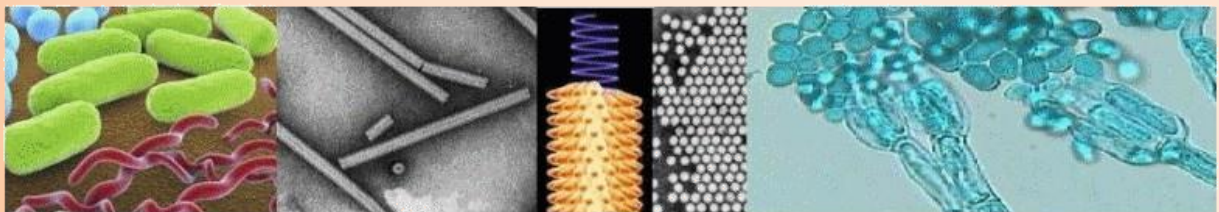
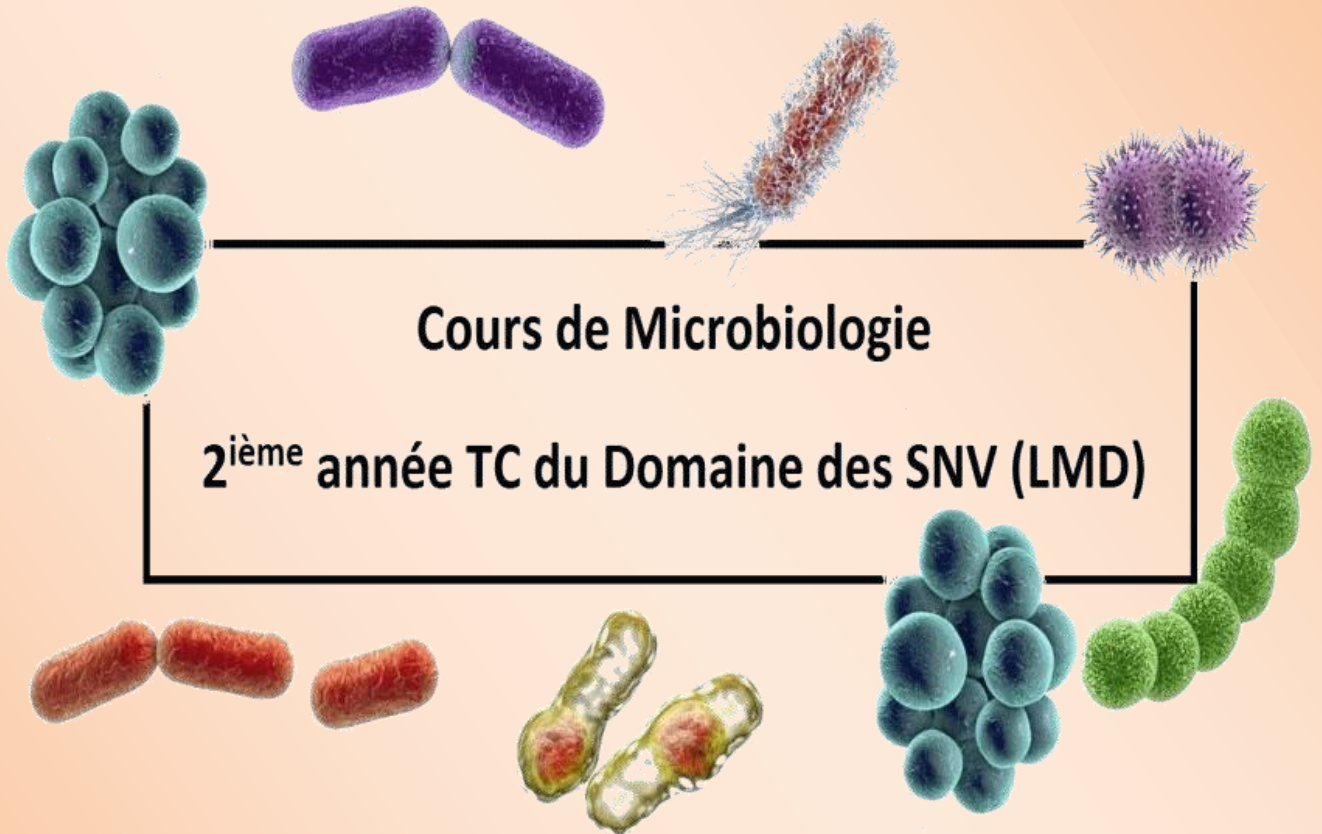


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed BOUDIAF – M'sila
Faculté des Sciences



Dr HENDEL Noui

6. CHAPITRE VI: NOTIONS DE MYCOLOGIE ET DE VIROLOGIE

6.1. Mycologie (levures et moisissures)

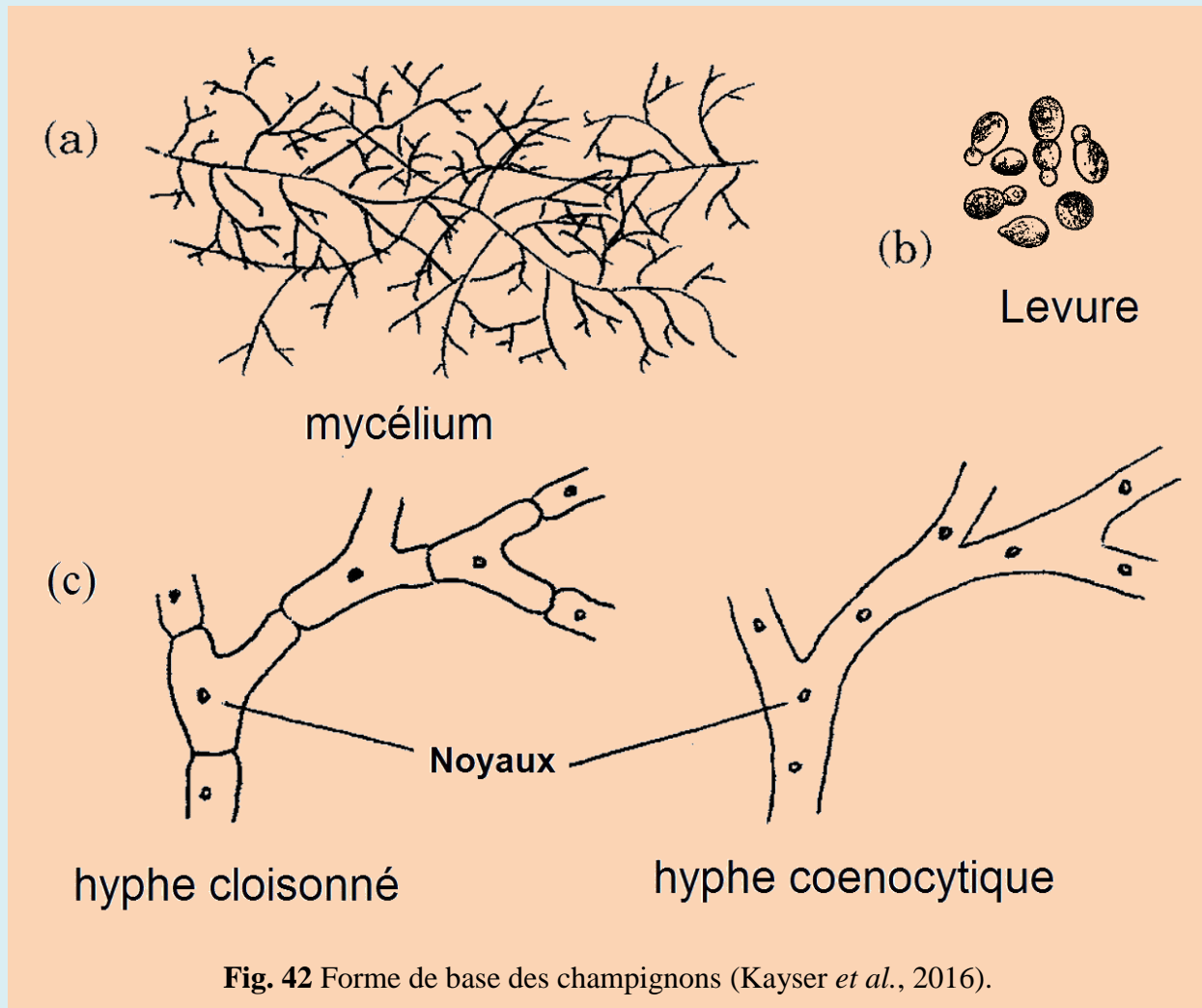
Les champignons, appelés aussi mycètes, sont des organismes eucaryotes non chlorophylliens, uni- ou pluri- cellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes), d'aspect filamenteux ou levuriforme.

Leur nombre des champignons est évalué à environ 95.000 espèces, mais il est probablement plus élevé. La quasi-totalité des champignons vivent en saprophytes dans le sol, sur des plantes mortes ou vivantes. Beaucoup d'espèces sont des parasites de plantes. Un nombre plus restreint sont opportunistes et peuvent devenir pathogènes pour l'homme et les animaux. Enfin, diverses espèces sont symbiotiques, soit associées à des algues (dans les lichens), soit associées à des racines (constituant les mycorhizes)

6.1.1. Morphologie et structure des champignons microscopiques

L'appareil végétatif des champignons est appelé le thalle. Le thalle de la plupart des champignons est formé de filaments ramifiés, très grêles, dont l'ensemble constitue un mycélium (Fig. 42a). Celui-ci se caractérise par une grande variété de structures, qui vont d'une forme unicellulaire (levure) (Fig. 42b) à, le plus souvent, une forme filamenteuse (Fig. 42c). L'ensemble des filaments (ou hyphes) est appelé mycélium. Chez les champignons, il n'existe jamais de véritables tissus comme chez les plantes supérieures ou chez les animaux. Ils se reproduisent par des spores, selon un mode asexué et/ou sexué (Fig. 42).

La grande majorité des champignons se présentent sous une forme filamenteuse, caractérisée par une structure tubulaire, ramifiée, et plurinucléée. Le diamètre des hyphes varie de 3-4 μm à plus de 10 μm selon les conditions de l'environnement. Le plus souvent, les hyphes sont cloisonnées par des cloisons qui divisent le filament en segments (articles) similaires à des cellules (Eumycètes supérieurs). La présence de pores traversant ces cloisons permet le passage intercellulaire du cytoplasme et d'organites subcellulaires, et même de noyaux.



Ces pores peuvent être obturés par des structures sphéroïdes, les corps de Woronin. Le nombre de noyaux par segments varie de un à plus d'une centaine, et est généralement plus élevé dans les segments apicaux où le champignon est en phase de croissance active. Chez les Zygomycètes (Eumycètes inférieurs), les hyphes ne sont généralement pas cloisonnées (mycélium siphonné ou coenocytique) et les noyaux cohabitent dans le cytoplasme commun.

La croissance des filaments est strictement apicale et permet la dissémination du champignon et sa pénétration dans les substrats. Elle nécessite la biosynthèse de composants pariétaux, dont le mieux étudié est la chitine. Le maintien d'une croissance optimale nécessite la conservation d'une polarité de croissance à l'extrémité de l'hyphe, résultant du transport polarisé des vésicules vers l'apex. Lorsque la quantité de matériaux nécessaires à la croissance devient trop importante à l'apex, des ramifications latérales peuvent apparaître.

6.1.2. Les principales classes de champignons

6.1.2.1. Les Chytridiomycètes

Ces champignons sont probablement proches des algues.

6.1.2.2. Les Zygomycètes

Les Zygomycètes, qui comprennent environ 200 espèces, rassemblent des champignons saprophytes, ainsi que des champignons parasites d'insectes (Entomophthorales), de Nématodes et d'Amibes (Zoopagales), et de plantes. Les Mucorales comprennent un grand nombre de moisissures saprophytes, mais aussi quelques espèces parasites des champignons, des animaux et des hommes (mucormycoses).

6.1.2.3. Les Ascomycètes

Les Ascomycètes comprennent environ 15.000 espèces, auxquelles il faut ajouter un nombre à peu près équivalent d'espèces lichénisantes. De nombreuses espèces sont utilisées pour la fabrication d'antibiotiques, de médicaments, pour des fermentations. Certaines sont très recherchées pour leur valeur gastronomique (Morilles, Truffes). Quelques-unes sont de parasites des végétaux, des animaux et des hommes.

6.1.2.4. Les Basidiomycètes

Les Basidiomycètes, dont il existe environ 20.000 espèces, sont les champignons que l'on peut considérer comme les plus perfectionnés. Ils comprennent de nombreuses espèces à fructification développées ou carpophores (Cèpes, Amanites, etc.).

6.1.2.5. Les Deutéromycètes

Encore appelés Adélomycètes, *Fungi imperfecti* (Champignons imparfaits), les Deutéromycètes ne constituent pas un groupe naturel, mais d'un ensemble artificiel regroupant environ 15.000 espèces (plus du quart des champignons actuellement connus) ne présentant jamais, ou très exceptionnellement, de forme de reproduction sexuée. La plupart présentent, néanmoins, des affinités d'Ascomycètes. Ils se reproduisent uniquement par voie végétative au moyen de spores asexuées ou par simple fragmentation du mycélium. Ils sont responsables d'un grand nombre de maladies des végétaux et humaines.

6.1.3. Propagation

Le processus de propagation le plus simple ne fait intervenir que des phénomènes de croissance (bouturage).

Les champignons peuvent se multiplier selon un mode asexué ou un mode sexué (selon les espèces, les champignons possèdent ces deux modes de reproduction, ou le premier seulement). Le premier type de multiplication (mode anamorphe, ou forme "imparfaite"), est réalisé par des spores asexuées (multiplication végétative). Le second type de multiplication (mode téléomorphe, ou forme "forme parfaite") fait intervenir la conjugaison de thalles différents, la conjugaison des noyaux, une réduction chromatique, pour conduire à la formation de spores sexuées (zygospores, ascospores ou basidiospores). L'existence des deux modes de reproduction, qui peuvent être présents simultanément ou séparément, réalise l'holomorphe.

6.1.3.1. Multiplication asexuée

Il existe fondamentalement deux modes de formation des spores asexuées : i) le mode endogène, où les spores (**endospores**) sont formées et contenues à l'intérieur d'une enveloppe portée par un filament mycélien (Zygomycètes), ii) le mode exogène, où les spores (spores externes ou **conidies**) sont formées et émises successivement à l'extérieur du mycélium qui leur a **donné** naissance (Ascomycètes et Basidiomycètes) (Fig. 46).

6.1.3.1.1. Levures (blastomycètes)

Les levures sont un cas particulier de forme fongique unicellulaire possédant un seul noyau par cellule, existant dans de nombreux groupes de champignons. Les levures se distinguent en premier lieu par leur mode de division cellulaire : le **bourgeonnement** ou, beaucoup plus rarement, la fission. Dans le premier cas, la cellule mère produit un **bourgeon** (**blastoconidie**), qui va se séparer après formation d'une cloison (septum) et donner naissance à une cellule fille. Dans le deuxième cas, la cellule ne bourgeonne pas mais s'allonge, et sa division par le milieu après formation d'un septum donnera naissance à deux cellules filles. Certaines levures possèdent une capsule polysaccharidique (*Cryptococcus*).

Certaines levures peuvent présenter une étape filamenteuse au cours de leur cycle de multiplication ou selon leur condition de vie (*Candida albicans*) (Fig. 43).

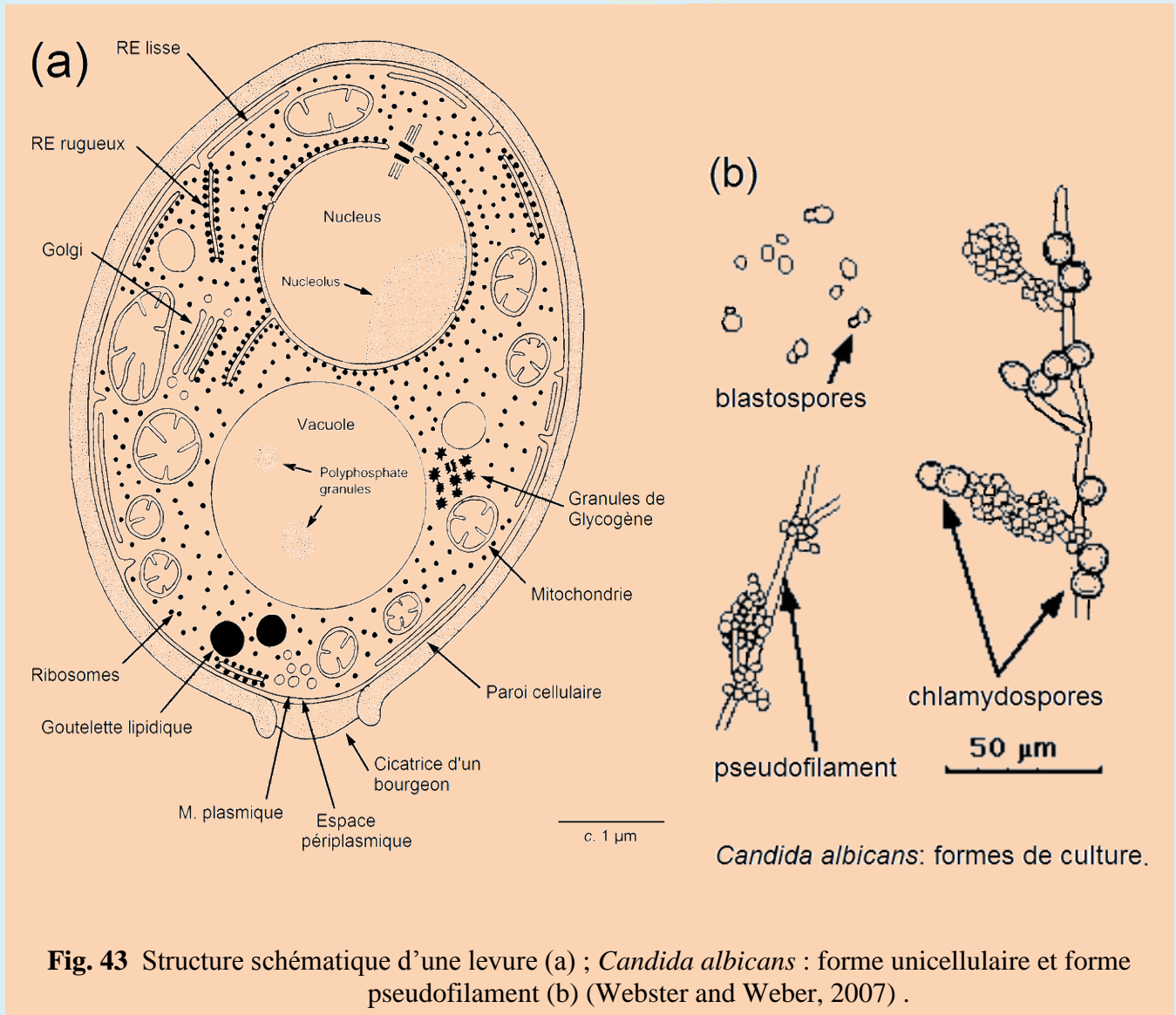


Fig. 43 Structure schématique d'une levure (a) ; *Candida albicans* : forme unicellulaire et forme pseudofilament (b) (Webster and Weber, 2007) .

6.1.3.1.2. Champignons filamenteux (hyphomycètes)

La multiplication asexuée des Oomycètes se réalise le plus souvent par l'intermédiaire de zoospores biflagellées, l'un des flagelles étant antérieur et l'autre postérieur. Chez certaines espèces (Saprolegniales), il peut y avoir deux stades flagellés (des zoospores de première génération atypiques, deux flagelles apicaux identiques, s'enkystent puis libèrent des zoospores typiques de deuxième génération, dont la germination produit un mycélium. Les Chytridiomycètes possèdent des spores mobiles uniflagellées (Fig. 44).

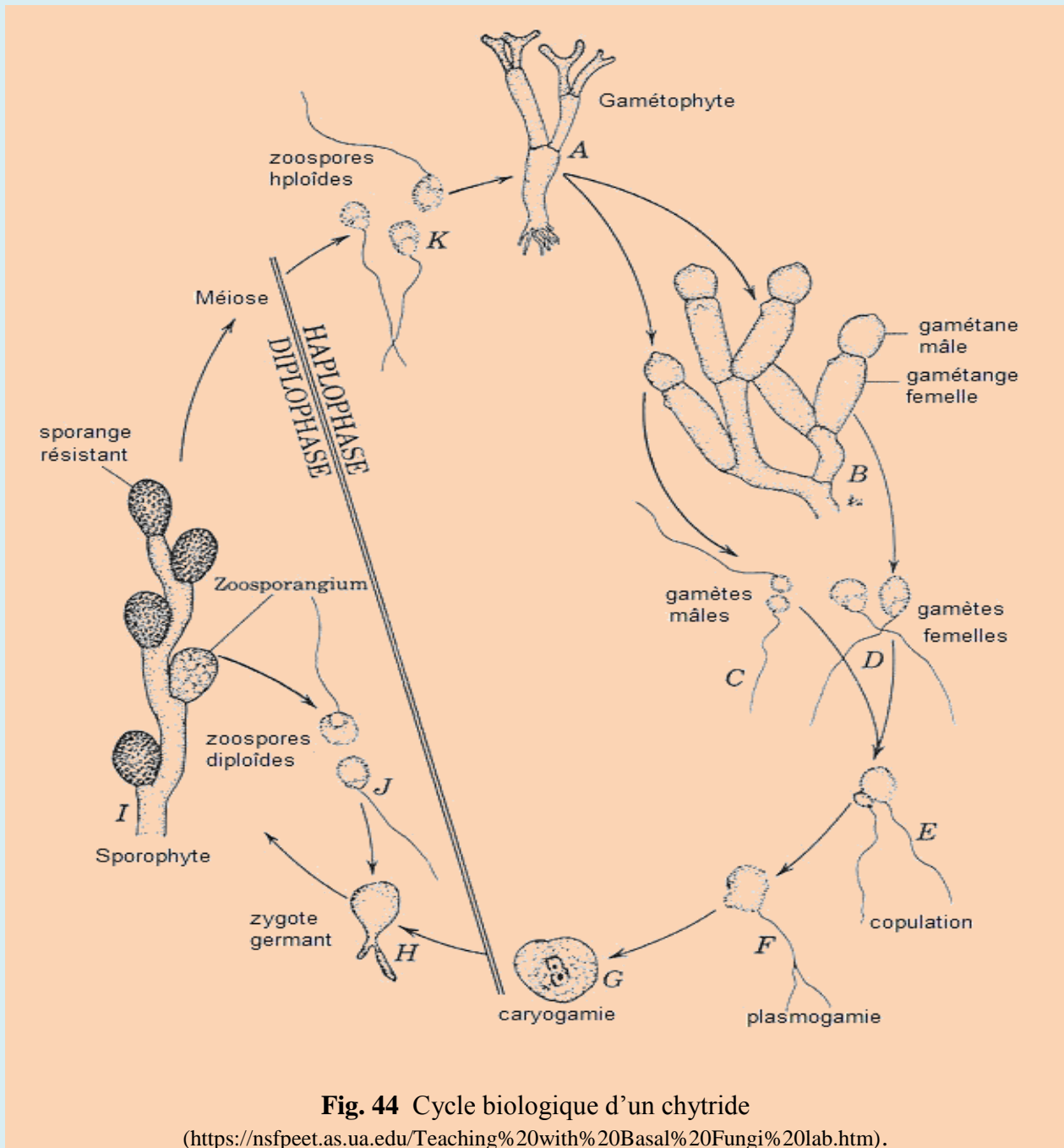
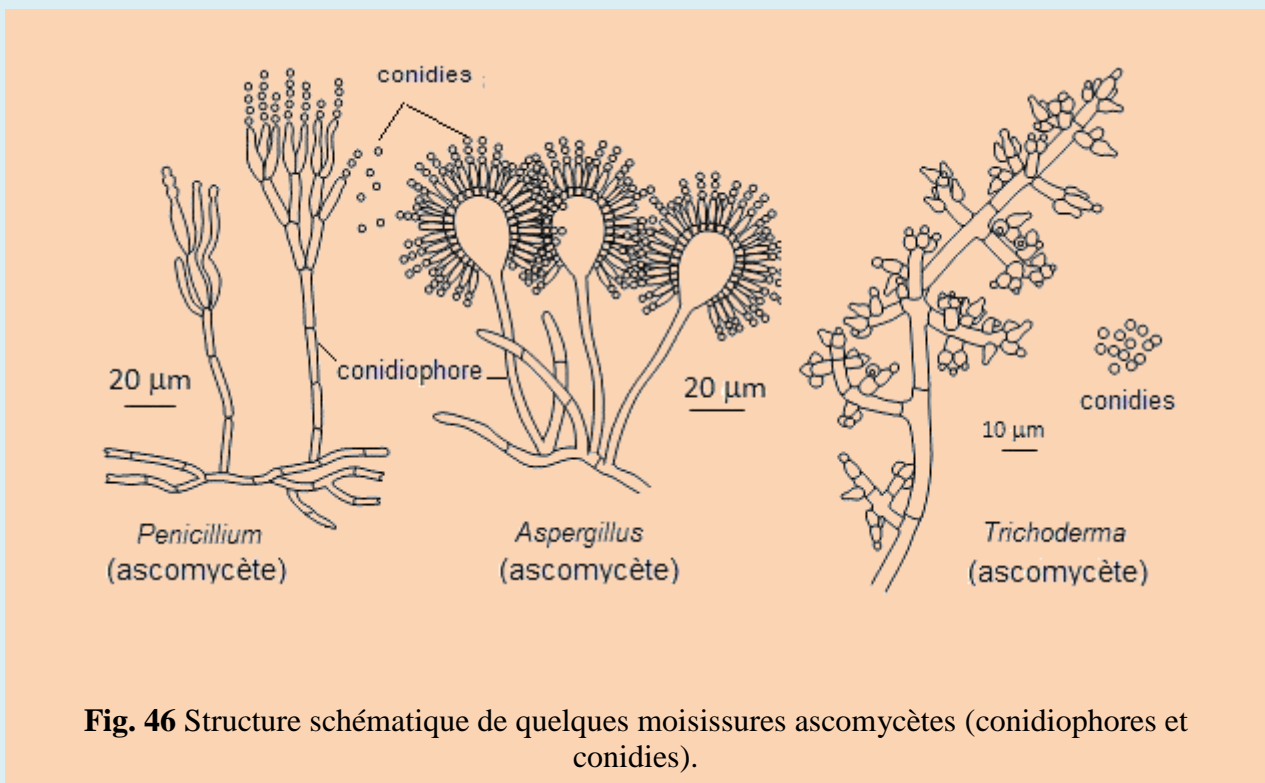
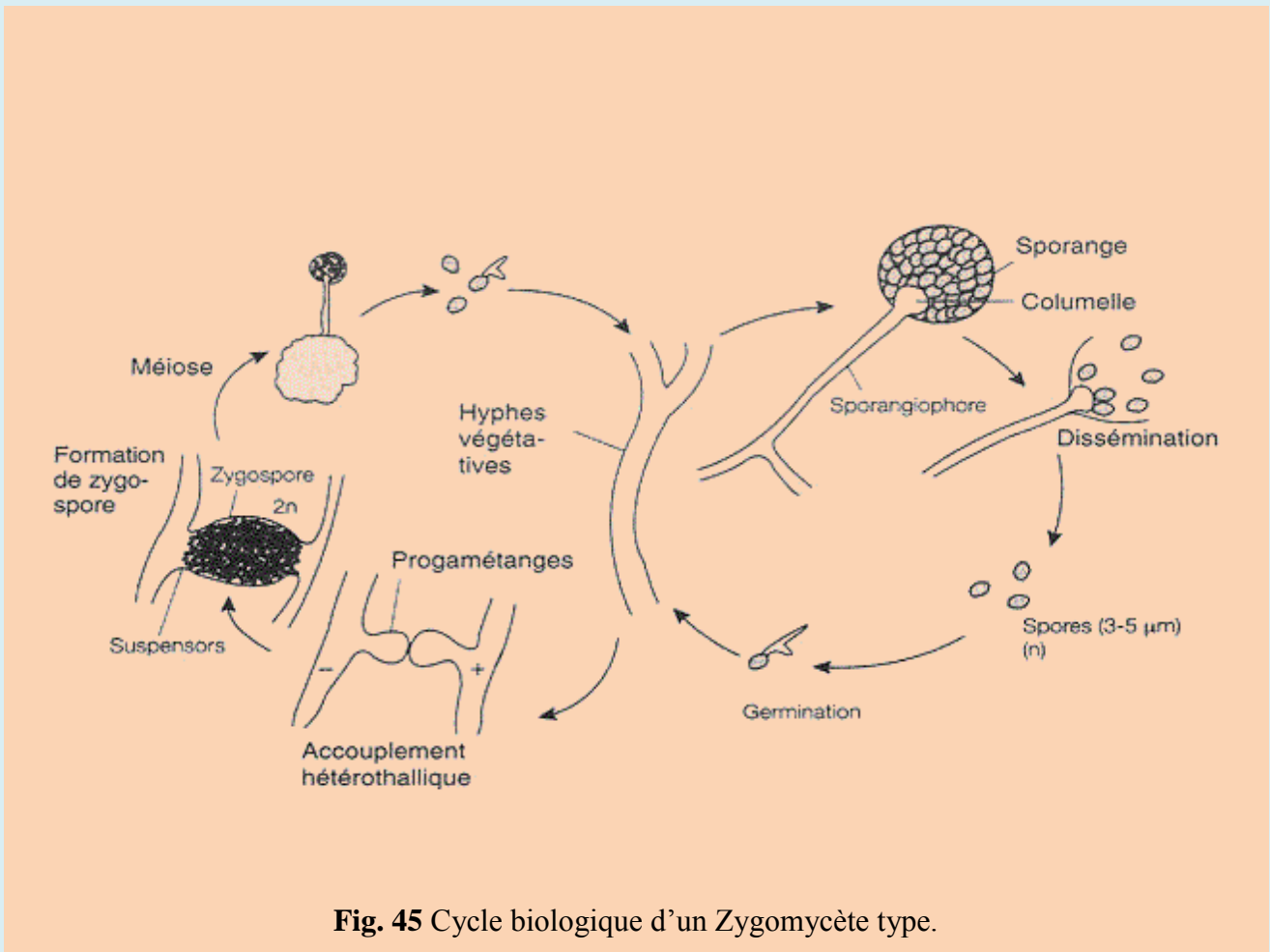


Fig. 44 Cycle biologique d'un chytride

(<https://nsfpeet.as.ua.edu/Teaching%20with%20Basal%20Fungi%20lab.htm>).

Les Zygomycètes sont des champignons inférieurs au thalle non cloisonné et possédant des spores endogènes (ou endospores) qui se forment dans des **sporocystes** (ou sporange). Les endospores germent en donnant directement naissance à un mycélium (Fig. 45).

La reproduction asexuée des Ascomycètes et les Basidiomycètes s'effectue par l'intermédiaire de spores exogènes (ou conidies) produites par des cellules conidiogènes. Celles-ci sont portées par le **conidiophore** (Fig. 46).



6.1.3.2. Reproduction sexuée

Alors que les noyaux de spores asexuées se forment par simple mitose, les noyaux des spores sexuées se forment après des processus plus complexes. La première étape est la **plasmogamie** qui réunit dans un même thalle deux noyaux compatibles (**compatibilité génétique** : on désigne les thalles complémentaires par + et - ou A et a); avant de fusionner (**dicaryophase : des dicaryons**); la deuxième étape, appelée **caryogamie**, correspond à la conjugaison de noyaux haploïdes; la troisième étape est une division réductrice ou méiose, qui conduit à des noyaux à nouveau haploïdes.

Chez de nombreuses espèces, la reproduction sexuée implique des organes de fécondation morphologiquement similaires ou non similaires (**isogamie ou anisogamie**). Les organes qui donnent naissance aux **spores sexuées (méiospores)** sont appelés **gamétocystes**, et prennent le nom d'**anthéridie** (organe mâle) et d'**oogone** (organe femelle ; appelé ascogone chez les Ascomycètes) lorsqu'ils sont différenciés.

Chez les Chytridiomycètes, qui sont les champignons les plus "primitifs", la fécondation se fait par des gamètes libres et mobiles (Fig. 44).

Chez tous les autres champignons, les gamétocystes ne produisent plus de gamètes, mais fusionnent directement (plasmogamie) (Fig. 45).

Chez les Zygomycètes, les gamétocystes correspondent à de simples parties terminales d'hyphes, dont les fonctions sont identiques. Après contact, la plasmogamie a lieu après lyse des parois mitoyennes, avant la caryogamie et la méiose. Les Zygomycètes peuvent être soit **homothalliques**, soit **hétérothalliques**. Une spore sexuée (zygote ou **zygospore**) unique, à paroi épaisse, est alors produite par simple transformation des gamétocystes initiaux. Lorsque les conditions sont favorables, la zygospore produit un sporocyste de germination dont le cytoplasme se divise en particules nucléées qui vont devenir des endospores.

Chez les Ascomycètes, la fécondation de l'oogone (**ascogone**) par l'anthéridie donne naissance à des **filaments ascogènes** qui vont porter des **asques** où se forment les méiospores (**ascospores**) (Fig. 47). Selon les genres, les asques restent dispersés ou sont regroupées au

sein de structures (**ascocarpes**) de complexité variable (**gymnothèce, cléistothèce, périthèce, apothécie**) (Fig. 48).

Chez les Basidiomycètes, la différenciation sexuelle des gamétocystes est réduite puisque la conjugaison a lieu entre cellules de deux articles banals. La formation des spores sexuées se manifeste par l'existence de **crochets (ou anse) de conjugaison**. Le sporocyste prend le nom de **baside**, les méiospores de **basidiospores**. Dans certains cas, les basides sont portées par une structure complexe souvent de grande taille, le **basidiocarpe** ou **carpophore** (*Agaricus bisporus, Coprinus comatus, etc.*). Celui se différencie en un pied (stipe) et un chapeau (pileus) qui porte l'hyménium, constitué en particulier des basides qui portent les basidiospores (Fig. 49).

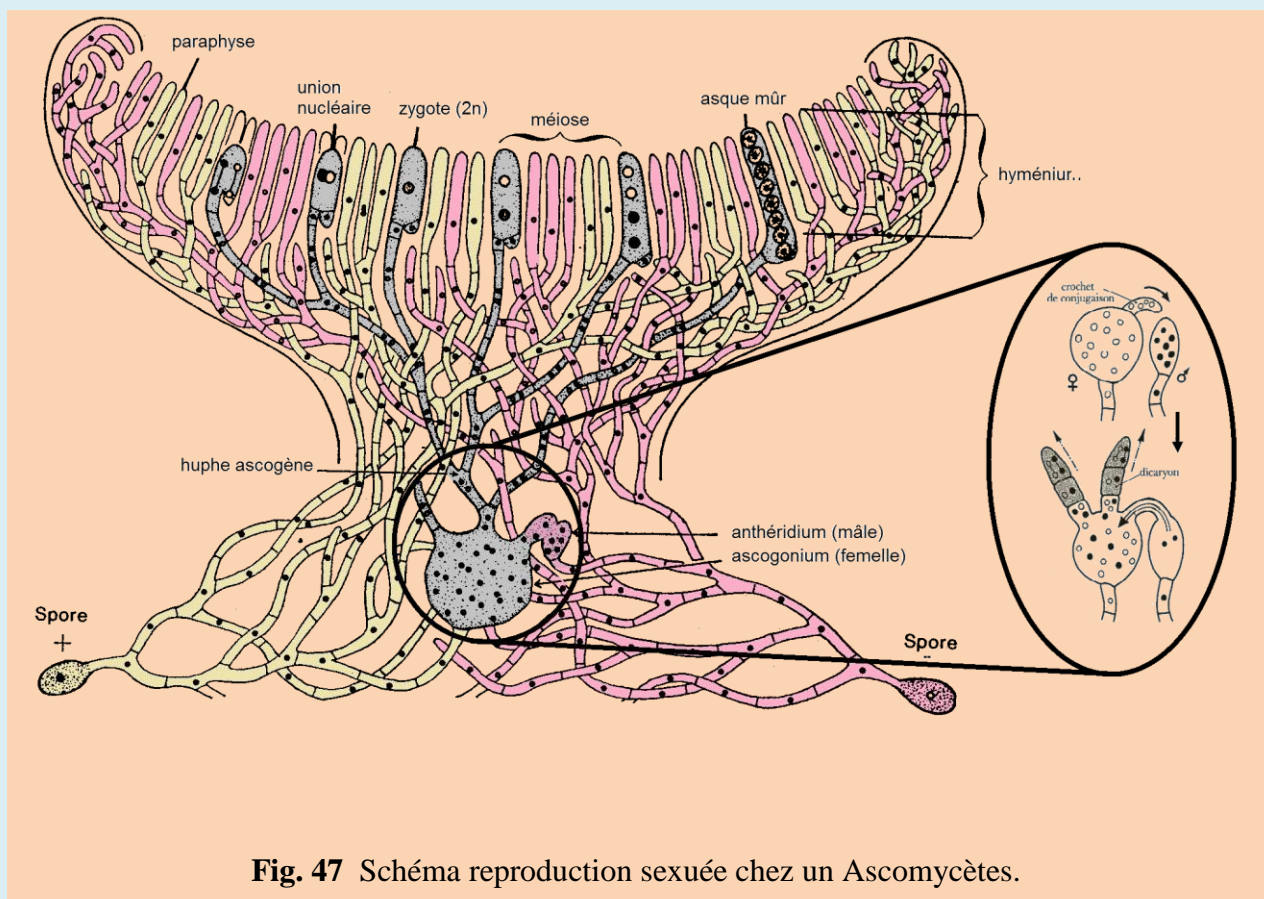


Fig. 47 Schéma reproduction sexuée chez un Ascomycètes.

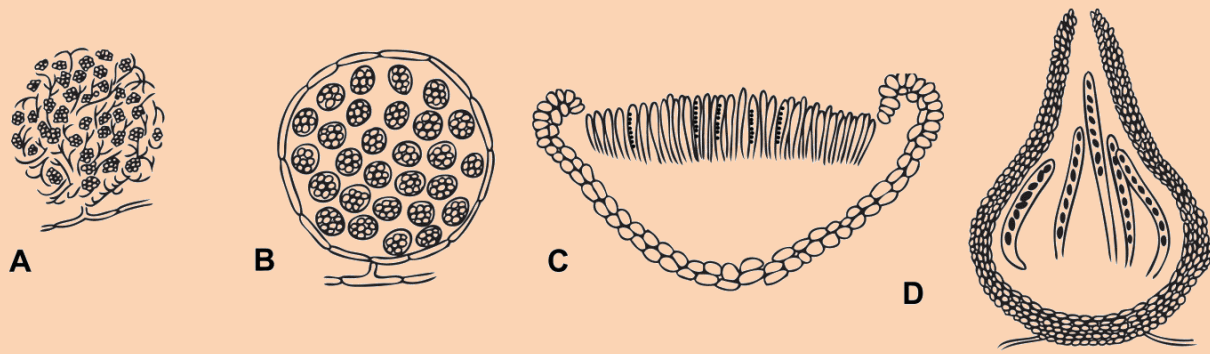


Fig. 48 Types d'ascocarpes des Ascomycètes. A: gymnothèce; B: cleistothèce; C: apothèce; D: perithèce (Webster and Weber, 2007).

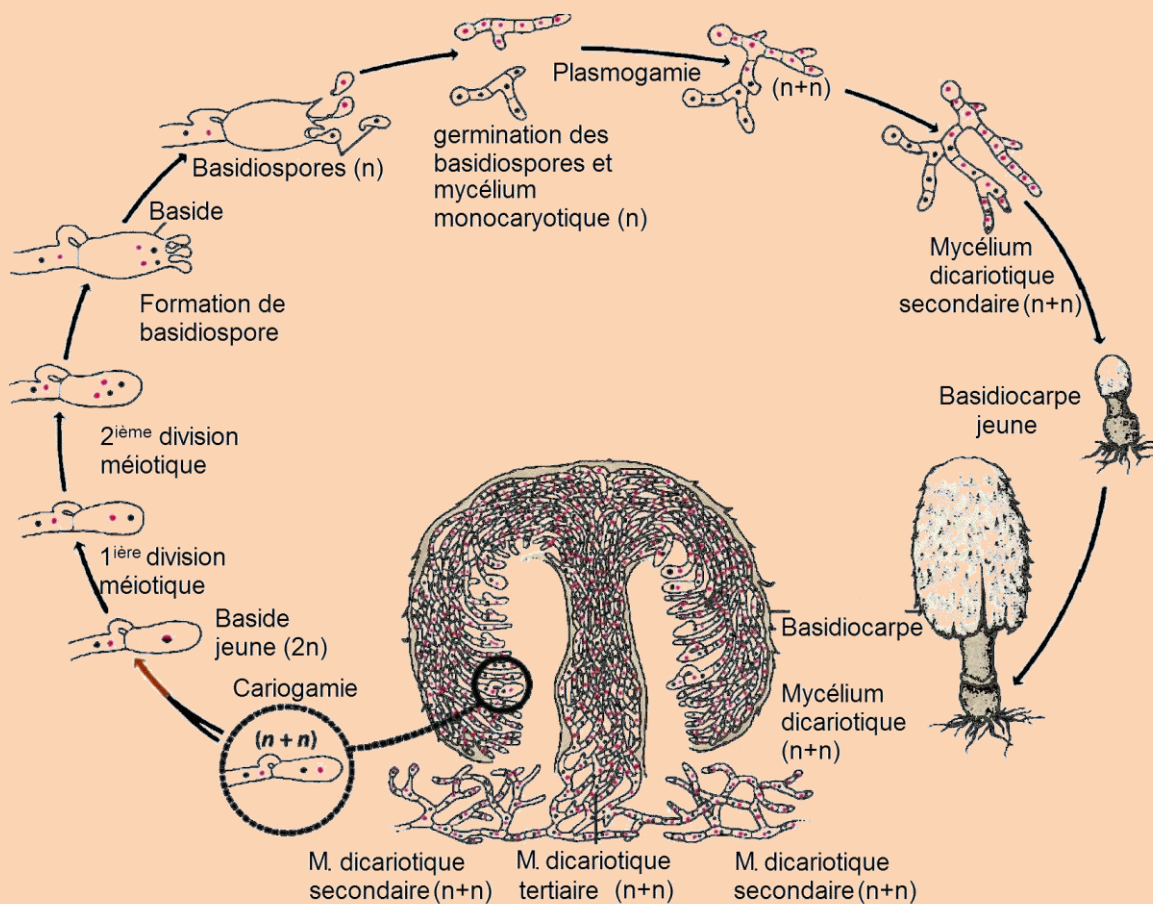


Fig. 49 Schéma de reproduction sexuée chez un Basidiomycète.

6.2. Notions de virologie

6.2.1. Introduction et définition

Ivanovski (1864-1920) fut le premier qui, en 1892, découvrit l'agent ultrafiltrable plus petit que les bactéries; le **virus** de la mosaïque du tabac, à partir de filtrats de plantes. Après 1948, les techniques de cultures cellulaires ont permis l'isolement et la caractérisation de nouveaux virus. En 1955, Franklin décrit la structure hélicoïdale et la liaison entre les capsomères et l'ARN du virus de la mosaïque du tabac. Actuellement, de nouveaux virus continuent à être découverts, comme par exemple le virus de l'hépatite C en 1989, le virus Nipah en 1999 (infection respiratoire du porc et encéphalite chez l'homme), le Méta pneumovirus en 2001, le virus du SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère) en 2003.

Le virus se distingue totalement de la bactérie et des autres microorganismes. Un virus est un agent infectieux très simple ou une particule (virion) contenant une information génétique protégée (ADN ou ARN). Il est capable de pénétrer une cellule vivante (animale, végétale, bactérienne, ou d'un protiste) et se reproduire aux dépens du métabolisme de la cellule hôte. Le virus mène une vie double, selon sa position, à l'intérieur de la cellule hôte où il réalise son programme génétique, où il existe en tant que particule virale stable (virion) à l'extérieur de la cellule hôte.

6.2.2. Taille du virus

Les plus petits virus ont une taille voisine des ribosomes (Parvovirus, 20 nm - parvus = petit), les plus gros ont une taille légèrement inférieure à celle des plus petites bactéries (Poxvirus, 300 nm - pox = pustule). Une comparaison des tailles de différents virus est rapportée dans la Fig. 50. Des ADN-virus exceptionnellement grands ont été récemment mis en évidence chez les amibes. Avec un diamètre de 400 nm ils atteignent la taille des petites bactéries. Le plus grand virus mis en évidence à ce jour chez les amibes est le Pandoravirus ($1\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$).

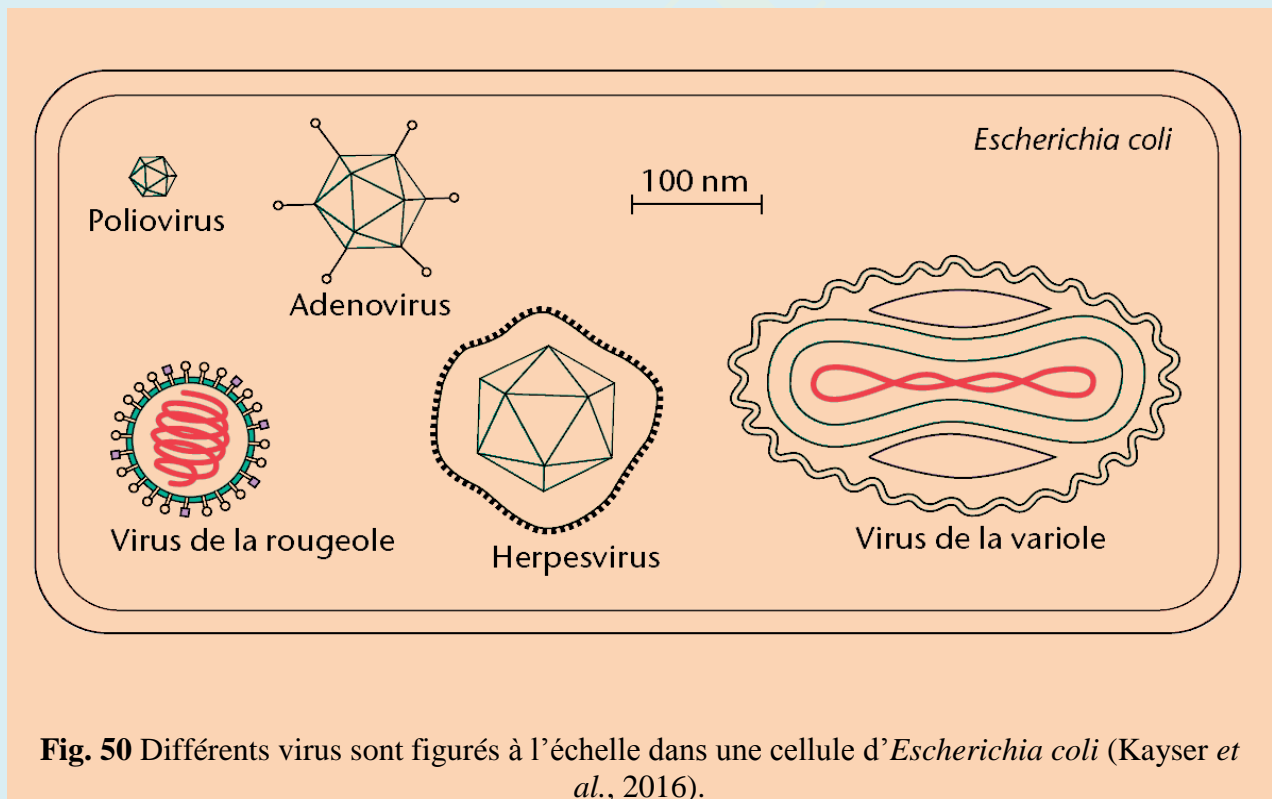


Fig. 50 Différents virus sont figurés à l'échelle dans une cellule d'*Escherichia coli* (Kayser et al., 2016).

6.2.3. Génome

Le génome viral constitue l'information génétique qui est traduite en protéines virales par la cellule-hôte. Il est composé soit de l'ADN, soit de l'ARN, et peut-être monocaténaire (à simple brin) ou bicaténaire (à double brin). On distingue donc des virus à ADN et des virus à ARN. La taille du génome diffère considérablement pour les virus à ADN (de 3 à 300 kb), alors qu'elle est plus restreinte (de 7 à 30 kb) pour les virus à ARN.

6.2.4. Capside

La capside (du grec : caps= boîte) est une structure protéique qui enveloppe et protège le génome viral. Elle porte les déterminants viraux responsables de la fixation du virion à la cellule. L'ensemble de la capside et du génome forme la nucléocapside. La capside a une conformation géométrique tubulaire ou polyédrique (Fig. 51).

6.2.5. Enveloppe

La nucléocapside de certains virus peut être entourée par un troisième élément : l'enveloppe (péplos). Sa présence (virus enveloppés) ou son absence (virus nus) a un rôle important dans le mode de transmission des maladies virales. C'est une membrane dans laquelle sont insérées des spicules. Celles-ci sont les déterminants viraux responsables de la fixation du virion à la cellule.

- on distingue donc : des **virus nus**, et des **virus enveloppés** (Fig. 51).

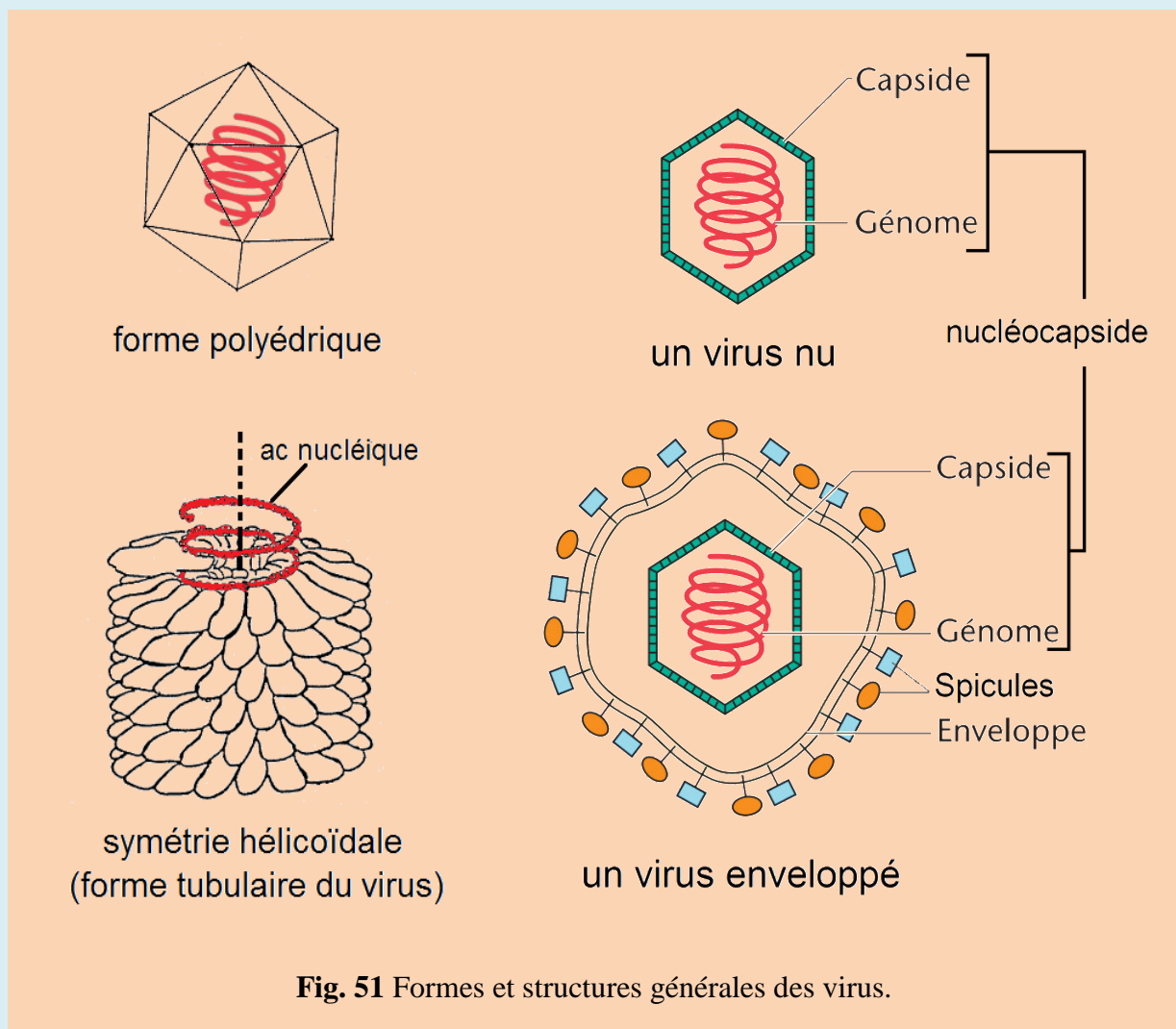
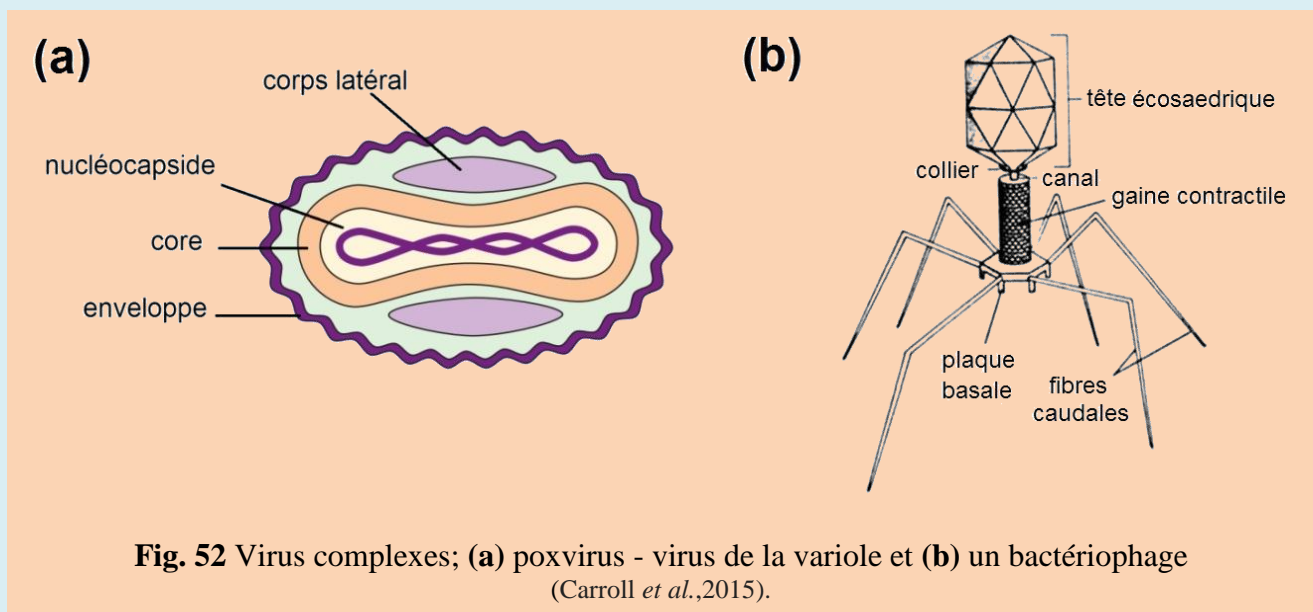


Fig. 51 Formes et structures générales des virus.

6.2.6. Virus complexes

Les **Poxvirus** sont les plus gros virus animaux connus et peuvent être aperçus au microscope photonique. Le génome forme un nucléotide central entouré d'une coque protéique, déprimée au centre par deux corps latéraux (Fig. 52a).

Parmi les **phages** infectant les bactéries (**bactériophages**), certains possèdent une queue de symétrie hélicoïdale prolongeant la capsidie icosaédrique qui abrite le génome. Cette queue sert de seringue pour l'injection du génome virai dans la bactérie. La queue est un tube creux rigide entouré d'une gaine contractile, terminée par une plaque basale portant des fibres qui sont responsables de la fixation (spécifique) à la bactérie. La fixation déclenche la contraction de la gaine et le tube traverse la paroi de la bactérie pour l'introduction du génome dans le cytoplasme (Fig. 52b).



6.2.7. Classification des virus

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

- La nature du génome : le type ADN ou ARN, la forme simple ou double brin, la polarité des virus à ARN, la présentation segmenté ou non segmenté, la taille...

- La forme de symétrie de la capsid : cubique, hélicoïdale ou complexe.
- La présence d'une enveloppe.
- Le site de multiplication : élaboration de la nucléocapsid dans le noyau ou le cytoplasme de la cellule hôte.
- Le site de l'enveloppement : membrane du noyau, RE, Golgi, membrane plasmique.
- La taille du virion

Les domaines hiérarchiques de la systématique sont l'ordre (*-virales*, exp. *Mononegavirales*), la famille (*-viridae*, exp. *Paramyxoviridae*), la sous-famille (*-virinae* », exp. *Alphaherpesvirinae*) le genre (*-virus*, exp. *Morbillivirus*) et l'espèce.

6.2.8. Multiplication des virus

La multiplication virale se déroule en plusieurs étapes successives bien coordonnées dans le temps, identiques pour tous les virus (Fig. 53). Ces étapes sont :

- l'attachement du virus à la cellule hôte.
- la pénétration du virus.
- la décapsidation.
- la réplication des composants viraux.
- l'assemblage des composants viraux (encapsidation).
- la libération de la nouvelle génération de virus.

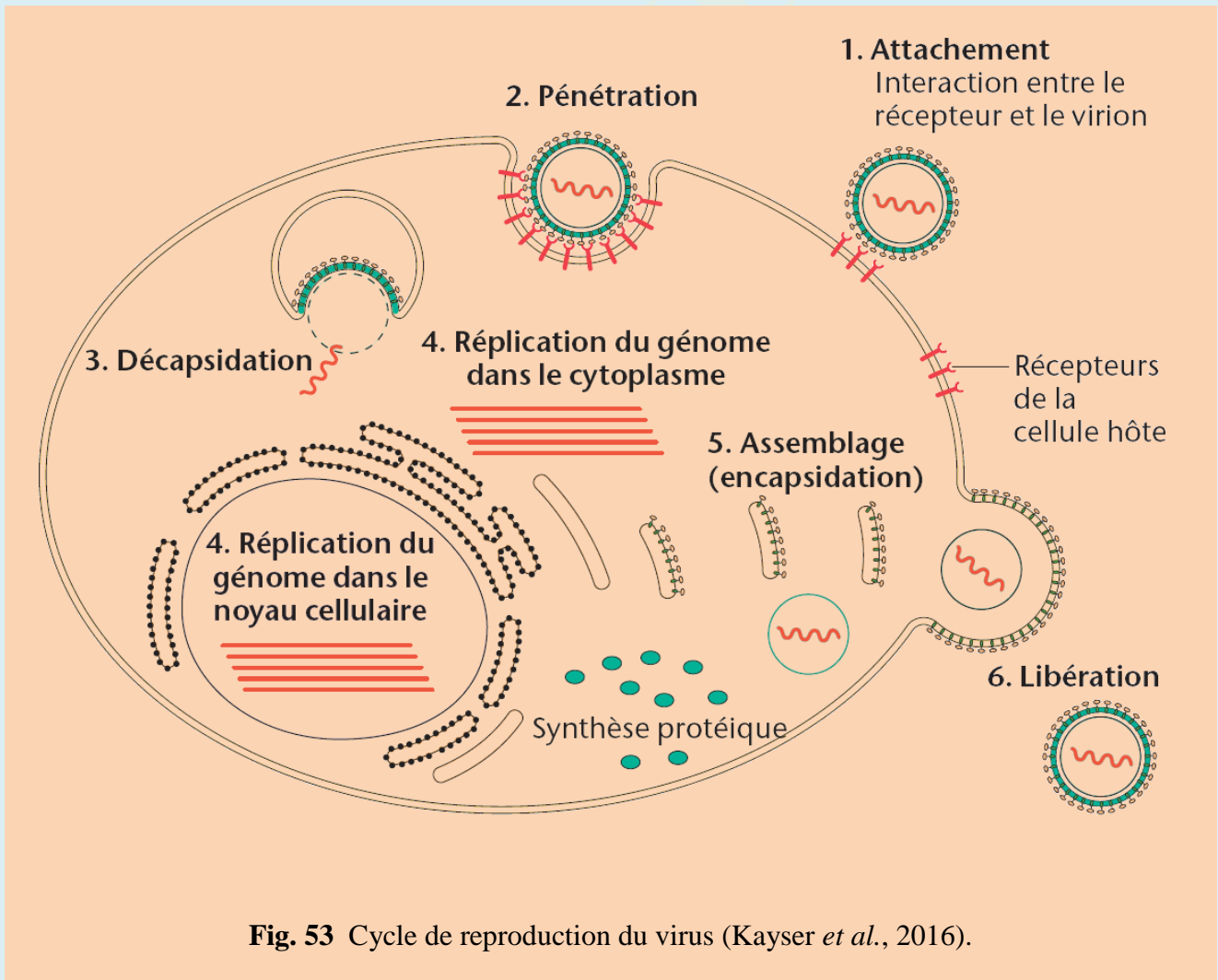


Fig. 53 Cycle de reproduction du virus (Kayser *et al.*, 2016).