



*République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université des Frères Mentouri-Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie*



Cours de **Microbiologie Générale**

Réalisés par : Dr. A.DAFFRI

2^{ème} Année LMD

*Sciences biologiques, Biotechnologies,
Ecologie et environnement*

Années universitaires

2021 / 2022

Chapitre I: Le Monde Microbien

La microbiologie est l'étude des **microorganismes** appelés aussi **microbes**. Ces derniers constituent un ensemble important et diversifié d'organismes microscopiques, existant en une seule cellule ou en groupe de cellules ou encore en unité acellulaire (Virus).

La microbiologie s'organise autour de thèmes principaux: science de la vie et son application aux besoins humains. En fait, l'utilisation empirique des microorganismes dans la production ou la transformation des aliments par l'homme remonte à plusieurs millénaires: la levure *Saccharomyces cerevisiae* a été cultivée et utilisée dans la fabrication du vin il y a 9 000 ans. Durant la même période et même bien avant, l'humanité a subi régulièrement des épidémies ravageuses d'origine microbienne, sans jamais réussir à les contrôler ni à établir leur nature.

I. Historique

Avant 1650 jusqu'au milieu du XIX^e(19) siècle, chaque succès dans le combat contre la maladie, par la destruction des microbes, ou l'altération de leurs capacités de fermentation, fut réalisé par erreur ou par des processus inexacts. Une des plus importantes découvertes de l'histoire de la biologie a lieu en 1665, à l'aide d'un microscope rudimentaire. En effet, l'Anglais Robert HOOKE annonce au monde que la plus petite unité structurale de l'être vivant est la cellule. HOOKE a réussi à voir des cellules individuelles dans des préparations végétales. Cette découverte a marqué le début de **la théorie cellulaire**. Selon cette dernière, tous les êtres vivants sont constitués de la cellule. Les recherches qui suivent, sur les structures et les fonctions des cellules, ont été fondées sur cette théorie.

En 1667, le drapier et l'amateur scientifique hollandais, Antonie Van LEEUWENHOEK et à l'aide d'un microscope rudimentaire, de sa propre fabrication (Figure 1), a pu observer pour la première fois des microorganismes. D'esprit curieux, il s'est mis à observer avec son instrument optique toutes sortes d'échantillons: sa peau, sa salive, l'eau..., découvrant ainsi **le monde microbien**. Devenu naturaliste par passion, LEEUWENHOEK réussit à observer et à dessiner quasiment tous les types de microorganismes, qualifiés d'"**animalcules**" en raison de leur mobilité (Figure 2). Ces nombreuses descriptions ont été publiées par le prestigieux *Bulletin* de la *Royal Society* de Londres.

Ces travaux n'ont pas eu de suites immédiates car LEEUWENHOEK a gardé secrète sa méthodologie, de plus, l'époque était peu propice aux sciences de la vie et plutôt tournée aux sciences exactes, avec l'émergence de théories majeures et de grands scientifiques: NEWTON, DESCARTES, FERMAT,..., dont les travaux monopolisaient toutes l'actualité. C'est après, deux siècles plus tard, que ces animalcules sont reconnus comme étant des **levures**, des **algues**, des **protozoaires** et des **bactéries**.

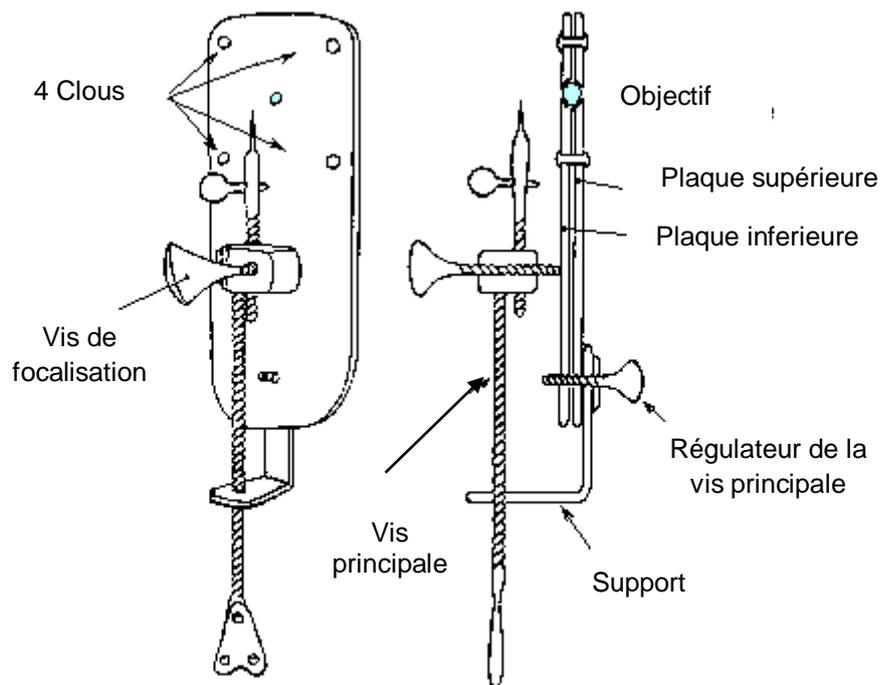
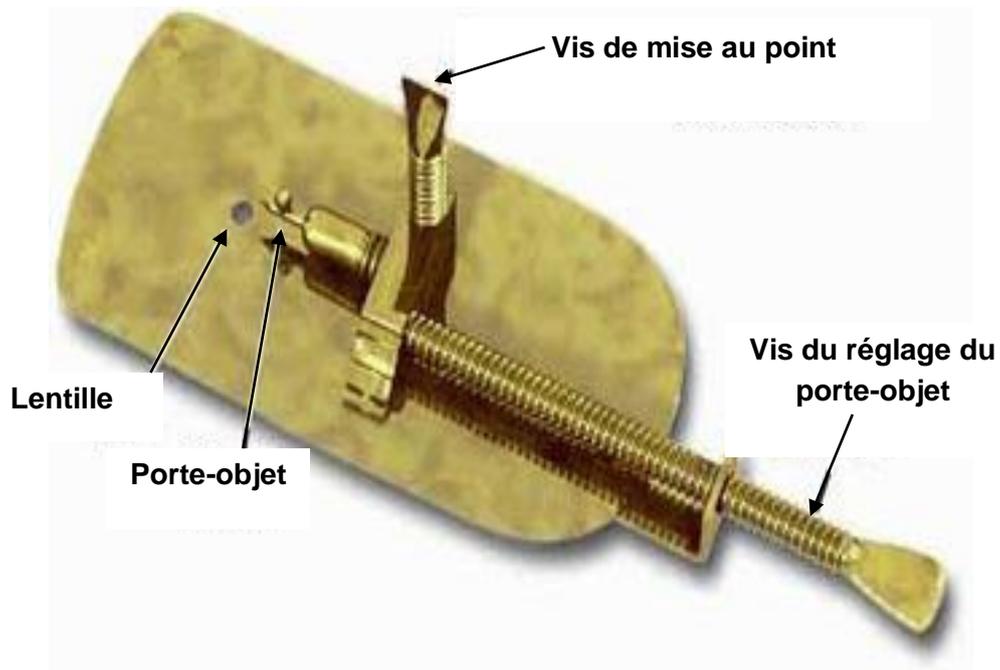


Figure 1 : Microscope rudimentaire fabriqué par Antoni Van LEEUWENHOEK.

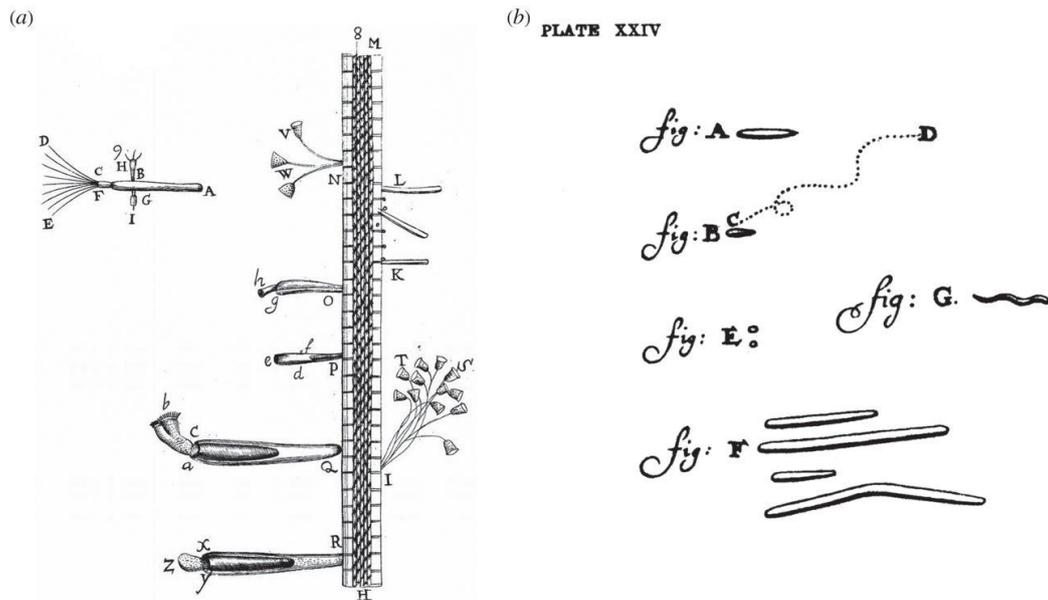


Figure 2 : Dessins des bactéries observés microscopiquement par Antoni Van LEEUWENHOEK.

La communauté scientifique commence à s'intéresser à l'origine de ces minuscules êtres vivants (animalcules). Jusqu'à la deuxième moitié du XIX^e (19) siècle, beaucoup de scientifiques et de philosophes croyaient que certains êtres vivants peuvent être engendrés "spontanément" à partir de la matière non vivante. Cette hypothèse est appelée : **la théorie de la génération spontanée**, ardemment défendue depuis ARISTOTE. Cependant, le Médecin italien Francesco REDI, qui s'oppose vigoureusement à cette théorie, a démontré que les asticots (stade larvaire de mouches) ne se forment pas spontanément dans la viande en décomposition, mais c'est les mouches qui ont pondus des œufs. Les résultats de REDI portent un coup sévère à la croyance, bien établie, que le non vivant peut donner naissance à certaine forme de vie de grande taille. Ainsi, le concept de **biogenèse** du scientifique allemand Rudolf VIRCHOW, selon lequel, une cellule vivante peut être engendrée seulement par une cellule vivante préexistante s'est opposé à la génération spontanée de 1858 jusqu'au 1861, où le scientifique français Louis PASTEUR à trancher.

Grâce à une série d'expériences ingénieuses et convaincantes, PASTEUR a montré que les microorganismes sont présents dans l'air et peuvent contaminer les solutions stérile, mais que l'air lui-même ne crée pas les microbes. Ainsi, les travaux de PASTEUR ont contribué de façon décisive au progrès de la microbiologie. Il a montré que les microorganismes peuvent être présents dans la matière non vivante: sur les solides, dans les liquides et dans l'air. De plus, il a démontré que la vie microbienne peut être détruite par la chaleur et qu'on peut mettre au point des méthodes pour protéger les milieux nutritifs contre les microorganismes aériens. En d'autres termes, il a montré comment stériliser des milieux nutritifs et les garder stériles. Ces découvertes sont à l'origine de l'**asepsie** qui est l'ensemble de méthodes qui permettent de prévenir la contamination par les microorganismes indésirables. L'**asepsie** est devenue une pratique courante dans les laboratoires et dans plusieurs interventions en soins infirmiers et en médecine. Les techniques d'**asepsie** modernes sont la première chose et la plus importantes à apprendre pour les futurs intervenants en santé.

Les travaux de PASTEUR fut le début des découvertes de la microbiologie connues comme **l'âge d'or de la microbiologie** qui s'étend de 1857 à 1914. Les progrès rapides accomplis surtout par PASTEUR et Robert KOCH, permettent d'établir la microbiologie en tant que science. Au nombre de découvertes de cette époque, on compte les agents **pathogènes** de nombreuses **infections** et le rôle d'immunité dans la prévention et la guérison des maladies. Durant cette même période, les microbiologistes ont étudié l'activité chimique des microorganismes, améliorant ainsi, les techniques de la microscopie et les méthodes de cultures des microbes, mettant au point des vaccins et des techniques chirurgicales.

Une des étapes clés qui a permis d'établir la relation entre les microorganismes et la maladie est initiée par un groupe de marchands français qui demandent à PASTEUR de trouver une solution pour empêcher la détérioration du vin et de la bière quand elles sont transportées sur de longues distances. A l'époque, beaucoup de scientifiques pensent que l'air convertit le sucre présent dans ces boissons en alcool. Alors que, PASTEUR a découvert que ce sont plutôt des microorganismes appelés : **Levures** qui transforment les sucres en alcool en l'absence d'air. Ce processus est appelé: **fermentation**. Cette dernière sert à la fabrication du vin et de la bière.

Toutefois PASTEUR a découvert que ces boissons se détériorent sous l'action d'autres microorganismes appelés: **Bactéries**. En présence d'air, les bactéries transforment l'alcool du vin et de la bière en vinaigre. La solution de PASTEUR à ce problème était de chauffer la bière et le vin juste assez pour tuer la plupart des bactéries. Ce procédé est appelé alors: **pasteurisation**. Depuis, la pasteurisation est utilisée pour traiter les boissons alcoolisées et pour tuer les bactéries du lait dont certaines peuvent être nocives pour la santé.

Ce lien entre la détérioration des aliments et les microorganismes a constitué un grand pas vers l'établissement de la relation entre la maladie et les microorganismes. C'est **la théorie germinale des maladies**, plus précisément: les maladies pourraient être le résultat de la croissance de microorganismes, donc, les microorganismes pourraient être la cause des maladies. Des scientifiques comme PASTEUR, Joseph LISTER et KOCH ont accumulés les informations nécessaires pour appuyer cette nouvelle théorie.

La première preuve que les bactéries causent effectivement des maladies est venue du médecin allemand KOCH en 1876. Ce scientifique a découvert des bactéries sous formes de bâtonnets (appelés aujourd'hui: *Bacillus anthracis*), dans le sang de bovins morts du charbon. KOCH a **cultivé** la bactérie sur **milieu nutritif**, puis il a injecté un échantillon aux animaux sains. Quand ces derniers deviennent malades et meurent, il a isolé la bactérie de leur sang et la compare à celle **isolée** au départ. Cependant, KOCH a découvert que les deux **cultures** contiennent la même bactérie. C'est ainsi que KOCH a établi une suite d'étapes expérimentales pour relier directement un microbe spécifique à une maladie spécifique. Ces étapes portent aujourd'hui le nom de **postulats de KOCH**.

Après avoir établi le rapport entre les microorganismes et les maladies, les microbiologistes spécialisés en médecine ont cherché des substances pouvant détruire les microorganismes pathogènes, sans porter atteinte aux animaux ou aux humains infectés. Le traitement des maladies au moyen de substances chimiques s'appelle: chimiothérapie et les agents chimiothérapeutiques préparés à partir de produits chimiques aux laboratoires sont appelés: **médicaments de synthèse**. Cependant, les substances chimiques produites naturellement par des bactéries ou des **mycètes (moisissures et levures)** destinées à lutter contre d'autres microorganismes sont appelées: **antibiotiques**. Le succès de médicaments de synthèse ou d'antibiotique, repose sur le fait que ces molécules sont plus toxiques pour le microorganisme que pour l'organisme infectés.

A la fin des années 1930, les chercheurs scientifiques ont mis au point plusieurs médicaments de synthèse capables de détruire les microorganismes, dont la plupart sont des dérivés de teintures. En effet, les microbiologistes ont vérifié systématiquement les propriétés antimicrobiennes des teintures synthétisées et commercialisées pour les textiles, où les sulfamides (une famille d'antibiotiques) sont aussi synthétisés durant la même période.

Contrairement aux sulfamides, le premier antibiotique fut découvert par accident, par le médecin et le bactériologiste écossais Alexander FLEMING. Ce dernier, suite à une culture de bactéries, il s'est interrogé sur la curieuse répartition de bactéries cultivées dans des boîtes contaminées par une **moisissure**. Une région dégagée autour des moisissures où les bactéries ne poussent pas. Il s'agit d'une **moisissure qui inhibe la croissance d'une bactérie**. FLEMING apprend, plus tard, que cette moisissure est *Penicillium notatum* produisant la **pénicilline**. L'énorme utilité de la pénicilline ne devienne évidente que dans les années 1940, quand elle est finalement soumise à des essais cliniques et elle est, alors, commercialisée.

Les découvertes de l'âge de l'or de la microbiologie ont rendu possible plusieurs réalisations de grandes valeurs (Tableau 1). Outre, **la bactériologie, la mycologie, la parasitologie**, de nouvelles disciplines ont vu le jour, telles que **l'immunologie et la virologie**. Récemment, la création de nouvelles techniques: la technologie de **l'ADN recombiné**, a transformé la recherche et les applications pratiques des domaines de la microbiologie.

Tableau 1 : Evènements marquants de l'évolution de la microbiologie.

<i>Années</i>	<i>Investigateur(s)</i>	<i>Découverte</i>
1684	Antoni van Leeuwenhoek	Découverte des bactéries
1798	Edward Jenner	Vaccination contre la variole
1857	Louis Pasteur	Microbiologie de la fermentation de l'acide lactique
1860	Louis Pasteur	Rôle des levures dans la fermentation alcoolique
1864	Louis Pasteur	Controverse de la génération spontanée
1867	Robert Lister	Principes antiseptiques en chirurgie
1876	Ferdinand Cohn	Découverte des endospores
1881	Robert Koch	Méthodes d'études des bactéries en culture pure
1882	Robert Koch	Découverte de la cause de la tuberculose
1882	Elie Metchnikoff	Phagocytose
1884	Robert Koch	Postulats de Koch
1884	Christian Gram	Méthode de la coloration de Gram
1885	Louis Pasteur	Vaccins contre la rage
1889	Sergueï Winogradsky	Concept de chimolithotrophie
1889	Martinus Beijerinck	Concept de virus
1890	Emil von Behring et Shibasaburo Kitasato	Antitoxine de la diphtérie
1890	Sergueï Winogradsky	Croissance autotrophe des chimolithotrophes
1901	Martinus Beijerinck	Méthode de culture d'enrichissement
1901	Karl Landsteiner	Groupes sanguins humains
1908	Paul Ehrlich	Agents de chimiothérapie
1911	Francis Rous	Premier virus du cancer

1915/1917	Frederick Twort/Félix d'Hérelle	Découverte des virus bactériens (bactériophages)
1928	Frederick Griffith	Découverte de la transformation des pneumocoques
1929	Alexander Fleming	Découverte de la pénicilline
1931	Cornelius Van Niel	H ₂ S (hydrogène sulfuré) comme donneur d'électron dans la photosynthèse anoxygénique)
1935	Gerhard Domagk	Sulfonamides (agents antimicrobiens)
1935	Wendall Stanley	Cristallisation du virus de la mosaïque du tabac
1941	George Beadle et Edward Tatum	Hypothèse d'un gène-une enzyme
1943	Max Delbruck et Salvador Luria	Transmission des caractères génétiques chez les bactéries
1944	Oswald Avery, Colin Macleod, Maclyn McCarty	Explications des travaux de Griffith- l'ADN est du matériel génétique
1944	Selman Waksman et Albert Schatz	Découverte de la streptomycine
1946	Edward Tatum et Joshua Lederberg	Conjugaison bactérienne
1951	Barbara McClintock	Découverte des éléments transposables
1952	Joshua Lederberg et Norton Zinder	Transduction bactérienne
1953	James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin	Structure de l'ADN
1959	Arthur Pardee, François Jacob, Jacques Monod	Régulation des gènes par une protéine répresseur
1959	Rodney Porter	Structure de l'immunoglobine
1959	Frank Macfarlane Burnet	Théorie de la sélection clonale
1960	François Jacob, David Perrin, Carmon Sanchez, Jacques Monod	Concept de l'opéron
1960	Rosalyn Yalow SolomonBernson	Développement des radio-immuno essais (RIA)
1961	Sydney Brenner, François Jacob et Matthew Meselson	ARN messenger et ribosomes: site de la synthèse protéique
1966	Marshall Nirenberg et HarGobind Khorana	Découverte du code génétique
1967	Thomas Brock	Découverte des bactéries des sources d'eau chaude
1969	Howard Temin, David Baltimore, Renato Dulbecco	Découverte des rétrovirus/transcriptase inverse
1969	Thomas Brock et Hudson Freeze	Isolement de <i>Thermusaquaticus</i> , source de Taq-ADN polymérase
1970	Hamilton Smith	Spécifié d'action des enzymes de restriction
1973	Stanley Cohen, Annie Chang, Robert Helling et Herbert Boyer	AND recombinant

1975	Georges Kohler, Cesar Milstein	Anticorps monoclonaux
1976	Susumu Tonegawa	Réarrangement des gènes de l'immunoglobuline
1977	Carl Woese et George Fox	Découverte des Archaea
1977	Fred Sanger, Steven Niklen, Alan Coulson	Méthodes de séquençage de l'ADN
1981	Stanley Prusiner	Caractérisation des prions
1982	Karl Stetter	Isolement du premier procaryote avec une température optimale supérieure à 100° C
1983	Luc Montagnier	Découverte du VIH, cause du SIDA
1985	Kary Mullis	Invention de la réaction de polymérisation en chaîne (PCR)
1986	Norman Pace	Ecologie moléculaire microbienne
1995	Craig Venter et Hamilton Smith	Séquence complète d'un génome bactérien
1999	The institute for Genomic Research (TIGR) et autres	Plus de cent génomes microbiens séquencés ou en cours
2000	Edward Delong	Découverte des Archaea marines, protéorhodopsine, et d'autres aspects de la vie marine procaryotique
2004	Craig Venter et autres	Premier grand génome environnemental: mer des Sargasses

Source majeure des références: Brock, T.D. (1961), *Milestones in Microbiology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey; Brock, T.D. (1990). *Emergence de la génétique bactérienne*. Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harbor, New York. Les années correspondent à la publication de la découverte.

II. Microorganismes, Microbes

Les **microorganismes**, communément aussi appelés **Microbes**, forment un ensemble d'organismes vivants de taille microscopique. Ils sont invisibles à l'œil nu et ne peuvent être observés qu'à l'aide d'un microscope. C'est leur seule propriété commune car ils sont par ailleurs, extrêmement variés et différents par leur morphologie (structure), leur physiologie, leur mode de reproduction et leur écologie.

1. Structure des microorganismes

Les techniques développées de la microscopie optique et électronique ont permis d'acquérir les principales connaissances de la structure cellulaire des différents types de microorganismes. Ces derniers se présentent selon deux types de structures cellulaires: **Cellule Eucaryote** et **cellule Procaryote**.

1.1 Caractéristiques générales de la cellule eucaryote

Les **cellules eucaryotes** sont généralement de taille importante et de structures complexes (Figure 3). Cependant, les microorganismes eucaryotes sont: les **Champignons microscopiques** (**Mycètes: moisissures** et **levures**), les **Algues** et les **Protozoaires**.

Les cellules eucaryotes (à vrai noyau, individualisé par une membrane nucléaire) possèdent une membrane nucléaire qui entoure leur matériel génétique (ADN) et le sépare du cytoplasme. Leur matériel génétique est organisé en chromosomes **diploïdes** (deux exemplaires), répliqué par la mitose et complexés à des protéines typiques de stabilisation et de protection: les **histones**. Les cellules eucaryotes possèdent également des organites intracellulaires exerçant des fonctions spécialisées: **mitochondries** pour les cellules animales ou **chloroplastes** pour les cellules photosynthétiques, **appareil de GOLGI**, **réticulum endoplasmique**, **lysosomes**, **flagelles** et **cils**. Ces caractères structuraux sont communs à toutes les cellules eucaryotes qu'elles soient microbiennes, animale ou végétales.

1.2 Caractéristiques générale de la cellule procaryote

Les **cellules procaryotes** sont de structures plus simples que les cellules eucaryotes. Les procaryotes (**sans vrai noyau**) sont les **Bactéries** et les **Archaeobactéries**. Les cellules procaryotes sont dépourvues de membrane nucléaire. Leur matériel génétique est en suspension libre dans le cytoplasme, sous forme de molécule unique (**haploïde**) d'ADN **bicaténaire** (double brins) et **circulaire**. Cet ADN renferme l'ensemble des informations génétiques nécessaires à la croissance et à la reproduction de la cellule. Il est répliqué au moment de la division cellulaire par un mécanisme spécifique sans mitose. Les cellules procaryotes sont aussi dépourvues de tous les organites intracellulaires, spécifiquement présents chez les cellules eucaryotes: mitochondrie, appareil de GOLGI et autres. Les cellules procaryotes possèdent en plus de leur ADN cytoplasmique, des petites molécules d'ADN circulaire **extra-chromosomique** et **transmissible** appelé: **plasmide**. Les plasmides sont typiques des bactéries et des archaeobactéries (Figure 3).

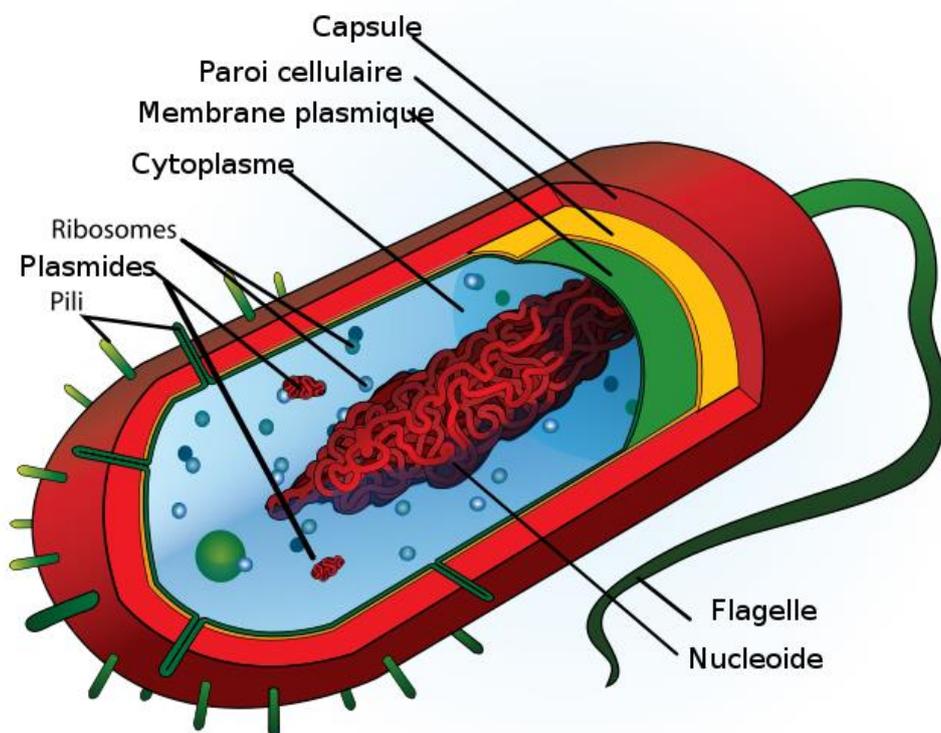
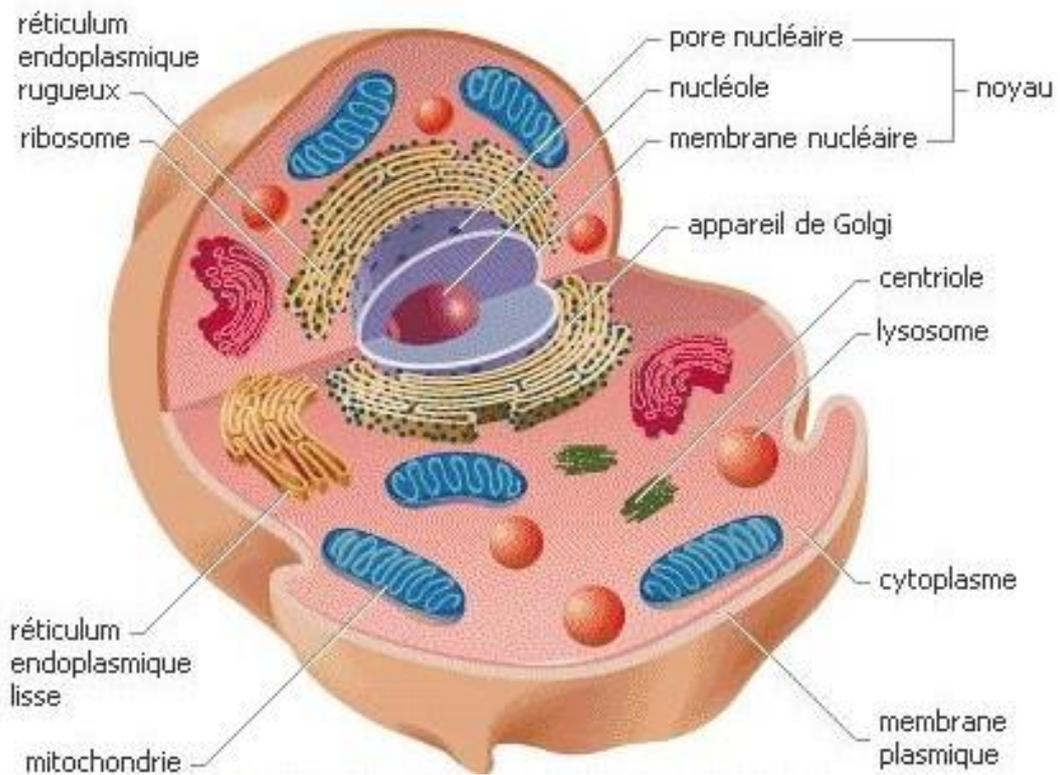


Figure 3 : Structure de la cellule eucaryote et de la cellule procaryote.

III. Microorganismes Eucaryotes

1. Champignons microscopiques

Les champignons microscopiques est le nom commun des **Mycètes** ou encore *Fungi*. Leur particularité est que leur paroi cellulaire est composée principalement d'une substance appelée: **chitine**. Le règne des mycètes comprend des organismes très variés. Certains peuvent être **unicellulaires** ou **pluricellulaires**. Certains gros mycètes pluricellulaires (tels les champignons comestibles), peuvent ressembler à des plantes. Mais, contrairement à ces derniers, ils sont incapables de faire la **photosynthèse**. Les mycètes sont des organismes **hétérotrophes** et **non photosynthétiques**. Ils se répartissent en deux grands groupes: **levures** et **moisissures**. Les levures se présentent sous formes unicellulaires plus gros que les bactéries. Alors que, les moisissures sont pluricellulaires, forment des masses visibles appelées: **Mycélium**. Le mycélium est constitué de longs filaments (**hyphes**) qui se ramifient et s'entrelacent.

Il est à noter que les **bactéries mycéliennes** appelées: **Actinomycètes**, qui se développent en une structure de type fongique, ne sont pas des champignons car elles ont une composition et une structure cellulaires typiquement procaryotes.

1.1 Levures

Les levures sont des **mycètes unicellulaires**, non filamenteux qui sont généralement sphériques ou ovales (Figure 4). Ces formes sont surtout caractéristiques de *Saccharomyces cerevisiae* connue sous le nom de levure de boulangerie. Mais, il existe d'autres formes spécifiques: triangulaire, ogivale, en forme de citron, en forme de bouteille. Les levures possèdent une paroi rigide, responsable de leurs formes constituée principalement de polysaccharides (mannanes, glucanes et chitine) et de protéines. Leur membrane cytoplasmique intègre dans sa composition des stérols et constituée des trois feuilletts classiques des membranes biologiques: deux feuilletts composés de lipides et de phospholipides situés de part et d'autre d'un feuillet de nature protéique.

Les levures **bourgeonnent** c'est-à-dire se divisent d'une façon **asymétrique** tel que le genre *Saccharomyces*. Lors du bourgeonnement, il se forme un bourgeon à la surface de la cellule mère. Pendant que le bourgeon grossit, le noyau de la cellule mère se divise par mitose. Un des noyaux obtenus gagne le bourgeon. Une paroi cellulaire commence à se former entre la cellule mère et le bourgeon et se détache finalement. Le bourgeon se développe, grossit et devient à son tour une levure adulte capable de bourgeonner (figure 4). Les levures **scissipares** aussi tel que le genre *Schizosaccharomyces*, qui se divise de façon **symétrique** pour donner deux nouvelles cellules filles. Durant la division, la cellule mère s'allonge, son noyau se divise et deux cellules filles sont alors produites.

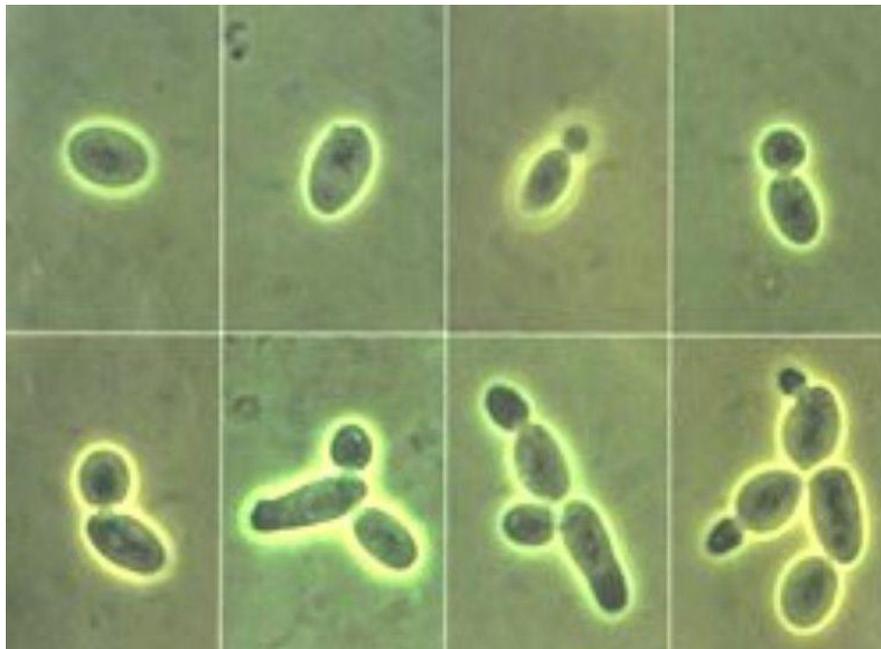


Figure 4 : Structure microscopique des levures et leur bourgeonnement.

1.2 Moisissures

Ce sont des **champignons pluricellulaires** constituant un corps végétatif appelé: **thalle** d'où l'appellation de **thallophytes**. Le thalle est constitué de longs filaments (**hyphes**) de cellules reliées les unes des autres. Chez la plupart des moisissures, les hyphes sont divisés par des **cloisons**, ou **septa**, formant des unités qui ressemblent à des cellules distinctes avec un seul noyau. On les appelle: **hyphes segmentés** ou **septés**. Dans quelques classes de mycètes, les hyphes ne contiennent pas de cloisons et ont l'aspect de longues cellules continues à noyau multiples, ils sont appelés: **cénocytes**. L'hyphe a un diamètre moyen de 5 μm (Figure 5). Il constitue la structure de base du mycélium et se compose d'une paroi cellulaire entourant le cytoplasme. La paroi cellulaire des moisissures est rigide, de structure voisine des parois végétales, composée de la chitine structurée en micro-fibrilles polymérisées, comme c'est le cas des **Ascomycètes** et des **Basidiomycètes**. Quand les conditions du milieu le permettent, les hyphes

grandissent pour former une masse filamenteuse caractéristique appelée **mycélium**. Ce dernier visible à l'œil nu, constitue un aspect qui permet de distinguer une colonie de moisissure d'une colonie bactérienne.

1.2.1 Reproduction

La reproduction chez les mycètes s'effectue par la formation de **spores** (Figure 5). Les spores sont de deux types: **sexuées** et **asexuées**, elles naissent à partir des hyphes aériens et se forment de plusieurs façons, selon l'espèce.

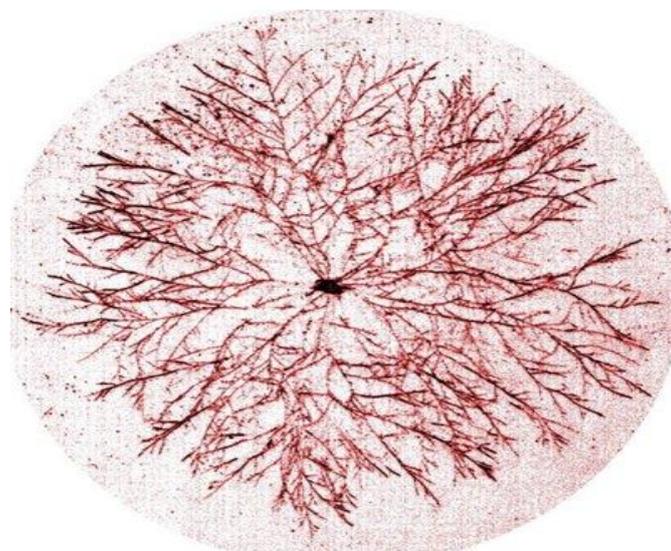
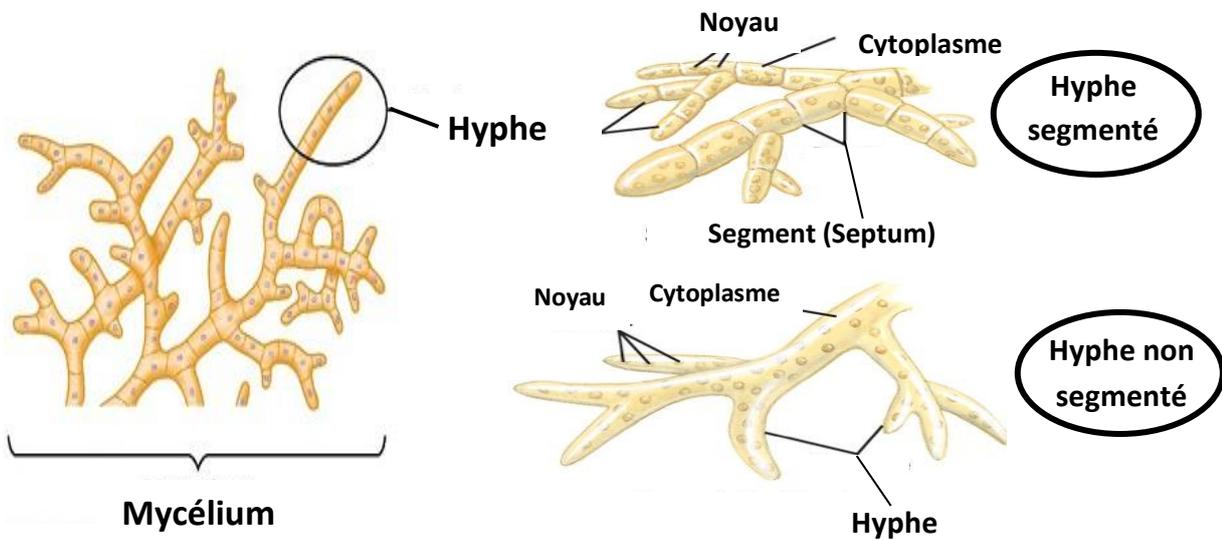
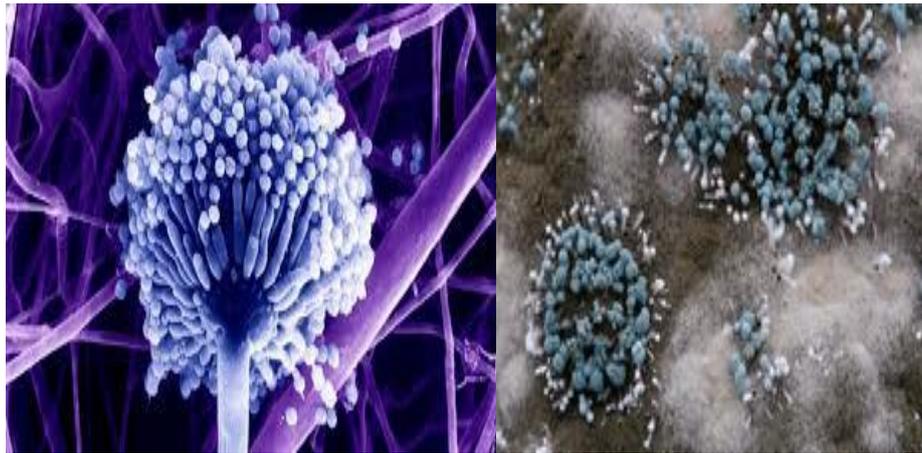
➤ **Les spores sexuées** naissent de la fusion de noyaux de deux cellules provenant de souches compatibles de la même espèce. Ce type de spores est le résultat de la reproduction sexuée qui comprend trois phases:

- a) **Plasmogamie:** phase où se produit la fusion protoplasmique, qui met en présence deux noyaux à l'intérieur d'une même cellule.
- b) **Caryogamie:** les deux noyaux fusionnent pour former le noyau diploïde d'un zygote.
- c) **Méiose:** le noyau diploïde donne naissance à des noyaux haploïdes (spore sexuée).

Les spores sexuées servent de critère de classification des mycètes. Dans le laboratoire, la plupart de ces organismes ne produisent que des spores asexuées. Par conséquent, l'identification est fondée sur l'examen microscopique des spores asexuées.

➤ **Les spores asexuées** se forment au sein d'un même individu par mitose puis division cellulaire, il n'y a pas de fusion de deux noyaux. Cependant, elles sont de deux types:

- a) **Conidie :** qui est une spore unicellulaire ou pluricellulaire et qui n'est pas enfermée dans un sac. Certains mycètes produisent des conidies qui forment des chaînes à l'extrémité d'un hyphe aérien appelé **conidiospore**, produites notamment par les genres: *Aspergillus* et *Penicillium*. L'**arthroconidie** est un type de conidie issue de la fragmentation d'un hyphe segmenté en cellule simple qu'on le retrouve chez l'espèce *Coccidioide simmitis*. La **blastoconidie** est un autre type de conidie observée chez toutes les levures et qui est formé par bourgeonnement d'une cellule mère. Ainsi, les **chlamydoconidies** qui sont produites par l'espèce *Candida albicans*, apparaissent au sein d'un segment de l'hyphe à la suite d'une condensation du cytoplasme.
- b) **Sporangispore** est le deuxième type de spores asexuées, qui naissent dans un **sporange** (sac) à l'extrémité d'un hyphe aérien appelé **sporaniophore**. Ce type de spore asexuée est trouvé chez le genre *Rhizopus*.



Mycélium observé microscopiquement

Figure 5 : Structures microscopiques des moisissures.

1.2.2 Classification

Il existe plusieurs types de classification des mycètes. Ces classifications sont basées sur divers critères physiologiques, de reproduction ou de structure. Les embranchements les plus importants et les plus connus des champignons sont les suivants:

➤ L'embranchement des *Zygomycota* (**Zygomycètes**)

Les **Zygomycètes** ou mycètes à conjugaison sont des moisissures **saprophytes** dont les hyphes sont **cénocytiques** (non segmentés). *Rhizopus nigricans* est la moisissure la plus connue qui colonise le pain. Les spores asexuées de *Rhizopus* sont des **sporangiophore**. Tandis que les spores asexuées sont des **zygospores** où deux cellules qui se ressemblent sur le plan morphologique, fusionnent leurs parois et forment un tube de fécondation. Ce tube permet la rencontre des deux noyaux, suivie de la production de grosses spores limitées par une paroi épaisse de couleur foncée. La zygospore forme un zygote qui produit un nouveau sporangium qui laissera échapper de nouvelles spores.

➤ L'embranchement des *Ascomycota*, **Ascomycètes**

Les **Ascomycètes** ou mycètes à sac, comprennent des moisissures à hyphes segmentés et certaines levures. Leurs spores asexuées sont habituellement des conidies qui forment de longues chaînes au bout des **conidiophores** (conidie signifie poussière). À la moindre perturbation, ces spores se détachent facilement de la chaîne à laquelle elles appartiennent et flottent dans l'air comme des grains de poussière. Les conidies germent et forment des mycéliums. L'**ascospore** résulte de la fusion des noyaux de deux cellules qui peuvent être semblables ou non morphologiquement. Ces spores sont produites dans des structures appelées: **asques** qui ressemblent à des sacs d'où la nomination de cet embranchement. Un groupe important des ascomycètes, composé des moisissures, dont le genre *Neurospora* qui se présente dans tous les types d'écosystèmes. Ainsi que les agents **phytopathogènes** tel que les *Mildious* qui parasitent les grains de céréales.

➤ L'embranchement des *Basidiomycota*, **Basidiomycètes**

Les **Basidiomycètes** ou mycètes à massue, possèdent aussi des hyphes segmentés. Cet embranchement comprend les organismes qu'on les appelle champignons à chapeau. Les **basidiospores** se forment à l'extérieur, sur une sorte de petits socles appelés **basides** d'où la nomination de cet embranchement. Ce dernier constitue le site d'émission des basidiospores, dont leur germination donne naissance à de nouvelles hyphes. Parmi les basidiomycètes, de nombreuses espèces sont **phytopathogènes** et s'attaquent à toutes sortes de plantes tels la Rouille du blé, causée par le genre *Puccinia*, et les charbons qui parasitent diverses céréales.

➤ L'embranchement des *Deuteromycota*, **Deutéromycètes**

Jusqu'à maintenant, les mycètes dont on ne connaît pas le cycle de reproduction sexuée sont classés dans l'embranchement de **Deutéromycètes** ou **mycètes imparfait**. La plupart de ces deutéromycètes sont des ascomycètes au stade anamorphe (asexué) et quelques-uns sont des basidiomycètes. Certaines espèces de deutéromycètes sont responsables des pathologies humaines: Pied d'athlète, Herpès circiné. Cet embranchement comprend des espèces parmi les plus bénéfiques pour l'homme tel que le genre *Penicillium* dont certaines sont productrices de la pénicilline et d'autres utilisées dans la fabrication des fromages: Roquefort par *Penicillium roqueforti*. Aujourd'hui, les mycologues se servent du séquençage de l'ARNr pour classer ces organismes.

2. Algues

Les **algues** désignent un ensemble d'organismes que l'on retrouve préférentiellement dans les milieux aquatiques. Elles rassemblent à la fois les **macroalgues benthiques** (fixées sur un support), ainsi que des organismes **microscopiques pélagiques** (en eau libre, du fond à la surface) : les **microalgues**. Ces dernières, dénommées également **phytoplancton**, sont définies comme étant des organismes unicellulaires ou pluricellulaires indifférenciés. Sous cette désignation, elles constituent un sous-ordre des eucaryotes ou des procaryotes. Dans ce dernier règne, les représentants des **microalgues** sont regroupés dans la sous-classe des **Cyanobactéries (Cyanophycées, algues bleues)**.

Les algues sont des eucaryotes habituellement unicellulaires ou forment des chaînes de cellules (filaments) et quelques-unes ont un thalle. Les algues sont capables de photosynthèse (**phototrophe**). Leur paroi cellulaire est comme celle des plantes, composée de la cellulose. Les algues se trouvent en abondance dans de l'eau douce, de l'eau salée, dans le sol et en association avec des plantes. Elles sont parfois définies comme des **thallophytes** possédant des **pigments photosynthétiques**. Le choix d'habitat des algues est fonction de la disponibilité des nutriments appropriés, des longueurs d'ondes de lumière et des surfaces sur lesquelles elles peuvent croître (Figure 6).

2.1 Reproduction

Toutes les algues peuvent se reproduire de manière **asexuée**. Les algues pluricellulaires, qui sont filamenteuses ou possédant un thalle peuvent **se fragmenter**: chaque morceau est capable de former un nouveau filament ou un nouveau thalle. Les algues unicellulaires se reproduisent par **mitose**: les deux nouveaux noyaux se rendent aux pôles opposés de la cellule, puis la cellule se scinde en deux cellules complètes (**cytocinèse**). Les algues sont aussi capables de reproduction **sexuée**. Cette dernière est réalisée par fusion de gamètes de signes sexuels compatibles, formées dans des cellules appelées: **gamétocystes**. Les gamétocystes mâles sont appelés: **spermocystes** et les gamétocystes femelles sont appelées : **oocystes**.

Chez certaines espèces d'algues, la reproduction asexuée peut avoir lieu durant plusieurs générations et sous l'influence de nouvelles conditions, ces mêmes espèces se reproduisent de manière sexuée. Alors que, chez d'autres espèces, il y a une alternance de type de reproduction.

2.2 Classification

Les **microalgues** constituent un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique: la **photosynthèse oxygénique**. La famille des microalgues rassemblerait de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions d'espèces selon les estimations, parmi lesquelles 47000 espèces sont décrites. Par comparaison, la diversité des plantes supérieures est de l'ordre de 400 000 espèces. La classification (Tableau 2) de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire.

Tableau 2 : Classification et caractéristiques importantes des algues.

Embranchement	Nom	Nombre	Représentants	Pigments	Réserves	Paroi	Habitat
(Règne)	commun	d'espèces					
Chlorophytes	algues vertes	7500	<i>Chlorella</i> ,	Chloro. a,b	Sucres,	Cellulose,	eau
			<i>Scenedesmus</i> ,	Xanthophylles	amidon,	mannanes,	douce,
			<i>Spirogyra</i> ,	Carotènes	fructane	protéines,	saumâtre,
			<i>Ulva</i>			CaCO ₃	salée et
							terrestre
Charophytes		250	<i>Chara</i> ,	Chloro. a,b	amidon	Cellulose,	eau douce
			<i>Nitella</i>	Xanthophylles		CaCO ₃	et
				Carotènes			saumâtre
Euglenophytes	Euglènes	700	<i>Euglena</i> ,	Chloro. a,b	paramylon,	absente	eau
			<i>Phacus</i>	Xanthophylles	huiles,		douce,
				Carotènes	sucres		saumâtre,
							salée et
							terrestre
Chrysophytes	algues brun-jaune, vert-jaune et diatomées	6000	<i>Dinobryon</i> ,	Chloro. a, C1,	Chrysolam	Cellulose,	eau
			<i>Surirella</i>	C2	inarine,	silice,	douce,
				Carotènes	huiles	CaCO ₃	saumâtre,
				fucoxanthine,			salée et
				xanthophylles			terrestre
Phaeophytes	algues brunes	1500	<i>Laminaria</i> ,	Chloro. a,b	laminarine,	cellulose,	eau salée
(Plantes)			<i>Fucus</i>	Xanthophylles	mannitol,	alginate,	et
				Carotènes	huiles	fucoidane	saumâtre
Rhodophytes	algues rouges	3900	<i>Gracilaria</i> ,	Chloro. a	amidon	cellulose,	eau
(Plantes)			<i>Gelidium</i> ,	rarement d	floridéen	xylanes,	douce,
			<i>Chondrus</i>	Xanthophylles		galactanes,	saumâtre
				carotènes,		CaCO ₃	et salée
				zéaxanthine,			
				phycocyanine C,			
				phycoérythrine			
Pyrrophytes	dinoflagellés,	1100	<i>Gymnodinium</i> ,	Chloro. a, C1,	amidon,	cellulose ou	eau
	dinophytes		<i>Ceratium</i> ,	C2,	glycanes,	absente	douce,
			<i>Alexandrium</i>	carotènes,	huiles		saumâtre
				fucoxanthine,			ou salée
				péridinine,			
				dinoxanthine			
Cyanophytes	Cyano-		<i>Anabaena</i> ,	chloro. a,			
(Procaryotes)	bactéries,		<i>Nostoc</i> ,	allophyco-			
	algues bleues		<i>Microcystis</i>	cyanines,			
				phycocyanine,			
				phycoérythrine,			
				phycoérythro-			
				cyanine			



Figure 6 : Structure microscopique des différents types d'algues.

3. Protozoaires

Ce sont des eucaryotes unicellulaires, **chimiohétérotrophe**, qui colonisent l'eau et le sol. Durant la phase de leur alimentation et croissance, les protozoaires sont nommés: **trophozoites**. Ils se nourrissent de bactéries et de particules de matières. Certains **protozoaires** font partie de la flore microbienne normale des animaux, il y a près de 20 000 espèces de protozoaires dont peu causent des maladies (Figure 7).

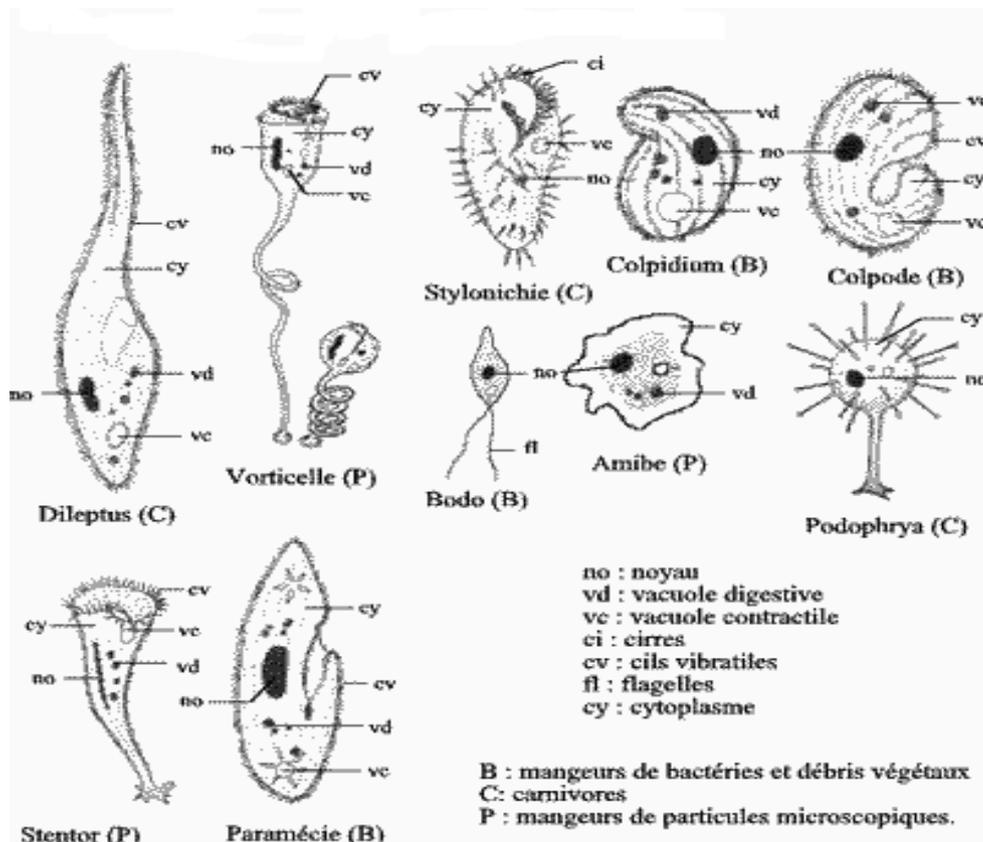


Figure 7 : Structure microscopique de quelques protozoaires.

3.1 Reproduction

Les protozoaires se reproduisent de façon **asexuée** par **scissiparité**, **bourgeonnement** ou **schizogonie**, qui est une forme de division multiple: le noyau se divise à plusieurs reprises avant que la division cellulaire ait lieu. Après la formation de plusieurs noyaux, une petite partie du cytoplasme se concentre autour de chacun d'eux et la cellule unique se sépare en cellules filles (Figure 8).

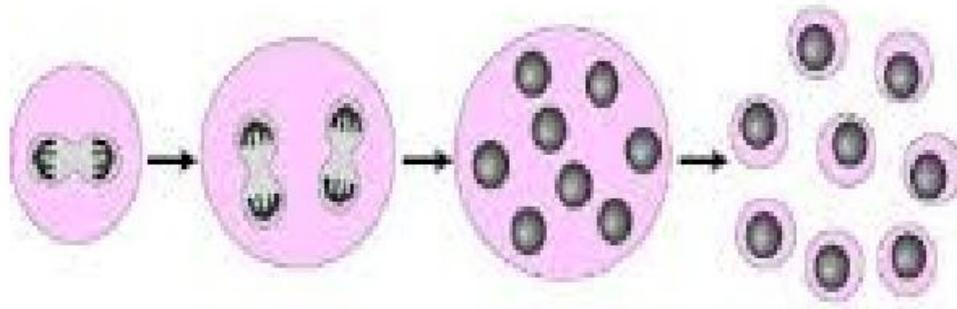


Figure 8 : Schéma représentatif de la reproduction par schizogonie.

La reproduction **sexuée** des protozoaires a été observée chez les **ciliés** tels que le genre *Paramecium* qui se reproduit sexuellement par **conjugaison** très différente à celle observée chez les bactéries. Cependant, chez les protozoaires, deux cellules compatibles s'accolent, fusionnent et s'échangent un noyau haploïde (micronoyau). Ce micronoyau haploïde fusionne avec celui de la cellule receveuse. Les cellules parentales se séparent, formant chacune une cellule fécondée. Par la suite, quand elles se divisent, elles produisent des cellules filles avec de l'ADN recombiné.

Certains protozoaires produisent des gamètes appelées **gamétocytes**, qui sont des **cellules sexuelles haploïdes** et durant la reproduction, deux gamètes fusionnent pour former un **zygote diploïde**.

➤ *Enkystement*

Lorsque les conditions du milieu sont trop difficiles, certains protozoaires produisent une enveloppe appelée **kyste**. C'est un état d'adaptation qui leur permet de survivre sous une forme dormante, quand il y a une pénurie de nourriture, d'humidité, de l'oxygène, quand la température est défavorable ou aussi en présence de molécules toxiques. Certains kystes sont dits reproductifs, ainsi, le kyste des organismes de l'embranchement des *Apicomplexa* est appelée **ookyste**. C'est une structure reproductrice dans laquelle de nouvelles cellules sont produites par division cellulaire.

3.2 Classification

La classification des protozoaires est relativement complexe. Une classification simplifiée basée sur la nature de la locomotion et sur les caractéristiques des cycles de développement est alors rétablie, ou l'embranchement des protozoaires comporte cinq sous embranchements :

3.2.1 Rhizoflagellés

a) *Classe des Rhizopodes, Sarcodina*

Ce sont des protozoaires qui possèdent des **pseudopodes locomoteurs**, on note parfois la présence d'une coquille externe. On distingue trois ordres :

L'ordre des **Amibiens** nus, l'ordre des **Thécamoebiens** et l'ordre des **foraminifères**. Les formes sont libres ou parasites.

b) *Classe des flagellés, Mastigophora*

Elle regroupe les Protozoaires à **un** ou **plusieurs flagelles** dont la longueur est au moins égale à celle du corps pendant une partie de la vie. On considère généralement les **flagellés** comme les plus primitifs des protozoaires dont on distingue trois **super ordres**: les **Protomonadines**, les **Métamonadines** et les **Opalines**. Les espèces peuvent être libres, parasites ou encore symbiotiques.

3.2.2 Ciliés ou Infusoires, Cilliophora

Ce sont des protozoaires caractérisés par la présence de nombreux **cils vibratiles** ainsi qu'un appareil nucléaire double présentant un ou plusieurs macronucléus et un ou plusieurs micronucléus diploïdes (rôle reproducteur). Les formes sont libres, parasites ou encore symbiotes on les trouve dans tous les milieux. Beaucoup de ciliés présentent des kystes de résistance. On les divise en deux sous-classes: les **Holotriches** et les **Spirotriches**. Ces protozoaires sont les plus complexes et on les considère comme étant les plus évolués.

3.2.3 Microsporidés

Ces Protozoaires sont des parasites intracellulaires. Ils sont dépourvus de mitochondries et de substances de réserve glucidiques et lipidiques. Le stade initial est un **germe amiboïde** et le stade final est une spore unicellulaire avec un filament spiral se dévaginant lorsque la spore s'ouvre. Ils vivent en parasites chez les Invertébrés et les Vertébrés.

3.2.4 Actinopodes

Ce sont des formes libres, caractérisées par de très fins **pseudopodes rayonnants** et **non locomoteurs**. On note également la présence d'un fin squelette siliceux. On distingue trois classes : les **Acanthaires**, les **Radiolaires**, les **Héliozoaires**.

3.2.5 Sporozoaires, Sporozoa

Ce sont des protozoaires parasites **dépourvus d'organites locomoteurs**. Le cycle débute par un **germe vermiforme**. Les gamètes sont flagellés on y reconnaît par exemple : les **grégarinomorphes** qui sont des parasites d'invertébrés, les **coccidinomorphes** qui sont des parasites d'invertébrés et de vertébrés, exemple: *Plasmodium falciparum* responsable du paludisme (Malaria) chez l'homme.

IV. Microorganismes Procaryotes

1. Bactéries

Les **Bactéries** sont des organismes unicellulaires relativement simples, dont le matériel génétique est représenté par un seul chromosome circulaire. Les bactéries sont les plus petits des microorganismes, la taille de leurs cellules est en moyenne mille (1000) fois plus petite que celles des cellules eucaryotes. Les cellules bactériennes se présentent sous plusieurs formes : les plus courantes sont les **bacilles** (bâtonnets), les **coccis** (coccus au singulier, sphériques ou ovoïdes) et les formes **spiralées**(en tire-bouchon ou courbées), mais certaines bactéries sont carrées et d'autres ressemblent à des étoiles. Elles peuvent former des paires de chaînes, des amas ou d'autres regroupements. Cependant, ces associations sont habituellement caractéristiques d'espèces ou de genre bactérien particulier (Figure 9).

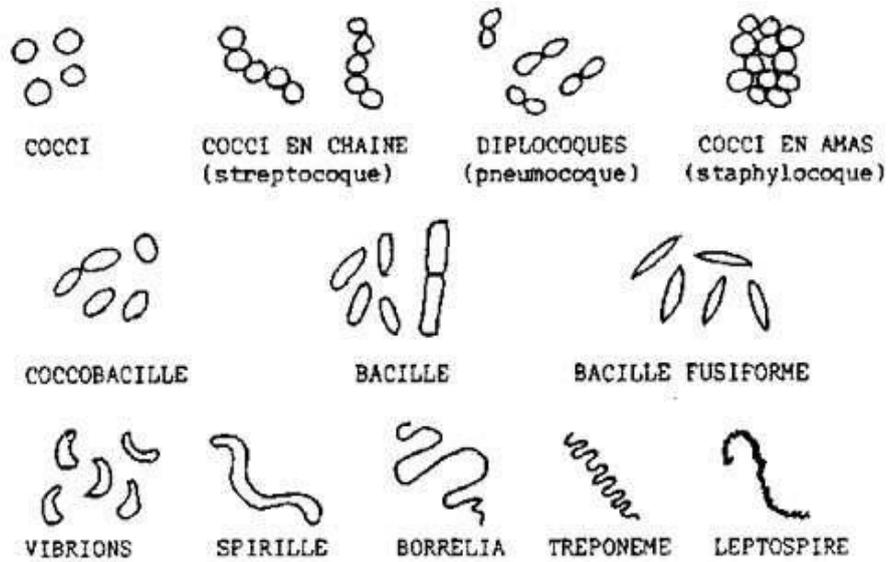
Beaucoup de bactéries de formes bacillaires ou spiralées sont mobiles et se déplacent grâce d'appendice mobile appelé : **Flagelle**.

Les **Actinomycètes** sont des bactéries filamenteuses, formant un **mycélium**. Elles ressemblent par cet aspect aux moisissures mais leur structure cellulaire est typiquement procaryote. Ainsi, les **Cyanobactéries**, ou **Cyanophycées** ou encore **algues bleues** (leurs anciens noms), sont des **bactéries photosynthétiques**, qui tirent de l'énergie de la lumière, pour synthétiser leurs molécules organiques par le mécanisme de **la photosynthèse**.

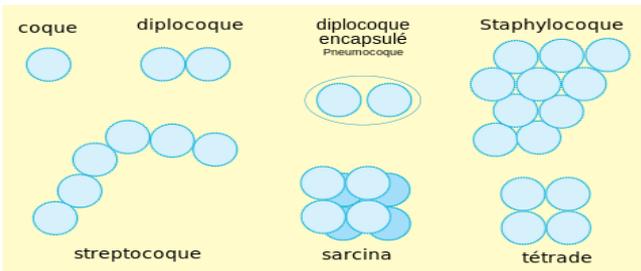
Les bactéries sont des cellules entourées d'une paroi rigide constituée principalement d'une substance appelée : **Peptidoglycane**. Ce composé macromoléculaire de composition chimique complexe, est exclusif aux bactéries.

Les bactéries se nourrissent, pour la plupart, de composés organiques qui se trouvent dans la nature. Les composés organiques peuvent être des dérivés d'organismes vivants ou morts, telles que les

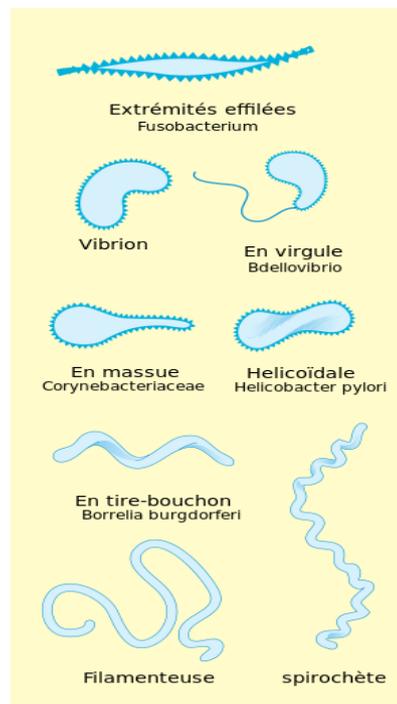
bactéries qui vivent sur et dans le corps humain. D'autres bactéries peuvent produire leur propre nourriture par photosynthèse, cependant, certaines peuvent se servir de substances inorganiques (soufre, méthane, nitrate,...)



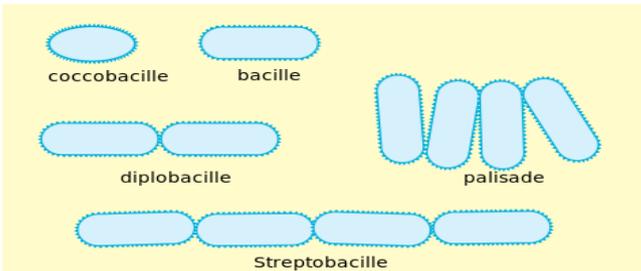
Cocci



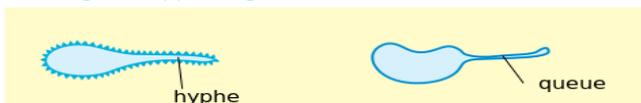
Autres



Bacilli



Budding and appendaged bacteria



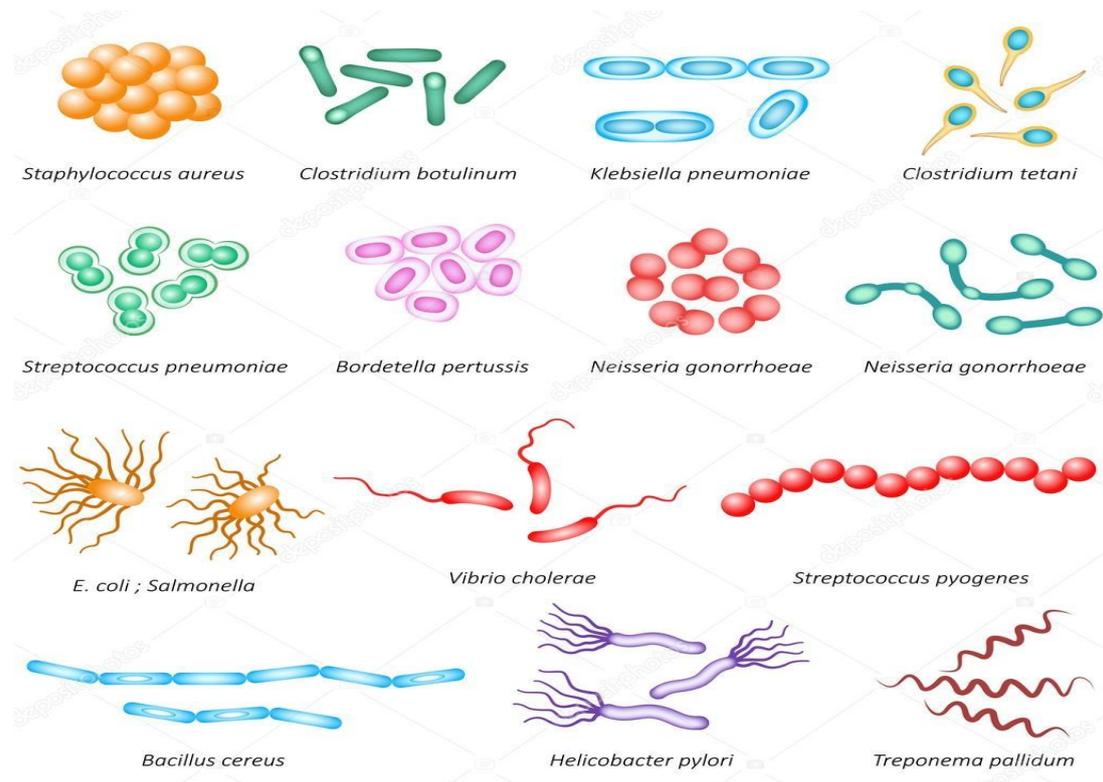


Figure 9 : Différentes formes morphologiques des bactéries.

1.1 Reproduction

Les bactéries se reproduisent essentiellement de manière **asexuée**. La cellule mère se divise en deux cellules filles de tailles égales et identiques. Ce processus est appelé **scissiparité** ou **fission binaire**. La reproduction des bactéries résulte de leur croissance dans un milieu où les conditions physico-chimiques et nutritionnelles sont favorables. Ce processus se répète exponentiellement lorsque les conditions du milieu sont optimales.

1.2 Classification

Les bactéries sont classées en fonction de leur morphologie (bâtonnet, sphérique,...), de leur réaction à la **coloration de GRAM** (en raison de la nature de la structure de leur paroi), de la présence d'endospores et d'autres caractéristiques évidentes. Cette classification classique est établie selon le **BERGEY's Manual**. Depuis la publication de la première édition du *BERGEY's Manual of Systematic Bacteriology* et sa version plus condensée: le *BERGEY'S Manual of Determinative Bacteriology*, la connaissance des bactéries à l'échelle moléculaire a progressé au point que dans sa deuxième édition il a été possible de classer les bactéries en fonction des **relations phylogénétiques**. Actuellement, des **arbres phylogénétiques** sont construits, en se fondant sur la comparaison des séquences de gènes.

La classification classique basée sur les caractères phénotypique a un intérêt pratique pour la représentation globale des différents groupes bactériens. Dans cette classification deux caractères phénotypique simple ont été largement utilisées: la **Coloration de GRAM** et la **morphologie de la cellule** (forme). Ces deux caractères fournissent des informations phylogénétiques relativement limitées. Selon la coloration de GRAM, deux catégories phylogénétiques sont distinguées:

1.2.1 Bactéries à GRAM négatif

Plus de deux tiers (2/3) des espèces bactériennes répertoriées sont à **GRAM négatif**. C'est-à-dire qu'elles possèdent une paroi qui est spécifiquement formée de deux éléments: une **membrane externe** surmontée par une couche du **peptidoglycane**. Dans cette catégories et sur la base de critères morphologiques, on distingue parmi ces bactéries: des **bacilles**, des **coccis** et aussi les **spirochètes** (formes spiralés hélicoïdales spécifiques: ressort serré).

La catégorie des bactéries à GRAM négatif est très diversifiée. Elle regroupe des **bactéries majeures de l'environnement** telles que: *Rhizobium*, *Nitobacter*, *Thiobacillus*. En plus des **agents pathogènes** de l'homme, les plus répandues et les plus connus tels que : *Salmonella thyphimurium*(agent de la **Typhoïde**), *Schigella dysenteraea* (agent de la **Dysenterie**), *Yersinia pestis* (agent de la **Peste**) et surtout *Escherichia coli* qui fait partie de la famille des **Entérobactéries** (bactériesentériques). D'autres genre tels que: *Falvobacterium*, *Pseudomonas*, *Baectroides*, Méningocoques (agent de la **Méningite**) et autres, font partie aussi des bactéries à GRAM négatif. On compte aussi parmi les bactéries à GRAM négatif, des espèces **parasites intracellulaires obligatoires** qui sont les **Rickettsies** et les **Chlamydies**.

- **Rickettsies**

Ce sont des bactéries à GRAM négatif sous forme de petits bâtonnets ou de courts bacilles. Elles ont toutes une caractéristique commune, qui est leur transmission aux humains lors de morsures de tiques ou d'insectes suceur de sang qui en sont les vecteurs. Les **rickettsies** pénètrent dans la cellule hôte en provoquant la phagocytose. Cependant, elles entrent rapidement dans le cytoplasme de la cellule où elles se reproduisent par scissiparité. Elles sont par cet effet, responsables de plusieurs maladies appelées: **rickettsioses**. Celles-ci comprennent le typhus épidémique causé par *Rickettsi aprowazekii* et transmis par les poux. Ainsi le typhus murin (endémique) causé par *R. typhi* et transmis par les puces et les rats. L'apparition d'un érythème maculopapuleux caractéristiques est le résultat de l'infection des cellules endothéliales par les rickettsies.

- **Chlamydies**

Ce sont des bactéries qui forment au cours de leur cycle vital (reproduction) des structures appelées: **corps élémentaires**. Ces structures constituent la **forme infectante** du microorganisme. Ce sont des bactéries sphérique (coccoïdes) qui contrairement aux rickettsies, elles ne se transmettent pas par l'intermédiaire de tique ou d'autres insectes. En effet, elles se transmettent aux humains par contact interpersonnel ou dans l'air, par voie respiratoire. Trois espèces pathogènes importantes sont connues: *Chlamydia trachomatis* qui est l'agent du **trachome**: infection de la cornée et de la conjonctive.

Chlamydia psittaci qui est l'agent responsable de la **psittacose** : maladie transmise par les oiseaux malades.

Chlamydia pneumoniae qui provoque une **forme légère de pneumonie** notamment chez les jeunes adultes.

1.2.2 Bactéries à GRAM positif

Les bactéries à **GRAM positif** sont peu nombreuses que les bactéries à GRAM négatif. Elles se caractérisent par la présence aussi de paroi cellulaire dont la structures est différente à celle des bactéries à GRAM négatif. En effet, elle est constituée d'une épaisse couche de **peptidoglycane**. Dans laquelle sont dispersés d'autres composants comme les acides teïchoïques. Cependant, cette catégorie est très variée sur le plan morphologique, physiologique et écologique. Dont on distingue aussi, comme chez les bactéries à GRAM négatif, des formes bacillaires, des coccis et encore des bactéries filamenteuses (**Actinomycètes**).

Les Bacilles à Gram positif sont divisés en deux groupes principaux :

Le groupe qui forme des **endospores** (une forme de résistance aux conditions défavorables), dont les genres *Clostridium* et *Bacillus* et le groupe des **Lactobacilles** qui sont **non sporulantes** utilisées dans les industries fromagères et laitières.

Le groupe des *Clostridium* et de *Bacillus* comprend des espèces **saprophytes** que pathogènes. Les espèces pathogènes les plus connues sont : *Bacillus anthracis* (agent de l'**anthrax**), *Clostridium botulinum* (agent de **botulisme**), *C. perfringens* (agent d'**intoxications alimentaires** et de **gangrènes gazeuses**) et *C. tetani* (agent du **tétanos**).

Comme dans le cas des bacilles, les cocci à GRAM positif sont aussi divisée en deux grands groupes dont les deux principaux genres sont : *Streptococcus* et *Staphylococcus*. Ces deux genres sont responsables d'intoxications alimentaires et d'infections graves tels que : *Staphylococcus aureus* qui est présent sur la peau et sur les muqueuses de l'homme et des animaux. Les **streptocoques** peuvent provoquer des infections qui touchent tous les organes humains, mais d'autres sont utilisés dans l'industrie laitière : *Streptococcus thermophilus* utilisé dans la fabrication du yaourt. Certains streptocoques sont dits : **inhibiteurs**, car ils produisent des antibiotiques comme la Nisine produite par *Streptococcus lactis* et la Diplococcine produites par *Streptococcus cremoris*.

➤ Actinomycètes

Ce sont des bactéries filamenteuses qui, au cours de leur croissance, elles forment un **mycélium** similaire à celui des moisissures. Les bactéries du genre *Streptomyces* sont les actinomycètes les mieux connues et les plus fréquemment isolées du sol. Dont la plupart produisent des enzymes extracellulaires qui leur permettent d'utiliser plusieurs substances organiques présentes dans le sol. En outre, elles produisent un composé gazeux caractéristique appelé : **géosmine**, qui donne à la terre fraîche son odeur distinctive de moisi. Les *Streptomyces* sont des espèces précieuses, car elles fournissent la majorité des antibiotiques fabriqués à l'échelle industrielle telle que l'espèce *Streptomyces venezuelae* qui produit le **Chloramphénicol**, *Streptomyces griseus* qui produit deux antibiotiques importants : la **Streptomycine** et le **Cycloheximide** qui a une action **antifongique**. Les actinomycètes les plus pathogènes pour l'homme sont de la famille des **Mycobactéries**. Les agents pathogènes les plus célèbres sont : *Mycobacterium tuberculosis* (agent de la **tuberculose**) et *Mycobacterium leprae* (agent de la **lèpre**).

• Mycoplasmes

Ce sont des bactéries **pléomorphe** car elles sont **totalemtent dépourvues de paroi cellulaire**. Ce sont, par cet aspect, les seules procaryotes qui présentent cette particularité. Les bactéries du genre *Mycoplasma* possèdent le plus petit génome bactérien soit : $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ ^{ème} celui de *E.coli*. Leur diamètre varie de 0.1 à 0.25 μm . Leur membrane plasmique contient des stérols. Ces bactéries sont très sensibles aux chocs osmotiques. Chez les mycoplasmes, le principal agent pathogène de l'homme est l'espèce *Mycoplasma pneumoniae* responsable d'une forme courante et légère de pneumonie.

2. Archaeobactéries

Les **Archées** ou *Archaea* (anciennement **archéobactéries** ou encore **archéobactéries**) du grec : ancien, forment un groupe de microorganismes unicellulaires majeur des procaryotes **chimioautotrophes**, **photoautotrophe** et **chimiohétérotrophes**. Le concept d'**archaeobactérie** (ou **archéobactérie**) est relativement récent dans l'histoire de la biologie, puisqu'il date de la fin des années 1970, où on a découvert à cette époque, des bactéries présentant diverses caractéristiques originales, notamment de l'ARN ribosomal (ARNr), des lipides et une structure membranaire et de l'ADN différents de ceux connus chez les autres êtres vivants procaryotes et eucaryotes. Elles étaient reconnues à ce titre comme un nouveau groupe d'êtres vivants, bouleversant la classification des microorganismes.

Les **archaeobactéries** sont une composante importante des écosystèmes de la planète. Elles peuvent contribuer jusqu'à 20 % de la **biomasse** totale sur terre. De nombreuses archaeobactéries sont **extrêmophiles**. Le mode de vie **extrêmophile** correspond aux conditions de milieu qui régnaient sur terre il y a 3,5 à 3,8 milliards d'années (température, salinité et acidité). Comme diverses archaeobactéries vivent dans l'eau bouillante ou à proximité de sources hydrothermales sous-marines. Ainsi, des traces fossiles interprétées comme des microorganismes ont été retrouvées dans des roches volcaniques d'origine hydrothermale datées de – 3,2 Ga.

Les milieux extrêmes étaient initialement considérés comme les niches écologiques des archaeobactéries. En effet, certaines d'entre elles, survivent à des températures élevées, souvent supérieures à 100 °C, que l'on rencontre dans les geysers, les fumeurs noirs et les puits de pétrole. D'autres se trouvent dans des habitats très froids et d'autres en milieu très salé, acide ou dans l'eau alcaline. Ce sont les bactéries les plus **extrêmophiles** : les **halophiles**, les **hyperthermophiles** (90-110°C) et les **hyperacidophiles** (Ph 1), qui sont toutes des **archaeobactéries**. Toutefois, d'autres espèces d'archaeobactéries sont **mésophiles** et poussent dans des conditions beaucoup plus douces, dans les marais, les eaux usées, les océans et les sols.

Les archaeobactéries sont très diverses, aussi bien d'un point de vue morphologique que physiologique. Ce sont des êtres unicellulaires avec une taille variant entre 0,1 et 15 µm, mais certaines se développent pour former des filaments ou des agrégats. Elles peuvent être sphériques (coques), spirales, en forme de bâtonnet (bacilles), rectangulaires, etc. Elles font preuve d'une grande diversité de modes de reproduction, par fission binaire, bourgeonnement ou fragmentation.

Les archaeobactéries, y compris certaines d'entre elles qui ne sont pas extrêmophiles, partagent des caractéristiques moléculaires particulières qui rendent compte de leur fonctionnement dans des conditions extrêmes. Ces caractéristiques commencent à être mises à profit commercialement pour obtenir industriellement des molécules biologiques actives dans des conditions extrêmes (enzymes des lessives, par exemple).

2.1 Reproduction

La reproduction des archaeobactéries est **asexuée** par division binaire, par bourgeonnement ou par fragmentation. La méiose ne se produit pas, tous les descendants ont le même matériel génétique. Après la réplication de l'ADN les chromosomes sont séparés et la cellule se divise. Les détails du cycle cellulaire des archaeobactéries ont fait l'objet de quelques études dans le genre *Sulfolobus*. Ce cycle a des caractères qui sont similaires à la fois des systèmes eucaryotes et bactériens. Certaines espèces de *Haloarchaea* peuvent subir des modifications phénotypiques et croître avec différents types de cellules, incluant des parois épaisses. Ces structures qui sont résistantes aux chocs osmotiques permettent aux archaeobactéries de survivre dans l'eau à de faibles concentrations en sel, mais ce ne sont pas des structures de reproduction et elles ne peuvent aider à la dispersion dans de nouveaux habitats.

2.2 Classification

Les **archaeobactéries** ont d'abord été classées comme un groupe distinct des procaryotes en 1977. Dont les arbres phylogénétiques fondés sur les séquences de l'ARN ribosomique 16S (ARNr) des gènes. Mais, ce groupe de procaryotes est fondamentalement différent des bactéries. Dans un premier temps, seules les **bactéries méthanogènes**, sont placées dans ce nouveau domaine. À la fin du XX^e (20^{ème}) siècle, les microbiologistes se sont rendu compte que les archaeobactéries sont en fait un grand groupe diversifié d'organismes qui sont très répandus dans la nature et qui sont communs dans une diversité d'habitats, tels que les sols et les océans. Actuellement, de nombreuses études ont confirmé le caractère monophylétique des archaeobactéries. Ces microorganismes ressemblent par leur forme aux bactéries, mais d'un point de vue moléculaire, si certains de leurs traits les rapprochent des bactéries, d'autres les rapprochent plutôt des eucaryotes. Il n'est donc pas possible de voir les archaeobactéries comme étant des ancêtres des bactéries.

Le classement des archaebactéries, sur la base de critères uniquement métaboliques et physiologiques, les divisent en trois grands groupes selon qu'elles sont **méthanogènes**, **halophiles extrêmes**, **thermophiles extrêmes** ou **sulfo-dépendantes**. Ces groupes n'ont pas de lien avec leur embranchement dans la classification phylogénétique.

2.2.1 Les Méthanogènes

Les **archaebactéries méthanogènes** ont la propriété de réduire le gaz carbonique (CO_2) en méthane (CH_4) d'où leur appellation. Elles sont **anaérobies strictes** et peuvent utiliser d'autres sources de carbone du milieu tel l'acétate.

Les **archaebactéries méthanogènes** ne peuvent croître que dans des milieux anaérobies, très réduits, où elles vivent en association de **syntrophie** avec d'autres bactéries qui leurs fournissent l'hydrogène et le gaz carbonique nécessaire à la **méthanogènes**. On les trouve en particulier dans la panse des ruminants et dans les sédiments aquatiques.

2.2.2 Les Halophiles extrêmes

Les **halophiles extrêmes** ou encore **haloarchaea** sont **aérobies strictes** ou **facultatives**. Leur croissance nécessite la présence dans le milieu d'une concentration minimale en chlorure de sodium (NaCl) de 2.5 M, et certaines espèces se développent au-delà de 4M de NaCl , soit presque le taux de saturation du sel en solution aqueuse. Les **halophiles extrêmes** vivent exclusivement dans des milieux **d'extrême salinité** : de 5 à 7 fois supérieur à la salinité de la mer. C'est le cas des marais salants, lacs salés, saumures, dont la pression osmotique provoque la mort de toute autre cellule. Leur présence est souvent abondante, qu'elle donne au milieu une coloration rose-orange caractéristique, due à la présence de caroténoïdes appelés : **bactériorubines** dans leur paroi.

2.2.3 Les Thermophiles extrêmes

Les **archaebactéries thermophiles extrêmes (hyperthermophiles)** ont des températures optimales de croissance voisines de 80°C . Certaines d'entre elles se multiplient à des températures bien plus élevées, jusqu'au 110°C pour l'espèce *Pyrodictium abyssi*. Elles sont majoritairement **anaérobies**, certaines d'entre elles étant **aérobies obligatoires** ou **facultatives**. Elles croissent principalement dans les sources d'eau chaudes. Des espèces d'archaebactéries sont appelées **thermoacidophiles extrêmes**, résistent également aux pH les plus bas. Parmi elles, *Pyrodictium occultuma* une température optimale de croissance de 105°C .

➤ Les Sulfo-dépendantes

Ce sont des **archaebactéries thermophiles extrêmes et acidophiles** (températures voisines de 80°C et pH optimal de croissance proche de 2 ou 3). Elles tirent leur énergie de l'oxydation du soufre et/ou en respirant du soufre qui sert d'accepteur final d'électrons. Ces archaebactéries vivent dans des sources chaudes sulfureuses (solfatares) de diverses régions volcaniques. Les archaebactéries du genre *Sulfolobus* intéressent beaucoup les chercheurs qui aimeraient bien comprendre comment les protéines constitutives de ces organismes peuvent rester intactes et actives aux températures extrêmes auxquelles elles sont soumises.

V. Virus

En 1886, le chimiste hollandais Adolf MAYER a démontré que la maladie de **mosaïque du tabac** (feuilles du tabac tachetées) est transmissible d'une plante malade à une autre plante saine. En 1892, au cours d'une expérience visant à isoler la cause de cette maladie, le bactériologiste russe Dimitri IVANOWSKI filtre la sève de plantes de tabac malades à travers un filtre en porcelaine qui retient normalement les bactéries. Il s'attend à trouver le microbe retenu dans le filtre, or l'**agent infectieux** passe à travers les minuscules pores du filtre. Lorsqu'il a injecté le **filtrat** à des plantes saines, ces dernières contractent la maladie. IVANOWSKI était toujours persuadé que l'agent infectieux est une petite bactérie qui passe à travers le filtre. Plus tard, des scientifiques dirigés par le botaniste hollandais BEIJERINCK ont observés une différence de comportement entre cet agent infectieux et les bactéries. Au début des années 1900, une distinction entre les bactéries et les **virus** est alors établie. En 1935, un chimiste américain a isolé le **virus de la maladie de la mosaïque du tabac (VMT)** et de cet isolement ont découlé les premières études morphologiques et chimiques d'un **virus** purifié. Vers la même époque, les **virus** deviennent visibles grâce à l'invention du microscope électronique.

1. Définition

Les **virus** (mot latin qui signifie poison) sont des **entités acellulaire** (ne possèdent pas de structure cellulaires). Ils ne renferment qu'un **seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN)**. Les virus sont des agents infectieux qui **se multiplient obligatoirement en intracellulaire** et ne sont pas capables, par leurs propres moyens, de produire de l'énergie ou de synthétiser des protéines. Cependant, la multiplication virale se produit dans les **cellules infectées**, par élaboration des différents constituants viraux puis assemblage de ses composants, formant ainsi un virus complet. La formation de nouveaux virus vient des capacités de synthèse de la cellule hôte, qui réalise le programme génétique inscrit dans le patrimoine du virus.

Les virus se distinguent fondamentalement des autres micro-organismes. Ils ne possèdent pas de métabolisme propre et ne se multiplient **ni par croissance ni par division**, mais sont élaborés à partir de l'assemblage de leurs constituants dans la cellule infectée.

Les virus mènent une double vie, selon leur position, à l'**intérieur** ou à l'**extérieur** d'une **cellule hôte**. Ils apparaissent ainsi sous au moins deux formes. À l'intérieur d'une cellule, le virus réalise son programme génétique, en dehors de la cellule hôte, le virus existe en tant que particule virale stable aussi dénommée **Virion**.

Le rhume, la grippe, la varicelle, la rougeole, la mononucléose infectieuse sont des exemples de pathologies humaines relativement courantes d'origine virale. On connaît d'autres exemples plus nocifs comme le SIDA, le SRAS, la grippe aviaire, la variole, ou les fièvres hémorragiques causées par le virus Ebola, virus de l'Hépatite C et autres.

2. Structure

La particule virale infectieuse (virion) est constituée de peu d'éléments de base avec, de temps à autre, des composants supplémentaires. Les éléments de base comprennent un génome à **ADN** ou à **ARN**, une **capside** de protéines virales et souvent une **enveloppe**, dérivée des membranes cellulaires.

2.1 Génome viral

Les virus possèdent un seul type d'acide nucléique : **ADN ou ARN**, jamais les deux. Les virus spécifiques des animaux et des bactéries sont essentiellement à ADN, alors que les virus parasitant les végétaux sont à ARN.

Les virus à ADN sont génétiquement stables et possèdent souvent de grands génomes comprenant une quantité considérable d'informations génétiques (comme par exemple l'Herpès virus et le virus de la variole). La majorité des virus à ADN sont à double brin et se présentent sous une forme de filament linéaire avec des extrémités définies, ou sous forme d'anneau (circulaire). Les virus à ARN possèdent, en

règle générale, un génome à un seul brin. La taille du génome et son équipement génétique sont ainsi limités. Les virus à ARN ont une grande capacité d'adaptation.

2.2 Capside virale

La **capside** est constituée de protéines virales et englobe l'acide nucléique génomique. La capside se compose de sous-unités appelées **capsomères**. Les capsomères pour leur part sont constitués d'une ou de plusieurs chaînes polypeptidiques codées par le virus. La capside et l'acide nucléique sont en relation plus ou moins étroite. Chez beaucoup de virus, la capside entoure le génome comme un manteau de protéine. Chez d'autres virus, il existe une liaison intime entre l'acide nucléique et les protéines de la capside. Dans ce cas, les deux entités sont regroupées sous le nom de **nucléocapside**. Les capsides sont organisées selon des plans de construction stricts. L'organisation dans l'espace des composants donne soit une figure en forme de bacille à symétrie **hélicoïdale**, soit un corps en forme d'**icosaèdre** avec une symétrie **cubique**. À côté de ces deux formes, on peut observer des modèles de construction complexes avec des symétries plus complexes (Figure 10).

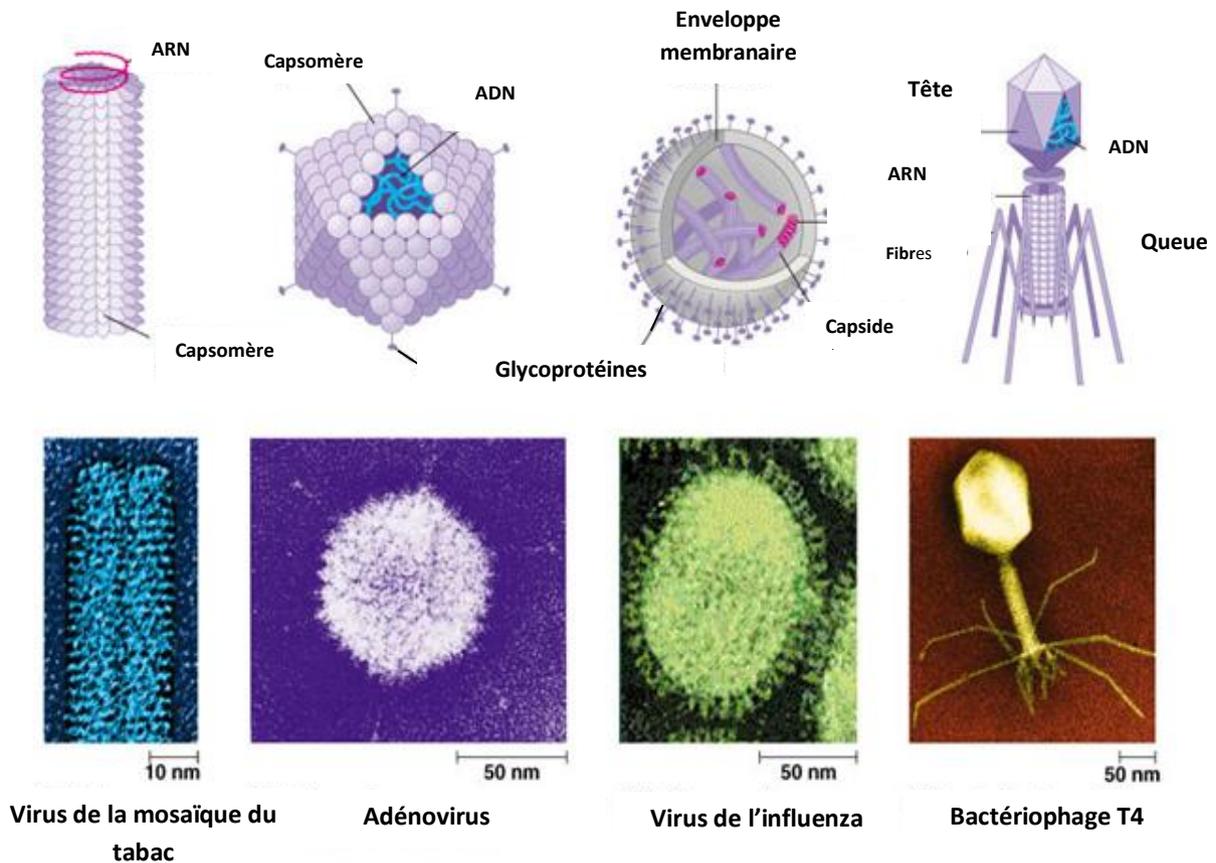


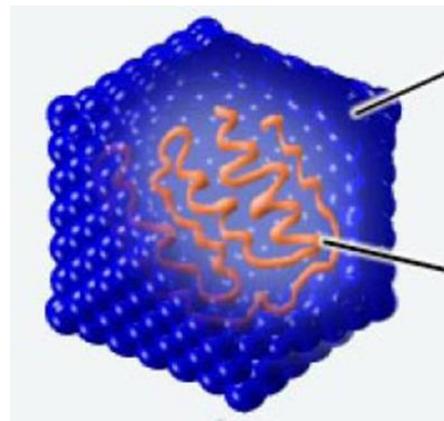
Figure 10 : Différentes structures des capsides virales.

a) Structure cubique

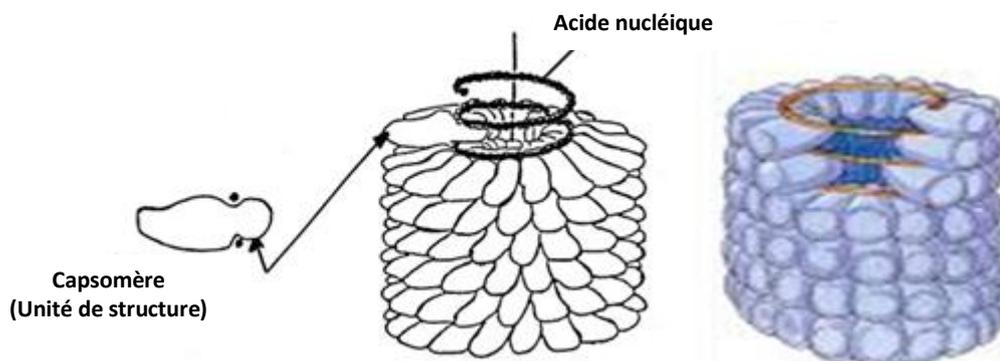
La capsid de ces virus se compose de 20 faces triangulaires équilatérales (**icosaèdre**). Un squelette icosaédrique possède une symétrie cubique avec un axe de symétrie quintuple qui intervient au niveau des côtés de l'icosaèdre, un axe de symétrie triple qui passe par le milieu d'un triangle et un axe de symétrie double le long des arêtes (Figure 11). Les capsides icosaédriques s'intègrent spontanément dans la cellule infectée comme structures à haute organisation, sont visibles en microscopie électronique.

b) Structure hélicoïdale

La capsid de ces virus est en règle générale une **nucléocapside**. Les protéines de la capsid sont étroitement liées avec le filament d'acide nucléique (le plus souvent ARN), et forment une hélice. Le complexe protéines-acide nucléique, organisé sous forme spiralée, a un axe de symétrie long qui passe par le centre du squelette en forme de cylindre (Figure 11). La **nucléocapside** est aussi désignée comme complexe ribonucléoprotéique ou, en abrégé, **vRNP**. Chez la plupart des virus à ARN, elle constitue l'unité centrale qui dirige activement toutes les fonctions de transcription et de réplication du génome viral.



Cubique



Hélicoïdale

Figure 11 : Structures cubique et hélicoïdale de la capsid virale.

c) Structure complexe

La capside de certains virus est construite de façon complexe et ne peut être décrite par des symétries simples. Par exemple, le virus de la variole possède une capside **biconcave** de grande complexité.

La capside virale remplit des fonctions essentielles. Parmi celles-ci, on trouve la **protection** de l'acide nucléique génomique contre les influences de l'environnement, et des **étapes importantes dans l'infection** de la cellule hôte. Les protéines de la capside déterminent, chez les virus sans enveloppe, la spécificité de l'hôte et le tropisme cellulaire. Elles portent des **déterminants antigéniques** qui sont importants pour la protection immunitaire et la classification antigénique des virus (**sérotypes**).

2.3 Enveloppe virale

La capside de certains virus est entourée d'une **enveloppe**. Elle provient soit de la membrane plasmique de la cellule hôte, soit de membranes intracellulaires, essentiellement de l'appareil de Golgi ou du réticulum endoplasmique. L'enveloppe porte des **glycoprotéines virales** qui, lors de l'infection, sont sélectivement incorporées dans les membranes cellulaires correspondantes et qui sont responsables, par la suite, de l'amarrage du virus à sa cellule cible et de la fusion de l'enveloppe virale avec la membrane cellulaire de l'hôte. Les glycoprotéines membranaires de l'enveloppe virale servent de point d'attaque aux anticorps neutralisants et sont soumises à une forte pression de sélection de la part du système immunitaire. Les virus enveloppés sont sensibles aux influences extérieures comme la dessiccation (déshydratation) et la chaleur. Ceci a une influence sur les voies de transmissions. Les virus **nus** (sans enveloppe) sont, en règle générale, plus résistants que les virus enveloppés.

3. Multiplication, Reproduction

La **reproduction** ou la **multiplication virale** se déroule en plusieurs étapes successives bien coordonnées dans le temps, identiques pour tous les virus. Ces étapes sont :

- Attachement du virus à la cellule hôte.
- Pénétration du virus.
- Décapsidation.
- Réplication des composants viraux.
- Assemblage des composants viraux (encapsidation).
- Libération de la nouvelle génération de virus (Figure 12).

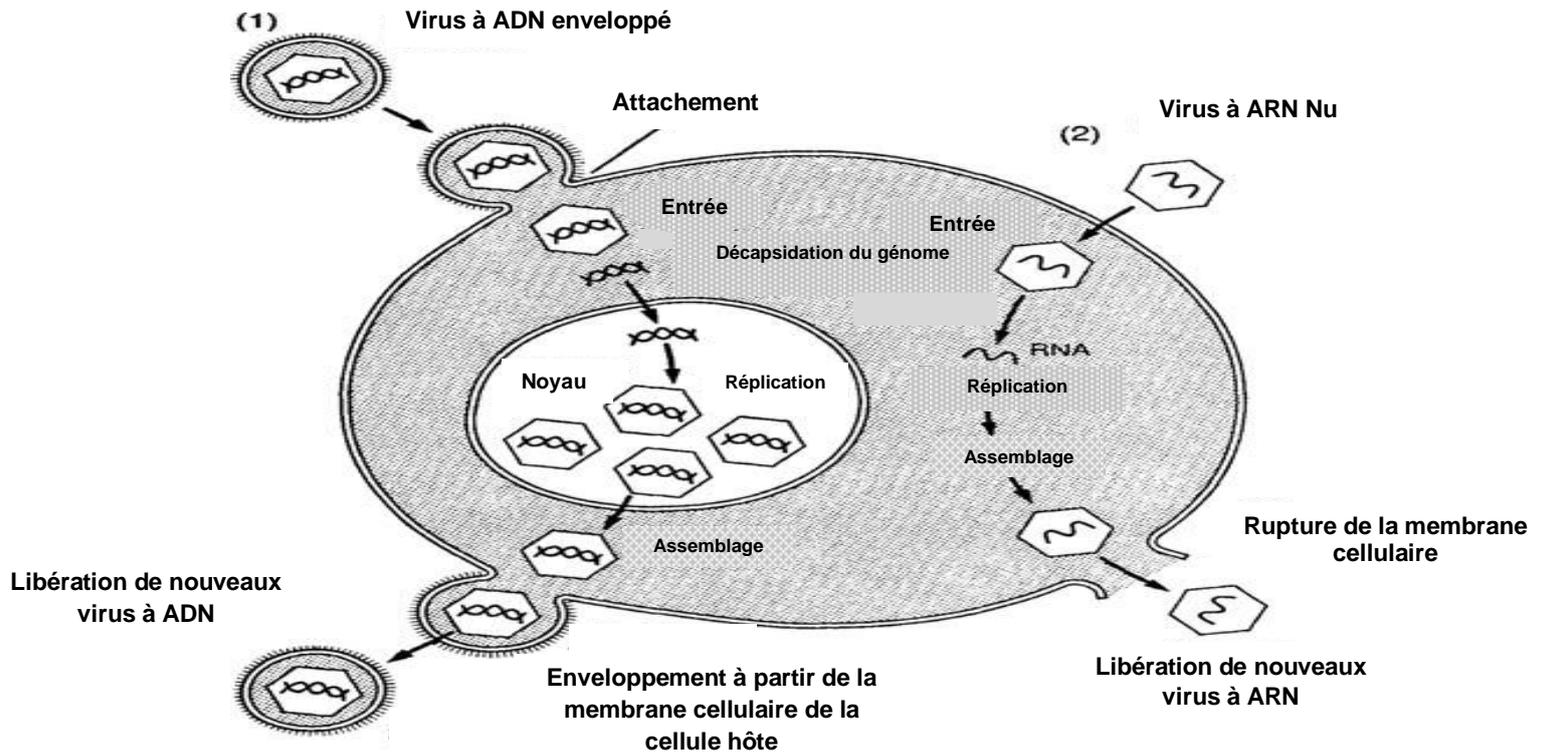


Figure 12 : Multiplications des virus (virus enveloppé et virus nus).

Comme une **cellule hôte** est indispensable pour que le virus puisse se multiplier, la première étape est la **fixation** ou l'**attachement** du virus à une hôte. Cette étape est suivie de l'entrée de la nucléocapside ou de l'acide nucléique viral dans la cellule hôte. Une **décapsidation du génome** se déroule et une fois ce dernier libéré dans le cytoplasme, les gènes du génome viral s'expriment (**transcription** et **traduction**). Ce qui permet au virus de prendre le contrôle de la machinerie biosynthétique de la cellule hôte pour qu'elle fabrique de **nouveaux virions**. Le génome viral est alors **répliqué** et les protéines virales sont synthétisées. De nouveaux virions sont construits par **auto-assemblage** des protéines de la capsidite avec les acides nucléiques et finalement les **virions matures** sont libérés de l'hôte.

4. Classification

La classification des virus s'appuie sur des propriétés morphologiques, biologiques, biochimiques et de plus en plus aussi génétiques. Les critères principaux de la classification des virus sont :

- **Nature du génome**

Le type d'acide nucléique (ADN ou ARN), la forme simple ou double brin, la polarité des virus à ARN (orientation négative ou positive du brin) sont essentiels. Accessoirement, on distingue la présentation du génome en pièces (segmenté) ou en ensemble (non segmenté). On tient aussi compte de la taille du génome et de son organisation.

- **Forme de symétrie de la capsidite** qui peut être cubique, hélicoïdale ou complexe.
- **Présence ou absence d'une enveloppe.**
- **Site de multiplication** de l'élaboration de la nucléocapsidite dans le noyau ou dans le cytoplasme de la cellule hôte.
- **Site de l'enveloppement** soit la membrane du noyau, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi ou la membrane plasmique.

- **Taille du virion** où les plus petits virus pathogènes chez l'homme sont les **Parvovirus** (18 nm) et les **Picornavirus** (30 nm), les plus grands sont les virus de la variole (250×350 nm).

5. Bactériophages

Les **bactériophages** (appelés souvent **phages**) sont des virus qui possèdent la particularité d'infecter les bactéries et pour la plupart d'entre eux, la capacité de les détruire, tout en étant **inoffensifs** pour les cellules humaines et animales. Bien que **parasites obligatoires**, constitués d'un acide nucléique (**ADN** ou **ARN**) et de protéines, comme tous les virus, ce ne sont pas des êtres vivants au sens strict, mais des entités biologiques (Figure 13).

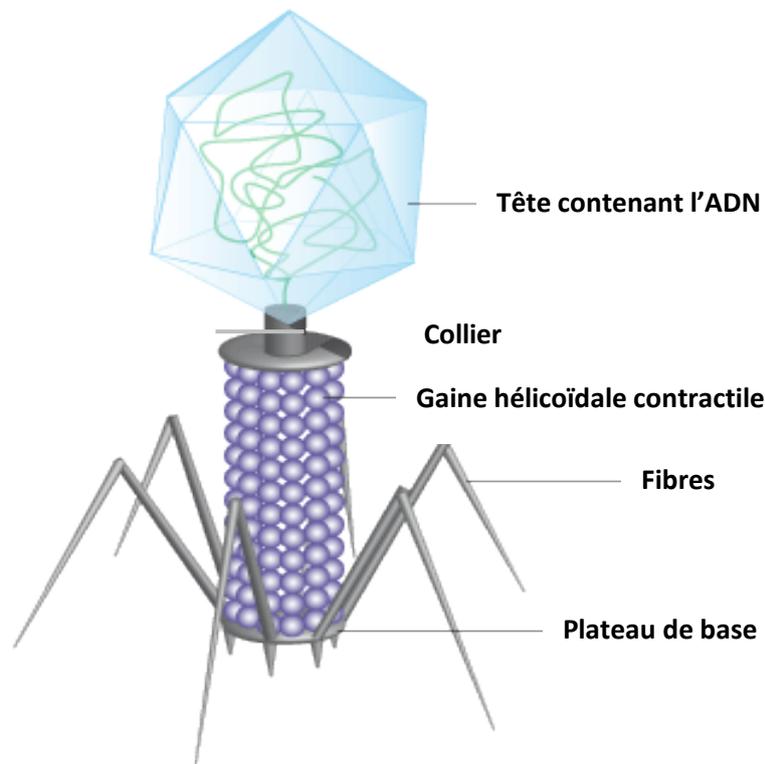


Figure 13 : Structure d'un bactériophage.

Les phages existent à l'état de virions extracellulaires, ils infectent une bactérie et donnent deux types d'infections :

5.1 Infection lytique (phages lytiques)

Les **phages lytiques** détournent les ressources matérielles et énergétiques de la bactérie dans le but de produire de nouveaux virus qui vont s'accumuler à l'intérieur de la bactérie. Quelques heures après l'infection, les nouveaux phages sont libérés par l'explosion de la bactérie, on parle de **lyse bactérienne**.

5.2 Infection non lytique ou lysogénie (phages tempérés)

L'information génétique d'origine virale est **intégrée dans le génome de la bactérie** et l'expression des gènes viraux nécessaires au début de **la réplication virale est empêchée**. Ce phénomène est appelé **lysogénie** et le fragment du bactériophage intégré dans le génome bactérien est appelé **prophage** pour un temps indéfini. Néanmoins, le phage peut toujours entrer en phase de réplication sous certaines conditions particulières (par exemple exposition aux rayons UV), s'il n'a pas subi de mutations défavorables durant la période de lysogénie. Dans le cas contraire, il devient inactif (prophage cryptique) (Figure 14).

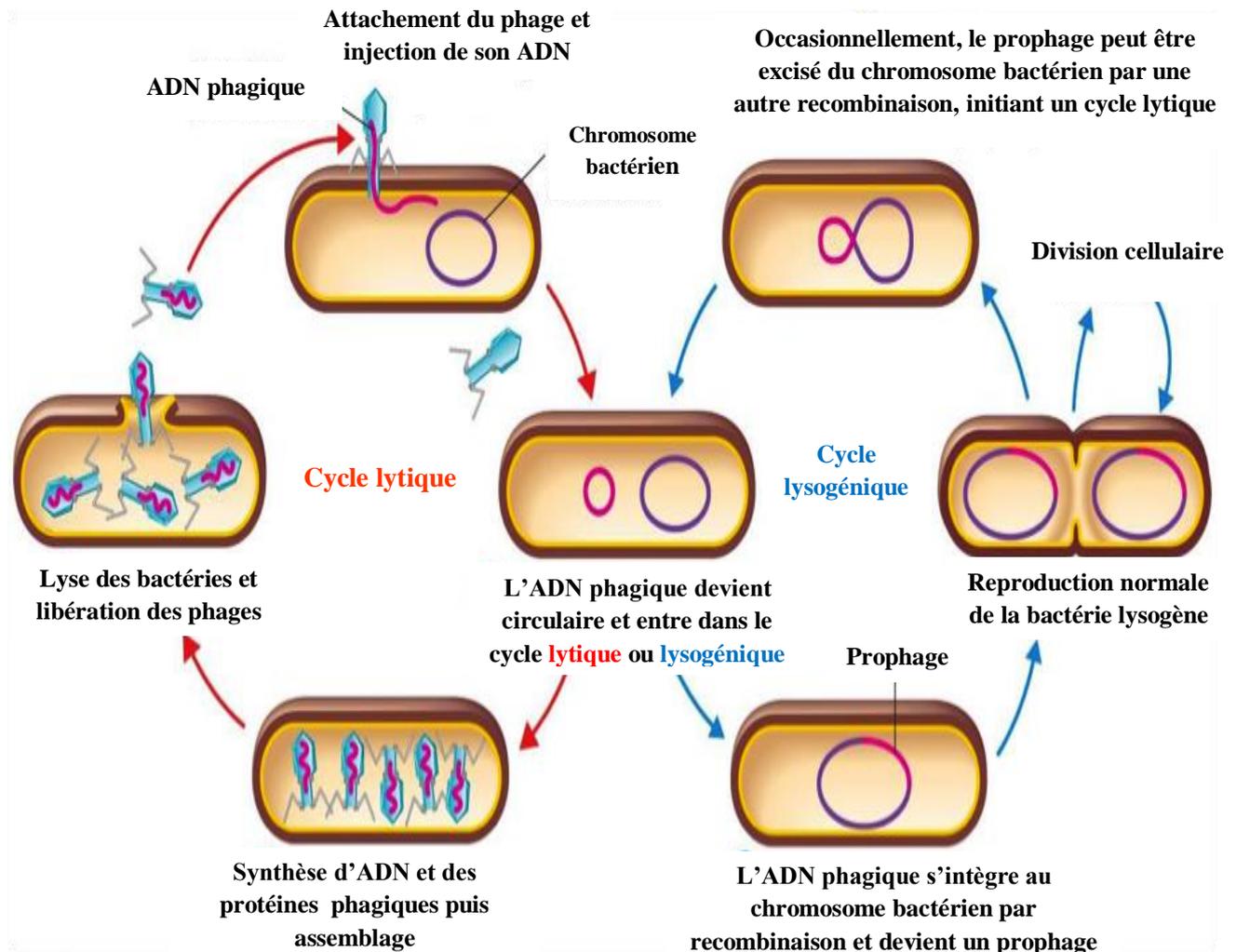


Figure 14 : Multiplication des bactériophages.

5.3 Types des bactériophages

Quatre types de bactériophages sont connus la plupart infectent *E. coli* est sont appelés : **Coliphages** :

- **Phage de la série T**

Tous les phages de la série T possèdent un ADN linéaire bicaténaire et possèdent une structure avec une tête et une queue (Figure 12). Ces phages sont à l'origine de beaucoup de manipulations de biologie moléculaire, les T2 en particulier. Les T7 sont utilisés pour des vecteurs de clonage comme promoteur fort. Les T pairs comme les T2, T4, T6 appartiennent à la famille des **Myoviridae**. Les T impairs appartiennent à la famille des **Podoviridae**.

- **Phage Tempéré**

Ils présentent deux cycles de multiplication par alternance, un cycle lytique et un cycle lysogène : le phage s'intègre dans le génome bactérien au lieu de rester virion. Le plus étudié est le phage λ notamment pour les clonages, exemple Phage λ .

- **Petit phage à ADN**

Ce sont des phages de petite taille avec deux sortes de nucléocapside : nucléocapside icosaédrique et nucléocapside filamenteuse.

- **Phage à ARN**

Ils appartiennent à la famille des Leviridae comme le phage Q β , Ms2. Ils servent de modèles pour la traduction de l'ARN.

6. Prions

En 1982, le neurobiologiste PRUSINER a émis l'hypothèse que des **protéines infectieuses** sont à l'origine d'une maladie neurologique du mouton appelée **scrapie** (gratter). Ainsi, il a constaté que le degré d'infection des tissus infectés diminue après un traitement par les **protéases** mais ce n'est pas le cas après le traitement par rayonnement. PRUSINER a suggéré alors que l'agent infectieux est une **protéine pure** lui donnant ainsi le nom **Prion** (de l'anglais : **Proteinaceous infection particle**).

Les **prions** sont des **particules infectieuses formées de fibrilles de protéines pures**. Neuf maladies animales, parmi lesquelles la maladie de la vache folle, qui se trouve dans cette catégorie d'agents infectieux d'atteints neurologiques nommées **encéphalopathies spongiformes bovine (ESB)**. Les maladies humaines de ce type d'agent infectieux sont le **Kuru**, la maladie de **Creutzfeldt Jakob (MCJ)** et autres. Le mécanisme d'action des prions n'est pas encore connu. Cependant l'hypothèse visant à expliquer comment un agent infectieux sans acide nucléique cause une maladie est illustrée (Figure 15).

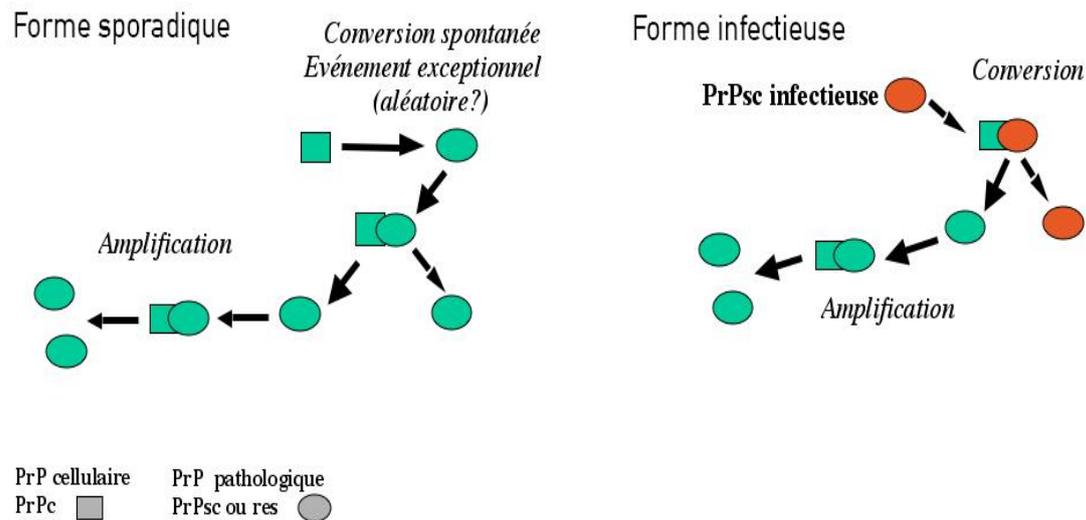


Figure 15 : Représentation schématique du mécanisme d'action des prions.

7. Viroïdes

Un **viroïde** est une particule virale simple, composée d'un seul ARN circulaire sans capsid, qu'on différencie des virus à capsides car sa séquence ne code aucune protéine. Il appartient au règne des virus car il se fait répliquer en infectant une cellule hôte, tout en ayant des effets pathogènes comparables à ceux des virus codant des protéines. Plus petites que les virus (environ 50 nm de long), ces particules ont été découvertes en 1971 par le spécialiste américain des maladies végétales Theodor Otto DIENEREN, en recherchant l'agent causal de la maladie des tubercules fusiformes de la pomme de terre. La preuve de leur nature infectieuse n'a été obtenue qu'en 1972, lorsque des infections expérimentales sont réalisées.

Les **viroïdes** infectent l'intérieur des cellules en tant que particules d'ARN uniquement, sans capsid ni enveloppe. Ils n'ont qu'un seul ARN circulaire qui contient très peu de nucléotides (250 à 400), leur génome s'organise en bâtonnet (génome à 70 % apparié) mais la séquence nucléotidique ne code aucune protéine. Contrairement au virus dont l'ARN peut être copié dans le cytoplasme ou le noyau, l'ARN des viroïdes est copié dans le noyau ou dans les chloroplastes, selon la famille. Cette répllication se fait grâce aux enzymes de la cellule hôte comme les ARN polymérases. Les **viroïdes** se répliquent de manière autonome et ne dépendent pas de la coïnfection avec un virus assistant. Ils infectent les plantes avec un spectre d'hôte plus ou moins large et provoquent des pathologies telles qu'une réduction de la croissance allant jusqu'à la déformation, la nécrose, la chlorose, le rabougrissement et même la mort de la plante. Les **viroïdes** sont des **virus de végétaux** qui infectent des plantes économiquement importantes, comme la pomme de terre, la tomate, le concombre, la vigne, les arbres fruitiers, etc.