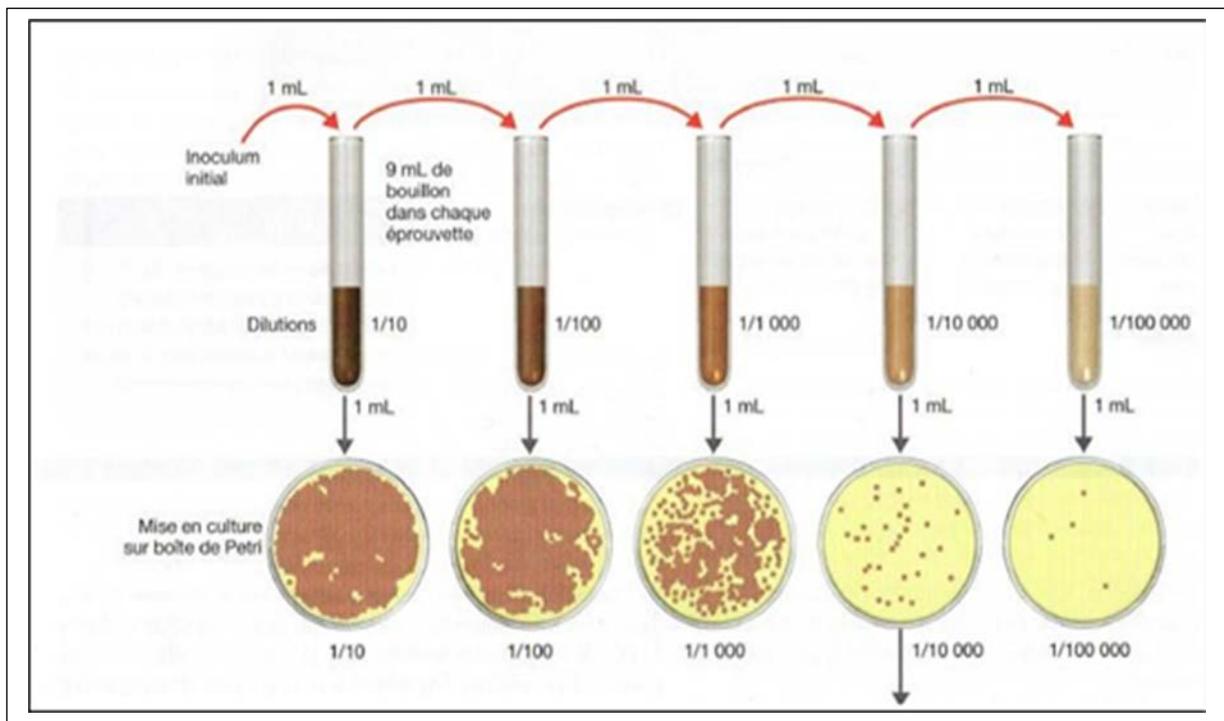
On procède ensuite à une dilution en série de 1/100, 1/ 1000, 1/10000, 1/100000, 1/1000000. Ensuite, 1 ml de chaque dilution est étalé soit en profondeur soit en surface en utilisant des milieux solides sur boîte de Pétri (**Fig.17**).

On prend en considération les boîtes de 30 à 300 colonies. Le nombre de bactérie. Le calcul se fait comme suit : (dilution 1/10000, 125 colonies obtenues) :  $125 \times 10000 = 1,25$  million bactérie par ml.

On suppose dans ce cas que chaque colonie est issue d'une bactérie, mais en réalité c'est faux. On parle d'unités formant colonies (**UFC**). Chaque colonie provient de plusieurs bactéries en chainettes ou en amas. L'ensemencement par étalement présente l'inconvénient que l'échantillon peut ne pas être absorbé dans sa totalité.

L'ensemencement en profondeur ou en masse exige que les bactéries puissent supporter la température de la gélose liquide en surfusion (50°C).

L'échantillon est mélangé avec la gélose et les colonies vont pousser en profondeur et en surface.



**Figure 17** : Dénombrement des bactéries après culture

### b) Mesure directe du nombre de cellules

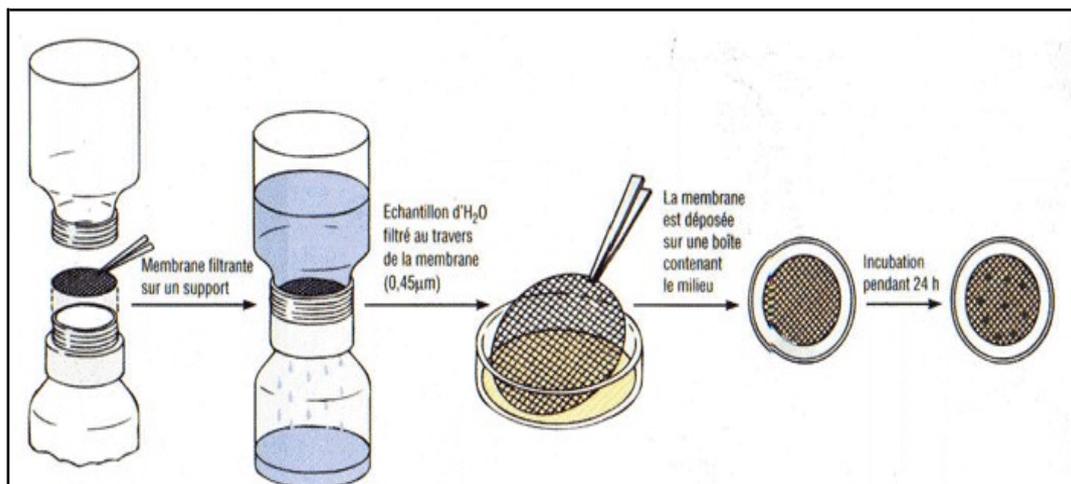
A partir d'un volume connu d'une suspension bactérienne on peut faire une numération totale des cellules au microscope. On utilise une lame spéciale appelée chambre de comptage de Petroff-Hausse (**Fig.18**).



**Figure 18** : chambre de comptage de Petroff-Hausser en microscope

### c) Mesure par filtration sur membrane

Très utiles lorsque le nombre des bactéries est très bas. Utilisée pour la recherche des coliformes dans l'eau, comme preuve de contamination fécale. On procède par filtration sur membrane (**Fig19**) de 100 ml d'eau puis la membrane est mise en culture sur boîte de Petri (Gélose).



**Figure 19** : Filtration sur membrane

## 2.2. Paramètres de la croissance

Ces paramètres sont appelés également constantes de la croissance. La division cellulaire répond une progression exponentielle à temps régulier. 01 cellule donne 02 cellules, qui donnent 04 cellules, puis 16, puis 32 et ainsi de suite.

Le temps nécessaire au doublement du nombre de cellules est appelé **temps de génération (G)**.

$$G = t/n$$

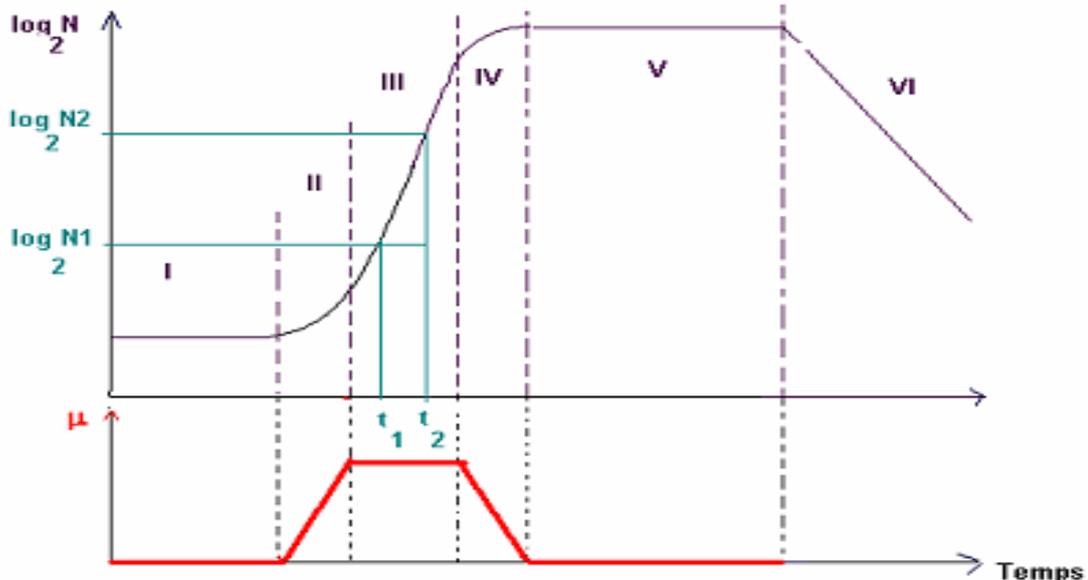
Le temps de génération est spécifique à chaque espèce et il dépend des conditions environnementales. (G) est de 20 minutes pour *Escherichia coli*, de 1000 minutes pour *Mycobacterium tuberculosis*.

Le taux de croissance :  $\mu = n/t$  donc  $\mu = 1/G$

$$N = 2^n N_0 \text{ (avec } \mu = n/t \text{ et } n = \mu t) \text{ donc } N = 2^{\mu t} N_0$$

### 2.3. Courbe de croissance en milieu non renouvelé, culture discontinue

Dans une culture discontinue ou la croissance n'est pas synchrone et où les nutriments s'épuisent avec le temps, la croissance suit une courbe à **06 phases**. La phase de latence, la phase de croissance exponentielle, la phase stationnaire et la phase de déclin ... (Fig.20)



**Figure 20** : Courbe de croissance d'une culture bactérienne dans des conditions de croissances fermées.

**2.3.1. Phase de latence (I)** où le taux de croissance est nul. La durée de cette phase dépend de plusieurs facteurs :

- *l'importance de l'inoculum* : les bactéries doivent d'abord détoxifier le milieu en le débarrassant des traces d'éléments toxiques qui contaminent, en général, les milieux de culture (métaux lourds par ex.). Plus l'inoculum est important, plus le temps nécessaire à la détoxification est court.

- *l'âge des bactéries* : les "vieilles" bactéries, introduites dans un milieu neuf, doivent d'abord réparer tous les dommages subies ; elles doivent donc restaurer leur état physiologique normal avant de commencer à se multiplier. Donc, plus la culture ayant servi d'inoculum est vieille, plus la durée de cette phase est longue.

- *la composition du milieu* : les bactéries doivent synthétiser les enzymes adaptées au nouveau milieu de culture.

**2.3.2. Phase d'accélération (II)** pendant laquelle la vitesse de croissance augmente.

**2.3.3. Phase de croissance exponentielle (III)** où la vitesse de division est constante et maximum. La majorité des bactéries sont dans un bon état physiologique et se divisent de façon exponentielle. Le temps de génération des bactéries pendant cette phase est le plus court.

**2.3.4. Phase de ralentissement (IV)** (décélération) où  $\mu$  diminue.

**2.3.5. Phase stationnaire (V)**: Il y a une compensation entre les bactéries qui meurent, par autolyse, et celles qui continuent à se multiplier. Cette phase est déclenchée par l'épuisement du milieu, particulièrement le facteur limitant et l'accumulation de déchets toxiques (ex.: acides organiques) libérés dans le milieu par les bactéries.

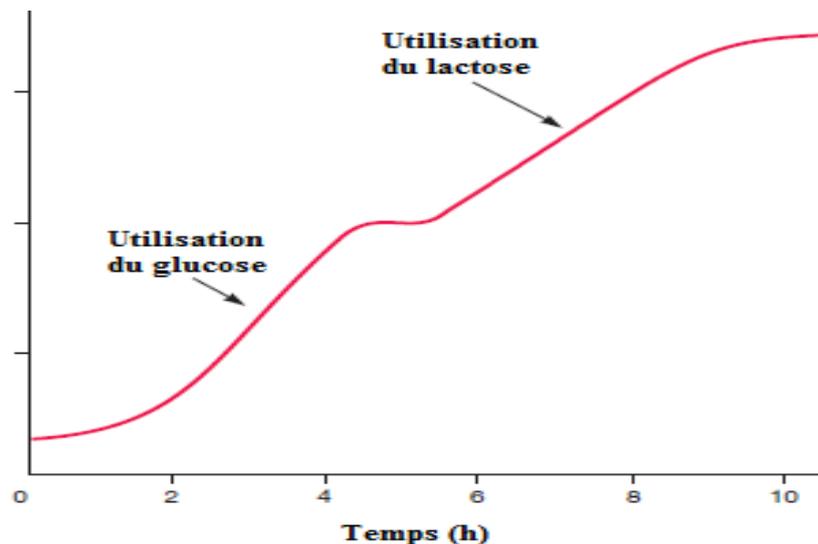
**2.3.6. Phase de déclin (VI)** ( $\mu < 0$ ) : le nombre de bactéries viables diminue durant cette phase. Ceci est dû à une lyse cellulaire sous l'action des enzymes protéolytiques endogènes (autolyse).

#### **2.4. Phénomène de diauxie (deux croissances) :**

Le phénomène de diauxie, est une croissance qui se traduit par une courbe biphasique. Dans un système de culture contenant une seule source de carbone, la croissance bactérienne s'achève par une phase de déclin qui se traduit par la lyse bactérienne et la réduction du nombre de bactéries.

Cependant, dans un milieu de culture contenant deux sources de carbone différentes (*Exemple* : glucose et lactose), la phase stationnaire n'est pas achevée par une phase de déclin, mais elle est caractérisée par l'apparition d'une deuxième phase exponentielle (**Fig.21**).

Les bactéries préfèrent utiliser le glucose d'abord, mais quand celui-ci est épuisé du milieu de culture, elles utilisent le lactose.



**Figure 21 :** Phénomène de diauxie chez les bactéries cultivées en présence du glucose et du lactose comme source de carbone.

### 3. Agents antimicrobiens

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, les scientifiques ont développé une série de méthodes physiques et chimiques pour lutter et contrôler la croissance des micro-organismes.

- **La stérilisation :** est l'action de tuer toutes les formes de vie microbienne contenues dans une préparation ou présents à la surface d'un objet. Le matériel traité est dit stérile lorsqu'aucun micro-organisme ne peut être revivifié.
- **La désinfection :** est une mesure qui a comme objectif de détruire les microbes pathogènes. Elle est inefficace sur les endospores. Elle utilise un produit chimique qu'on nomme **désinfectant** sur des produits inertes.
- **La décontamination :** comme la désinfection est une action au résultat non permanent. Elle permet d'inhiber les micro-organismes, sans forcément les tuer. Elle s'applique à des tissus vivants.
- **L'asepsie** est l'ensemble des règles à respecter par les équipes médicales pour éviter l'apport de microbes exogènes.

Selon l'effet de l'agent antimicrobien sur la croissance des micro-organismes, on distingue :

- Une action **bactériolytique** avec une lyse (la mort) des cellules. Les nombres de bactéries totales et viables diminuent brutalement.
- Une action **bactéricide**, les agents se lient à leurs cibles de façon étroite et même si une dilution a lieu, ils ne se détachent pas de leur cible et le nombre de cellules viables diminue sans lyse cellulaire de façon exponentielle en fonction du temps.

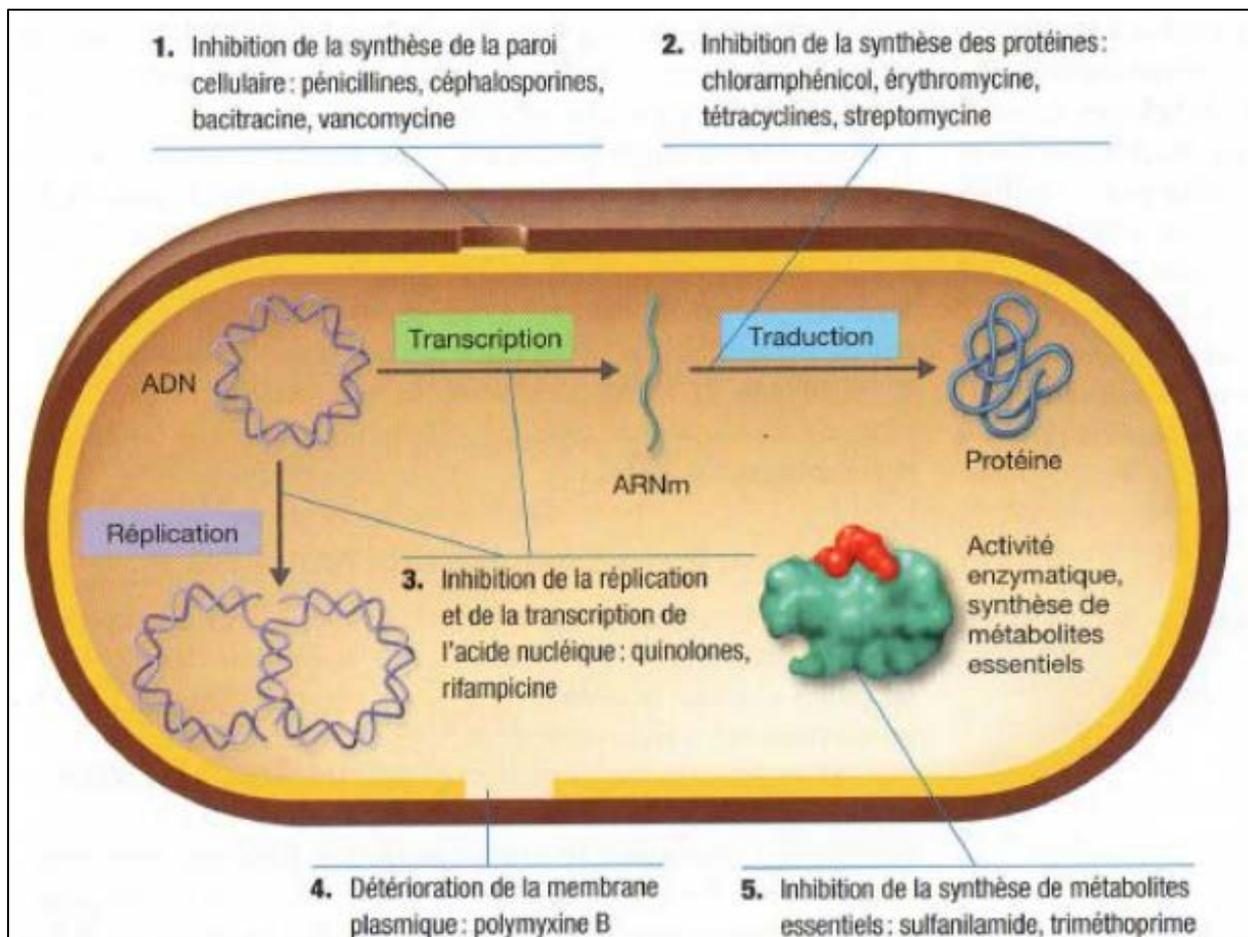
- une action **bactériostatique**, si la concentration diminue, la croissance bactérienne reprend. Il peut se détacher de sa cible. Dans des concentrations normales d'utilisation, le nombre totale de bactérie est stable et égale au nombre de bactéries viables.

### 3.1. Les modes d'action des agents antimicrobiens

Les cibles habituellement visées par l'action des antibiotiques sont celles qui constituent un élément indispensable et constant pour la survie de la cellule bactérienne.

On distingue 3 classes d'agents antimicrobiens : Les agents physiques, Les agents chimiques et les agents chimio-thérapeutiques.

Qu'ils soient physiques ou chimiques, ils agissent sur la croissance bactérienne en altérant la paroi, ou la membrane plasmique. En dénaturant les protéines cytoplasmiques ou les acides nucléiques (**Fig.22**).



**Figure 22 :** Les différents Mécanismes d'action des antibiotiques.

---

---

# *Chapitre VI*

---

## Chapitre VI: Notions de mycologie et de virologie

## 1. MYCOLOGIE

## 1.1. Définition :

La mycologie est la science qui étudie les champignons (du grec "mukes"=champignon et "logos"= étude, science). Les champignons, appelés aussi mycètes, sont des organismes eucaryotes (possédant un noyau bien individualisé, entouré d'une membrane nucléaire) uni- ou pluricellulaires qui se développent par un système de filaments plus ou moins ramifiés appelé thalle.

Les champignons sont très nombreux, ils sont répandus dans la nature et jouent un rôle essentiel de recyclage des matières organiques.

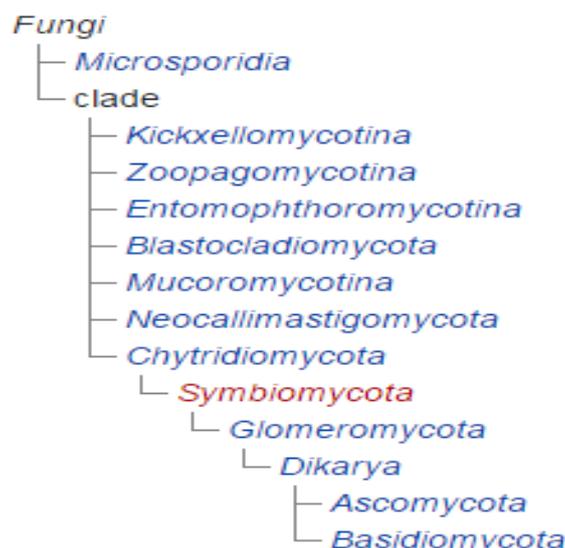
## 1.2. Caractéristiques des champignons

Les champignons appartiennent au domaine des Eucaryota, au règne des champignons ; ils sont pluricellulaires, chémo (organo) hétérotrophes, aérobies, immobiles, Gram positifs, avec des hyphes ramifiés, produisant des spores non flagellés, paroi cellulaire souvent constituée de chitine sans cellulose.

## 1.3. Taxonomie

Les moisissures et les levures sont classées donc sur la base de la diversité des cycles de reproduction, en tenant compte de la formation de spores sexuées différentes.

La classification systématique des champignons

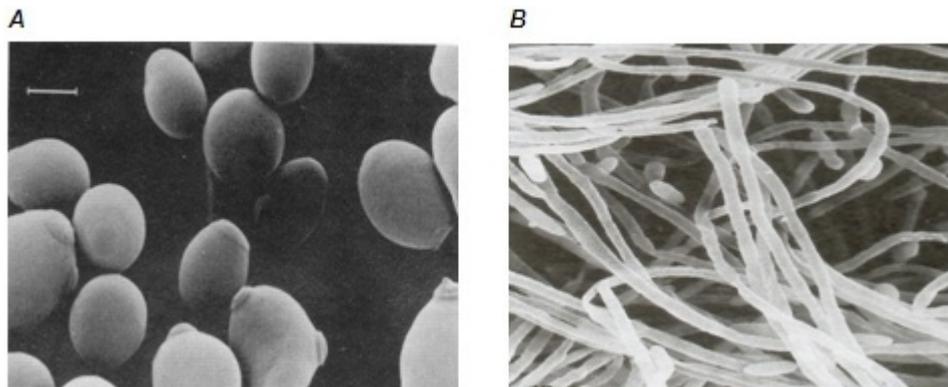


La classification simplifiée des mycètes peut être résumée selon l'aspect du thalle ou mycélium (*Organigraphie fongique*). Trois classes alors se distinguent (**Fig 23**) :

- Les champignons filamenteux (*Aspergillus*, *penicellum*)
- Les champignons levuriformes (*Saccharomyces*, *Candida*)
- Les champignons dimorphiques (*Candida*)



*Aspergillus* (Ascomycètes)



Dimorphisme cellulaire de *C. albicans*.

(A) forme levure (B) forme mycélienne

**Figure 23** : Différents aspects cellulaires des champignons unicellulaires.

#### 1.4. Morphologie des champignons

Les champignons possèdent un appareil végétatif peu différencié ou thalle (environ 1 à 15 micro m de diamètre), on les a souvent dénommé thallophytes pour cela. Ce thalle est constitué de filaments ou hyphes dont l'ensemble est appelé mycélium. On distingue les champignons selon la présence ou non de thalle différencié en 3 catégories :

- Sans thalle différencié : plasmode,
- Thalle différencié siphonné (tube) : les thalles non cloisonnés, formés d'un amas cytoplasmique contenant les noyaux, amas dit coenocytique (siphonnés). Ce type de

mycélium détermine l'appartenance aux Champignons inférieurs. Les cloisons intercellulaires ou septums sont rares.

- Thalle différencié cloisonné (septé) : les thalles cloisonnés où les cellules sont séparées les unes des autres par des cloisons présentant toujours une communication intercellulaire plus ou moins importante (septés). Ce type de mycélium détermine l'appartenance aux Champignons supérieurs.

Ils possèdent aussi un appareil reproducteur plus différencié capable de présenter des organes de reproduction asexuée et des organes de reproduction sexuée qui servent souvent à leur différenciation.

### 1.5. Ecologie et nutrition des champignons

Ils obtiennent leur énergie par oxydation des substances organiques. En comparaison avec les plantes, ils possèdent une paroi cellulaire (mais de nature chimique différente), ne réalisent pas la photosynthèse (autotrophie), ne sont pas structurés comme celles-ci en tige, racines, feuilles ; mais présentent plutôt un faible niveau de différenciation morphologique. Les champignons sont des hétérotrophes qui se nourrissent par absorption.

Les champignons ont besoin d'une source de carbone (source d'énergie), d'éléments minéraux (N, P, K, Mg, Ca, ), d'oligo-éléments et souvent de composés spéciaux (facteurs de croissance, stérols) pour leur croissance et développement.

Il existe 3 groupes fonctionnels chez les champignons ; ils peuvent être des saprophytes (décomposeurs) vivants sur la matière organique (matière morte : débris végétaux, bois et déchets) qu'ils transforment ; symbiotiques (mutualistes : champignons mycorhiziens) en association avec les racines de la majorité des plantes (matière vivante) ; ou parasites (mycoses ou pathogènes) vivants au détriment d'autres organismes vivants (plantes, animaux, champignons) qu'ils peuvent détruire (pathogènes) et causer des problèmes de santé ou d'importantes pertes de récoltes. On peut aussi distinguer les champignons nuisibles et les bénéfiques.

### 1.6. Classification et diversité des champignons

Le critère le plus simple pour démarrer la classification du règne des champignons est la nature et la différenciation du thalle (**Fig.24**). On considère deux sub-divisions:

- Les Myxomycota (champignons sans thalle différencié, mais un plasmode)
- Les Eumycota (ou champignons vrais avec thalle différencié) : ou champignons avec un thalle différencié ou champignons vrais. (6 Embranchements : Mastigomycotina, Zygomycotina, Ascomycotina, Basidiomycotina, Deuteromycotina, Glomeromycotina).

➤ **Thalle siphonné, auparavant appelé Phycomycètes. champignons inférieurs :**

-Mastigomycotina , Zygomycotina .

➤ **Thalle septé (cloisonné) champignons supérieurs :**

- Ascomycotina, Basidiomycotina, Deuteromycotina, Glomeromycotina : On trouve 2 classes : Glomineae et Gigasporineae. Anciennement classés avec les Zygomycotina dans la famille des Endogonacées, Exemples: *Archeoglomus*, *Glomus*, *Gigaspora*.

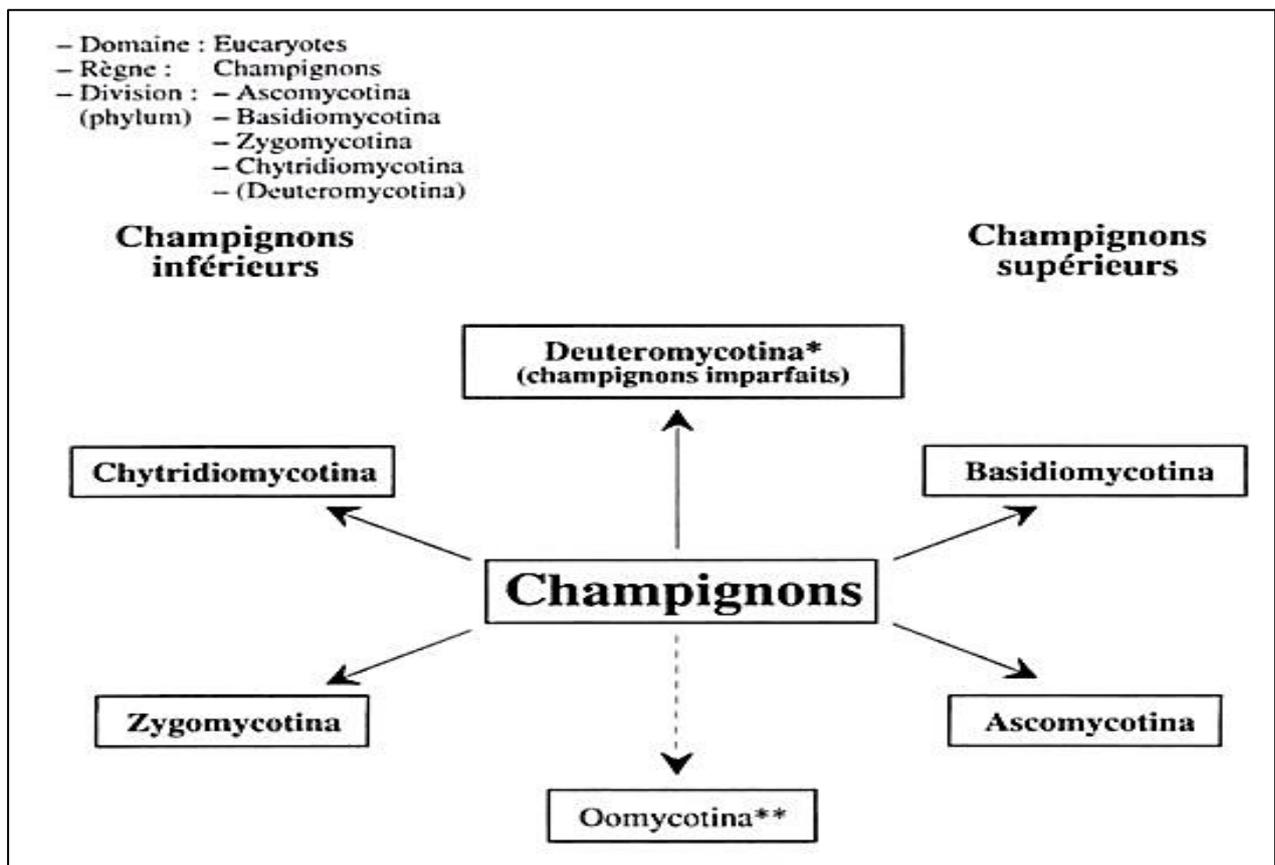


Figure 24 : Classification et diversité des champignons

## 1.7. Reproduction

Les champignons se reproduisent par production de spores selon deux mécanismes sexués ou asexués. Ces spores permettent la dispersion du champignon dans la nature.

### 1. 8. Cycles de reproduction des champignons

Les champignons se reproduisent généralement de manière asexuée (anamorphes) soit par fragmentation de cellules, par division binaire ou par bourgeonnement en produisant des structures spécialisées telles que les conidiophores (portent les conidies) ou des organes qui contiennent les sporangiophores ou les organes de fructification de formes diverses (acervules : conidies). Lorsqu'un champignon est capable de se reproduire à la fois de manière unicellulaire (levure) et de manière filamenteuse (moisissure) il est considéré comme étant dimorphique (diphasique). On considère 3 types chez les champignons : champignon de type chapeau, type moisissure (aérobies et mésophiles: préfèrent l'environnement et les températures intérieures) et type levure (souvent anaérobies facultatifs et préfèrent les températures chaudes).

➤ **Le cycle de vie d'un champignon** peut comporter des phases (Fig 25) :

- Plasmogamie : fusion de cellules
- Karyogamie : fusion de noyaux
- Meïose , Celui-ci peut produire un zygote diploïde ou un dikaryon ou hétérokaryon

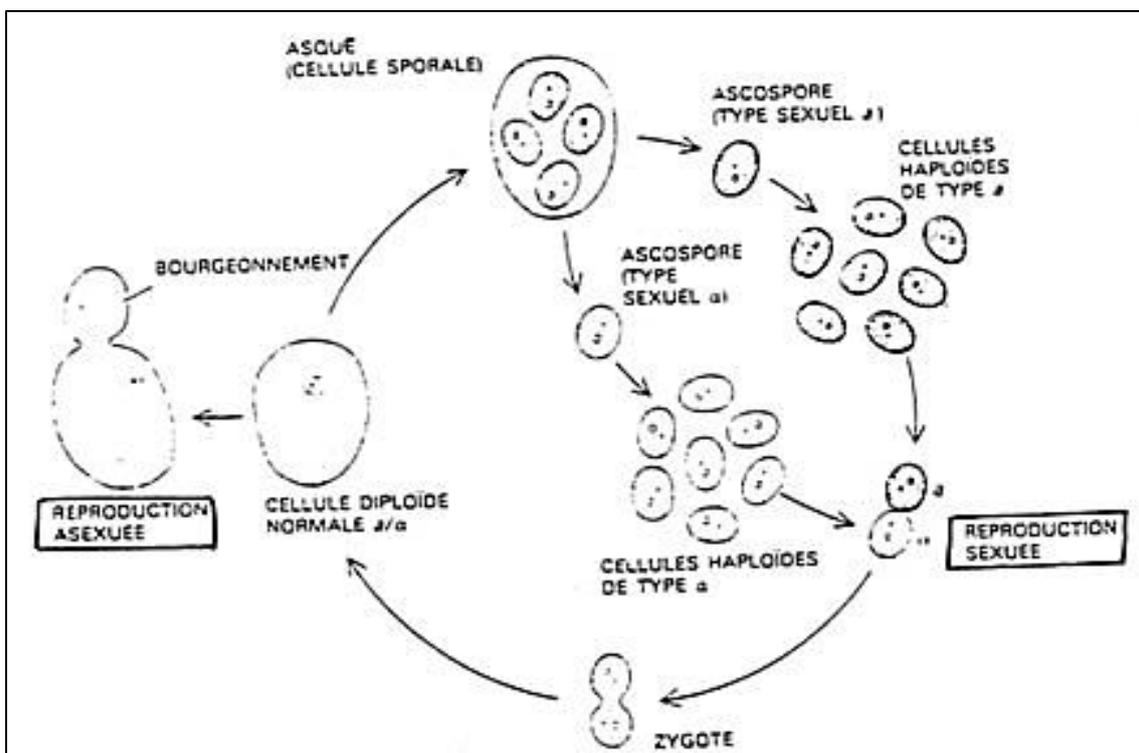


Figure 25: Cycle biologique de Levure

## 2. Virologie

### 2.1. Historique :

Le premier virus découvert est celui de la mosaïque fluide du tabac.

- 1879 Meyer découvre la nature infectieuse de la mosaïque du tabac.
- 1892 Ivanovsky montre que c'est un agent ultrafiltrable (n'est pas retenu par les filtres bactériens).
- 1901 Reed et al découvrent le virus de la fièvre jaune 1<sup>er</sup> virus humain,
- 1903 Remlinger Riffat-Bay : virus de la rage.
- 1909 Landsteiner et Popper : poliovirus.
- 1933 Smith et al : virus de la grippe humaine.

### 2.2. Définition :

C'est en 1953 que Lwoff a défini le concept de virion. C'est une particule virale mature et infectieuse libre dans le milieu extérieur, phase ultime de la biosynthèse des virus. Un virion a 4 caractères essentiels :

- un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN) qui constitue le génome viral
- une reproduction par réplication du génome
- un parasitisme intracellulaire absolu
- une structure particulière.

Les virus représentent donc des êtres biologiques qui sont différents des bactéries et des protozoaires. Leur structure et surtout leur mode de reproduction très particulier conditionnent la majeure partie de leurs propriétés biologiques et de leur pathogénicité.

### 2.3. Structure spécifique:

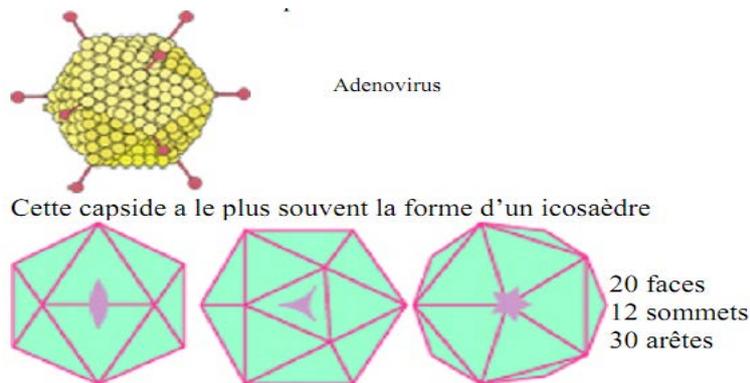
Toute particule virale est constituée d'au moins deux éléments constants et obligatoires:

- le **génom**e, de nature nucléotidique et composé d'acide nucléique (ADN ou ARN)
- la **capside**, est une coque de nature protéique qui entoure le génome et est capable d'assurer sa protection et sa survie dans le milieu extérieur.

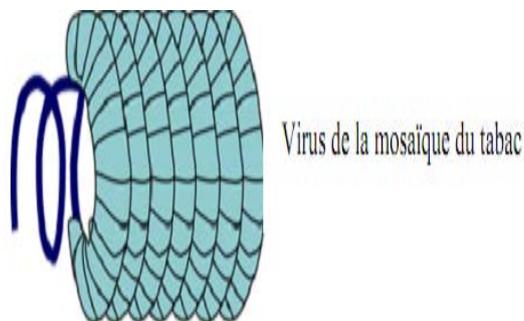
L'ensemble capsid e plus acide nucléique forme la nucléocapside.

## 2.4. Différents types de virus (Fig.26)

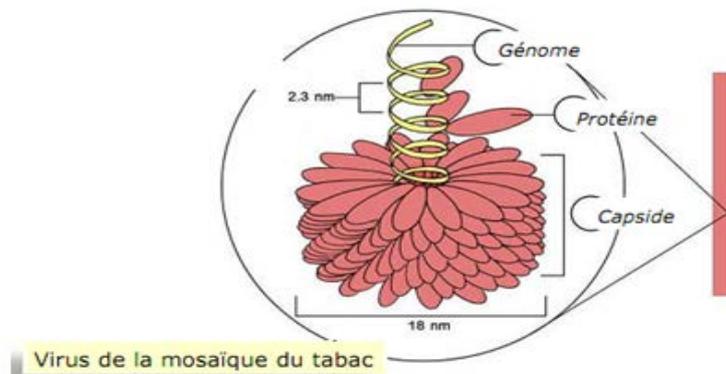
### a. Selon un modèle cubique



### b. ou selon un modèle hélicoïdal



### c. Virus mosaïque du tabac



**Figure 26** : types des virus

Dans certaines familles virales, la nucléocapside est entourée d'une structure périphérique facultative appelée l'enveloppe. Cette enveloppe, dont l'existence oppose les virus enveloppés aux virus nus, peut-être de provenance et de nature diverse. Lorsque l'enveloppe dérive des systèmes membranaires de la cellule hôte, elle peut prendre le nom de peplos porteuse de protéines codées par le génome viral. Dans certaines familles virales, une structure intermédiaire appelée tégment peut venir s'interposer entre la nucléocapside et l'enveloppe.

---

*Références*

*bibliographiques*

*Références bibliographies*

1. Dimmock N.J., Easton A.J. and Leppard K.N. (2007). Introduction to Modern Virology. 6<sup>th</sup> Ed. BLACKWELL PUBLISHING, New Jersey.
2. Leboffe M.J. and Pierce B.E. (2011). A Photographic Atlas for the Microbiology LABORATORY. 4<sup>th</sup> Ed. 2011 by Morton Publishing Company, Colorado.
3. Meyer A., Deiana J. et Bernard A. (2004). Cours de microbiologie générale avec problèmes et exercices corrigés. 2<sup>ème</sup> Ed. Doin, Paris.
4. Pommerville, J.C. (2011). Alcamo's FUNDAMENTALS OF Microbiology. 9<sup>th</sup> ed. Jones and Bartlett Publishers. Sudbury, USA.
5. Prescott, Harley, Klein's, Willey J.M., Sherwood L.M. and Woolverton C.J. (2008) . Microbiology. 7<sup>th</sup> Ed. Mc Graw Hill, New York.
6. Widłak W. (2013). Molecular Biology Not Only for Bioinformaticians. Ed. Springer, Berlin.
7. Dimmock N. J., Easton A. J. and Leppard K. N. (2007) .Introduction to Modern Virology. 6<sup>th</sup> Ed. Blackwell Publishing, Victoria, Australia.
8. Atlas R.M. (2010). Handbook of MICROBIOLOGICAL MEDIA. 4<sup>th</sup> Ed. Taylor and Francis Group, Washington,
9. Kavanagh K. (2005). Fungi Biology and Applications. Ed. John Wiley & Sons. Chichester, England.
10. Prescott, L. M. and Harley, K (2002). VIII Ecology and Symbiosis. In Microbiology. Fifth edition. The McGraw–Hill Companies : 596-697.