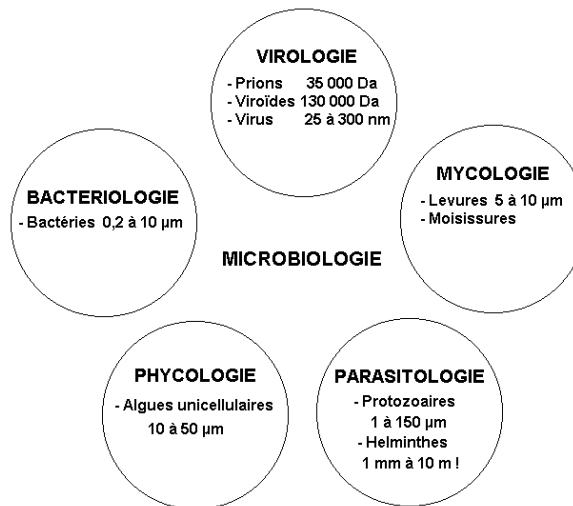


CHPAITRE 01 : INTRODUCTION

Les micro-organismes (microbes) forment un ensemble d'organismes vivants microscopiques, invisibles à l'œil nu. C'est leur seul point commun, car ils diffèrent et varient par leur morphologie, leur physiologie, leur mode de reproduction et leur écologie.

La microbiologie c'est la science qui étudie les organismes microscopiques, cette science est divisée en plusieurs branches, en fonction du type de « microbe » étudié.



Les différentes branches de la microbiologie

1. Historique

- Le commerçant et savant Néerlandais : **Antony van Leeuwenhoek** (1632-1723) observe et décrit en 1676 des microorganismes grâce à un microscope qu'il a lui-même construit. Il emploie le terme « animalcules » pour qualifier les formes présentes dans des échantillons d'eau, des décoctions de foin ou dans la salive.
- En 1857, le chimiste et physicien Français : **Louis Pasteur** (1822-1895) démontre que la fermentation du sucre en acide lactique est due à un microorganisme. Il participe à la remise en cause de la théorie de la génération spontanée (apparition d'organismes vivants à partir de matière non vivante).
- 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, le bactériologiste Danois : **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.
- La première édition du manuel de **David Hendricks Bergey** (bactériologiste américain) est publiée en 1923.
- En 1928, le médecin et bactériologue Britannique : **Fred Griffith** découvre la conjugaison bactérienne.
- En 1929, le médecin, biologiste et pharmacologue Britannique : **Alexander Fleming** découvre la pénicilline.
- En 1952, Les biologistes Américains : **Norton Zinder** et **Esther Lederberg** découvrent la transduction généralisée.
- En 1961, Les biologistes et biochimistes Français : **François Jacob** et **Jacques Monod** proposent le modèle de l'opéron pour la régulation des gènes.

2. Place des micro-organismes dans le monde vivant

Depuis leur découverte par Anthony van Leeuwenhoek, la place des bactéries dans le monde vivant a beaucoup évoluée.

- Le botaniste suédois **Carl van Linné** (1735), élabora une première classification des organismes vivants en deux règnes Plantae et Animalia. En 1857, Karl van Nägeli proposa de classer les bactéries et les champignons dans le règne des Plantes.

2.1. Classification de Haeckel

Ernst Haeckel (biologiste et philosophe Allemand): En 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.

2.2. Distinction entre cellules eucaryotes et procaryotes selon Chatton

Édouard Pierre Léon Chatton (biologiste et zoologiste Français): En 1937 et grâce à l'invention du microscope électronique, il mis en opposition deux types de cellules, la cellule eucaryote la cellule procaryote.

2.3. Classification selon Murray

Robert George Everitt Murray (microbiologiste et bactériologiste Britannique): En 1968, dans la continuité des travaux d'E. Chatton, divise le monde vivant en deux règnes, celui des "Eucaryotae" et celui des "Procaryotae" (ou "Monera").

2.4. Classification à cinq règnes

Robert Harding Whittaker (écologue et un botaniste Américain): En 1969 décrit une classification à cinq règnes. Quatre règnes eucaryotes (Animal, Végétal, Champignons et Protistes). Les procaryotes se regroupent dans le règne des monères.

3. Caractéristiques générales de cellules procaryotes / cellules eucaryotes

On distingue encore une fois les protistes procaryotes et les protistes eucaryotes :

- **Les protistes procaryotes**, dont l'organisation cellulaire est simple, c'est à dire sans noyau, l'ADN portant l'information génétique est directement au contact du cytoplasme. Les bactéries appartiennent à ce groupe.
- **Les protistes eucaryotes**, dont l'organisation cellulaire complexe comprend un noyau contenant l'information génétique, portée par l'ADN des chromosomes.

Caractéristiques générales de cellules procaryotes / cellules eucaryotes

Caractéristiques	Cellule Procaryote	Cellule Eucaryote
Taille typique	1-10 µm	10-100 µm
Type de noyau	nucléotide (pas de véritable noyau)	vrai noyau avec double membrane
Division de la cellule	division simple	mitose (réplication de la cellule) méiose (menant à la formation de gamètes)
Organisation génétique		
Membrane nucléaire	Non	oui
Nombre de chromosomes	1 chromosome (Haploïde)	Plusieurs chromosomes Diploïde)
Chromosome circulaire	Oui	non
Histones	Non	oui
Nucléole	Non	oui
Echange génétique	transfert unidirectionnel	fusion de gamètes
ARN et synthèse des protéines	couplé au cytoplasme	synthèse d'ARN dans le noyau synthèse de protéines dans le cytoplasme
Premier acide aminé initiant la synthèse d'une chaîne polypeptidique	méthionine ou N-formylméthionine	méthionine
Structures cellulaires et organites		
Réticulum endoplasmique	Non	oui
Appareil de Golgi	Non	oui
Lysosomes	Non	oui
Mitochondries	Non	oui
Chloroplastes	Non	oui chez les plantes
Microtubules	Non	oui
Paroi cellulaire avec peptidoglycane	Oui	non
Présence de stérols dans les membranes	Non	oui
Endospores	oui, parfois	non
Taille des ribosomes	70 S	80 S, sauf mitochondries et chloroplastes
Localisation des ribosomes	dispersés dans le cytoplasme	dispersés dans le cytoplasme ou liés au réticulum endoplasmique
Constantes de sédimentation des ARN ribosomiaux	16S, 23S, 5S	18S, 28S, 5,8S, 5S
Attributs fonctionnels		
Phagocytose	Non	oui, parfois
Pinocytose	Non	oui, parfois
Flux cytoplasmique	Non	oui
Mouvement de la cellule	flagelles faites de flagelline	flagelle et cils faits de tubuline
Site du transport des électrons	membrane cellulaire	membrane des organites

CHPAITRE 02 : LA CELLULE BACTERIENNE

1. Définition de bactérie

Les bactéries typiques sont des organismes unicellulaires procaryotes. Elles n'ont pas de noyau et leur génome est le plus petit des cellules vivantes. Les bactéries se divisent en **eubactéries** et en **archaeobactéries**.

1.1.Archaebactéries: sont adaptées à la vie dans des conditions de vie extrêmes (forte salinité, haute température, faible pH, sans oxygène).

1.2.Eubactéries: sont des "vraie" bactérie, Les eubactéries représentent le domaine réunissant tous les Procaryotes à l'exception des Archées.

Ces deux groupes des bactéries englobe nombreuses types tell que :

- **Bactéries ubiquitaires :** Faisant preuve d'une extraordinaire diversité, les bactéries ont colonisé tous les milieux (air, eau, sol et être vivant etc.). Certaines peuvent même vivre dans des conditions extrêmes.

- **B. Bactéries commensale :** On appelle flore commensale un ensemble de bactéries qui vivent sur ou dans un organisme sans lui porter préjudice. Elle contribue soit à sa défense, soit à son fonctionnement, soit au bon état de ses muqueuses. La flore commensale est principalement sur les muqueuses : peau, tube digestif, arbre respiratoire, appareils génitaux.
- **C. Bactéries pathogènes :** sont des bactéries qui provoquent un ensemble de troubles spécifiques plus ou moins sévères chez un hôte infecté.
- **D. Bactéries opportunistes :** bactérie commensale normalement présente dans l'organisme sans l'affecter, mais qui peut provoquer une maladie à la suite d'une diminution des défenses de l'organisme (chez les immunodéprimés ou les malades du SIDA etc.).

2. Techniques d'études et d'observation de cellule bactérienne

La mise au point du premier microscope par Antony Van Leeuwenhoek au cours du XVII^{ème} siècle marque le point de départ de la microbiologie. L'appareil utilisé, constamment amélioré depuis, permet avec des grossissements pouvant aller jusqu'à 2500 (1000 étant l'utilisation courante) d'observer des structures dont la taille est de l'ordre de 1µm. Divers procédés peuvent être utilisés :

2.1. L'observation à l'état frais : entre lame et lamelle, des bactéries en milieu liquide et sa variante, la coloration à l'encre de Chine pour la mise en évidence de la capsule qui apparaissent sous forme d'un halo clair entourant les corps bactériens en noir.

2.2. L'observation de frottis séchés, fixés et colorés : (coloration de Gram et de Ziehl Nielsen).

Les frottis sont examinés à l'immersion en plaçant une goutte d'huile spéciale entre la lentille de l'objectif et la préparation, afin d'obtenir une image plus nette. Tout cela concerne la microscopie photonique où on utilise le rayonnement lumineux.

Pour observer des structures de l'ordre de 5 nm à 10 nm, on utilise la **microscopie électronique**. Certaines structures peuvent retenir ou laisser passer les électrons. Cette approche nécessite ou non la fixation de l'échantillon.

2.3. les méthodes immuno-cytochimiques :

Permettent de localiser dans la cellule des molécules bactériennes. On utilise des anticorps marqués par la peroxydase, la biotine (vitamine B8) ou des molécules fluorescentes comme la fluorescéine. La formation d'un complexe stable antigène-anticorps permet de repérer la présence d'une molécule dans la cellule.

3. Morphologie cellulaire :

Lorsqu'on observe des bactéries au microscope optique à partir de prélèvements pathologiques ou d'un milieu de culture, on reconnaît rapidement la **forme** des cellules, leurs **dimensions**, les **arrangements** ou les **groupements** qu'elles constituent entre elles. Toutes ces informations définissent la **morphologie bactérienne** et constituent un des critères de reconnaissance et d'identification.

3.1. Formes des cellules bactériennes :

les bactéries sont des organismes unicellulaires de formes variées.

3.1.1. Bactéries de forme sphérique, arrondies ou cocci : isolées, en chaînette, en amas (nombre variable de cellules) : Staphylocoques, Streptocoques etc.

3.1.2. Bactéries de forme cylindrique ou en bâtonnet : On en distingue deux principales:

- **Le bâtonnet droit ou bacille (allongée) :** isolée, en chaînette ou en amas, de longueur et de diamètre variables comme : *E. coli*, *Salmonella*, *Bacillus*.
- **le bâtonnet incurvé ou vibrion :** bacille incurvé, en virgule comme : *Vibrio cholerae*.

3.1.3. Bactéries de forme spiralée : spirilles, spirochètes, comme : *Treponema*.

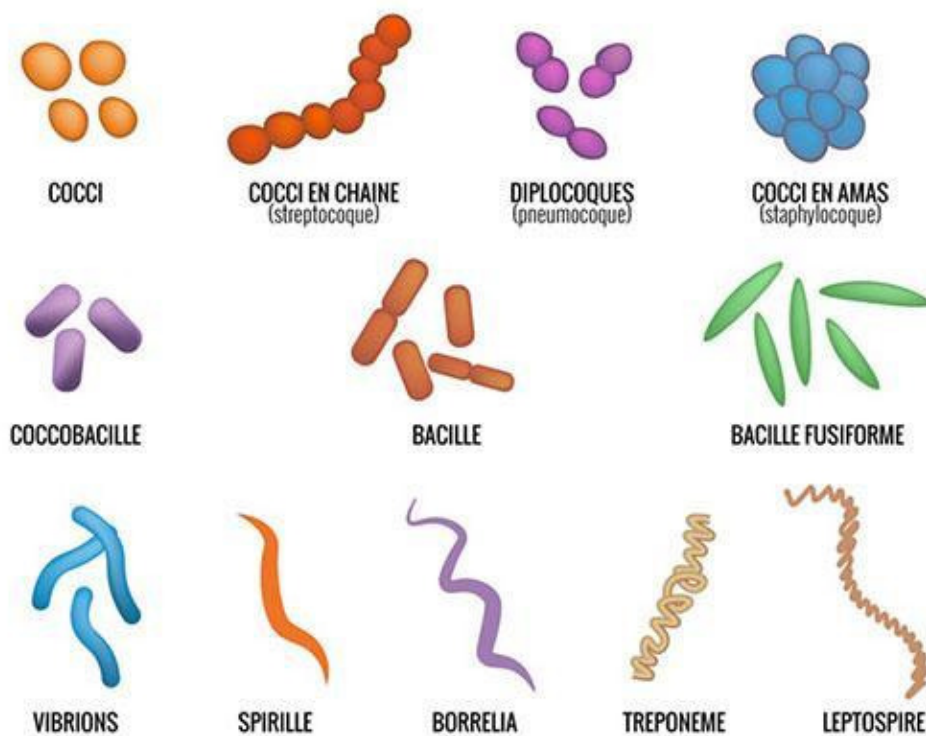
3.1.4. Un groupe particulier de bactéries de forme filamenteuse se rapprochant des moisissures comme : les Actinomycètes.

3.2. Taille :

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

3.3. Associations cellulaires :

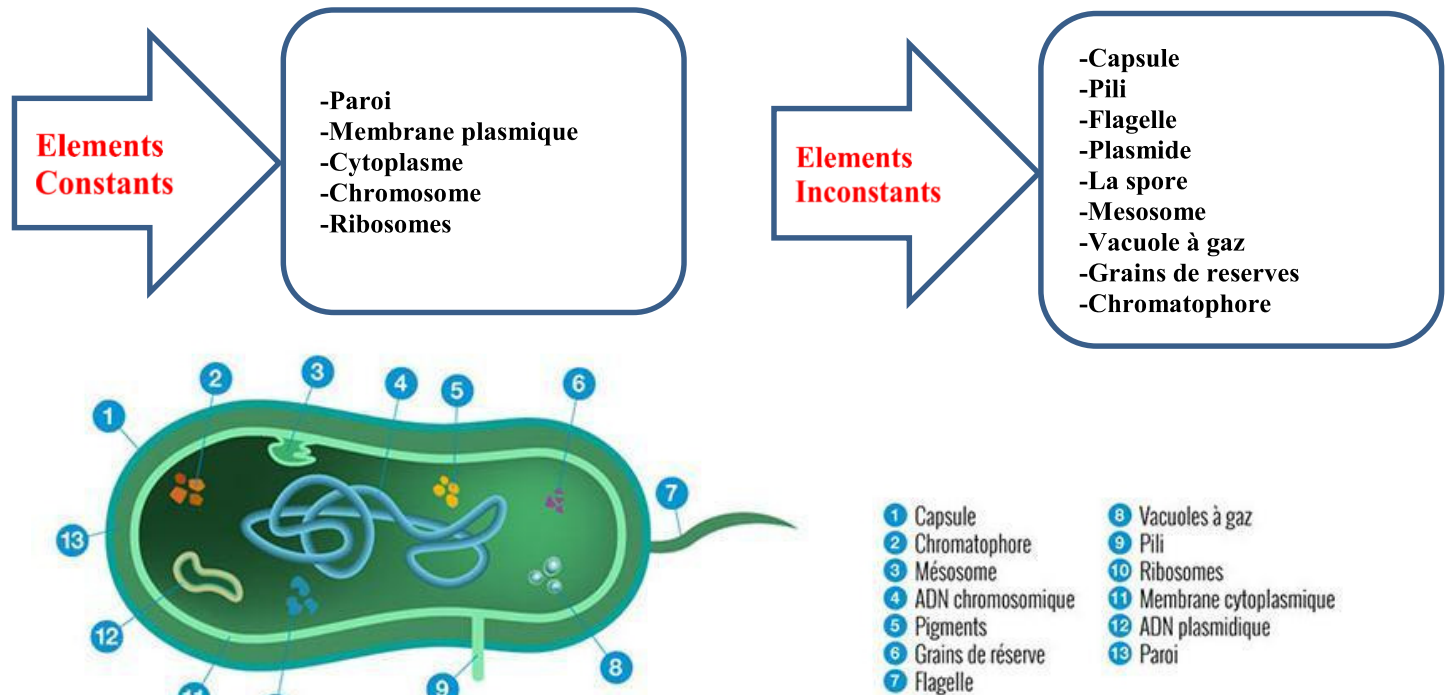
Une espèce bactérienne peut apparaître sous forme de cellules isolées séparées ou en groupements caractéristiques variables selon les espèces : association par **paire**s, en **amas**, en **chaînette**, par **quatre** (tétrades)



Les différentes formes et associations bactériennes

4. Eléments constants et inconstants de la structure bactérienne:

Certaines structures sont présentes chez toutes les bactéries, ce sont les éléments «**constants**» ou «**obligatoire**», d'autres sont retrouvés seulement chez certaines bactéries : ce sont les éléments «**inconstants**» ou «**facultatifs**».



Structure bactérienne

4.1. La Paroi

Enveloppe rigide assurant l'intégrité et la forme de la bactérie et la protège des variations de pression osmotique. Elle est absente chez les Mollicutes, (Mycoplasma). La paroi permet la différenciation de deux grands types de bactéries. En effet, la distinction entre bactéries à **gram positif** et à **Gram négatif**.

4.1.1. Composition de la Paroi :

La paroi est de nature polymérique. Les polymères et leur mode de liaison varient selon les espèces bactériennes.

- **Les peptidoglycane**

Une substance de base, spécifique des bactéries, est toujours présente : c'est la **muréine**, appelée encore **peptidoglycane**.

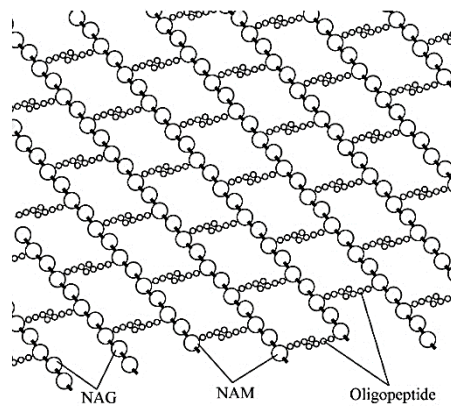
Role du peptidoglycane

Un composant de la paroi qui maintient la forme des cellules et assure une protection mécanique contre la pression osmotique. Il forme une **couche fine** chez les **Gram négatif** et une **couche épaisse** chez les **Gram positif**.

Structure du peptidoglycane

Le peptidoglycane est un polymère complexe formé de 3 éléments différents :

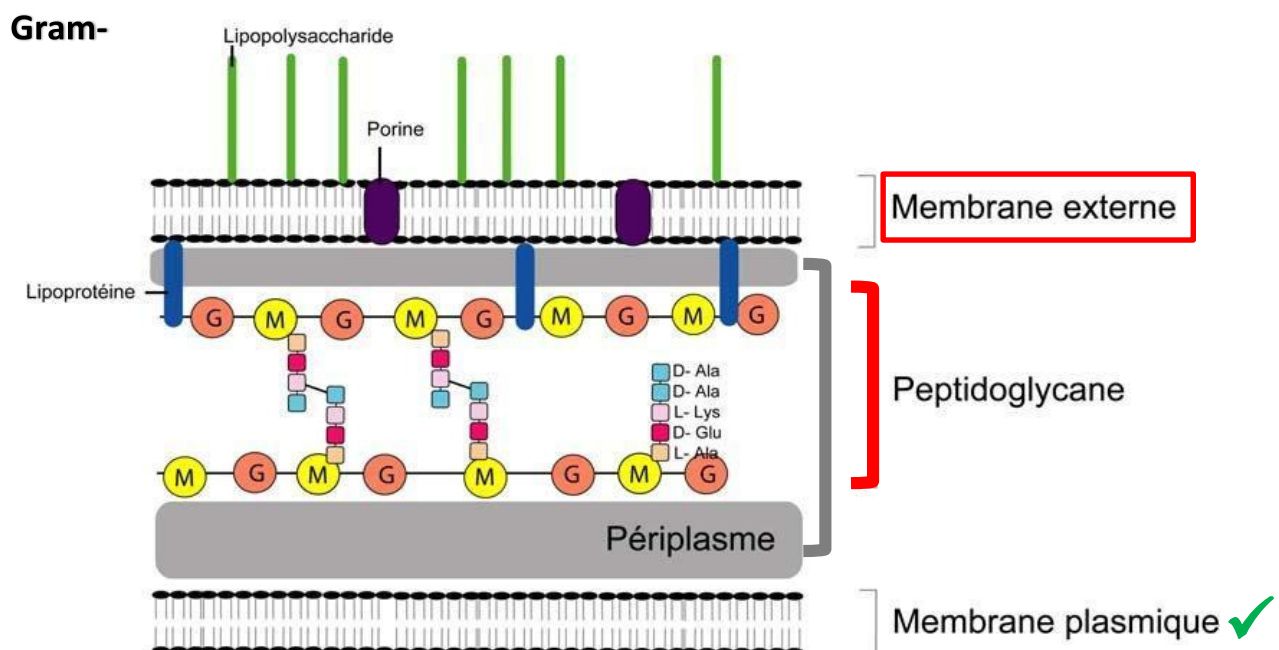
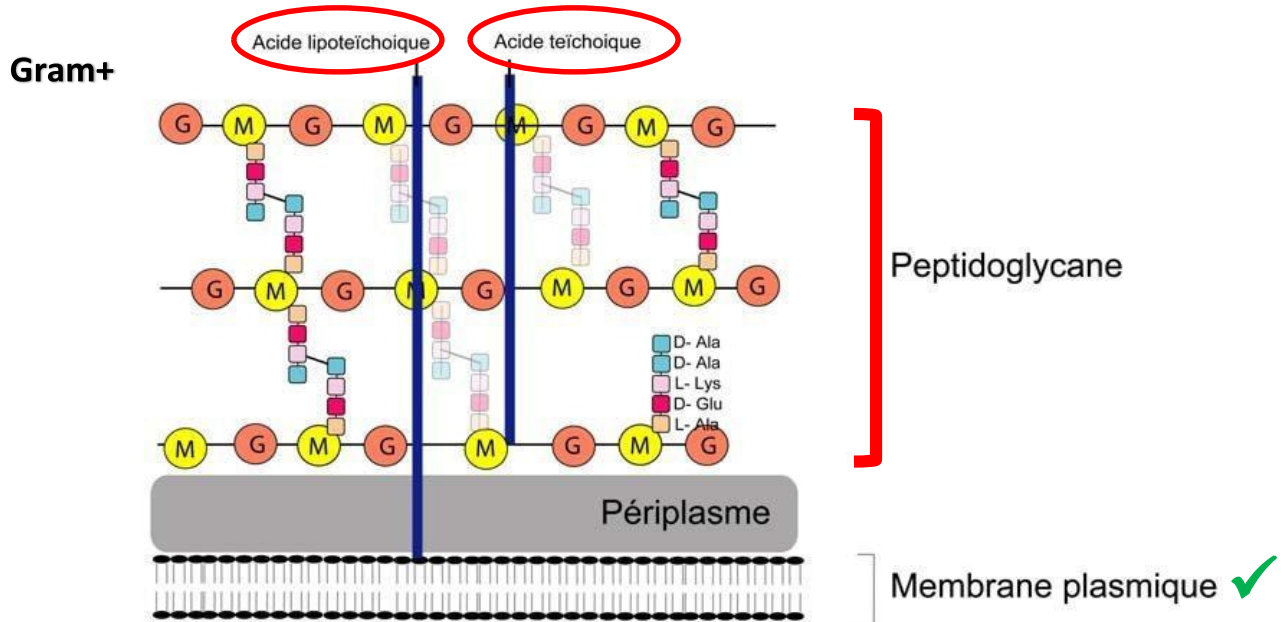
- **une épine dorsale** faite d'une alternance de molécules de N-acétylglucosamine (NAG) et d'acide N-acétylmuramique (NAM) reliés entre eux par une liaison glycosidique ;
- **un ensemble de chaînes latérales peptidiques identiques**, composées de 4 acides aminés et attachées à l'acide N-acétylmuramique ;
- **un ensemble de « ponts interpeptidiques » identiques**.



Structure du peptidoglycane

Remarque : L'épine dorsale est la même pour toutes les espèces bactériennes tandis que les chaînes latérales de tétrapeptides et les ponts interpeptidiques varient d'une espèce à l'autre.

- **Acide teïchoïque** L'acide teïchoïque est un acide qui permet au peptidoglycane de s'attacher à la membrane des bactéries. Il est présent sur les Gram + mais pas sur les Gram -.



Composant	Gram+	Gram-
La membrane externe	-	+
Le peptidoglycane	-Constituant majeur (90%) ; -Couche épaisse (15 à 30nm) très solide.	-Couche mince (3 à 5nm) ; -Incustré au milieu du périplasme.
Les acides teïchoïques	-(10%), sont des polymères de glycérol et de ribitol reliés à des groupes PO4 et ne dépassent pas la paroi.	-
Les acides lipoteichoïques	-Les acides lipoteichoïques s'enchâssent dans la membrane cytoplasmique ; -Les acides lipoteichoïques retiennent le violet lors de la coloration de Gram.	-
Protéines	-Peu ou pas de protéines, sauf exceptions comme la protéine A de <i>S. aureus</i> .	-Présence de PORINES
Les lipo-polysaccharides (LPS)	-	formé de 3 parties : -Le lipide (A) possédant une partie hydrophobe et une partie hydrophile ; -Le polysaccharide central, constitué de 10 sucres ; -La chaîne latérale O, ou antigène O, chaîne courte, sa composition varie selon la souche bactérienne.

4.1.2. Fonction de paroi bactérienne :

- assurer le maintien de la forme de la bactérie.
- assurer une protection contre la pression osmotique intracellulaire.
- propriétés antigéniques.
- permettre la fixation des bactériophages. Ils reconnaissent des récepteurs localisés sur le
- peptidoglycane des Gram(+) ou la membrane externe des Gram(-).
- participer à la mobilité. En effet, les flagelles sont implantés dans la membrane
- cytoplasmique mais ne peuvent pas fonctionner en absence de peptidoglycane.
- la toxicité. Chez les Gram(-), le LPS est une endotoxine.
- la perméabilité. La paroi laisse passer de petites molécules comme l'eau, les sels minéraux
- ou des métabolites simples.

4.2. La membrane

C'est une barrière semi-perméable: elle permet le passage de molécules lipophiles et empêche le passage des molécules hydrophiles.

Site de fixation des flagelles

Possède des protéines membranaires ayant pour rôles : Enzymes responsables de la biosynthèse et de l'excrétion dans l'espace périplasmique de molécules nécessaires à la synthèse de la paroi.

Des Enzymes de la chaîne respiratoire permettant la synthèse d'ATP et celles de la photosynthèse.

De plus la membrane joue un rôle important dans la détection des signaux et de composés présents dans le milieu environnant grâce à la présence de protéines transmembranaires du **chimiotactisme**. Ceci, permet aux bactéries dotées de flagelles, de nager vers les endroits les plus riches en nutriments, ou bien, de s'éloigner des endroits défavorables comme ceux qui contiennent des substances toxiques.

4.3. Le cytoplasme

Il se présente sous un aspect colloïdal coagulable, il est constitué de 80% d'H₂O, et d'autres éléments constitutifs comme le ribosome, et les inclusions.

- **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).

4.4. Appareil nucléaire

C'est une région habituellement composée de 60% d'ADN (chromosome), 40% d'ARN, l'ADN chez les procaryotes n'est pas couplé aux protéines histones.

4.5. ARN et ribosomes

Les ribosomes sont de petites granulations sphériques de 10 à 30 nm de diamètre qui paraissent remplir totalement le cytoplasme, leur constante de sédimentation est de 70 S (Svedberg), les ribosomes sont constitués d'ARN (65%) et de protéines (35%).

4.6. Les plasmides

La cellule bactérienne peut contenir des éléments génétiques extra-chromosomiques

Les principales fonctions codées par les plasmides sont les suivantes :

Production de toxines, facteurs de pathogénicité, facteur de virulence (ex : *Clostridium tetani*)

Production des bactériocines.

Résistance aux ATB (90% plasmidique) et agents antagonistes : métaux lourds rayonnements, bactériophages.

4.7. La capsule

Elle est bien organisée, bien définie et elle est difficilement détachable de la bactérie.

Protection : contre les ultraviolets, la déshydratation, les agents physiques et chimiques.

Virulence : en diminuant l'adhésion de bactéries aux macrophages.

Antigénique : les Ag capsulaires sont responsables de la spécificité sérologique (Ag K).

4.8. Les flagelles

La plupart des bactéries mobiles se déplacent grâce à des flagelles qui s'étendent à l'extérieur de la membrane plasmique et de la paroi cellulaire. Ce sont des structures minces d'environ 20 nm de diamètre et 15 à 20 µm de long, constitués d'une même protéine la flagélline structurée en sous unités hélicoïdales.

Composés de trois parties : un filament hélicoïdal externe, un crochet coudé qui fixe le filament à la cellule, un corps ou granule basal entièrement logé dans la cellule et terminé par un système complexe d'anneaux qui permettent sa fixation.

4.9. Pili

Ils sont nombreux chez les bacilles à G-, rares chez les G+, on distingue deux catégories de morphologie et de fonction distinctes : les pili communs, les pili sexuels.

Les premiers sont distribués en grand nombre autour de la bactérie jusqu'à plusieurs centaines, ils sont courts, les seconds sont plus longs atteignant 20µm, leur nombre est faible, varie de 1 à 4, ils jouent un certain rôle au cours de la conjugaison bactérienne, il est possible qu'ils interviennent dans la reconnaissance entre les bactéries « mâles » qui sont les seuls à en posséder et bactéries « femelles ».

4.10. Les formes de résistance (spores)

Certaines bactéries ont le pouvoir de se transformer en petites unités ovales ou sphériques de résistance lorsque le milieu s'épuise en éléments nutritifs ou lorsque les conditions physico-chimiques extérieures changent, on les appelle « spores » ou « endospores » puisque leur formation est intracellulaire.

Les endospores caractérisent 3 principaux germes bactériens. *Bacillus*, *Clostridium* et *Sporosarcina*.

Forme de la spore

spore sphérique



spore cylindrique



spore ovoïde



Position de la spore

spore centrale



spore subterminale



spore terminale



Déformation éventuelle de la bactérie par la spore

spore non déformante



spore déformante



Forme, position et déformation de la spore

1. BESOINS ENERGETIQUES

Selon le type d'énergie utilisée, on peut reconnaître 2 catégories de micro-organismes :

A. Phototrophes ou photosynthétiques : qui puisent leur énergie à partir de rayonnement lumineux.

Parmi les bactéries photosynthétiques :

- **bactéries photo-litotrophes**, ces bactéries dégradent les substrats minéraux ex : le soufre = bactéries sulfureuses.
- **bactéries photo-organotrophes** dégradent les composés organiques tel que les acides gras, lipides, protéines...

B. Chimiotrophes ou chimiosynthétiques : qui utilisent l'énergie de l'oxydation de produits chimiques, organiques ou minéraux.

Parmi les bactéries chimiotrophes, il existe des bactéries qui dégradent les substrats minéraux = bactéries **chimio-litotrophes** et les bactéries **chimio-organotrophes** qui dégradent les composés organiques, elles dégradent les substrats tel que les acides lactiques, acides aminés et acide acétique.

2. BESOINS ELEMENTAIRES

➤ Source de carbone

Ces exigences nutritionnelles conduisent à envisager deux grandes catégories de micro-organismes :

Les bactéries **autotrophes** capables de se développer en milieu inorganique contenant CO₂ comme seule source de carbone.

Les bactéries **hétérotrophes** exigent des composés organiques (sucre, acide organique, acide lactique etc.).

➤ Source d'azote

Pour synthétiser leurs protéines, les micro-organismes ont besoin de substances azotées. Quelques bactéries seulement sont capables de fixer l'azote sous sa forme la plus simple, c'est-à-dire l'azote atmosphérique N₂.

➤ Autres éléments minéraux

Certains de ces éléments jouent sans aucun doute un rôle de l'équilibre physico-chimique de la cellule, ce sont le *sodium*, le *potassium*, le *magnésium* et le *chlore*, ils sont souvent appelés **micro-éléments**.

D'autres éléments tels que le calcium, le cuivre, le magnésium, le manganèse jouent le rôle de cofacteurs ou d'activateurs enzymatiques, on les appelle **oligo-éléments** car ils sont indispensables en quantité infime, le plus souvent apportés sous forme de traces par les produits chimiques qui servent à préparer les milieux de culture.

➤ Besoins spécifiques : facteurs de croissance

Certaines bactéries exigent pour leur développement la présence de substances organiques qu'elles sont incapables de synthétiser, on doit lui fournir par un apport extérieur, c'est alors là qu'on parle de **facteurs de croissance**.

En fonction de ces besoins on distingue :

- **bactéries prototrophes** qui ne nécessitent pas de facteurs de croissance, les éléments habituels déjà cités leur étant suffisants,

- **les bactéries auxotrophes** qui exigent les facteurs de croissance. Le nicotinamide est un métabolite essentiel pour *Proteus*.

Les bactéries prototrophes sont capables de croître sur un milieu qu'on appelle **milieu minimum**, qui ne contient que les éléments essentiels.

Nature et propriétés des facteurs de croissance

- **Acides aminés** : sont des facteurs de croissance car ils sont indispensables à la synthèse des protéines (25µg/l)
- **Bases puriques et pyrimidiques** : font partie des acides nucléiques et ils sont nécessaires à la synthèse des protéines (10µg/l)
- **Vitamines** : jouent un rôle de coenzyme (1 à 20 µg/l)

Lorsqu'un facteur de croissance n'est présent qu'en faible quantité dans le milieu, il limite la croissance : on dit qu'il est un **facteur limitant** de la croissance.

Il existe plusieurs types de facteurs de croissance :

- **Facteurs de croissance stricte** : en leur absence il n'y a pas de culture.
- **Facteurs stimulants** : ils favorisent la multiplication bactérienne.
- **Facteurs de départ** : ils sont indispensables lors d'une première culture.

➤ Facteurs physiques

Les nutriments constitutifs ou énergétiques nécessaires à un micro-organisme pour son développement doivent lui être apportés dans certaines conditions d'environnement. Un certain nombre de facteurs physiques interviennent au cours de la nutrition, ils peuvent l'empêcher, l'inhiber ou la favoriser.

• Température

Elle influence profondément la multiplication aussi bien que le métabolisme (action sur la vitesse des réactions biochimiques).

Selon la température on distingue :

- **Les mésophiles** : préférant une température moyenne comprise entre 20 et 40°C (optimum 30 – 37°C).
- **Les psychrophiles** : dont la température optimale de croissance est située aux environs de 10°.
- **Les thermophiles** qui se multiplient préférentiellement entre 45 et 55°C.
- **Les thermophiles extrêmes** ou hyper thermophiles ayant un optimum situé vers 70°C.

- **Le pH** : les bactéries se multiplient à des pH neutres ou légèrement alcalin ou acide

• L'oxygène O₂

- **Aérobies stricts** : exigent l'oxygène libre pour leur développement.
- **Anaérobies stricts** : ne peuvent se multiplier qu'en l'absence d'oxygène.
- **Aéro-anaérobies ou anaérobies facultatifs** : capables de croître avec ou sans oxygène libre.
- **Micro-aérophiles** : ne se reproduisent qu'en présence d'une faible tension d'oxygène.

• La pression osmotique

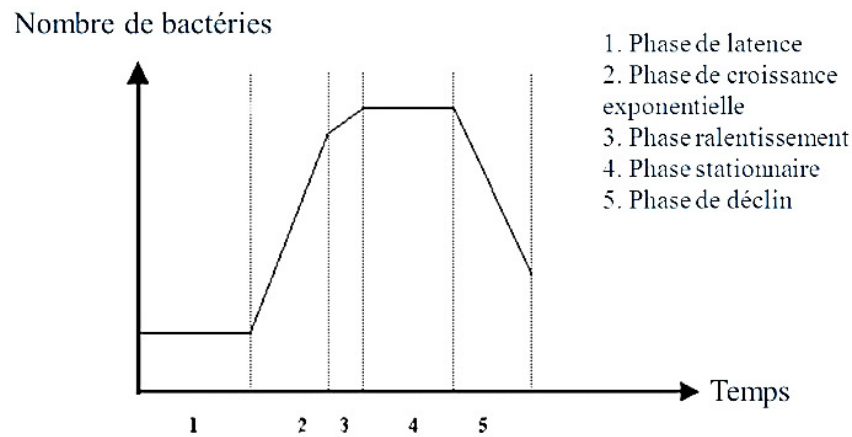
La plupart des bactéries insensibles aux variations des pressions osmotiques, elles sont protégées par leur paroi rigide mais généralement quand la concentration du NaCl est supérieure à 2% la croissance des bactéries est

inhibée, à l'exception de quelques bactéries appelées **bactéries halophiles** qui se développent à une concentration en NaCl plus élevée ex : les bactéries qui vivent dans les marais salants, ex : *Staphylococcus*, *Pseudomonas* = NaCl 2 à 5%.

- **L'humidité : A.W = Activity of Water**

certaines micro-organismes s'adaptent à des AW faibles, ex : *Micrococcus* et *Staphylococcus*, les espèces qui résistent à une AW faible sont **des Xérophiles**.

3. Courbe de croissance



Phase de latence

Si onensemence un milieu convenable avec une petite quantité de culture microbienne, on observe rarement un développement immédiat car normalement il faut attendre 2 à 3 heures pour constater un trouble visible. Cette période au cours de laquelle le taux de croissance est nul, s'appelle **phase de latence**, on peut l'observer pour tous les micro-organismes (levure, champignon, bactéries etc.)

Phase exponentielle

Elle fait suite à la période de latence, les bactéries se multiplient sans arrêt pendant cette phase, on assiste à la libération de métabolites primaires d'intérêt industriel (antibiotiques, toxines...), la vitesse spécifique de croissance est constante et maximale dans les conditions utilisées.

Phase stationnaire

Cette phase ne dure que quelques heures, le milieu devient de plus en plus défavorable à la croissance. Le nombre des cellules viables reste constant.

Phase de déclin

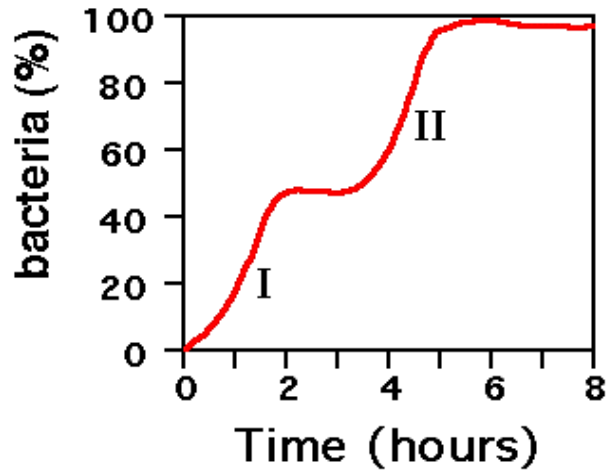
Au cours de cette dernière phase les bactéries ne se divisent plus, beaucoup d'entre elles meurent et sont lysées par les enzymes qu'elles libèrent (autolysines).

Dans certains cas les bactéries survivantes peuvent amorcer une nouvelle phase de multiplication au dépend de substances libérées par la lyse, ce phénomène est connu sous le nom de croissance critique.

➤ Phénomène de diauxie

Dans un milieu synthétique contenant un mélange de 2 substrats carbonés **une courbe diphasique**, ce phénomène a été décrit par **Jacques Monod** (biologiste et biochimiste français) sous le nom de **diauxie**.

Ex : on cultive *E.Coli* sur un milieu contenant comme source de carbone un mélange de fructose et arabinose, on observe une **première phase** d'adaptation au fructose (A) et utilisation du fructose (B) et une **deuxième phase** d'adaptation à l'arabinose (C) et enfin l'utilisation de l'arabinose (D).

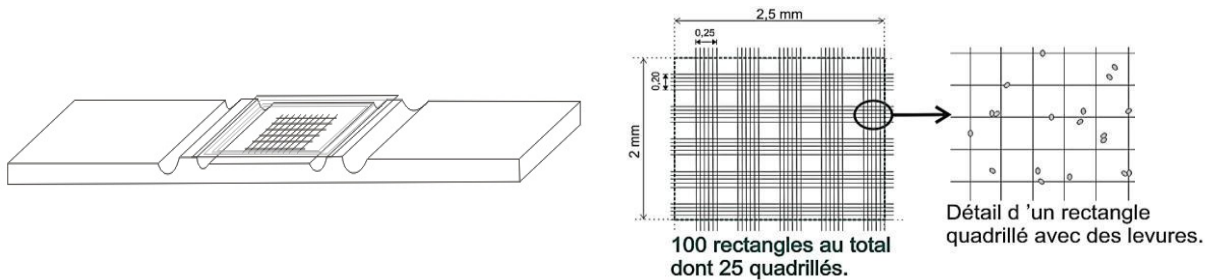


4. Méthodes de mesure de la croissance bactérienne

A. Mesure du nombre de cellule bactérienne

1. Comptage avec lames

Ce comptage s'effectue à l'aide de lame adaptée à la petite taille des bactéries. Elles sont creusées de petites chambres de comptage, quadrillé pour aider l'expérimentateur. Il existe plusieurs types de lame ou cellule ; Exemples : **cellule de Thoma**, **cellule de malassez**.



2. Méthode des dilutions : dénombrement sur milieu solide ou liquide

3. Mesure de la biomasse

La turbidimétrie : Le spectrophotomètre est utilisé pour mesurer la turbidimétrie d'une population bactérienne en milieu liquide. Le principe est basé sur la quantité de lumière dispersée proportionnellement à la quantité de bactérie. La mesure de l'absorbance est effectuée à 620 nm. On constate que l'absorbance est toujours linéaire en fonction de la concentration en bactérie.

5. Taxonomie bactérienne

Taxonomie = Systématique : science des êtres vivants ainsi que les relations qui existent entre eux. Elle consiste à: **Caractériser** les bactéries, les **classer** sur la base de leur similitude, (genres, espèces...), **Appliquer** le code international de la nomenclature pour les nommer (Exp: *Escherichia coli*), **Identifier** de nouveaux organismes et déterminer leur appartenance ou non à l'une des espèces connues.

L'unité taxonomique = L'espèce

Une espèce biologique est un ensemble d'individu qui présente un haut degré de **ressemblance phénotypique** :

- Tout individu appartient à une **espèce**
- Les espèces proches sont groupées en un **genre**
- Les genres rapprochés sont réunis en une **famille**
- Les familles présentant des similitudes forment un **ordre**
- Les ordres apparentés sont rangés dans une **classe**
- Les classes semblables sont réunies en une **division** ou **phylum**
- Les phylum se réunis dans une **règne**
- Les règnes forment le **domaine**

CHAPITRE 04 : MYCOLOGIE

La mycologie est la science qui étudie les champignons (du grec « mukes » =champignon et "logos"= étude, science).

1. Morphologie et structure cellulaire des champignons microscopiques

- Caractères morphologiques

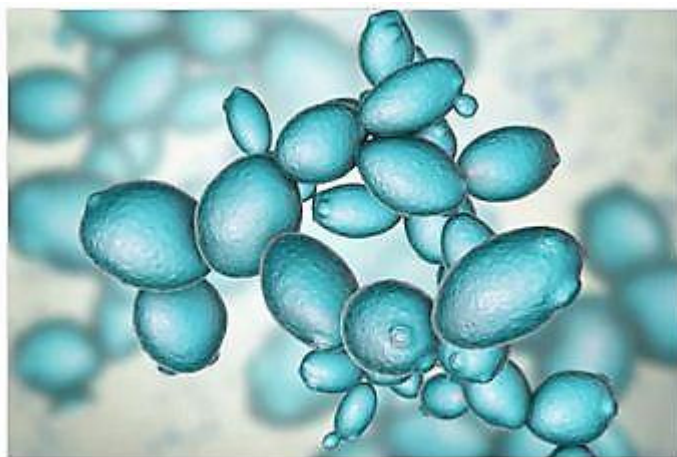
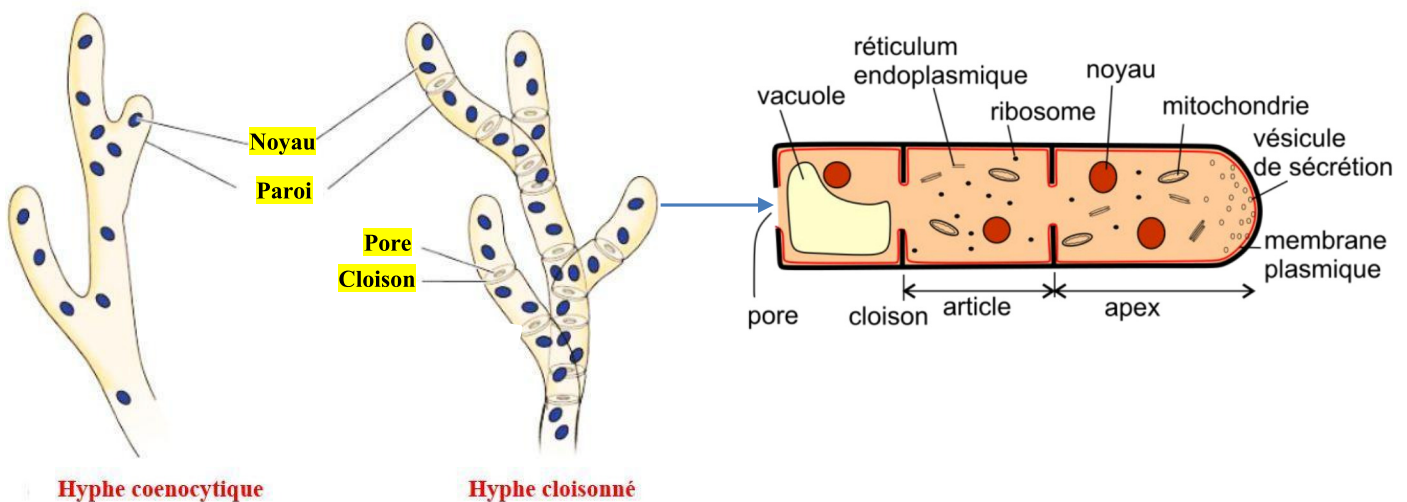
L'appareil végétatif ou thalle est formé de filaments ou hyphes.

On distingue deux types de filaments :

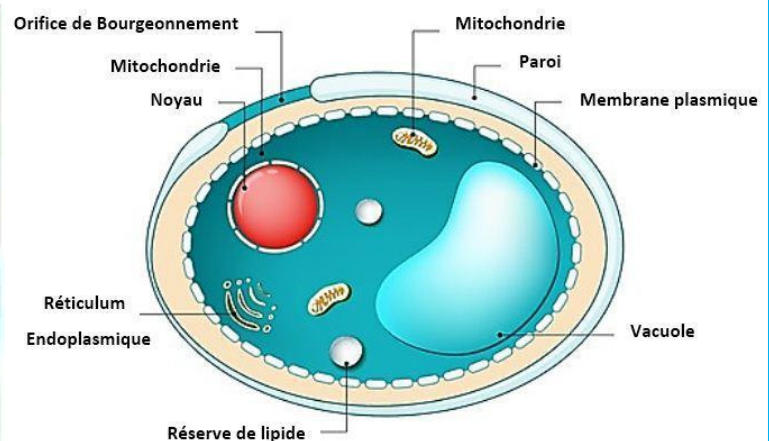
Filaments septés ou cloisonnés, de diamètre régulier (3 à 5µm), les cloisons se forment à intervalle plus ou moins régulier. Les champignons caractérisés par ce type thalle sont appelés Septomycètes.

Filaments non cloisonnés ou siphonnés, de diamètre irrégulier (5 à 15µ m) caractérisant les champignons inférieurs ou Siphomycètes.

Dans certains cas, le thalle se réduit à une seule cellule, c'est la levure.



Thalle levuriforme



Le cytoplasme contient des mitochondries, un réticulum avec des ribosomes, des vésicules protéiques, des microtubules, du glycogène et des granulations lipidiques.

La membrane cytoplasmique est entourée d'une paroi de structure complexe formée de glucides, polysides simples (mananes, glucanes, cellulose), polysides aminés (chitine, chitosane), stérols (principalement l'ergostérol) et des polyols.

- Nutrition

Les champignons sont des organismes **hétérotrophes** donc incapables de photosynthèse, ils vivent aux dépens de matières organiques préformées qu'ils utilisent comme source de carbone et d'azote.

Certains champignons exigent pour leur développement des acides aminés, des sels minéraux ou des vitamines (thiamine, biotine).

La nutrition des champignons se fait par simple absorption, ils sont généralement aérobies et le pH favorable pour leur pousse se situe aux alentours de 7.

- Reproduction

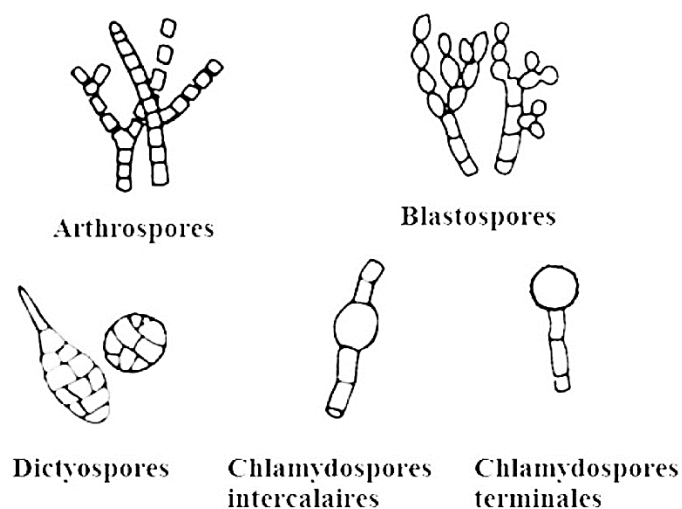
• La reproduction asexuée

Elle s'effectue avec des cellules à $2n$ chromosomes donnant des individus identiques aux premiers. Ces cellules peuvent être produites par le thalle et sont dites « **spores asexuées ou conidies** », ou formées par différenciation d'un élément préexistant du thalle (ex : les hyphes) ; elles sont qualifiées alors de « **thallospores** ».

Les spores sont produites directement sur les filaments mycéliens (**section des Sporotrichés**), sur des sporophores (**section des Sporophorés**) ou par des phialides (**section des Phialidés**). La majorité des champignons produisent des spores asexuées immobiles, mais certains sont capables de produire des spores flagellées dites « zoospores », comme les Chytridiomycètes et les Oomycètes.

Lors de la **reproduction asexuée** et selon le type de différenciation, les mycètes forment quatre types de thallospores :

- **Les arthrospores** : formées par fragmentation (désarticulation, amputation) du thalle. Ex : *Geotrichum*.
- **Les blastospores** : formées par bourgeonnement du thalle. Ex : *Blastomyces*.
- **Les chlamydospores** : sont des cellules de résistance, formées quand les conditions sont défavorables. Elles ont un contenu lipidique dense et une paroi épaisse. Les chlamydospores peuvent être intercalaires ou terminales. Ex : *Fusarium*, *Candida*.
- **Les dictyospores** : formées par plusieurs divisions successives d'un élément préexistant. Ex : *Alternaria* (Bennett et Ciegler, 1983 ; Botton *et al.*, 1990).

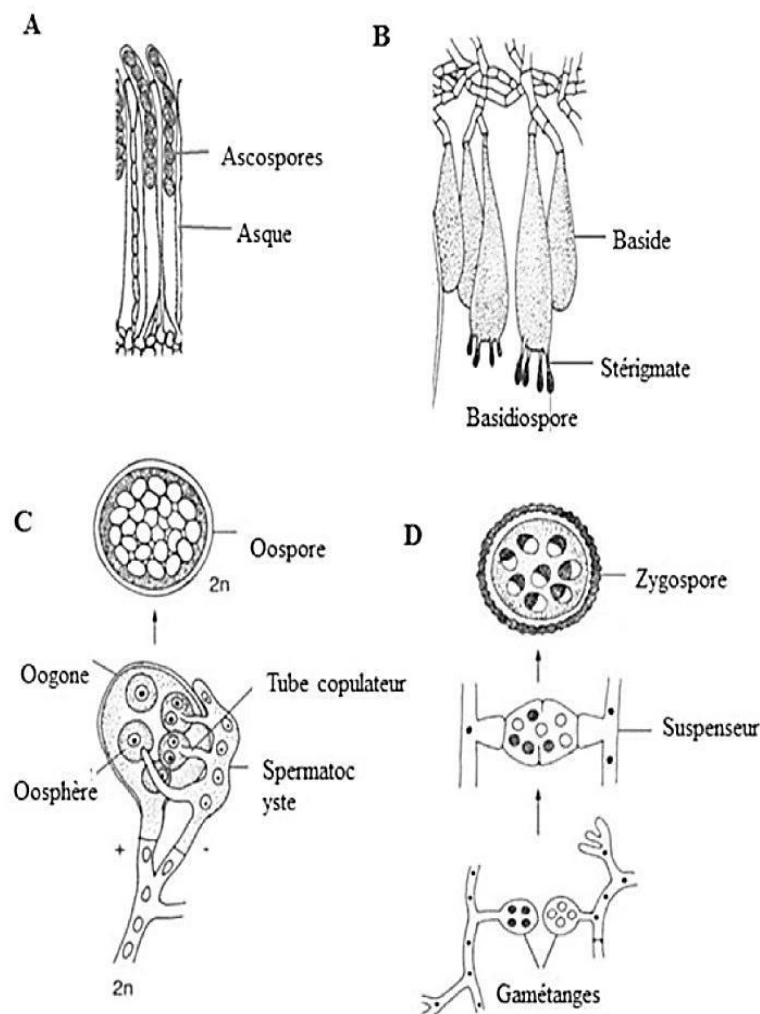


Les types de thallospores

- **La reproduction sexuée**

Elle joue un rôle très important dans la classification des champignons. Quatre types de cellules de reproduction sexuée sont connus (Figure 4) :

- **Les ascospores** : Elles sont formées dans des structures spécialisées dite « asques ». Une fois mûres, les ascospores se placent à l'extrémité des asques et sont libérées à l'extérieur par contraction de ces derniers. Ce mode de reproduction est caractéristique des **Ascomycètes**.
- **Les basidiospores** : Ce sont des cellules formées à l'extérieur des « basides » et portées par des filaments fins dits « stérigmates ». Après maturité, les stérigmates se brisent (par la pluie, le gel, le vent, le poids des spores, etc.) et libèrent les basidiospores. Ces cellules sont caractéristiques des **Basidiomycètes**.
- **Les oospores** : Elles sont formées chez les thalles plasmodiaux par la fusion de deux sporocystes de sexes opposés (l'oogone et le spermatocyste). La fécondation se fait à l'intérieur de l'oospore. Cette forme de reproduction est rencontrée chez les **Oomycètes**.
- **Les zygosporés** : Elles sont formées aussi par la fusion de deux sporocystes de sexes opposés. Elles sont rencontrées chez les moisissures à thalle siphonné : les **Zygomycètes**. Les zygosporés sont portées par des sporophores qui se différencient en « suspenseurs ». Comme pour l'oospore, la fusion se fait à l'intérieur.



Les cellules de reproduction sexuée.

A : Ascospores, B : Basidiospores, C : Formation de l'oospore, D : Formation de la zygosporé.

- Classification

Classe	Cloisonnement	Reproduction sexuée	Particularités / Exemples
Myxomycètes	non	oui	moisissures visqueuses plasmodiales
Oomycètes	non	oui (oospores)	<i>Plasmopara viticola</i> (mildiou de la vigne)
Zygomycètes	non	oui (zygospores)	Mucorales : <i>Mucor</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Absidia</i>
Ascomycètes	oui	oui (ascospores)	<i>Saccharomyces</i> , <i>Kluyveromyces</i> , <i>Hansenula</i> ; <i>Neurospora</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. nidulans</i>
Basidiomycètes	oui	oui (basidiospores)	nombreux champignons macroscopiques : <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Coprinus</i> ...
Deutéromycètes (<i>Fungi imperfecti</i>)	oui	Absente (ou inconnue)	<i>Candida</i> , <i>Cryptococcus</i> , <i>Rhodotorula</i> , <i>Brettanomyces</i> ; <i>Geotrichum</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. niger</i>

1. Définition

C'est un agent infectieux très simple, dont la structure se résume à deux ou trois éléments. Les virus sont donc différents des bactéries ou des parasites, qui sont des cellules procaryotes ou eucaryotes. "Les virus sont les virus", comme le disait André Lwoff, un des pères de la virologie moderne.

2. Structure du virus

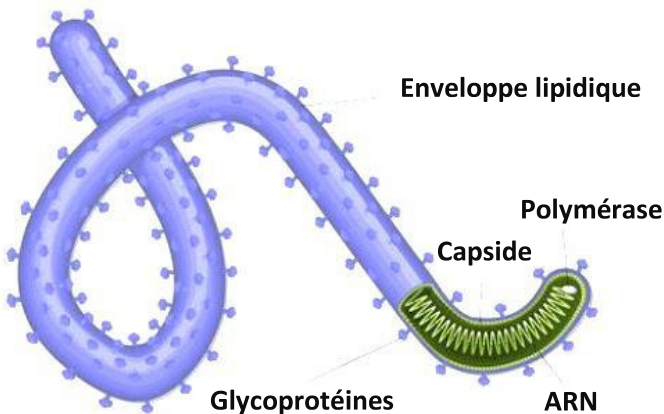
- **Le génome** : un virus comporte toujours un génome qui est de l'ADN ou de l'ARN. C'est d'ailleurs le premier élément de classification des virus. Ce génome peut-être monocaténaire (simple brin) ou bicaténaire (double brin).

- **La capside** : le génome est emballé dans une structure protéique appelée **capside**, d'un mot grec, caps, signifiant boîte. La capside **protège** le génome. Elle a une conformation géométrique qui, selon les virus est, soit **tubulaire**, soit **polyédrique (mutli-face)**.

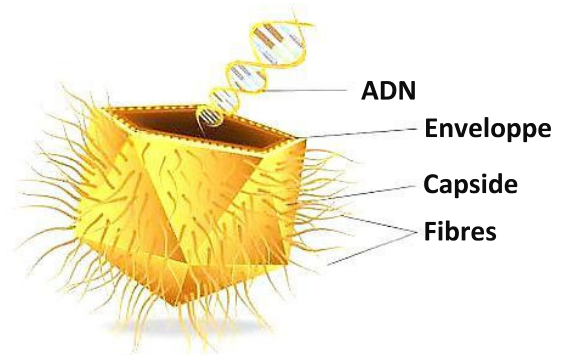
On appelle **nucléocapside** la structure compacte formée par l'assemblage de la capside autour du génome d'où :

- **nucléocapside tubulaire ou hélicoidale** : C'est un tube enroulé en peloton.
- **nucléocapside polyédrique**.

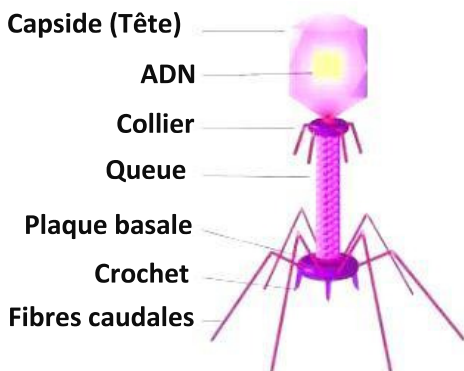
- **L'enveloppe** : c'est l'élément le plus externe des virus enveloppés. La présence (virus enveloppés) ou l'absence d'enveloppe (virus nus) a un rôle important dans le mode de transmission des maladies virales. L'enveloppe dérive des membranes cellulaires.



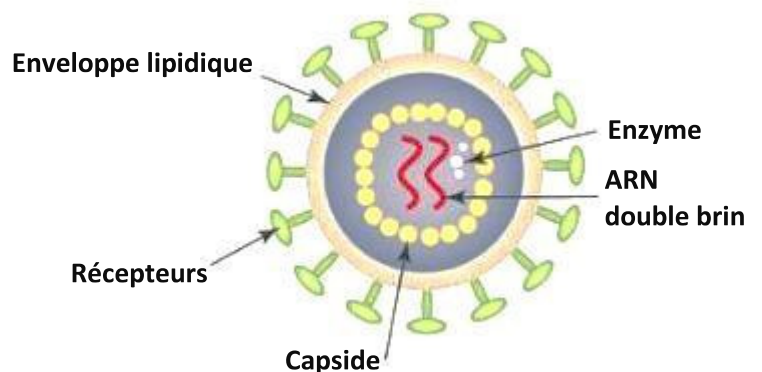
Le virus EBOLA



Le MIMIVIRUS



Le bactériophage



Le VIH

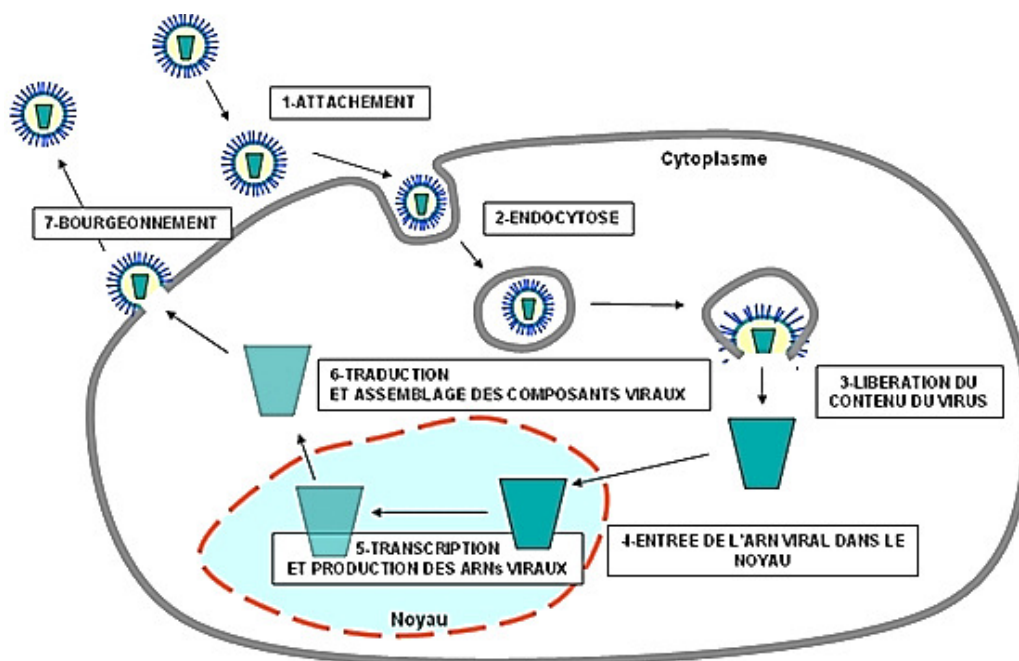
3. Classification des virus

Elle repose désormais sur la structure des virus et non plus sur leur pouvoir pathogène ou leur taille. Les trois premiers critères de la classification sont, dans l'ordre, **la nature de l'acide nucléique du génome** (ADN ou ARN), **la conformation de la capside** (tubulaire ou...), et enfin **la présence ou l'absence d'enveloppe**.

4. La multiplication virale

La multiplication virale est un phénomène complexe au cours duquel **le virus va détourner la machinerie cellulaire à son profit**.

- L'attachement,
- La pénétration,
- La décapsidation,
- La réplication,
- La multiplication des virus à ADN,
- La multiplication des virus à ARN,
- L'assemblage et la maturation,
- La libération des virus.



Le cycle viral

FIN