Cours de Microbiologie 2

Niveau 2 année Ingénieur

PRÉSENTÉ PAR DR SAADI INES

Introduction

La mycologie est une discipline scientifique relevant de la biologie, consacrée à l'étude des champignons. Elle examine leur classification, leur morphologie, leur physiologie, leurs modes de reproduction ainsi que leurs interactions avec les autres organismes et leur environnement. Les champignons constituent un règne distinct, caractérisé par des particularités biologiques telles que l'hétérotrophie et la présence de parois cellulaires riches en chitine. La mycologie revêt une importance majeure en raison du rôle fondamental des champignons dans les écosystèmes, notamment dans les processus de décomposition et de recyclage de la matière organique, ainsi que pour leurs applications en médecine, en agriculture et dans les biotechnologies.

Chapitre I:
Introduction a la Mycologie

1-1 Morphologie et organisation cellulaire

Les champignons présentent une grande diversité morphologique, allant des formes unicellulaires, telles que les levures, aux formes pluricellulaires complexes constituées de filaments appelés hyphes. Ces hyphes s’organisent généralement en un réseau ramifié nommé mycélium, qui constitue l’appareil végétatif du champignon. Selon les groupes taxonomiques, les hyphes peuvent être septées, c’est-à-dire divisées par des cloisons transversales, ou cénocytiques, dépourvues de septa.

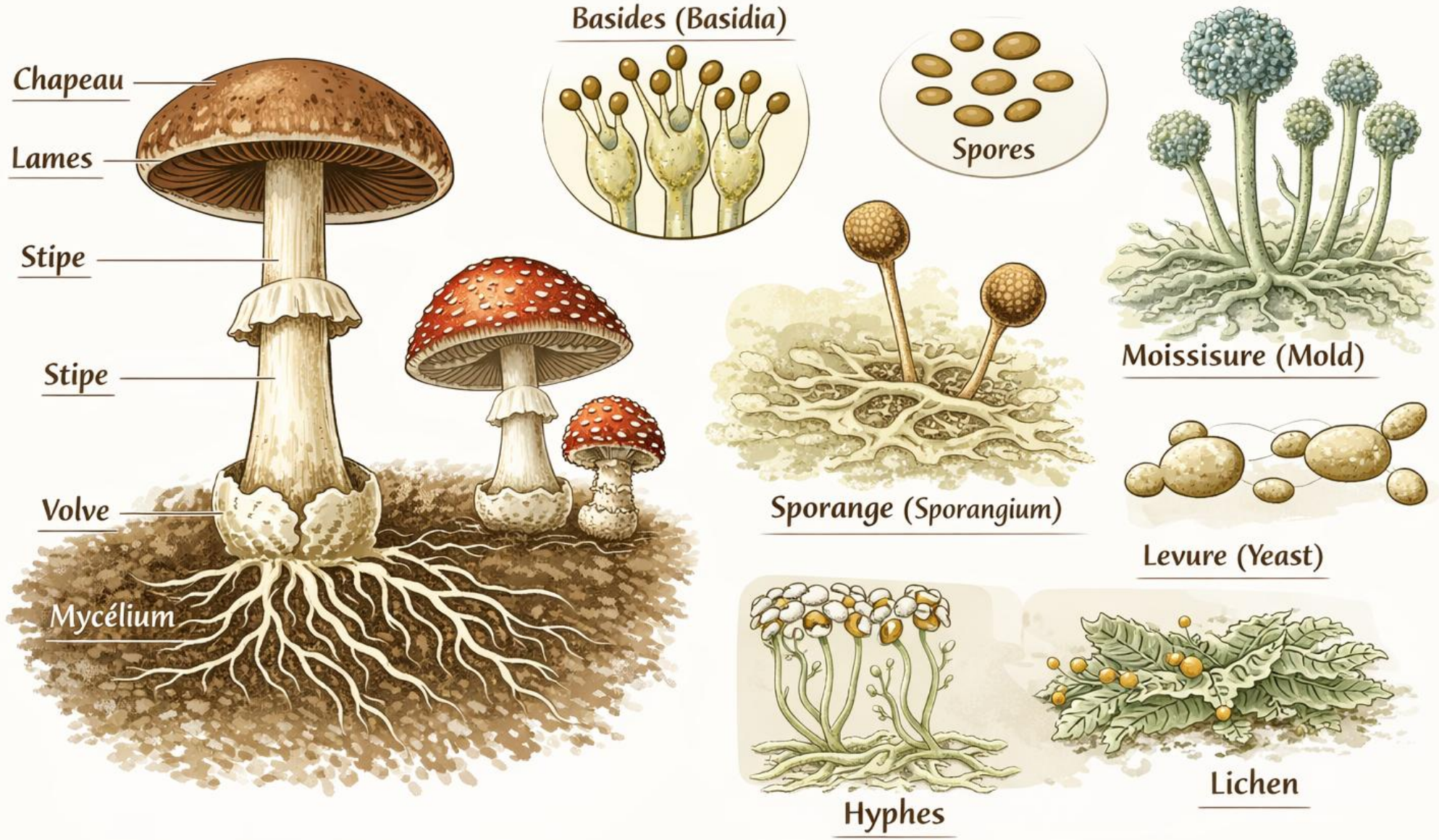
Sur le plan cellulaire, les champignons sont des organismes eucaryotes caractérisés par une paroi cellulaire rigide principalement composée de chitine, de glucanes et de mannoprotéines.

Cette paroi joue un rôle essentiel dans le maintien de la forme cellulaire, la protection contre les contraintes environnementales et les échanges avec le milieu.

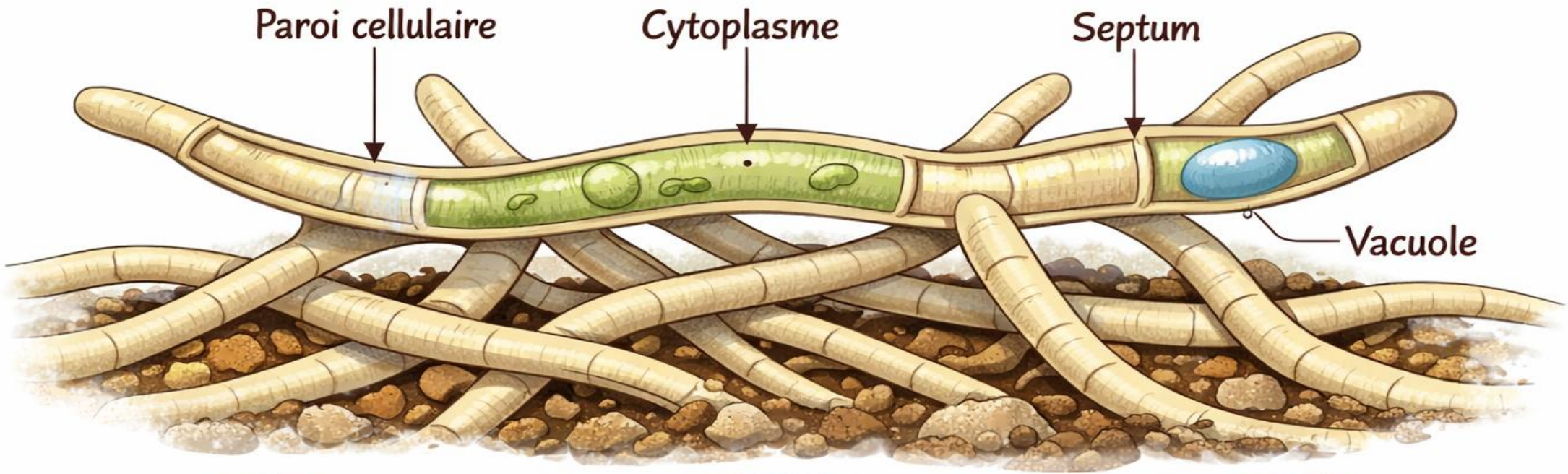
Le cytoplasme renferme des organites typiques des cellules eucaryotes, tels que le noyau, les mitochondries, le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi.

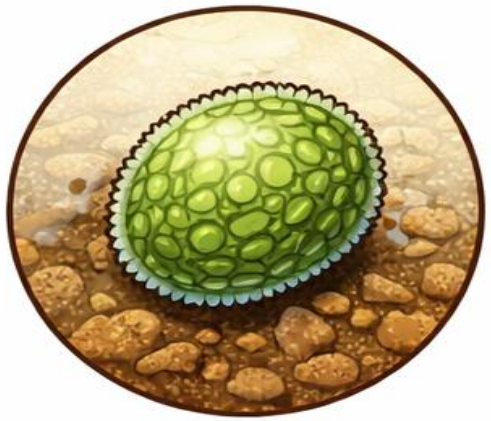
La membrane plasmique contient de l'ergostérol, un stérol spécifique des champignons, qui constitue une cible majeure de nombreux antifongiques.

Morphologie des Fungi

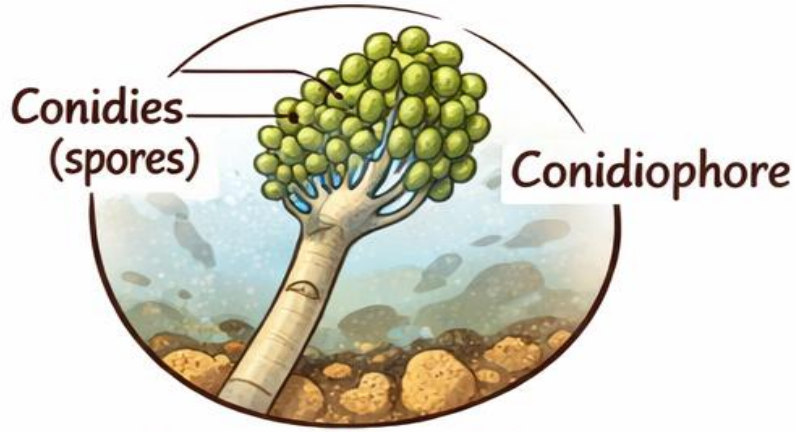


Hyphes fongiques





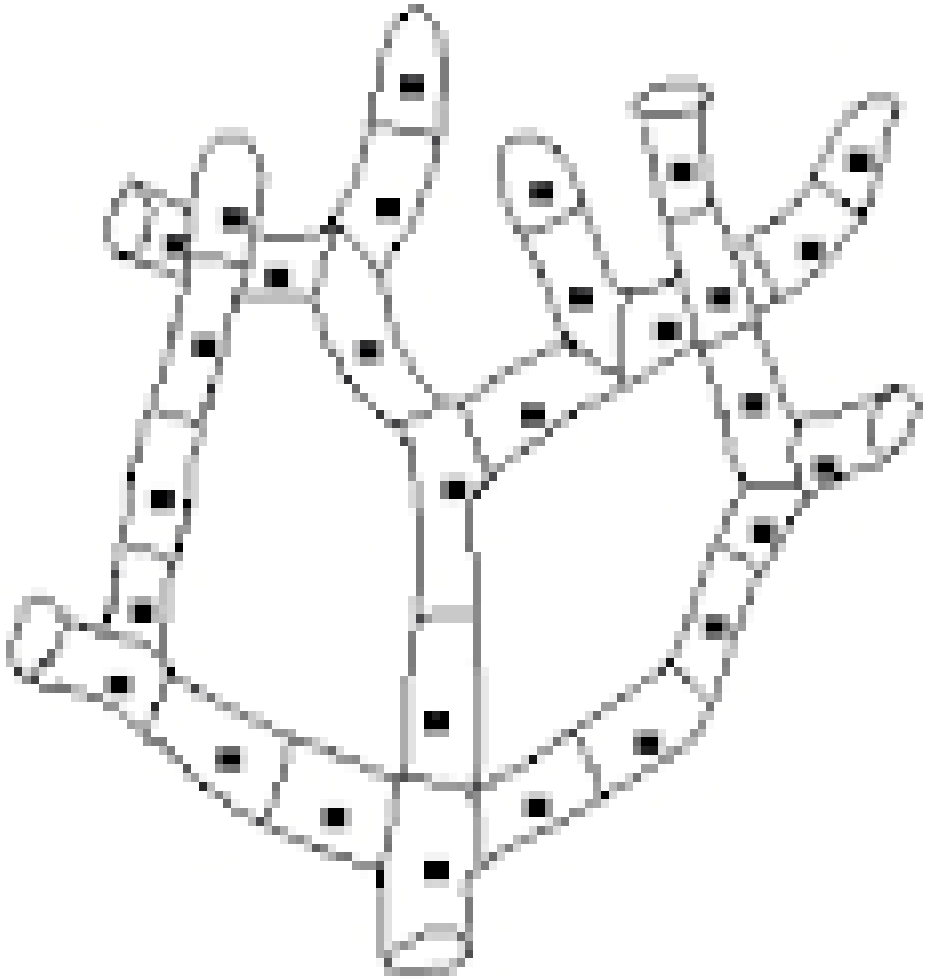
Spore



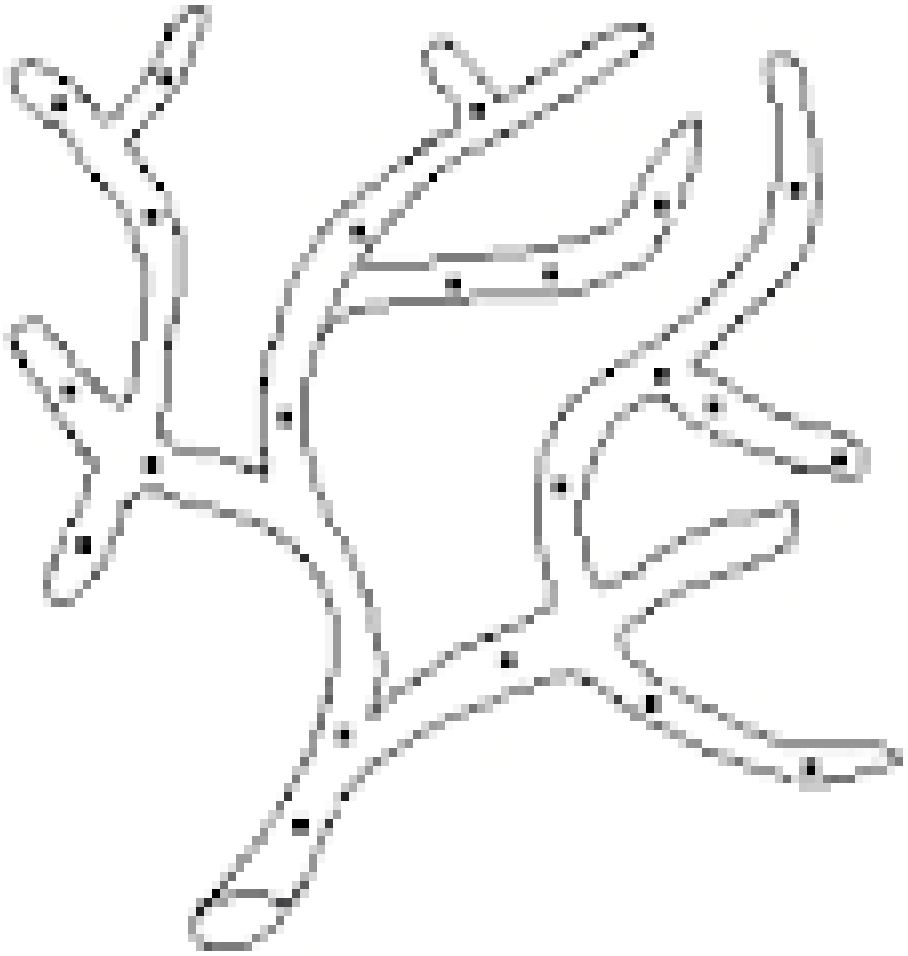
Appareil sporifère



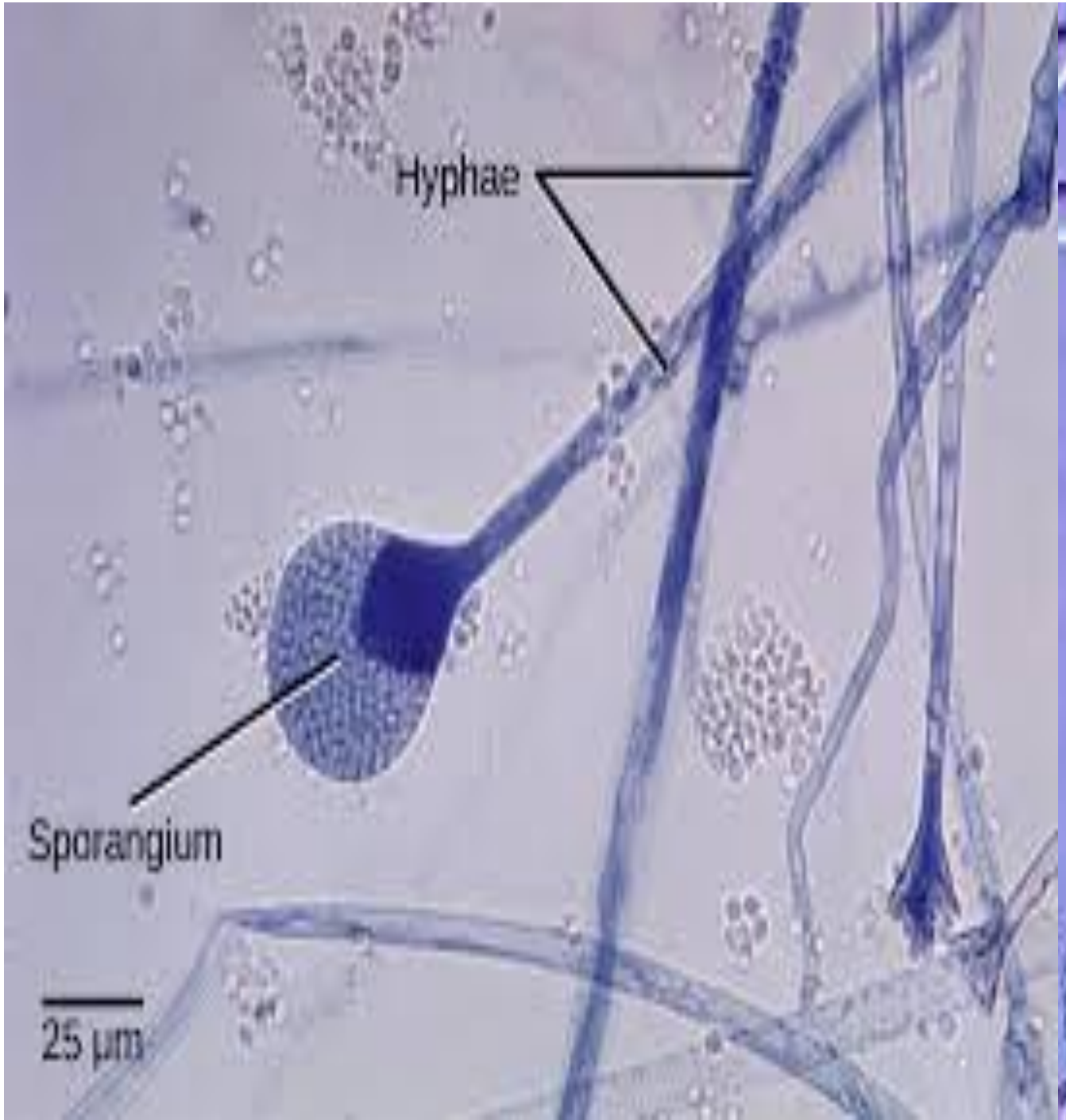
Rhizomorphes



Septomycètes
Filaments cloisonnés appelés hyphes



Siphomycètes
Filaments non cloisonnés appelés siphons


Hyphae
Sporangium
25 µm



1-2 Les levures

Les **levures** sont des **champignons microscopiques unicellulaires**, appartenant principalement aux **Ascomycètes** (et plus rarement aux Basidiomycètes).

Les levures se multiplient surtout par **bourgeonnement** (ou parfois par **scissiparité**) et qui peuvent fermenter les sucres en produisant de l'alcool et du dioxyde de carbone.

scissiparité;: Reproduction asexuée par simple division de l'organisme.

A/ Caractéristiques essentielles des levures

- Organisation unicellulaire (contrairement aux moisissures filamenteuses)
- Cellule eucaryote : noyau, cytoplasme, vacuole
- Paroi cellulaire riche en glucanes, mannanes et chitine
- Croissance rapide en milieux riches en sucres
- Peut former un pseudomycélium chez certaines espèces

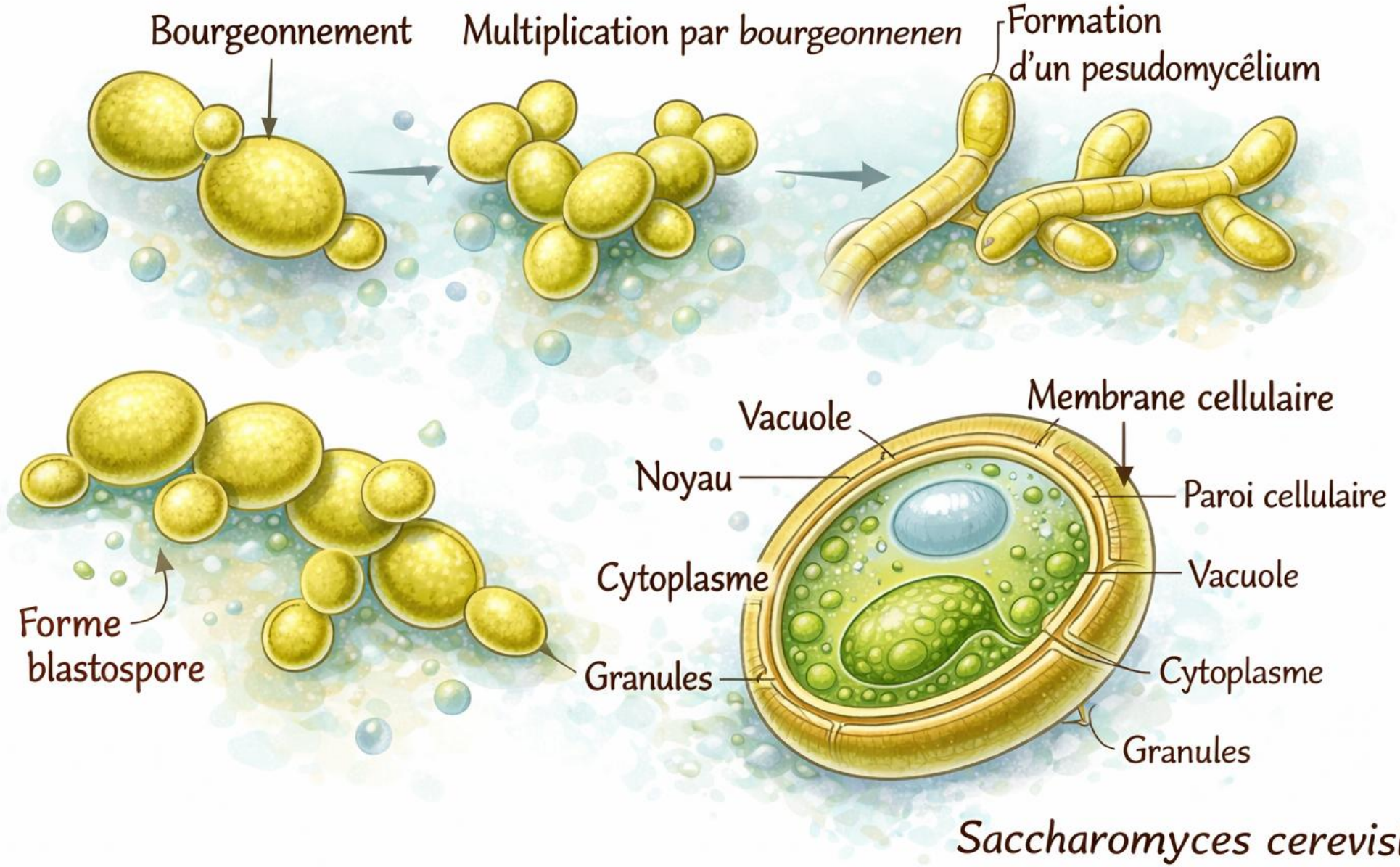
B/ Modes de reproduction

- **Asexuée** : bourgeonnement (le plus fréquent)
- **Sexuée** : formation de spores (ascospores chez les Ascomycètes)

C/ Importance des levures

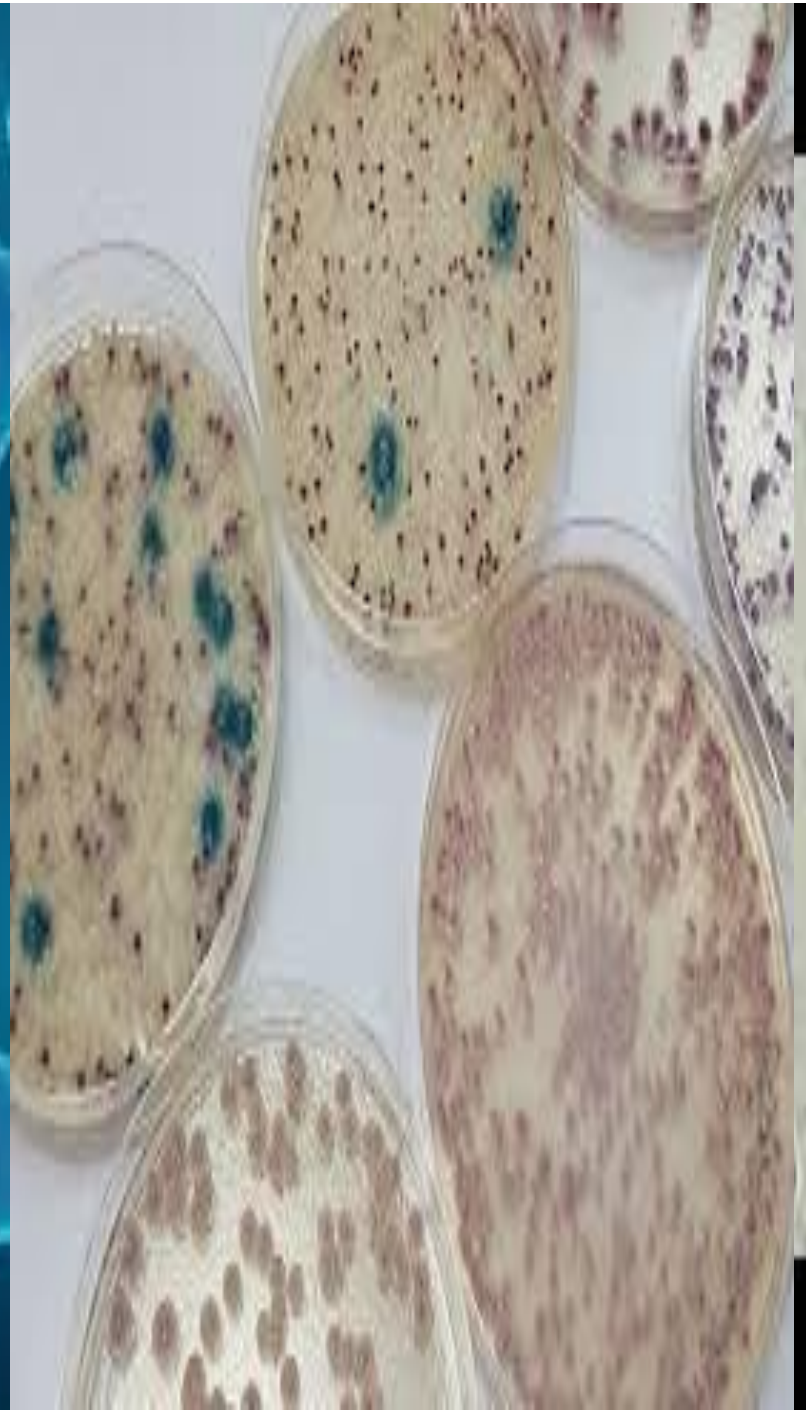
- **Industrie alimentaire** : panification, fermentation alcoolique (bière, vin)
- **Biotechnologie** : production d'enzymes, vitamines
- **Écologie des sols** : décomposition de la matière organique
- **Pathologie** (certaines espèces) : *Candida albicans*

Levures



Saccharomyces cerevisiae







1-3 les moisissures

Les moisissures sont des champignons microscopiques pluricellulaires, caractérisés par un appareil végétatif filamenteux appelé mycélium, formé d’un réseau d’hyphes et se reproduisent par spores.

A/ Caractéristiques principales

- **Organisation pluricellulaire**
- **Hyphes** cloisonnées ou non, constituant le **mycélium**
- **Paroi cellulaire** riche en chitine
- Reproduction par **spores** (asexuées et/ou sexuées)
- Croissance favorisée par l'humidité et la matière organique

Chitine: Substance organique (téguments des arthropodes, membranes de certains champignons).

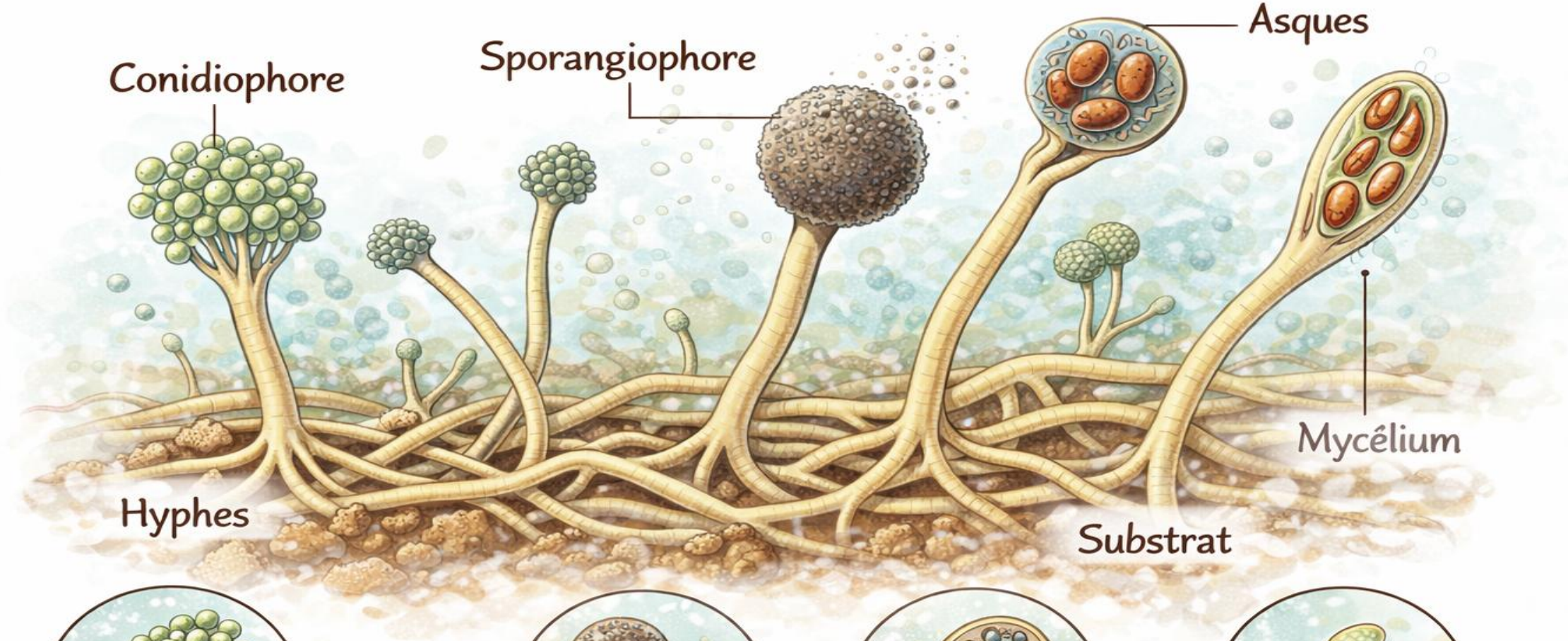
B/ Reproduction

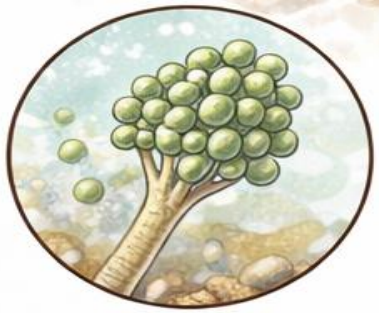
- **Asexuée** : conidies, sporangiospores
- **Sexuée** : ascospores, zygospores ou basidiospores (selon le groupe)

C/ Importance des moisissures

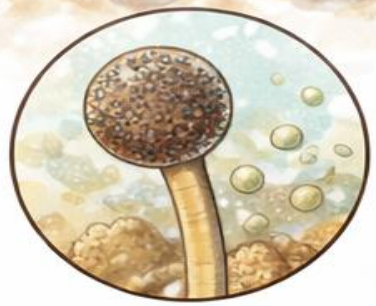
- **Rôle écologique** : dégradation de la matière organique dans les sols
- **Agroalimentaire** : fromages (*Penicillium*)
- **Industrie pharmaceutique** : antibiotiques (pénicilline)
- **Altération des aliments**

Moisissures

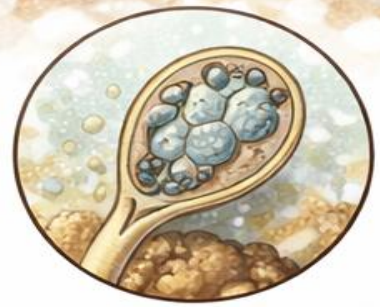




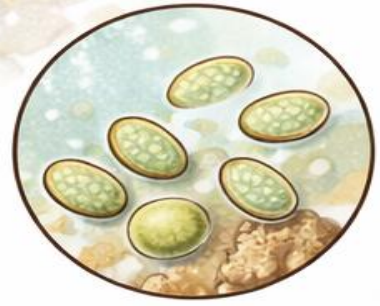
Conidies (asexuées)



Sporangiospores



Sporangiòmes



Ascospores (sexuées)










15KV X940
10.0U SMEBN

1-4 la reproduction (sexuée et asexuée)

A/ La **reproduction sexuée chez les champignons (fungi)** est un **mode de reproduction** qui résulte de la **fusion de deux cellules sexuelles compatibles**, entraînant un **brassage génétique** et la **formation de spores sexuées**.

La reproduction sexuée est le processus par lequel deux hyphes ou cellules de types sexuels différents fusionnent, conduisant à la formation de spores sexuées après une succession de phases nucléaires.

B/ Types de spores sexuées (selon les groupes)

- **Ascospores** → Ascomycètes
- **Basidiospores** → Basidiomycètes
- **Zygospores** → (ex-Zygomycètes)

C/ Importance biologique

- **Diversité génétique**
- **Adaptation aux conditions défavorables**
- **Évolution des espèces fongiques**

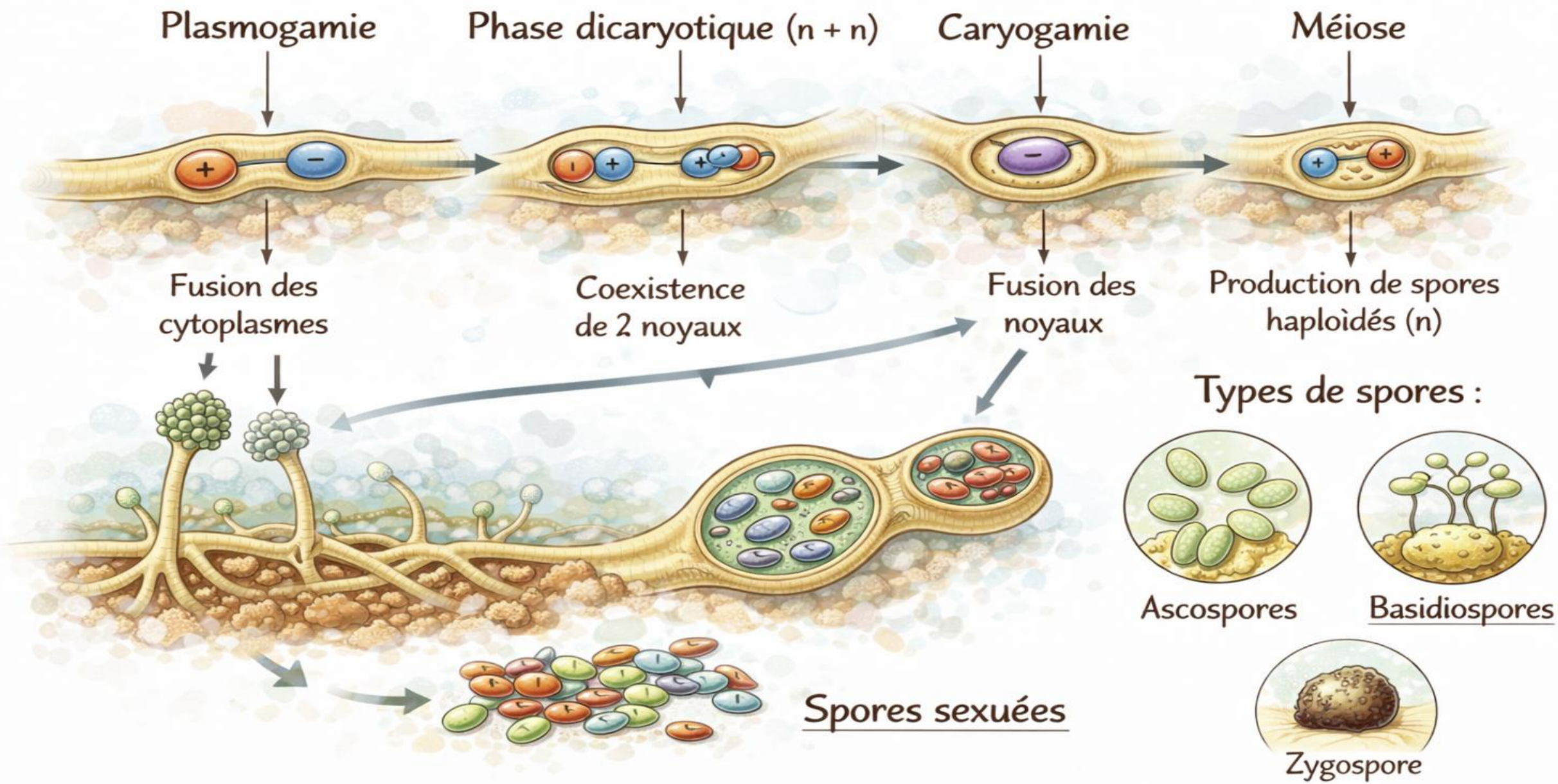
Étapes fondamentales de la reproduction sexuée

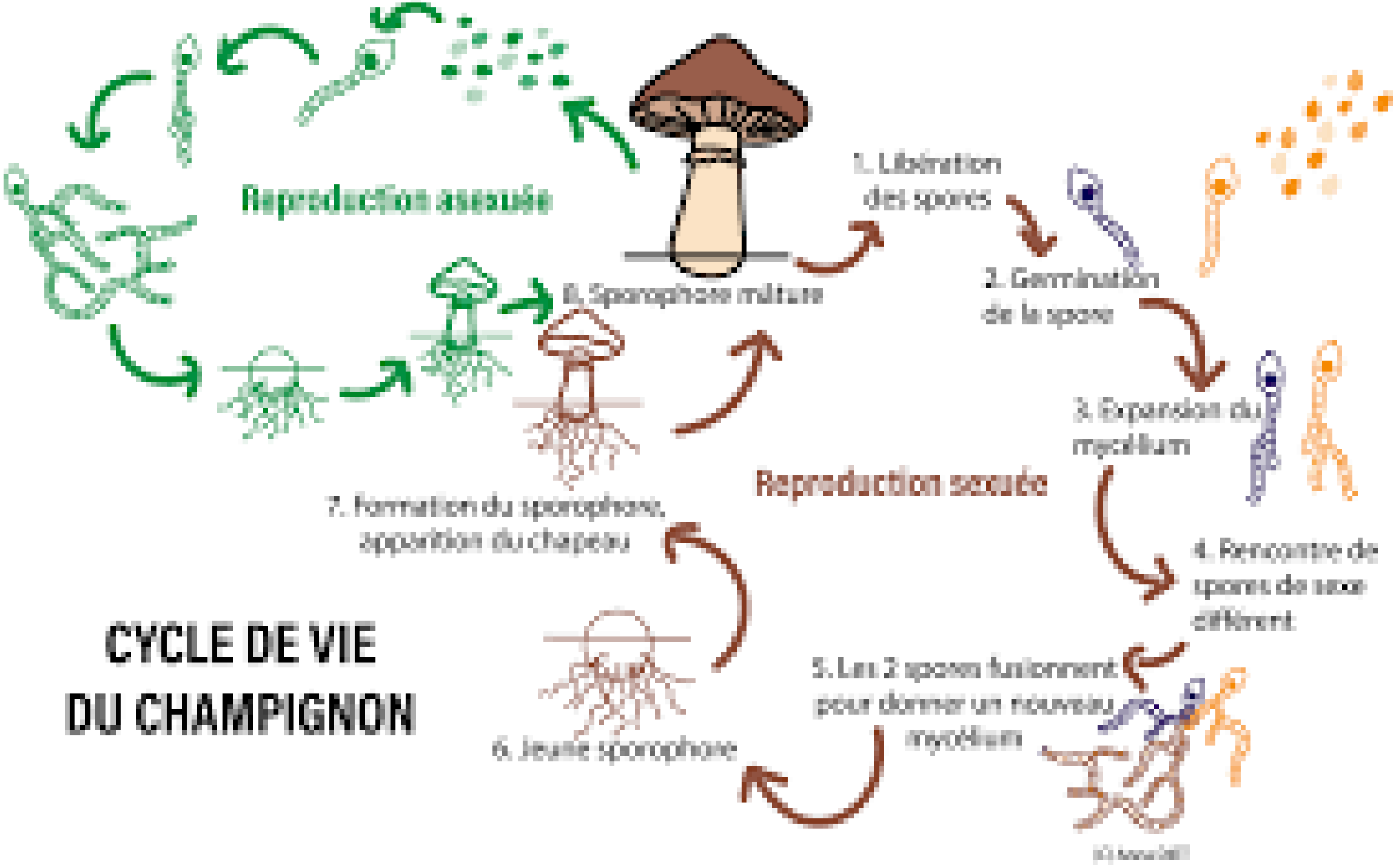
1. **Plasmogamie** : fusion des cytoplasmes des deux cellules compatibles

2. **Phase dicaryotique (n + n)** : coexistence de deux noyaux distincts
3. **Caryogamie** : fusion des noyaux → noyau diploïde (2n)
4. **Méiose** : production de **spores sexuées haploïdes**

Les spores sexuées haploïdes (\(n\) chromosomes) sont des cellules reproductrices issues de la méiose, marquant la transition d'une phase diploïde (\(2n\)) à une phase haploïde dans le cycle de vie. Elles permettent la dispersion et la germination, donnant naissance à des gamétophytes ou des champignons haploïdes.

Reproduction sexuée chez les champignons




Reproduction asexuée
1. Libération des spores
2. Germination de la spore
3. Expansion du mycélium
Reproduction sexuée
4. Rencontre de spores de sexe différent
5. Les 2 spores fusionnent pour donner un nouveau mycélium
6. Jeune sporophore
7. Formation du sporophore, apparition du chapeau
8. Sporophore mature
CYCLE DE VIE
DU CHAMPIGNON

La **reproduction asexuée chez les champignons (fungi)**

un **mode de multiplication** qui se fait sans fusion de cellules sexuelles, à partir d'un seul individu, et qui donne des descendants génétiquement identiques (clones).

un processus par lequel un champignon se multiplie sans fécondation, principalement par la formation de spores asexuées ou par division cellulaire.

A/ Principaux modes de reproduction asexuée

1. **Par spores asexuées**
    1. **Conidies** (ex. *Aspergillus*, *Penicillium*)
    2. **Sporangiospores** (ex. *Rhizopus*)
    3. Produites par des structures spécialisées (conidiophores, sporangiophores)
2. **Par bourgeonnement**
    1. Typique des **levures** (*Saccharomyces cerevisiae*)
    2. Formation d’un bourgeon qui se détache ou reste attaché

3- Par fragmentation du mycélium

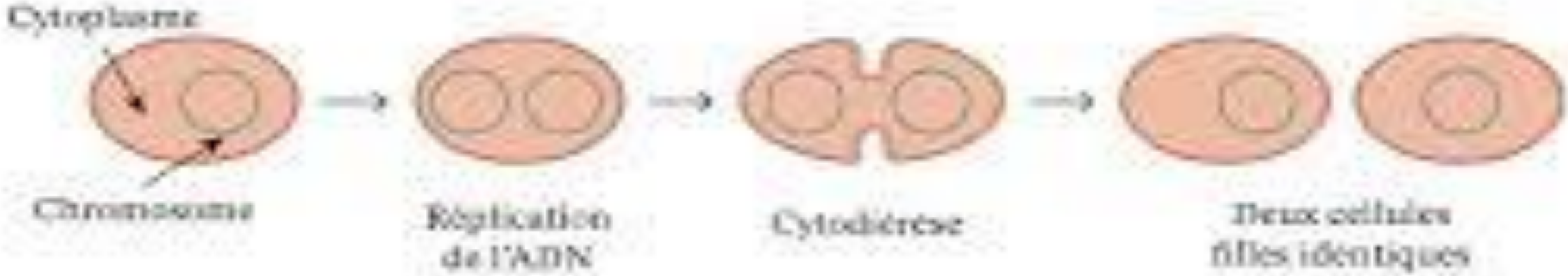
Un fragment d'hyphe se détache et donne un nouveau mycélium

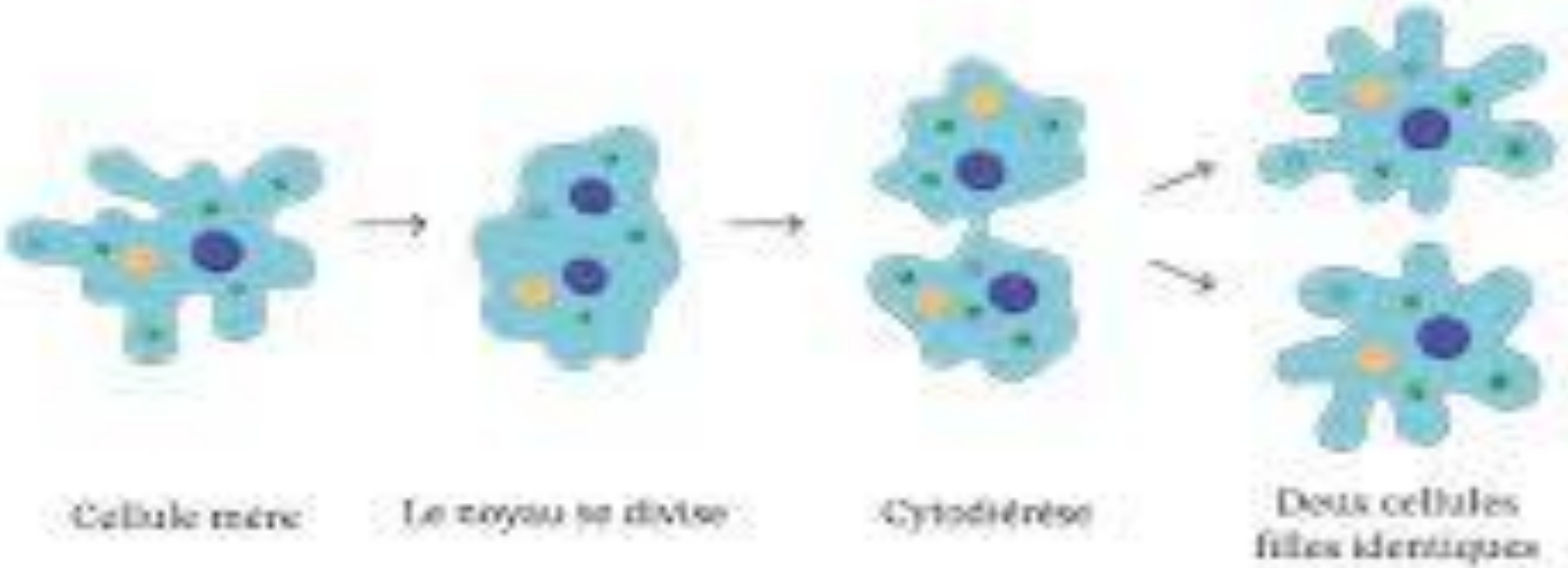
4- Par scissiparité (rare)

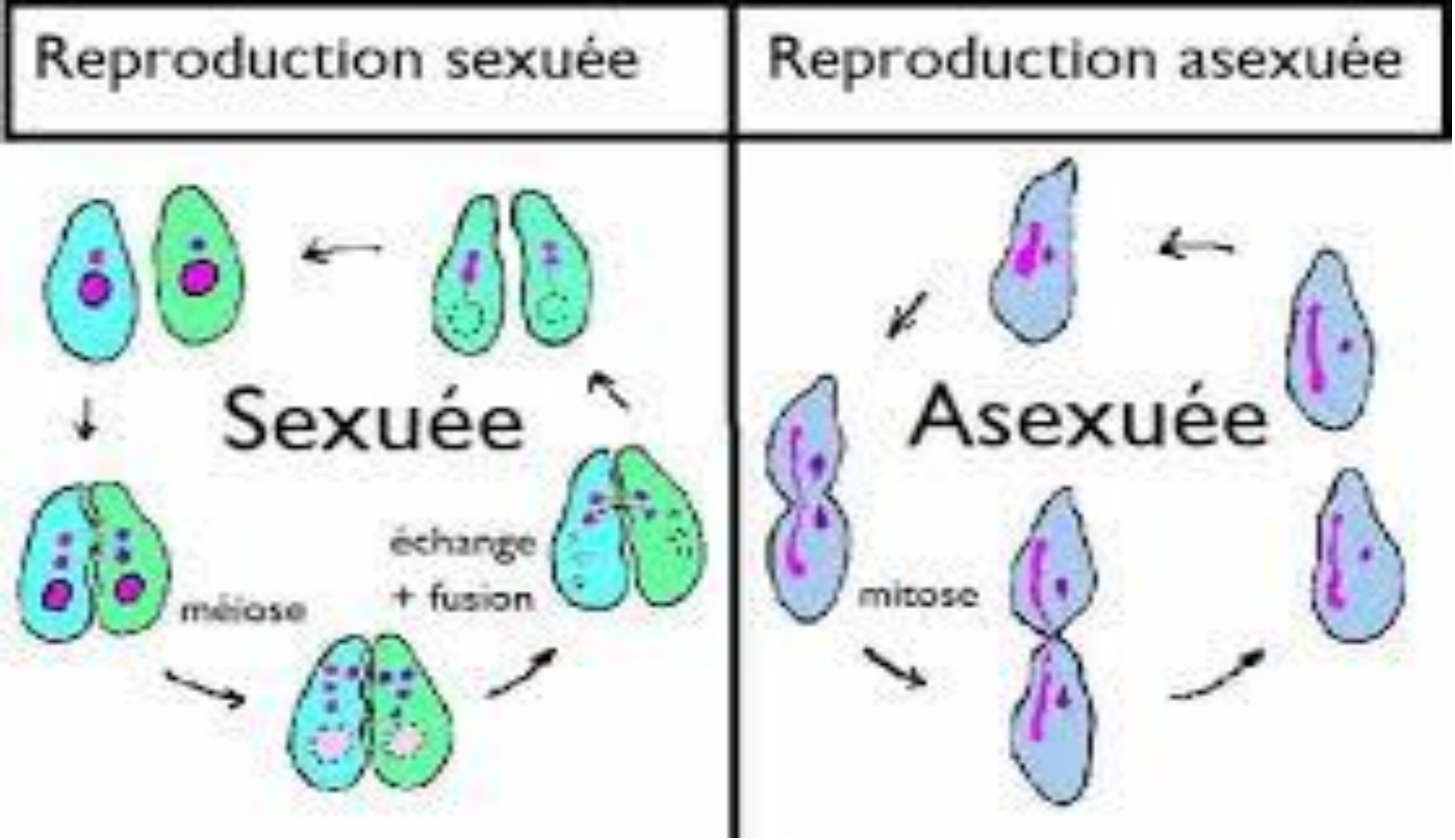
Division directe de la cellule (certaines levures)

Importance de la reproduction asexuée

- Rapidité de multiplication
- Colonisation rapide du milieu
- Maintien des caractères génétiques adaptés
- Rôle clé en agroalimentaire et biotechnologie


Cytoplasme
Chromosome
Réplication de l'ADN
Cytodiérèse
Deux cellules filles identiques

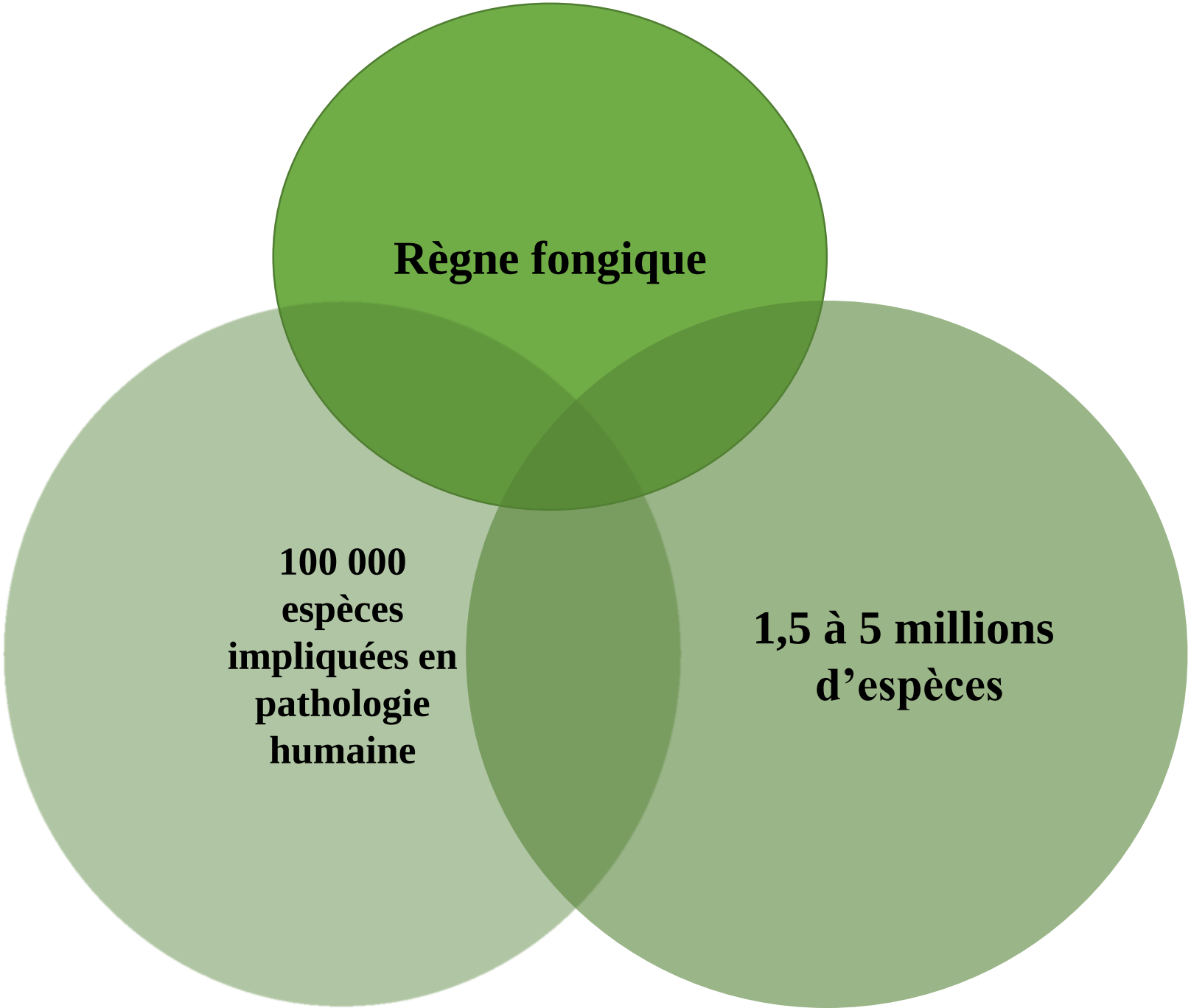

Cellule mère
Le noyau se divise
Cytodiérèse
Deux cellules filles identiques


Reproduction sexuée
Reproduction asexuée
Sexuée
méiose
échange
+ fusion
Asexuée
mitose

5- La taxinomie Fongique

« Il n’y a rien de permanent sauf le changement ‘
Héraclite




Règne fongique
100 000 espèces impliquées en pathologie humaine
1,5 à 5 millions d’espèces

En agronomie, les champignons microscopiques (micromycètes) sont classés en moisissures filamenteuses et levures, essentiels pour la décomposition, les symbioses (mycorhizes) ou comme pathogènes. Ils se divisent principalement en Ascomycètes (tavelures, oïdium) et Basidiomycètes, avec des rôles saprophytes, parasites ou symbiotiques dans les sols et sur les cultures.

A/ Classification principale en agronomie

- Moisissures (Filamenteux) : Organismes pluricellulaires formant un mycélium. Ils sont critiques pour la dégradation de la matière organique (saprophytes) et la formation de l'humus, ou responsables de maladies.

- Levures (Unicellulaires) : Champignons microscopiques se reproduisant par bourgeonnement, utilisés dans les processus de fermentation

B/ Classification selon leur rôle agronomique

- **Champignons phytopathogènes** : Parasites responsables de maladies, tels que Plasmodiophora (hernie des crucifères), Oïdium (blanc), Tavelures, ou l'ergot de seigle.

- **Champignons du sol et symbiotes** : Champignons mycorhiziens qui s'associent aux racines pour améliorer l'absorption des nutriments par la plante (symbiose).

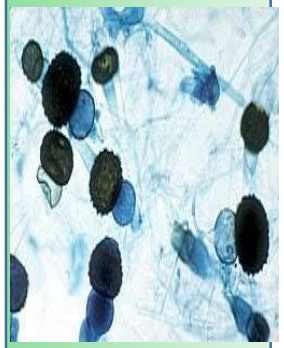
- **Champignons décomposeurs** : Saprophytes décomposant la matière organique

C/ Classification phylogénétique (Groupes majeurs)

- **Ascomycètes** : Incluent de nombreux agents pathogènes de plantes et des moisissures utiles.
- **Basidiomycètes** : Comprennent des décomposeurs importants du sol.
- **Mucoromycota/Mucorales** : Souvent impliqués dans la décomposition rapide,

Cette classification permet de différencier les agents pathogènes, à contrôler, des alliés microbiens favorisant la fertilité des sols et la nutrition des plantes.

Ancienne classification des champignons
Critères Morphologies



zygospores



Ascospores



Basidiospores

Ascomycotina

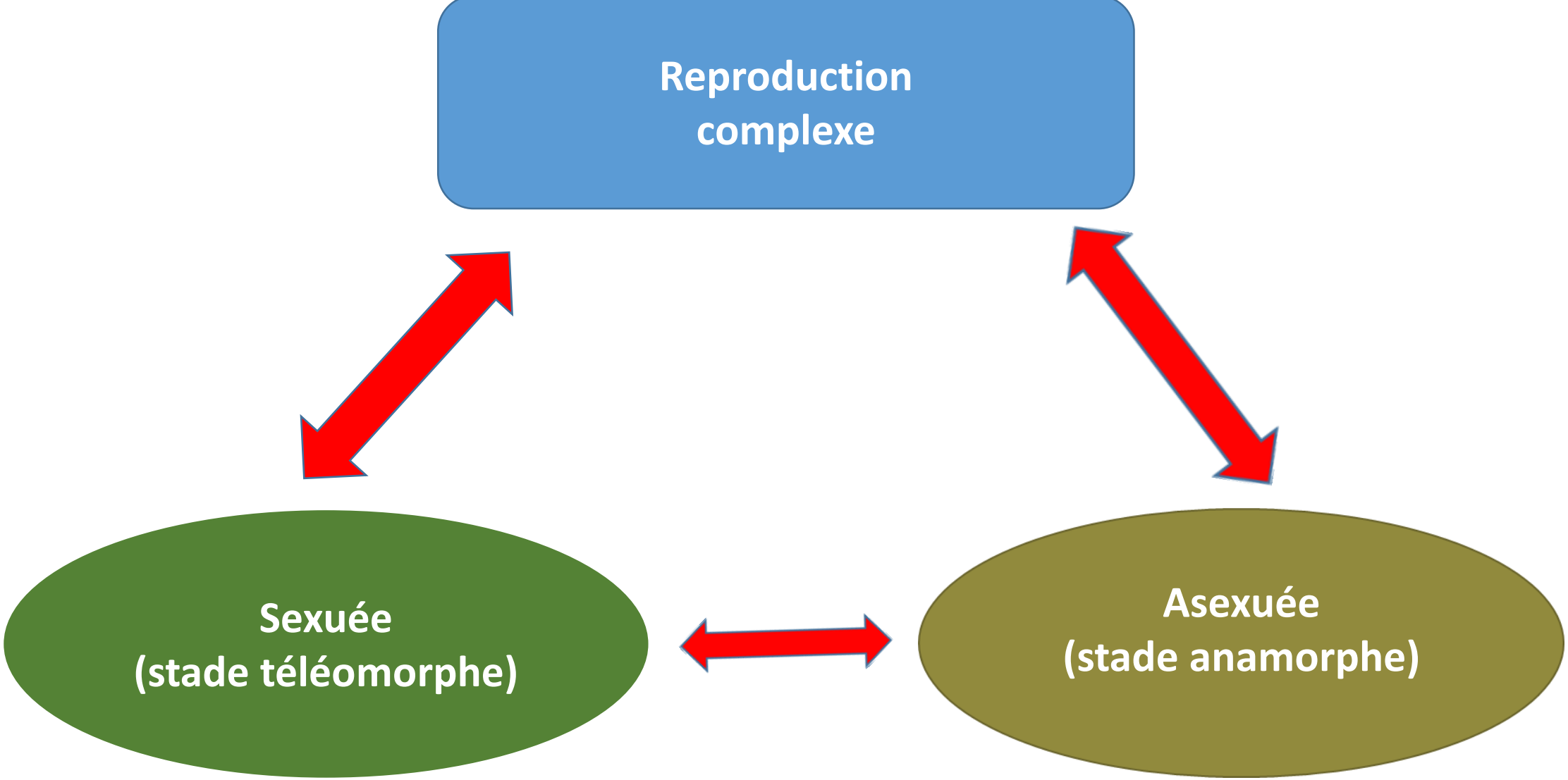
Zygomycotina

4 divisions
Classification de
Hoog (1995

Basidiomycotina

Mastigomycotina

Reproduction sexuée ???: Deuteromycotina ou Fungi imperfecti (champignons imparfaits)



En pratique, la dénomination d'une espèce est fondée sur l'aspect de son isolat en culture.
Si coexistence simultanée des deux types de reproduction, c'est le stade téléomorphe qui prédomine.

Raisons d’une nouvelle taxonomie des champignons

- Application des technologies moléculaires, des outils protéomiques en

1- taxonomie

2- diagnostic

Ces relations peuvent être utiles pour prédire de la

- pathogénicité
- sensibilité aux antifongiques

La protéomique: est l'étude à grande échelle du protéome, c'est-à-dire l'ensemble des protéines exprimées dans une cellule,

- Corriger les erreurs taxonomiques découlant de la classification phénotypique
- Différents stades morphologiques génétiquement identiques
- Abandon de la double nomenclature en 2011

“ONE FUNGUS: ONE NAME”

Découverte de nouvelles espèces:

- pathogènes
- responsables d’épidémies de mycoses graves

- Découverte de nouvelles espèces
- Alignement avec la nomenclature internationale:

- Les organismes responsables de la classification des champignons, tels que le Comité international pour la taxonomie des champignons (ICTF), peuvent proposer des changements pour aligner la classification avec les normes internationales en suivant strictement

chapitre II
Introduction a la virologie

La virologie en agronomie étudie les virus comme parasites intracellulaires obligatoires responsables de maladies végétales, caractérisés par une structure simple (capside + génome ADN/ARN) et une taille infime (<0,3\mu m). Ils causent des dégâts majeurs (mosaïques, nains, marbrures) en détournant la machinerie cellulaire, nécessitant une lutte axée sur la prévention









1- Généralités

Définition et Caractéristiques : Les virus sont des entités biologiques, et non des cellules, inactifs à l'extérieur d'une cellule hôte. Ils sont constitués d'un génome (ADN ou ARN) protégé par une coque protéique (capside), parfois entourée d'une enveloppe.

Parasitisme Intracellulaire Obligatoire : Ils ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur de cellules vivantes (plantes, bactéries, insectes) en utilisant leur machinerie.

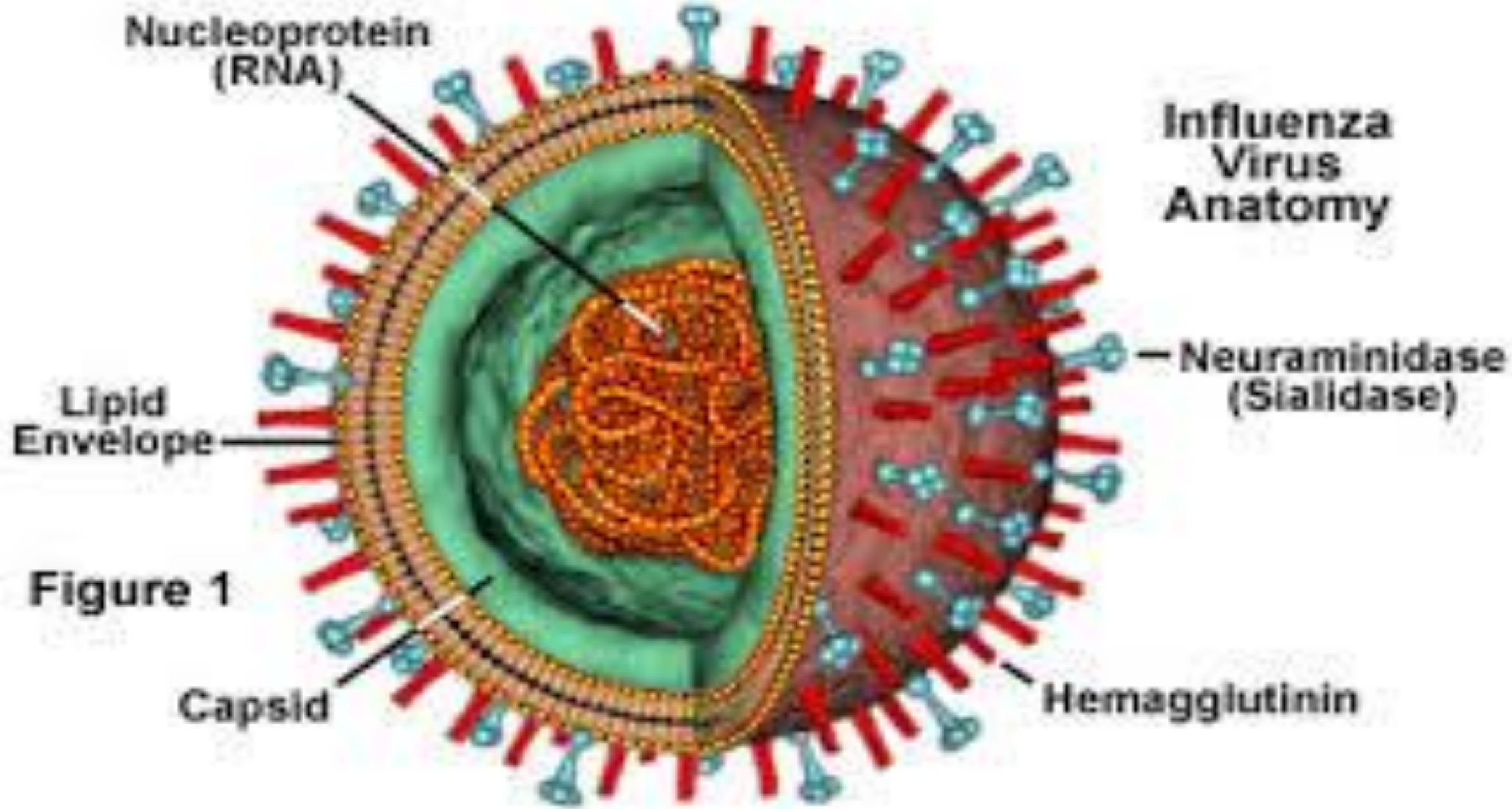
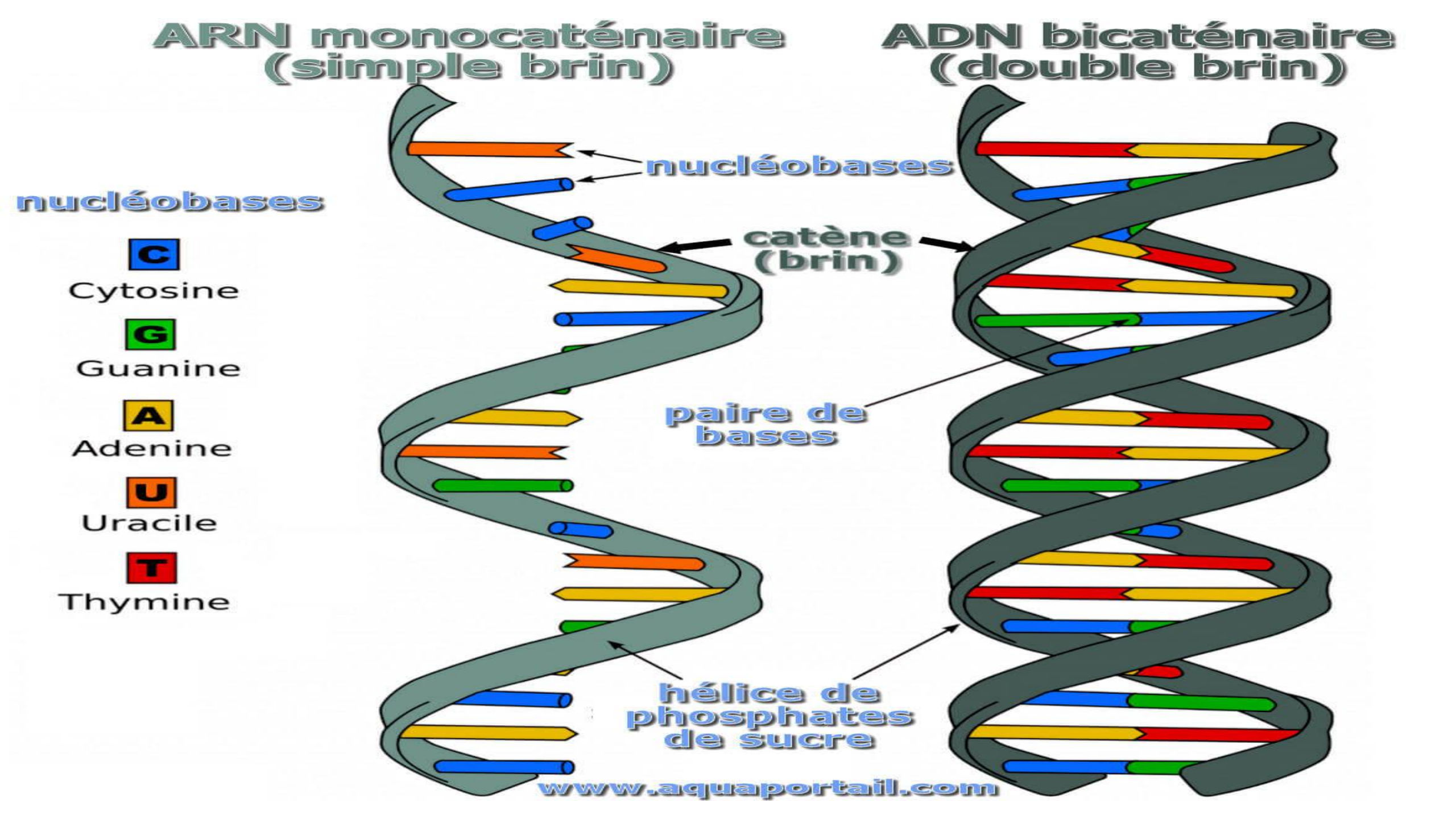

Nucleoprotein
(RNA)
Influenza
Virus
Anatomy
Neuraminidase
(Sialidase)
Lipid
Envelope
Capsid
Hemagglutinin

Figure 1

Les formes variées des virus résultent du fait que l'un des deux brins d'ADN dans lesquels toutes les formes de vie cellulaire conservent leur information génétique est redondant, et que par conséquent les virus peuvent avoir des génomes à simple ou double brin. De plus, le génome de certains virus est formé d'ARN plutôt que d'ADN. L'ARN est présent dans les cellules comme intermédiaire lorsque les gènes sont traduits en protéines. Le génome des virus à ARN peut être codé dans deux directions différentes : soit les gènes sont stockés dans la direction 5'→3' (polarité positive ou +), comme celle dans laquelle les gènes sont codés dans l'ARN messager des cellules, soit ils sont stockés dans la direction opposée (polarité négative ou -),


ARN monocaténaire
(simple brin)
ADN bicaténaire
(double brin)
nucléobases
C
Cytosine
G
Guanine
A
Adenine
U
Uracile
T
Thymine
nucléobases
catène
(brin)
paire de
bases
hélice de
phosphates
de sucre
www.aquaportail.com

2- taxinomie des virus

La taxonomie des virus classe ces agents infectieux en taxons (ordre, famille, genre, espèce) principalement selon la nature de leur génome (ADN ou ARN), leur structure (capside, enveloppe) et leur stratégie de réplication, notamment via la classification de Baltimore (7 groupes). L'ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses) est l'autorité officielle, organisant les familles (suffixe -viridae), sous-familles (-virinae) et genres (virus)

La taxonomie des virus est similaire à celle des organismes cellulaires :

Ordre (suffixe : -virales)

Famille (suffixe : -viridae)

Sous-famille (suffixe : -virinae)

Genre (suffixe : -virus)

Espèce

Cependant, le code de nomenclature géré par le Comité international de taxonomie des virus (ICTV) diffère des autres sur plusieurs aspects. Pour l'essentiel, les noms des ordres et des familles sont mis en italiques et les noms des espèces ne suivent pas la nomenclature binomiale mais sont souvent de la forme [Virus] de la [maladie]. La définition des ordres est très récente et a été délibérément lente ; à ce jour, seuls trois ont été nommés et la plupart des familles ne sont pas classées. En 2014, 7 ordres, 104 familles, 23 sous-familles, 505 genres et 3 186 espèces virales sont décrits

En octobre 2018, l'ICTV franchit un pas vers une classification phylogénétique en approuvant l'usage futur de 15 rangs taxonomiques (domaine, sous-domaine, règne, sous-règne, embranchement (phylum), sous-embranchement, classe, sous-classe, ordre, sous-ordre, famille, sous-famille, genre, sous-genre, espèce), et en validant un embranchement, deux sous-embranchements et six classes.

L'embranchement validé est celui des virus à ARN simple brin à polarité négative, dénommé Negarnaviricota et divisé en deux sous-embranchements, Haploviricotina (dont le virus Ebola et le virus de la rage) et Polyploviricotina (dont le virus de la fièvre de Lassa et le virus de la grippe A).

L'ICTV met aussi à jour sa liste des taxons de rang inférieur : 14 ordres, 7 sous-ordres, 143 familles, 64 sous-familles, 846 genres, 59 sous-genres et 4 958 espèces.

3- Multiplication (cycle de vie de virus)

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

En effet, du fait de leur simplicité extrême, les virus ne peuvent pas se multiplier, du moins se multiplier par eux-mêmes.

Connaître et bien comprendre les différentes étapes du cycle de multiplication virale est un objectif majeur pour le développement de molécules antivirales. Certaines étapes sont spécifiques du virus et constitue une cible idéale pour une molécule antivirale.

La multiplication d'un virus consiste en l'introduction du génome viral dans une cellule et c'est elle qui va fabriquer de nouveaux virus selon un procédé de biosynthèse que l'on appelle réplication.

Le temps du cycle viral peut varier d’un virus à l’autre en fonction de la taille du génome et de la complexité du cycle viral (4 à 8 heures pour le poliovirus, plus de 40 heures pour les Herpesviridae).

La multiplication d’un virus comporte six étapes,

1- Attachement : Reconnaissance spécifique entre le virus et la cellule hôte.

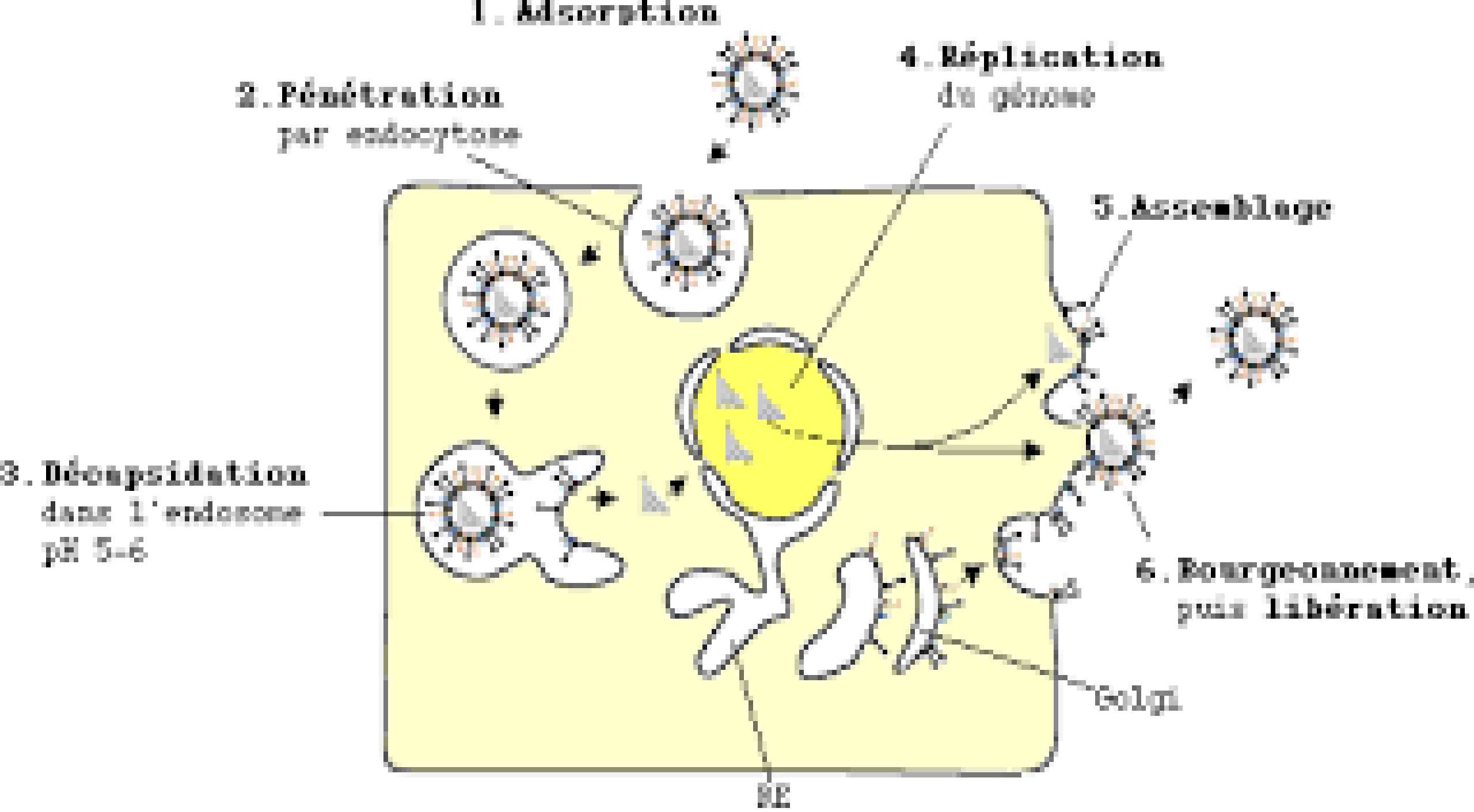
2- Pénétration : Entrée du virus ou de son matériel génétique.

3- Décapsidation : Libération du génome.

4- Réplication et Synthèse : Réplication du génome et production des protéines virales par la cellule.

5- Assemblage : Formation de nouvelles particules virales (virions).

6- Libération : Sortie des virus (par lyse cellulaire ou bourgeonnement)


1. Adsorption
2. Pénétration
par endocytose
3. Décapsidation
dans l'endosome
pH 5-6
4. Réplication
du génome
5. Assemblage
6. Bourgeonnement,
puis libération
Golgi
RE

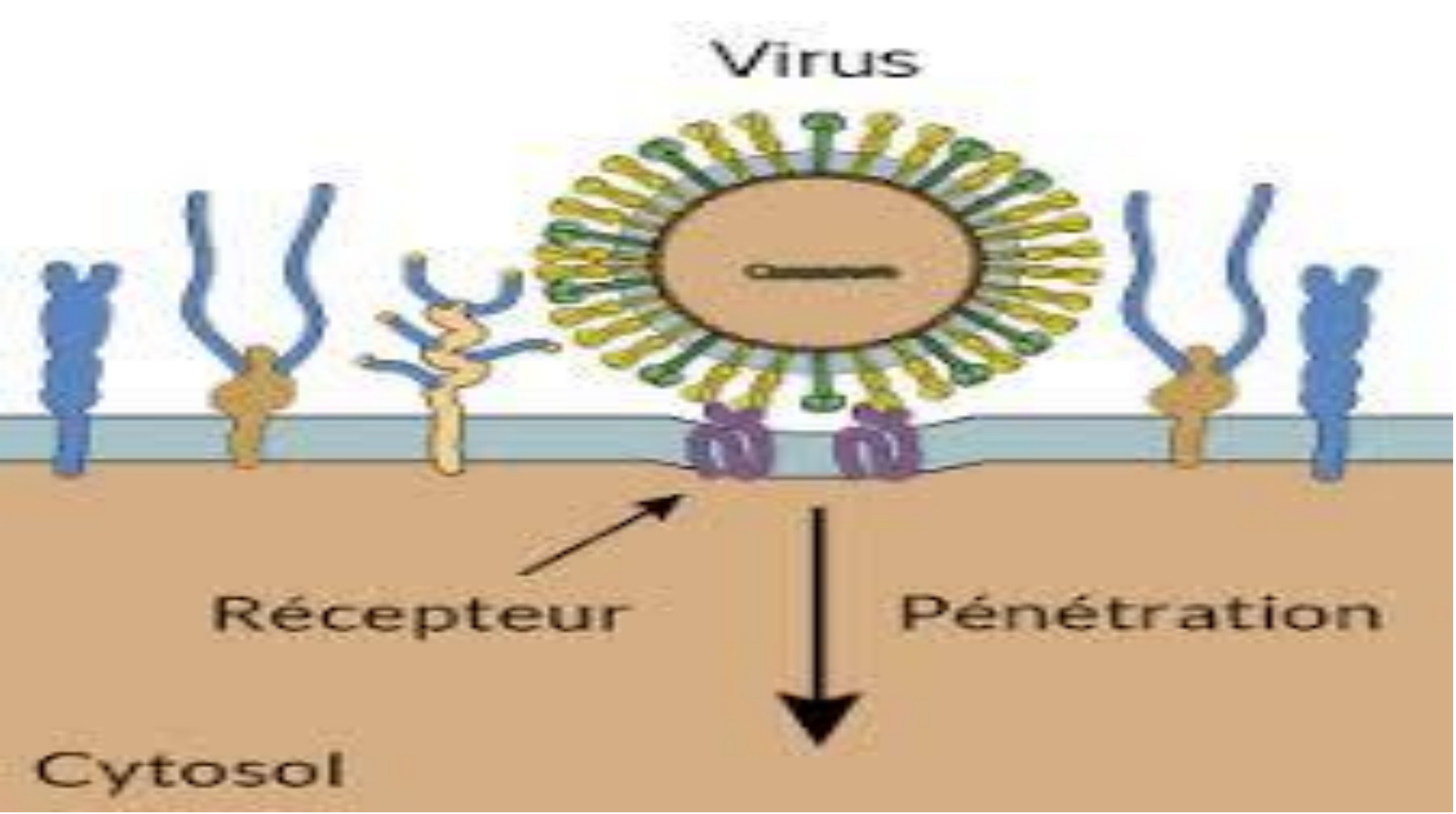
3- 1. L'ATTACHEMENT

La première étape est l'entrée en contact du virus et de la cellule. C'est l'attachement de la surface virale sur la surface cellulaire. Cet attachement se fait par une structure de la capside pour les virus nus, par des glycoprotéines d’enveloppe pour les virus enveloppés. Ces protéines ou glycoprotéines s’attachent à des récepteurs situés sur la membrane cytoplasmique de la cellule hôte.

Ce besoin de récepteurs cellulaires de la membrane cytoplasmique pour les virus explique qu'un virus donné ne peut infecter qu'un nombre restreint d'espèces animales (tropisme d’hôte) avec des tropismes tissulaires et cellulaires précis. La sensibilité d’une cellule pour un virus définit sa capacité à pouvoir être infectée par un virus donné. L’ensemble des cellules sensibles à un virus définit son spectre d’hôtes. Ce dernier est variable selon les virus, certains peuvent infecter de nombreuses cellules, d’autres sont spécifiques d’un type cellulaire pour un animal donné.

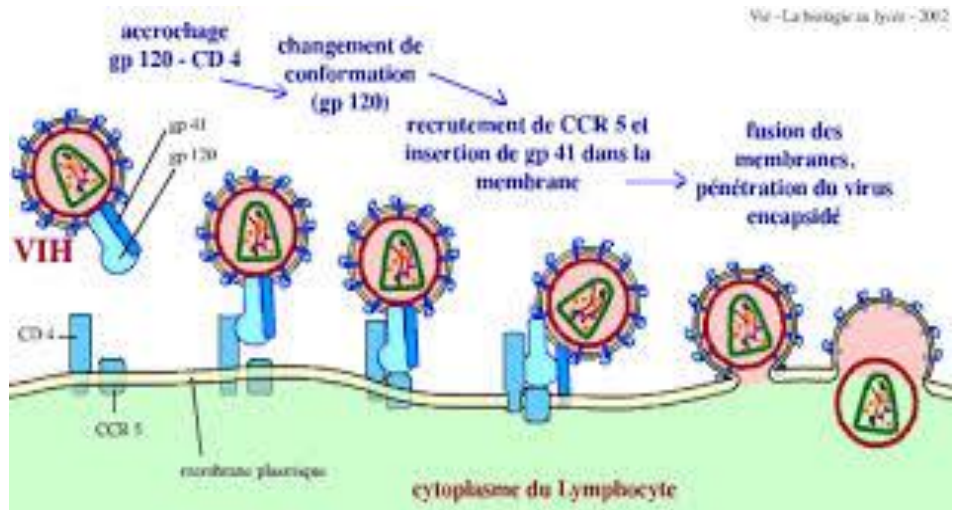
Ainsi, les poliovirus n'infectent que l'homme et, expérimentalement, les singes supérieurs, mais pas les oiseaux, ni les poulets car les poliovirus ne trouvent de récepteurs pour leur attachement que sur les cellules de primates et non sur les cellules de poulet.

Les virus de la grippe infectent principalement les cellules de l’arbre respiratoire car leur enveloppe se fixe sur les acides sialiques (récepteurs présents à la surface de ces cellules).


Virus
Récepteur
Pénétration
Cytosol

3-2- la pénétration

On distingue trois mécanismes permettant l’entrée du virus à l'intérieur de la cellule, le plus souvent par microphagocytose pour les virus nus (ex : poliovirus) et, pour les virus enveloppés, par fusion de l'enveloppe virale et de la membrane cytoplasmique en une membrane unique, fusion suivie de lyse, par formation d'un pore (trou) qui s'élargit et laisse passer la capside dans le cytoplasme (ex : virus VIH). Un troisième mécanisme associe l’endocytose et la fusion. Après attachement sur son récepteur cellulaire, le virus est internalisé au sein d’une vésicule ou endosome. Une acidification du virus au sein de l’endosome est induite par une pompe à protons (ex : protéine M2 pour le virus influenza type A). Cela induit une modification conformationelle des protéines d’enveloppe virale libérant des régions protéiques hydrophobes habituellement cachées qui réagissent avec les lipides membranaires de l’endosome. Il s’ensuit une fusion des membranes et une libération de la capside virale dans le cytoplasme de la cellule. Ce mécanisme concerne de nombreux virus enveloppés (Orthomyxoviridae, Rhabdoviridae..).

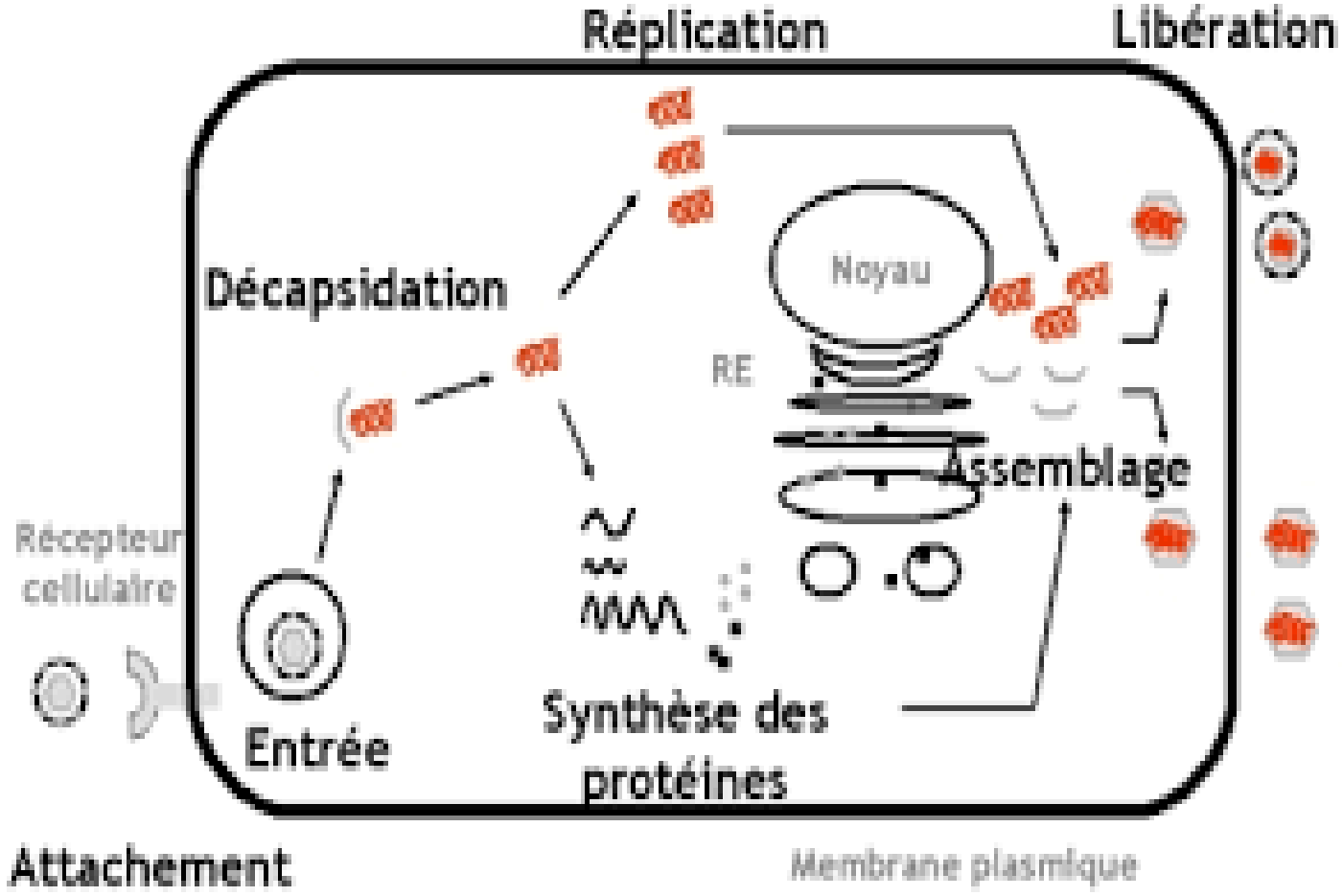

accrochage
gp 120 - CD 4
changement de
conformation
(gp 120)
recrutement de CCR 5 et
insertion de gp 41 dans la
membrane
fusion des
membranes,
pénétration du virus
encapsidé
gp 41
gp 120
VIH
CD 4
CCR 5
membrane plasmique
cytoplasme du Lymphocyte

3- 3. LA DÉCAPSIDATION

Les structures virales vont ensuite être dégradées, à l'exception du génome qui, débarrassé de la capside, se trouve libéré. Il est nécessaire que la capside soit détruite pour que le génome, décortiqué, puisse fonctionner, livrer son information génétique à la machinerie cellulaire.

En général cette étape se fait à l’aide de décapsidases cellulaires exception faite du poxvirus qui possède sa propre décapsidase.

Après ces étapes d'initiation de l'infection prend place la phase de réplication et d'expression du génome viral.


Réplication
Libération
Décapsidation
Noyau
RE
Assemblage
Récepteur cellulaire
Entrée
Synthèse des protéines
Attachement
Membrane plasmique

3-4 . LA RÉPLICATION

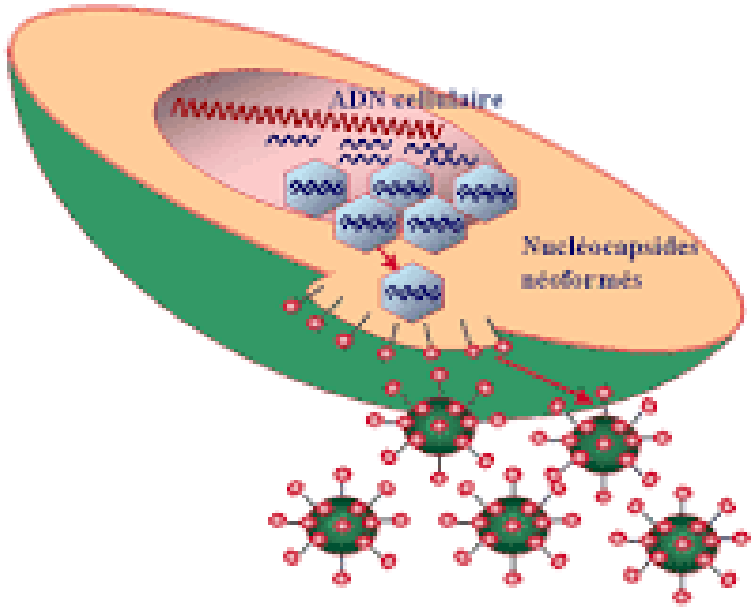
Le génome viral doit être transcrit, traduit et répliqué. Pour cela, le génome viral libéré prend la direction des synthèses, dans la cellule. Il se substitue en totalité ou en partie au génome cellulaire qui jusqu'alors organisait les synthèses cellulaires. Désormais dirigée par le génome viral, la cellule va détourner la machinerie cellulaire au profit du virus et va ainsi produire des virus entrainant dans certains cas une inhibition des synthèses d'ARN et d'ADN cellulaires.

- Plus précisément, la cellule va faire des copies, (répliques) du génome viral, des répliques de protéines virales, protéines de capside et glycoprotéines d'enveloppe.

La stratégie de multiplication est dépendante de la nature et de la structure du matériel génétique : ADN ou ARN, génome bicaténaire ou monocaténaire, segmenté ou non, circulaire ou linéaire. Selon le type de virus la réplication sera plus ou moins complexe. Seuls les virus à ADN dont la réplication est intranucléaire peuvent utiliser les enzymes cellulaires pour la transcription. Les autres virus doivent posséder leurs propres enzymes (ex : poxvirus qui ont une réplication cytoplasmique, virus à ARN).

3- 5. L'ASSEMBLAGE ET LA MATURATION

Les nouveaux génomes fabriqués par la cellule s'entourent de nouvelles protéines virales fabriquées par la cellule. C'est l'encapsidation des génomes qui aboutit à la formation de nouveaux virus. Les mécanimes peuvent être simples avec auto-assemblage des protéines de capside et encapsidation du génome. Ils peuvent être plus complexes avec l’intervention de protéines virales spécifiques.



Les protéines virales, qui sont revenues dans le noyau, s'assemblent avec les génomes viraux en nucléocapsides. Les nouveaux virions sont libérés hors de la cellule.

3- 6.LA LIBÉRATION DES VIRUS

Ces nouveaux virus sortent de la cellule par éclatement pour les virus nus, par bourgeonnement pour les virus enveloppés. C'est lors du bourgeonnement que les virus à enveloppe constituent leur enveloppe qui est une bicouche lipidique cellulaire hérissée de spicules glycoprotéiques. Certains virus comme les Herpesvirus s’entourent d’une enveloppe provenant de la membrane nucléaire de la cellule infectée, d’autres comme les rétrovirus s’entourent d’une enveloppe provenant de la membrane cytoplasmique de la cellule. Une cellule produit de l’ordre de 100 à 1000 virus.

Exemple de virus

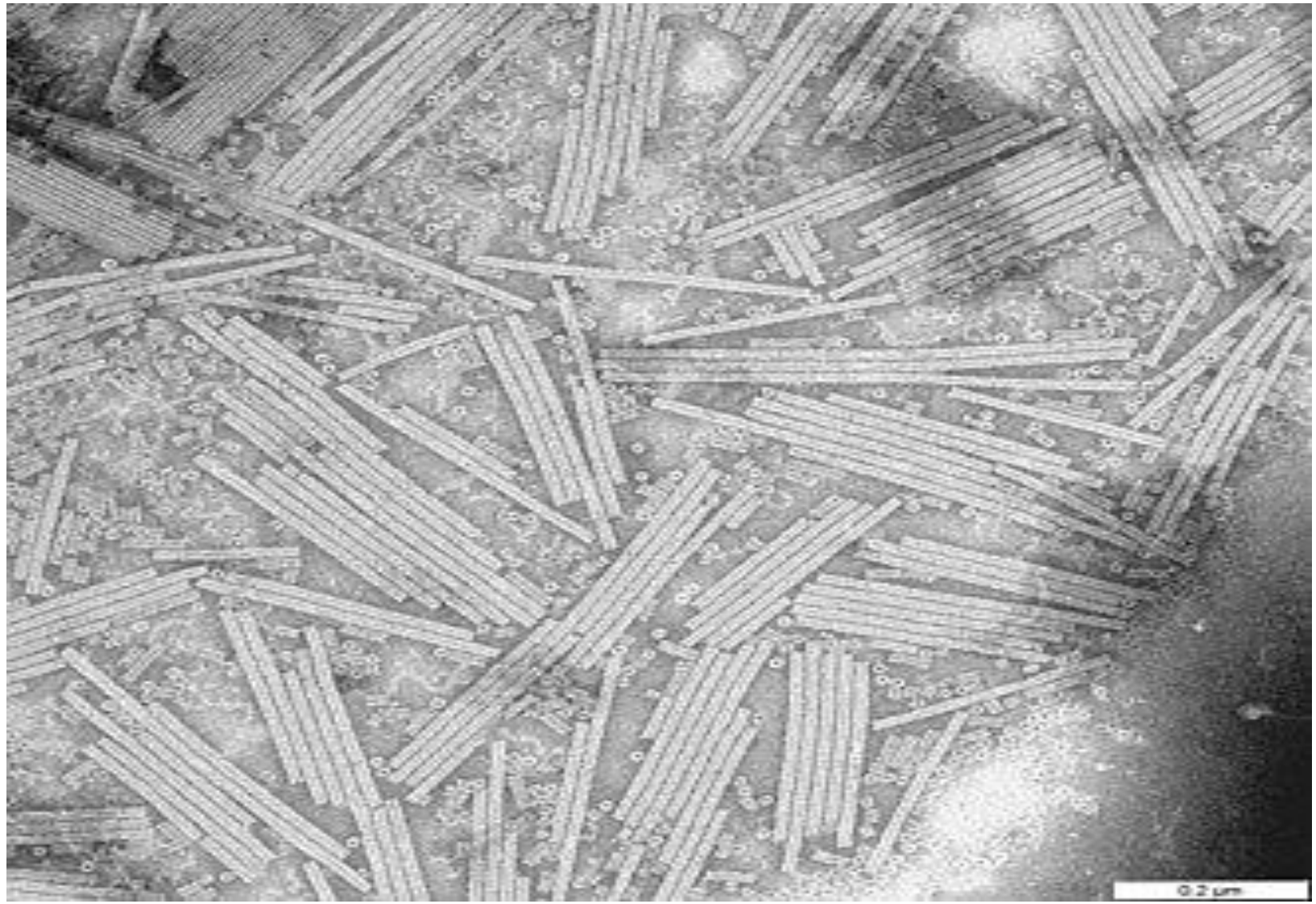
1- **Le virus de la mosaïque du tabac** (TMV ou VMT, *Tobacco mosaic virus*), nom scientifique, ***Tobamovirus tabaci*** est une espèce de virus du genre Tobamovirus (famille des Virgaviridae) dont il est l'espèce-type .

C'est le premier virus à avoir été découvert à la fin du XIXe siècle. Ce phytovirus, à répartition cosmopolite, infecte de nombreuses espèces de plantes, en particulier le tabac commun ***(Nicotiana tabacum***) et les autres membres de la famille des Solanaceae chez lesquelles il provoque, entre autres, des symptômes de décoloration des feuilles sous forme de mosaïques ou de marbrures.

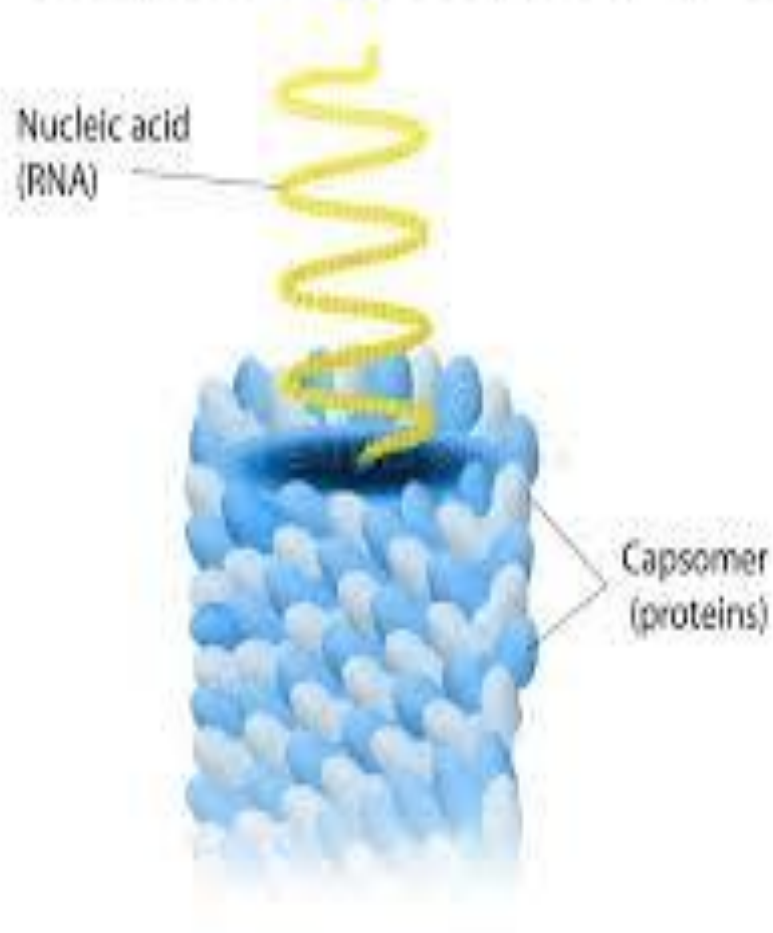
C'est un virus à ARN à simple brin de sens positif qui est classé dans le groupe IV de la classification Baltimore.

Classification

- Realm Riboviria
- Règne Orthornavirae
- Embr. Kitrinoviricota
- Classe Alsuviricetes
- Ordre Martellivirales
- Famille Virgaviridae
- Genre Tobamovirus
- Espèce *Tobamovirus tabaci*
  ICTV, 2023


0.2 µm

TOBACCO MOSAIC VIRUS











Structure

Le virion du TMV est une particule cylindrique, en forme de bâtonnet rigide à symétrie hélicoïdale, de 300 nm de long et de 18 nm de diamètre[2]. La capside est formée de 2300 protéines de capside (capsomères), chaque capsomère étant formé d’un seul type de protéine, constituée de 158 acides aminés. L'ARN monocaténaire est enroulé en hélice à l'intérieur de cette capside, laissant un canal central vide de 4 nm de diamètre, visible en microscopie électronique. Ce virus possède un point d’inactivation thermique de 90° C, ce qui lui permet de résister à cette température pendant 10 minutes

Le virus est transmis mécaniquement. Dès l'entrée dans la cellule, des ribosomes d'origine cytoplasmique s'associent avec l'extrémité 5' de l'ARN viral et facilitent ainsi le processus de désencapsidation (Wilson et al., 1984).

Le complexe réplicase entre en action pour permettre la synthèse des ARNs subgénomiques. Ceux-ci vont permettre la synthèse assez rapidement de la protéine de mouvement, qui permet au virus de bouger de cellules à cellules sous la forme d'un complexe nucléo-protéinique.

La protéine 30 kDa exerce un effet sur la taille d'exclusion limite des plasmodesmes pour faciliter le passage du virus d'une cellule à l'autre, et est associée avec le cytosquelette cellulaire, pour diriger le virus vers les plasmodesmes : cette protéine est produite rapidement durant le cycle

viral, mais est dégradée ultérieurement (Padgett et al., 1996).

Plus tard, le virus va produire la protéine de capside en abondance et le virion sera assemblé. La protéine de capside est impliquée dans le mouvement « longue distance », par opposition au mouvement de cellule à cellule, du virus. On a montré que la réplication virale était efficace dans les cellules épidermiques, dans le mésophylle ainsi qu'au niveau de poils racinaires et de trichomes. La localisation du virus est principalement cytoplasmique, mais on a montré une présence dans les chloroplastes.

Exemple 2: La grippe aviaire

Également connue sous le nom d'influenza aviaire ou anciennement de peste aviaire, provoquée par des souches A du virus grippal, est une maladie infectieuse affectant les oiseaux. L’infection peut causer toutes sortes de symptômes chez les oiseaux, depuis une maladie bénigne, qui passe souvent inaperçue, jusqu’à une maladie rapidement mortelle qui peut provoquer de graves épidémies.

La grippe aviaire est une maladie infectieuse qui touche les volailles et les oiseaux sauvages. Elle est causée par des virus de la grippe aviaire hautement pathogène (IAHP, HPAI en anglais), qui appartiennent à la famille des Orthomyxoviridae et possèdent un génome d’ARN simple brin à polarité négative

Les souches virales peuvent être classées en deux catégories selon la sévérité de la maladie chez les oiseaux : les virus faiblement pathogènes provoquant peu de symptômes et les virus hautement pathogènes (sous-type H5, H7 et H9) qui provoquent des maladies très sévères et un taux de mortalité important (épizooties).

Certains de ces virus d'origine aviaire peuvent ponctuellement passer la barrière d'espèce et infecter des mammifères, dont des humains. On parle alors de grippe **zoonotique.**

Épizooties : maladie contagieuse qui frappe simultanément un grand nombre d'animaux d'une ou plusieurs espèces, se propageant rapidement dans une région donnée

La grippe aviaire se transmet par voie respiratoire. Les humains se contaminent essentiellement lors de contacts rapprochés avec des animaux infectés (abatage, plumage des volailles…) ou leurs sécrétions/déjections. Les contaminations par contact avec un environnement souillé sont théoriquement possibles. Le virus peut également se trouver dans le lait de vaches laitières infectées. La pasteurisation est très efficace pour détruire le virus. A l'heure actuelle, dans tous les cas humains avérés de grippe zoonotique, les personnes étaient en contact direct avec des volailles infectées.

les symptômes de la grippe aviaire chez l’Homme

Les symptômes de la grippe aviaire sont assez similaires à ceux d’une grippe saisonnière si l’infection se cantonne à l’arbre bronchique (l’ensemble des structures véhiculant l’air inspiré et expiré, entre le larynx et les alvéoles pulmonaires) :

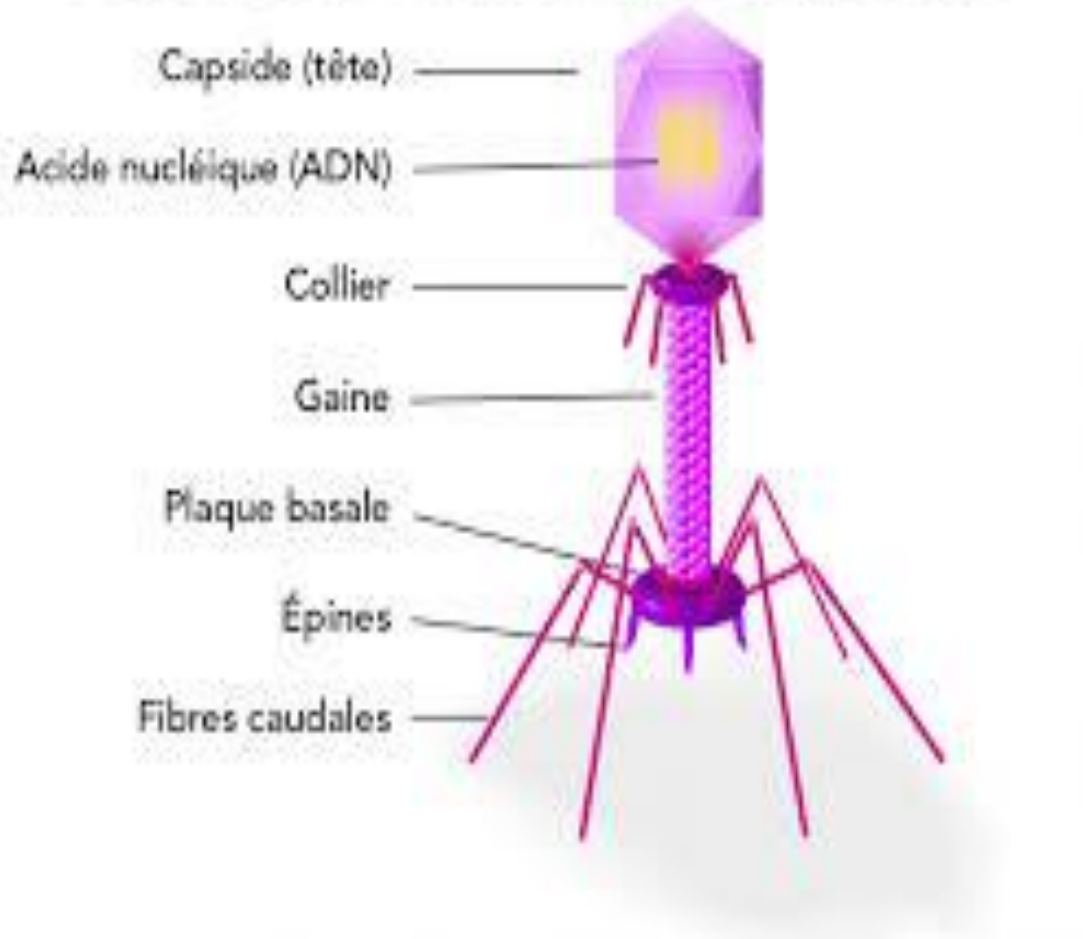
- toux et les signes généraux intenses
- fièvre
- frissons avec de la fièvre à 39-40°c
- fatigue intense
- maux de tête,
- douleurs musculaires et articulaires

Exemple 3/ Bactériophage

Un bactériophage (ou simplement « phage ») est un virus qui infecte exclusivement les bactéries pour s'y reproduire. Naturellement présents partout où vivent des bactéries (eaux, sols, intestin), ils sont considérés comme l'entité biologique la plus abondante sur terre, il y a environ 50 millions de bactériophages

Soigner des personnes à l'aide de bactériophages, on appelle cela la **phagothérapie**.

Structure d'un bactériophage



Fonctionnement : Les deux cycles de vie

Les phages utilisent deux stratégies principales pour se multiplier :

Le cycle lytique : Le virus injecte son matériel génétique dans la bactérie, détourne sa machinerie pour fabriquer des centaines de nouveaux phages, puis provoque l'éclatement (lyse) de la cellule pour libérer sa progéniture. Ce sont ces phages « lytiques » qui sont utilisés en thérapeutique.

Le cycle lysogénique : L'ADN du virus s'intègre au génome de la bactérie (devenant un **prophage**) et reste dormant. Il se réplique en même temps que la bactérie sans la tuer immédiatement, jusqu'à ce qu'un stress déclenche le passage au cycle lytique.

Comme le Lambda, qui insèrent leurs ADN dans celui de la bactérie et lui conférer de nouvelles propriétés

Prophage: Le matériel génétique d'un bactériophage , incorporé dans le génome d'une bactérie et capable de produire des phages s'il est activé spécifiquement.

Cycle lysogénique: Bactériophages

Ce cycle comprend des étapes distinctes : fixation, pénétration, biosynthèse, maturation et libération . Lors du cycle lysogénique, les phages tempérés peuvent intégrer leur ADN dans le chromosome de la bactérie hôte, formant ainsi un prophage. La cellule hôte, devenue lysogène, peut se répliquer normalement et transmettre le prophage à sa descendance.

Les dix principaux virus phytopathogènes

- Une enquête internationale menée en 2011 auprès de virologues par la revue Molecular Plant Pathology a permis de désigner les dix espèces de virus phytopathogènes les plus importantes, en tenant compte à la fois des aspects scientifiques et économiques.

Ces organismes pathogènes, dont la moitié affectent des plantes de la famille des Solanaceae (pomme de terre, tabac, tomate), seraient les suivants:

1. Virus de la mosaïque du tabac (TMV, Tobacco mosaic virus) ; premier virus découvert et premier virus des plantes dont le génome a été séquencé, le TMV est un organisme modèle qui a joué un rôle primordial dans le développement des connaissances en virologie[4];
2. Virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV, Tomato spotted wilt virus) ; ce virus à répartition mondiale est important par sa vaste gamme de plantes-hôtes (plus de 800), les pertes économiques qu'il provoque et les difficultés rencontrées pour maîtriser les thrips vecteurs ;
3. Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate (TYLCV, Tomato yellow leaf curl virus) ; transmis par l'aleurode du tabac, ce virus provoque une maladie dévastatrice dans les cultures de tomates ;
4. Virus de la mosaïque du concombre (CMV, Cucumber mosaic virus) ; infectant plus de 1200 espèces de plantes et transmis par plus de 80 espèces de pucerons, ce virus a fait l'objet de nombreuses études au niveau moléculaire ;
5. Virus Y de la pomme de terre (PVY, Potato virus Y) ;
6. Virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV, Cauliflower mosaic virus) ;
7. Virus de la mosaïque africaine du manioc (ACMV, African cassava mosaic virus)
8. Virus de la sharka (PPV, Plum pox virus) ;
9. Virus de la mosaïque du brome (BMV, Brome mosaic virus) ;
10. Virus X de la pomme de terre (PVX, Potato virus X).

4/ culture de virus

La dissémination des phytovirus se fait de deux manières : la transmission « verticale » entre une plante infectée et sa descendance, soit par les graines, soit par multiplication végétative, et la transmission « horizontale » entre une plante infectée et d'autres plantes-hôtes de la même espèce ou d'espèces .

1- Transmission horizontale

1-1 Transmission par contact

certains virus appartenant aux genres Tobamovirus et Potexvirus peuvent être transmis mécaniquement par simple contact entre les plantes, soit entre les feuilles, soit au niveau des racines. Les blessures indispensables pour permettre ce mode de transmission sont provoquées sur les feuilles par le vent ou par le passage de personnes dans les cultures, et sur les racines notamment par la croissance de certaines radicelles.

1-2 Transmission par des vecteurs

Selon les cas, les vecteurs peuvent assurer une transmission multipliante, qui se traduit par une multiplication du virus par réplication dans les cellules du vecteur, ou non-multipliante, qui assure un simple transport du virus entre les plantes, sans réplication virale. Les vecteurs les plus courants sont des arthropodes (essentiellement des hémiptères piqueurs-suceurs de sève tels que pucerons, aleurodes, cochenilles, cicadelles, mais aussi des thrips et des coléoptères), des arachnides (acariens phytophages), des nématodes et quelques champignons.

- **Insectes**

Les insectes sont les principaux vecteurs de virus végétaux. Ce sont en majorité des insectes piqueurs-suceurs qui appartiennent à l'ordre des Hémiptères (300 espèces) et secondairement à l'ordre des Thysanoptères (6 espèces). D'autres espèces sont des insectes broyeurs appartenant à cinq ordres : Coléoptères (30 espèces), Orthoptères (10), Lépidoptères (4), Diptères (2) et Dermaptères .

- **Champignons**

Une trentaine d'espèces de virus ou agents de type virus sont transmis aux plantes par des champignons telluriques. Ceux-ci sont des pseudo-champignons appartenant aux Chytridiomycètes ou Chytrides (Olpidium brassicae et Olpidium bornovanus) et aux Plasmodiophoromycètes ou Plasmodiophorides (Polymyxa graminis, Polymyxa betae et Spongospora subterranea).

Ces cinq espèces sont des parasites obligatoires des racines des plantes et suivent un cycle de développement similaire. Les plasmodiophorides, désormais classés dans les protistes, survivent d'une culture à l'autre sous forme de spores au repos qui produisent des zoospores et infectent l'hôte.

Les Chytrides transmettent principalement les virus des genres Carmovirus, Necrovirus, Tombusvirus et Varicosavirus, caractérisés par leurs particules isométriques, et les Plasmodiophorides ceux des genres Benyvirus, Bymovirus, Furovirus, Pecluvirus et Pomovirus, à particules filamenteuses ou en bâtonnets.

- **Nématodes**

Cinq genres de nématodes sont connus pour transmettre des phytovirus aux plantes : Trichodorus et Paratrichodorus (famille des Trichodoridae), Xiphinema, Longidorus et Paralongidorus (famille des Longidoridae). Les deux premiers transmettent des Tobravirus (3 espèces décrites) et les trois derniers des Nepovirus, dont le nom dérive de Nematode-transmitted Polyhedral viruses (11 espèces concernées sur 31 décrites).

Parmi les Nepovirus transmis par des nématodes Longidoridae, seul le virus des taches en anneaux du tabac (Tobacco ring spot virus, TRSV) est également transmis par des insectes, certaines espèces sont également transmises par le pollen

Acariens

La transmission de phytovirus par des acariens est limitée à la famille des Eriophyidae chez laquelle 11 espèces, appartenant notamment aux genres Abacarus, Aceria, Cecidophyopsis, Phyllocoptes et Phytoptus, sont concernées (9 confirmées et 2 soupçonnées).

Les virus transmis par les Eriophyidés appartiennent aux genres Tritimovirus, Rymovirus et Poacevirus (famille des Potyviridae), Trichovirus (famille des Betaflexiviridae), Allexivirus (famille des Alphaflexiviridae), Nepovirus (famille des Secoviridae) et des virus à ARN à brin négatif du genre non attribué Emaravirus.

Ces vecteurs de virus végétaux sont souvent négligés du fait que les symptômes d'une infection virale peuvent être confondus avec ceux résultant des dégâts directs dus aux acariens phytophages eux-mêmes.

- **Transmission par le pollen**

La transmission des virus par le pollen peut constituer une forme indirecte de transmission verticale, c'est-à-dire transmission d'une plante donneuse infectée à la descendance d'une plante réceptrice saine, mais également une forme de transmission horizontale directe.

Au moins 45 espèces de phytovirus, appartenant à 16 genres, et cinq espèces de viroïdes, ont été reconnus comme pouvant être transmis par le pollen. Ces virus appartiennent notamment aux genres Ilarvirus, Nepovirus, Sobemovirus, Idaeovirus, Potyvirus.

- **Intervention humaine**

En outre, l'intervention humaine, y compris la greffe et les lésions mécaniques expérimentales, en endommageant physiquement la paroi cellulaire, contribue à la palette des voies de transmission de certains virus. En fait, ils dépendent toujours de l'existence d'une brèche physique, qu'elle soit provoquée naturellement, par le vent, ou par les organismes vecteurs lorsqu'ils se nourrissent aux dépens de la plante, ou bien par l'intervention humaine.

1-2 Transmission verticale

- **Transmission par les graines**

La transmission des virus par les graines est relativement rare. Elle concerne une centaine d'espèces de virus, soit environ 10 % des virus connus. Elle se rencontre principalement dans les genres Potyvirus, Nepovirus, Ilarvirus, et Comovirus.

La transmission par les graines est une des principales formes de dissémination des phytovirus à longue distance. Elle fournit une source locale initiale d'inoculum pour la propagation par des vecteurs biologiques et permet par transmission verticale, la survie du virus à des périodes où les populations de vecteurs s'effondrent ou disparaissent localement.

Transmission par multiplication végétative

Chez les plantes les infections virales se répandent généralement dans tous l'organisme, si bien que lorsqu'une plante est infectée tous les organes le sont, et en particulier ceux utilisés pour la multiplication végétative : boutures, bulbes, tubercules, greffons. La multiplication végétative est la règle pour certaines cultures, comme la pomme de terre (tubercules), la tulipe (bulbes) ou les arbres fruitiers (greffe), ce qui entraîne une accumulation des virus au fil des générations, donnant des plantes malades et improductives, souffrant de maladies qualifiées de « dégénérescence ».

Chapitre III: Introduction a l ’Algologie (Micro-algues)

Qu’est-ce que l’algologie ?

L’algologie est la branche de la biologie qui étudie les algues, incluant

1/ les macro-algues (algues visibles comme les algues marines)
2/ les micro-algues (microscopiques, unicellulaires ou coloniales)

2. Définition des micro-algues

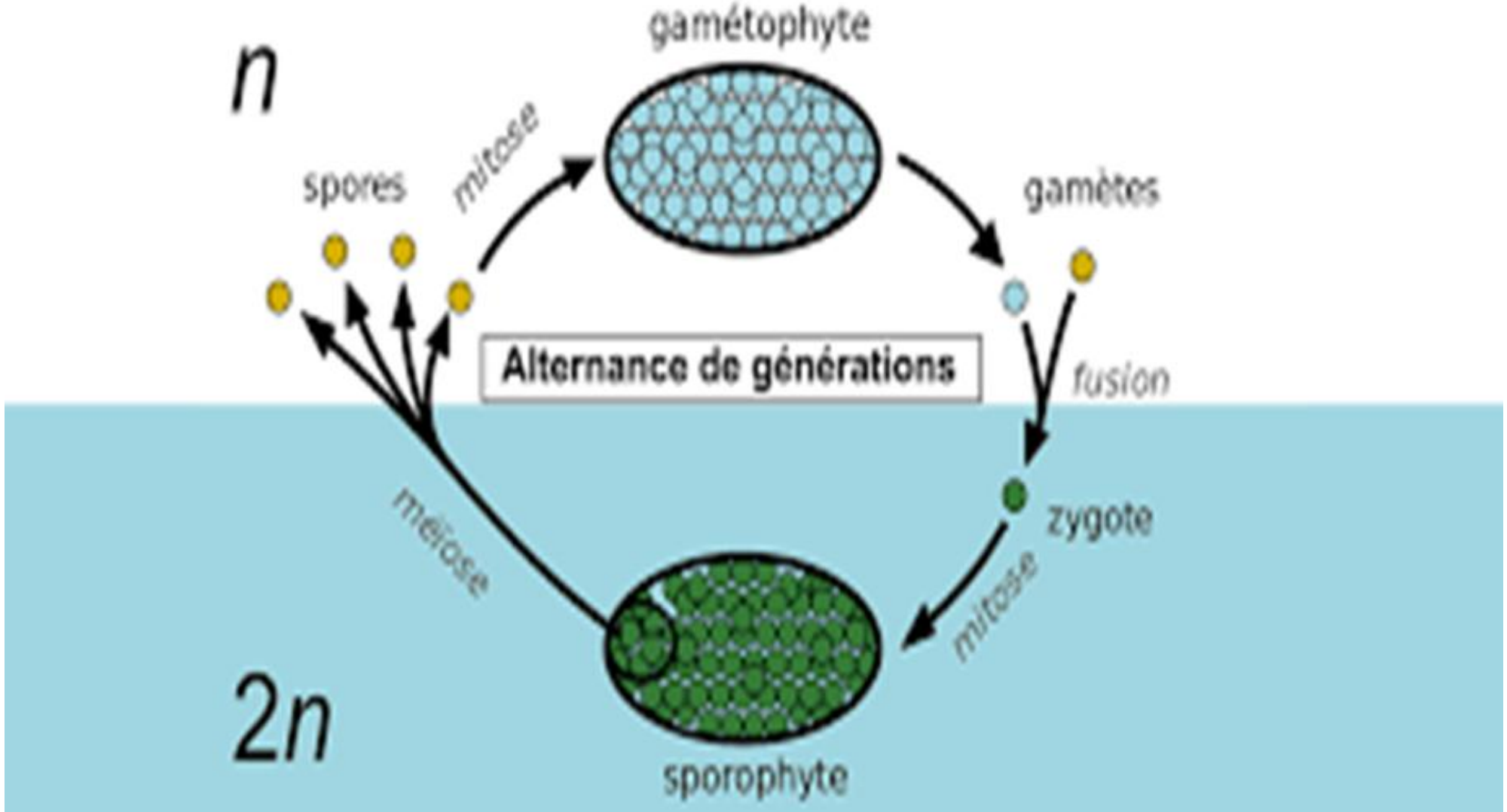
Les **micro-algues** sont des organismes :

- **microscopiques** (souvent invisibles à l'œil nu)
- **photosynthétiques** (autotrophes)
- vivant principalement en **milieux aquatiques** (eau douce, marine, sols humides)

Elles peuvent être :

- **unicellulaires** (une seule cellule)
- **coloniales** (groupes de cellules)
- parfois **filamenteuses**

Schémas générale des Algues



1-2. Morphologie des micro-algues

La morphologie correspond à la **forme, structure et organisation cellulaire**.

- **1. Organisation cellulaire**

***Micro-algues eucaryotes**

Elles possèdent :

- un **noyau** (ADN organisé)
- des **chloroplastes** (photosynthèse)
- des **organites** (mitochondries, vacuoles…)

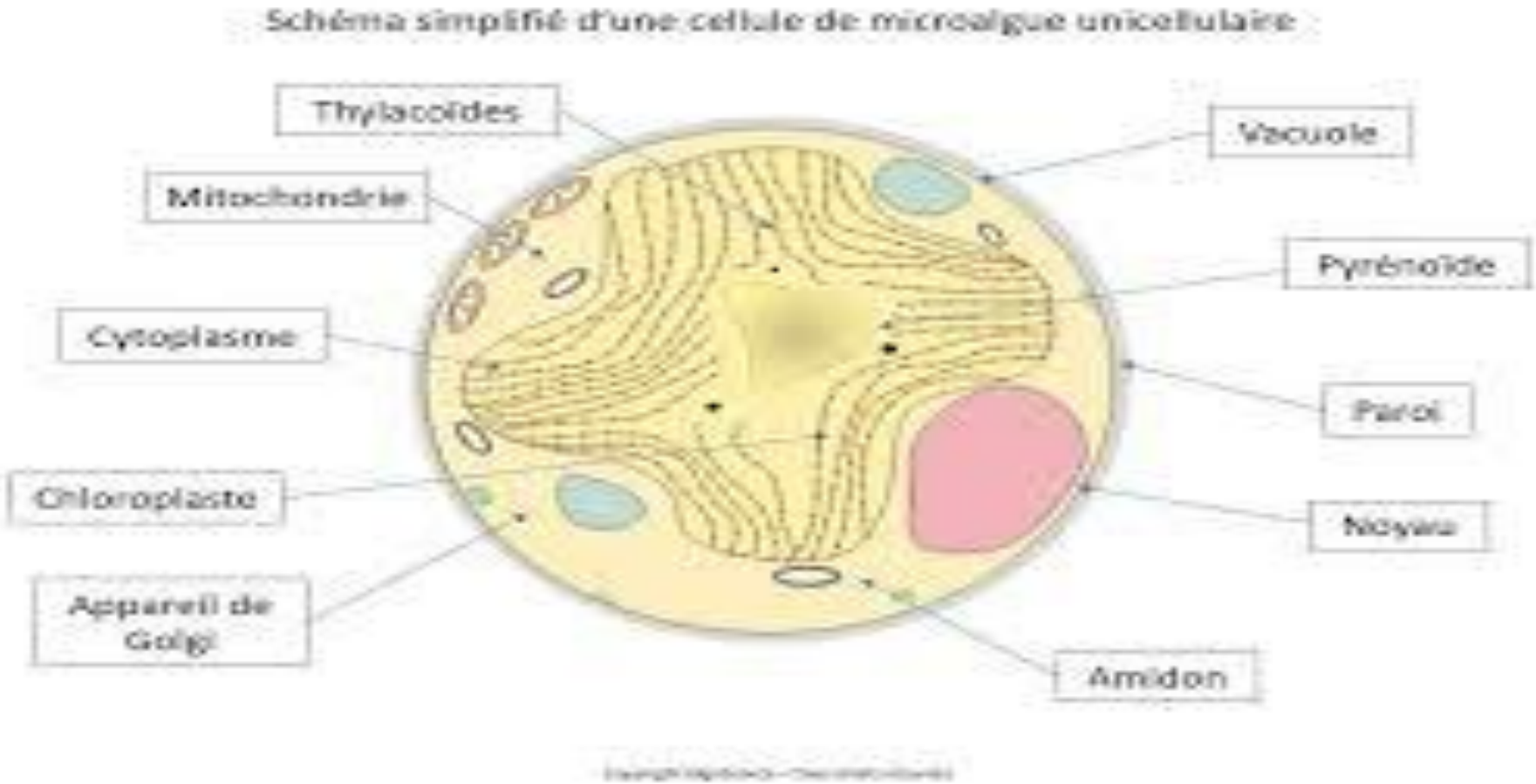
Cyanobactéries (procaryotes)

- pas de noyau (ADN libre)
- pas d’organites membranaires
- photosynthèse dans des membranes internes

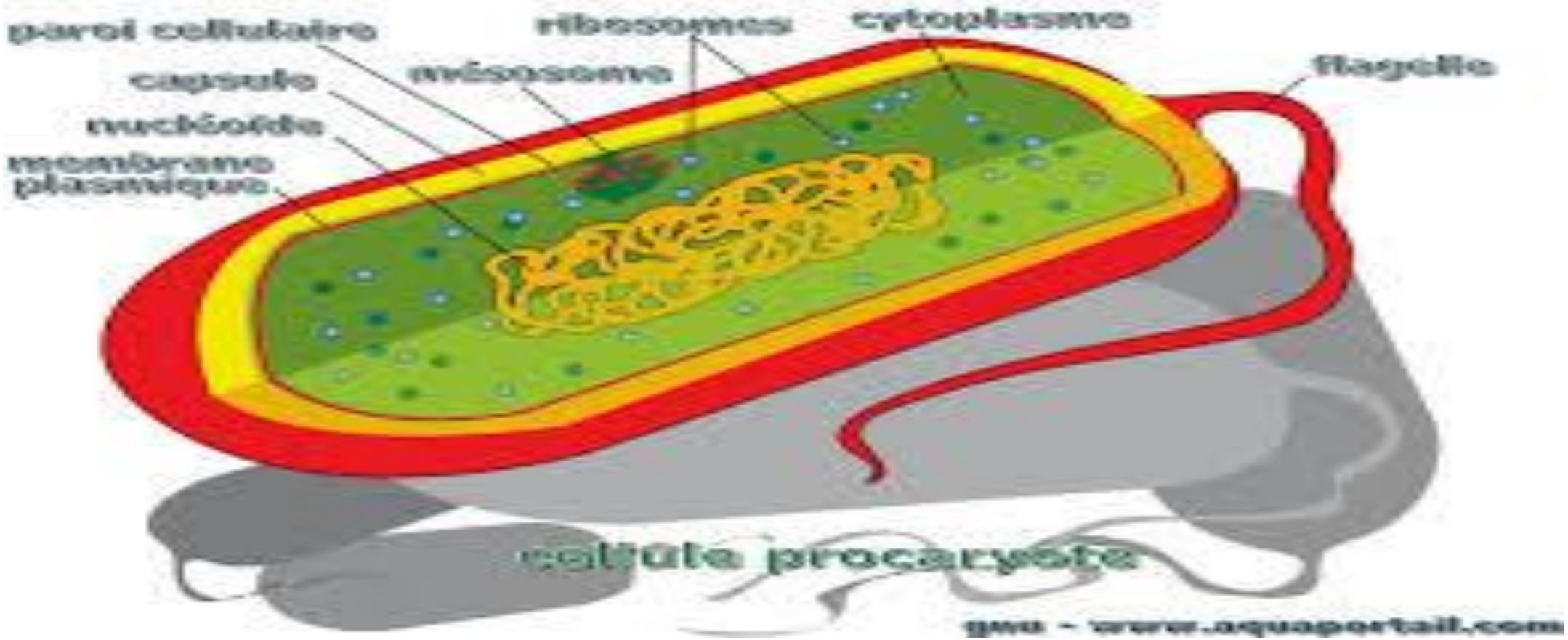

gryphea.com



Schémas simplifié d’une cellule de micro-algue unicellulaire



Schémas simplifié d’une cellule de micro-algue procaryote



3. Classification simplifiée

Les micro-algues se répartissent en plusieurs groupes majeurs :

- **Chlorophytes** (algues vertes)
  pigments : chlorophylle a et b
  exemple : Chlorella, Scenedesmus
  proches des plantes terrestres

- **Diatomées** (Bacillariophytes)
  paroi siliceuse (frustule)
  très importantes dans les océans
  indicateurs de qualité de l’eau

- **Dinoflagellés**

  souvent mobiles (flagelles)

  responsables de certaines marées rouges (toxiques)

- **Cyanobactéries** (algues bleues)

  procaryotes (bactéries)

  capables de fixer l’azote atmosphérique

4. Structure cellulaire

- Les micro-algues possèdent :
- **chloroplastes** → photosynthèse
- **paroi cellulaire** (cellulose, silice, etc.)
- **pigments** :
  - chlorophylles
  - caroténoïdes
  - phycobilines (chez cyanobactéries)

5. Métabolisme et croissance

Photosynthèse

Transformation :

$CO2+H2O+lumiere \rightarrow matie`reorganique+ O2$

Facteurs influençant la croissance :

lumière (intensité, photopériode)

température

nutriments :

azote (N)

phosphore (P)

oligoéléments

pH et salinité

6. Rôles écologiques

Les micro-algues jouent un rôle majeur :

- **Production primaire**

- base des chaînes alimentaires aquatiques

Production d’oxygène

- 50 % de l’oxygène mondial

Cycle des nutriments

- carbone, azote, phosphore

Chapitre IIII : Agents anti-microbiens

- **1. Définition**

Les agents antimicrobiens sont des substances capables de :

- **tuer** les micro-organismes → effet **bactéricide / fongicide**
- ou **inhiber leur croissance** → effet **bactériostatique / fongistatique**

Ils agissent sur :

- bactéries
- champignons
- virus
- protozoaires

2. Types d’agents antimicrobiens

A. Agents chimiques

1. Désinfectants

- Utilisés sur surfaces inertes
- Exemples :
  - eau de Javel (hypochlorite)
  - alcool
- **2. Antiseptiques**
- Utilisés sur tissus vivants (plantes, mains…)
- Exemples :
  - iode
  - chlorhexidine

3. Antibiotiques

- Produits naturels ou synthétiques
- Ciblent surtout les bactéries

Exemples :

- Pénicilline
- Streptomycine

Utilisation limitée en agriculture (résistances + réglementation)

B. Agents biologiques

1. Microorganismes antagonistes

- Bactéries ou champignons utiles
- Exemples :
  - *Bacillus subtilis*
  - *Trichoderma harzianum*
- Compétition, antibiose, parasitisme

2. Phages (bactériophages)

- Virus qui infectent les bactéries

C. Agents physiques

- Chaleur (stérilisation)
- Rayonnements UV
- Dessiccation

3. **Mécanismes d'action des Antimicrobes**

A/ Action sur la paroi cellulaire: Principe

- La paroi (peptidoglycane chez les bactéries) assure rigidité et protection
- L'antimicrobien bloque sa formation → cellule fragile → lyse

B. Altération de la membrane plasmique

✓ Principe

- La membrane contrôle les échanges
- Sa destruction → fuite des ions et molécules → mort cellulaire

✓ Résultat

- perte d'intégrité
- déséquilibre osmotique

- **C. Inhibition de la synthèse des protéines**
- **✓ Principe**
- Les antimicrobiens bloquent les ribosomes (synthèse des protéines)
- Empêchent la production des enzymes essentielles

D. Inhibition des acides nucléiques (ADN / ARN)

✓ Principe

- Blocage de la réplication ou transcription
- Empêche la multiplication des micro-organismes

✓ Conséquence

- arrêt de division cellulaire

E. Inhibition des voies métaboliques

✓ Principe

- Blocage de réactions biochimiques essentielles
- Exemple : synthèse de vitamines (acide folique)

Le micro-organisme ne peut plus survivre

F. Production de stress oxydatif

✓ Principe

- Formation de radicaux libres
- Endommagement :
  - ADN
  - protéines
  - lipides

3. Résumé simplifié

Cible	Effet
Paroi cellulaire	Lyse
Membrane	Fuite cellulaire
Protéines	Blocage enzymatique
ADN/ARN	Arrêt reproduction
Métabolisme	Mort cellulaire

5/ Domaines d’application des microorganismes

- Agroalimentaires (ferments lactiques; acides organiques; enzymes; produits fermentés ; additifs; vitamines; acides aminés,,,,)

- Agro-pharmaceutiques (biofertilisations; bio-pesticides; bio-insecticides; bio-herbicides; produits des hormones végétales; enzymes; antibiotiques; antifongiques,,,,)

- Environnement (traitements des eaux usées; bio-remediation des sols polluées,,,)

- Energie renouvelable (production de bioéthanol; biogaz; H2,,,)

Interrogation

- Q 1/ Quelles sont les raisons d’une nouvelle taxonomie des champignons (3 points)
- Q2/ Principaux modes de reproduction asexuée (6 points)

Q2/ Principaux modes de reproduction asexuée

Par spores asexuées
Conidies (ex. Aspergillus, Penicillium)
Sporangiospores (ex. Rhizopus)
Produites par des structures spécialisées (conidiophores, sporangiophores)
Par bourgeonnement
Typique des levures (Saccharomyces cerevisiae)
Formation d'un bourgeon qui se détache ou reste attaché

3- Par fragmentation du mycélium
Un fragment d'hyphe se détache et donne un nouveau mycélium

4- Par scissiparité (rare)
Division directe de la cellule (certaines levures)

Q1 Quelles sont les raisons d’une nouvelle taxonomie des champignons

1- taxonomie

2- diagnostic

Ces relations peuvent être utiles pour prédire de la

- pathogénicité
- sensibilité aux antifongiques