

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة ألكلي محمد الحاج - البويرة
Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira –
كلية علوم الطبيعة و الحياة وعلوم الأرض
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre

Polycopié pédagogique

Champignons et Bactéries phytopathogènes



Par Dr. MEBDOUA Samira
Maitre des Conférences classe B

2019-2020

Sommaire

Introduction	1
Première Partie : Champignons phytopathogènes	
Chapitre I : Généralités sur les champignons phytopathogènes	2
I.1 Morphologie et structure cellulaire	2
I.1.1 Morphologie des champignons phytopathogènes	2
I.1.1.1 Thale	2
I.1.1.2 Haustoria	4
I.1.1.3 Appressoria	4
I.1.1.4 Stomes.....	5
I.1.2 Structure de la cellule	6
I.1.2.1 Noyau	6
I.1.2.2 Paroi.....	6
I.1.2.3 Cloison	8
I.1.2.4 Membrane plasmique	8
I.1.2.5 Inclusions de stockage	8
I.2 Reproduction chez les champignons	8
I.2.1 Reproduction sexuée et asexuée.....	9
I.2.2 Anamorphe et téléomorphe	9
I.2.3 Cycle nucléaire des champignons.....	10
I.3 Classification des champignons	11
I.4 Interaction plante champignon phytopathogène - plante	13
I.4.1 Etapes de l'infection fongique	13
I.4.1.1 Fixation des spores sur la surface végétale.....	13
I.4.1.2 Germination	13
I.4.1.3 Formation de l'appressorium.....	14
I.4.1.4 Pénétration.....	14

I.4.1.5	Relation trophique champignons – plantes.....	15
I.4.1.6	Colonisation de l’hôte.....	15
I.4.2	Principaux facteurs de pathogenèse chez les champignons	16
I.4.2.1	Pathotoxines.....	16
I.4.2.2	Enzymes	16
I.4.3	Réactions de défense de la plante hôtes.....	18
 Chapitre II : Règne des <i>FUNGI</i>		19
II.1	Phylum des <i>Chytridiomycota</i>	19
II.1.1	Classe des Chytridiomycètes.....	19
II.2	Phylum des <i>Blastocladiomycota</i>	21
II.2.1	Classe des Blastocladiomycètes.....	21
II.3	Phylum des <i>Zygomycota</i>	22
II.3.1	Sous phylum de <i>Mucoromycotina</i>	22
II.4	Phylum des <i>Ascomycota</i>	24
II.4.1	Caractéristiques des <i>Ascomycota</i>	24
II.4.2	Classification des <i>Ascomycota</i>	27
II.4.3	Sous phylum <i>Taphrinomycotina</i>	28
II.4.3.1	Classe des Taphrinomycetes	28
II.4.4	Sous phylum <i>Pezizomycotina</i>	29
II.4.4.1	Classe des Dothideomycetes	29
II.4.4.2	Classe des Eurotiomycetes.....	34
II.4.4.3	Classe des Leotiomycetes.....	34
II.4.4.4	Classe des Sordariomycetes.....	39
II.5	Phylum des <i>Basidiomycota</i>	46
II.5.1	Généralités	46
II.5.2	Reproduction chez les <i>Basidiomycota</i>	46
II.5.3	Classification des <i>Basidiomycota</i>	48
II.5.4	Sous phylum <i>Agaricomycotina</i>	48

II.5.4.1	Classe des Agaricomycetes.....	48
II.5.5	Sous-phylum des <i>Ustilaginomycotina</i>	50
II.5.5.1	Classe des exobasidiomycetes.....	51
II.5.6	Sous-phylum des <i>Pucciniomycotina</i>	52
II.5.6.1	Classe des Pucciniomycetes.....	52
Chapitre III : Règne des <i>CHROMISTA</i>		56
III.1	Phylum <i>Oomycota</i>	56
III.1.1	Classe des Oomycètes.....	57
III.1.1.1	Ordre des Albuginales.....	57
III.1.1.2	Ordre des Péronosporales.....	57
III.1.1.3	Ordre des Saprologniales.....	59
Chapitre IV : Règne des <i>PROTOZOA</i>		60
IV.1	Phylum <i>Plasmodiophoromycota</i>	60
IV.1.1	Classe des Plasmodiophoromycetes.....	60
IV.2	Phylum <i>Myxomycota</i>	61

Deuxième Partie : Bactéries phytopathogènes

Chapitre I : Généralités sur les bactéries phytopathogènes		63
I-1	Bactéries classiques.....	63
I-2	Bactéries vasculaires exigeantes (bactéries de type Rickettsia).....	64
I-3	Classification des bactéries phytopathogènes	64
Chapitre II : Phylum <i>Proteobacteria</i>		66
II-1	Classe Alphaproteobacteria.....	66
II-1-1	Ordre :Rhizobiales	66
II-2	Classe de Gammaproteobacteria.....	67
II-2-1	Ordre des Pseudomonadales	67
II-2-2	Ordres Xanthomonadales.	70

II-2-3 Ordre : Enterobacteriales.....	73
II-3 Classe de Betaproteobacteria	75
II-3-1 Ordre : Burkholderiales.....	75
Chapitre III Phylum <i>Firmicutes</i>.....	78
III-1 Classe Actinobacteria	78
III-1-1 Ordre : Actinomycetales.....	78
III-2 Classe Mollicutes	80
III-2-1 Ordre Achaeplasmatales.....	81
III-2-2 Ordre Mycoplasmatales.....	81
Références bibliographiques	82

Introduction

Les champignons sont responsables de plus de la moitié des maladies des plantes cultivées connues à ce jour. On estime entre dix mille et quinze mille espèces le nombre d'organismes du type champignons ou pseudo-champignons susceptibles d'infecter les plantes (contre une cinquantaine susceptible d'infecter l'homme). Les pertes économiques annuelles dues aux maladies fongiques dans l'agriculture mondiale sont importantes. Les champignons phytopathogènes constituent un large groupe très diversifié dont les espèces appartiennent à trois règnes distincts, il s'agit principalement du règne *Fungi* (ou règne de champignons vrais), et secondairement du règne *Chromista* et *Protozoa*. D'autre part, le nombre de bactéries phytopathogènes est beaucoup moins important, on compte environ 200 espèces phytopathogènes.

Dans le but de faire reconnaître ces groupes d'agents phytopathogènes, ce polycopié a été élaboré, il est destiné essentiellement aux étudiants de la première année master phytopathologie, mais aussi à toutes personnes désirant connaître ce monde d'agent phytopathogènes. Le polycopié est divisé en deux parties :

- La première partie traite les champignons phytopathogènes : leurs morphologies, l'interaction plante- champignons phytopathogènes, ainsi que les différents groupes taxonomiques des champignons phytopathogènes, cette partie est divisée en quatre chapitres. Pour les trois derniers chapitres, je me suis basé sur le livre de Nasraoui (2015) intitulé «Les champignons et pseudo-champignons pathogènes des plantes cultivées : Biologie, Nouvelle Systématique, Interaction Pathologique» pour la classification des différents groupes de champignons phytopathogènes.
- La deuxième partie traite les bactéries phytopathogènes : des généralités sur la structure, mais surtout les différents groupes taxonomiques. Les genres bactériens qui représentent une importance économique sont détaillés dans cette partie.

Première Partie : Champignons phytopathogènes

Chapitre I : Généralités sur les champignons phytopathogènes

I.1 Morphologie et structure cellulaire

Les organismes désignés sous le nom vernaculaire de champignons forment un groupe très hétérogène dont la caractéristique essentielle commune est la nutrition hétérotrophe par absorption, celle-ci pouvant prendre la forme du saprophytisme, parasitisme ou de la symbiose.

Les champignons sont des organismes eucaryotes (Gr. *eu* = vrai + *karyon* = noix, noyau), hétérotrophes, dépourvus de chlorophylle, se nourrissant par absorption, se reproduisant généralement par des spores (Gr. *spora* = semence, spore) et ayant dans la majorité des cas des structures somatiques appelées hyphes (Gr. *hyphe* = toile) qui sont habituellement filamenteuses, ramifiées et typiquement entourées d'une paroi.

Actuellement, le nombre d'espèces fongiques dans le monde est estimé à 1,5 millions, dont moins de 10% seulement sont décrites. Parmi ces espèces connues, environ 10.000 provoquent des maladies sur les végétaux et seulement une cinquantaine est pathogène pour l'homme et une autre cinquantaine est pathogène pour les animaux. Le reste se comporte généralement comme des saprophytes ou, moins fréquemment, vit en association avec d'autres organismes vivants.

I.1.1 Morphologie des champignons phytopathogènes

I.1.1.1 Thalle

Le corps somatique (ou végétatif) des champignons est appelé thalle. Les thalles fongiques sont généralement filamenteux et multicellulaires, mais pour certains groupes, ils sont unicellulaires. Il y a aussi un petit groupe de pseudo-champignons dont le thalle est souvent plasmodial.

Le thalle filamenteux est formé par des hyphes qui sont des filaments tubulaires microscopiques, souvent ramifiées en différentes directions et se développant à la surface et/ou à l'intérieur du substrat à partir duquel les champignons se nourrissent. La masse des hyphes chez un champignon est appelée mycélium. Les hyphes mycéliennes sont de longueur indéterminée et ont souvent un diamètre mesurant de 1 à 30 μm .

Chez la majorité des groupes fongiques, les hyphes ont des **cloisons** transversales, appelées aussi septums, disposées à des intervalles plus ou moins réguliers sur toute leur longueur. Ces cloisons divisent chaque hyphe en compartiments individuels ou cellules qui peuvent contenir un, deux ou

plusieurs noyaux. les hyphes dans ce cas sont dits hyphes septées. Les cloisons sont absentes dans les hyphes de certains groupes de champignons, Les hyphes non cloisonnées sont dites coenocytiques (siphonnées).

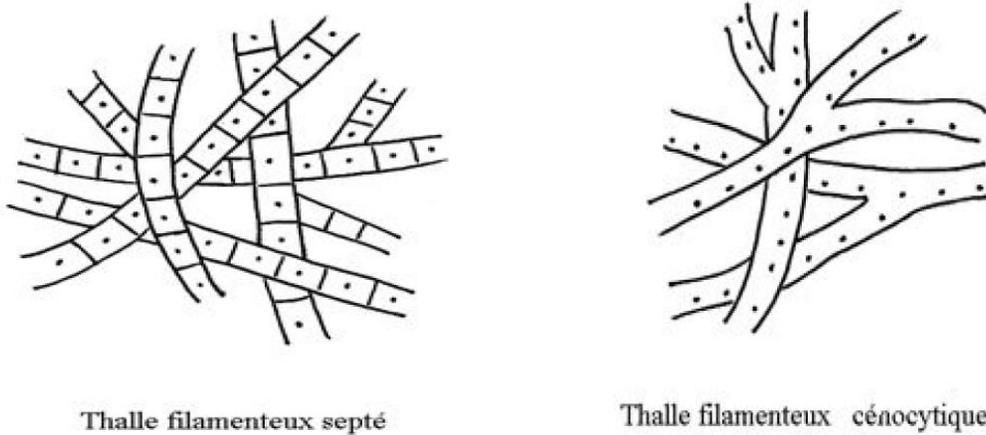


Figure n°1 : Présentation schématique des deux types de thalle filamenteux (Nasraoui, 2015)

Le thalle fongique peut être unicellulaire (ou pseudoplasmode) qui est une agrégation de cellules amiboïdes ; Les cellules qui forment le thalle sont d'habitude uninuclées. Le thalle fongique peut être formé de plasmodes qui sont des masses protoplasmiques multinuclées, sans paroi cellulaire

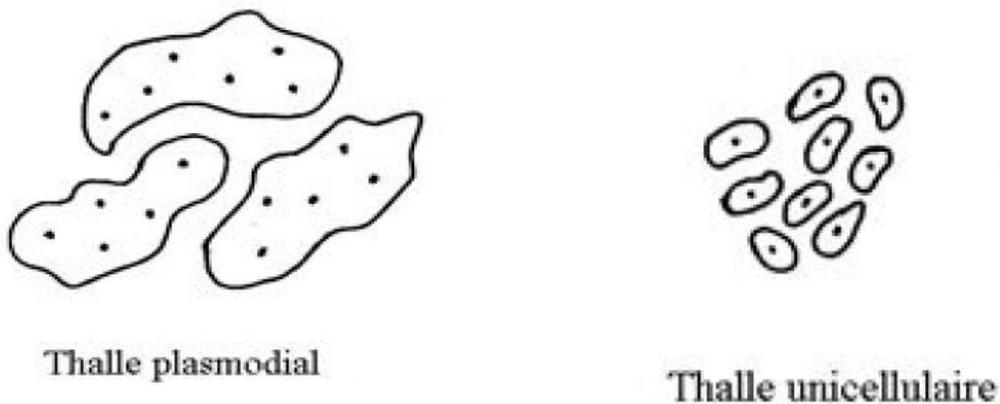


Figure n°2 : Présentation schématique de thalle plasmodial et de thalle unicellulaire (Nasraoui, 2015)

Le thalle filamenteux des champignons phytopathogènes peut différencier différents organes tels que : les appressoria (ou appressorium) et les suçoirs (ou haustoria) ces deux structures ont un rôle important dans le processus d'infection. Le mycélium peut également s'agréger en stromes.

I.1.1 2 Haustoria

L'haustoria (ou suçoir) est une structure spécialisée dans l'absorption nutritive développée dans la cellule hôte par certains champignons phytopathogènes durant le processus d'infection. L'invagination de l'haustorie à l'intérieur de la cellule hôte traverse la paroi cellulaire et non pas la membrane plasmique.

I.1.1 3 Appressoria

L'appressoria (Appressorium) est une cellule terminale gonflée qui se forme à l'apex du tube germinatif de la spore en germination. Ces gonflements sont appelés hyphopodes quand ils se développent sur de courtes branches latérales des hyphes. Telles structures différenciées permettent à beaucoup de champignons phytopathogènes de se fixer sur la surface de leurs hôtes avant d'y pénétrer.

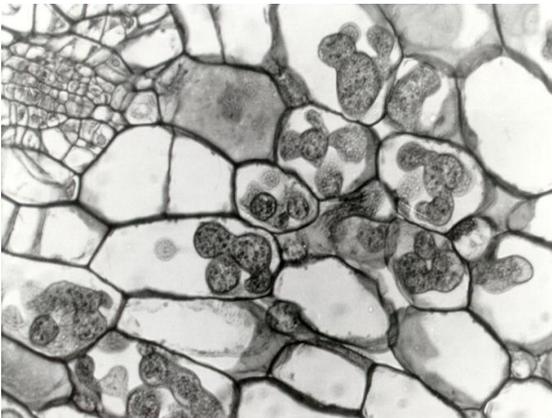


Figure 3 : Haustoria de *Phytophthora parasitica*

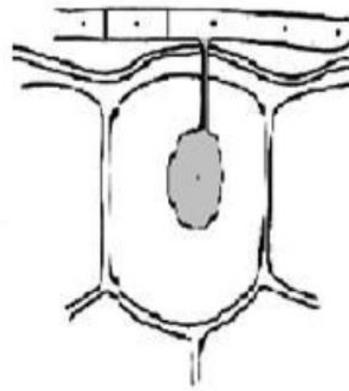


Figure 4 : Schéma d'un haustoria

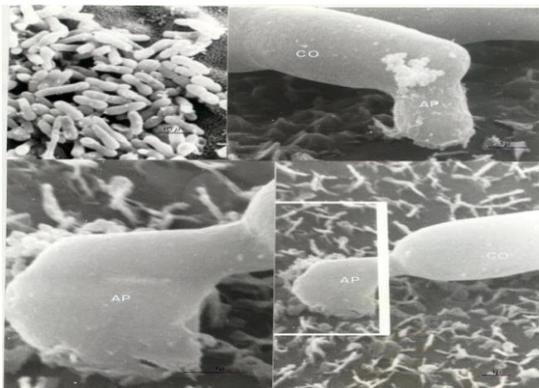


Figure 5 : Appressorium d'*Ascochyta pisi*, l'agent de l'anthracnose du pois

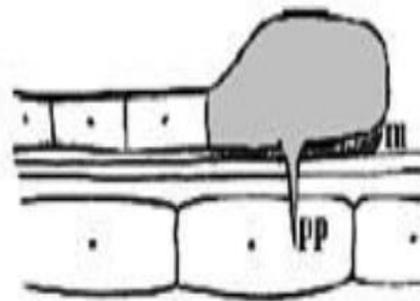


Figure 6 : Schéma d'un Appressorium

I.1.1 4 Stromes

Les filaments mycéliens peuvent s'agglomérer pour former de faux tissus lâches ou très compacts désigné par de **p**lectenchyme ou stroma, exemples de stromes: Les rhizomorphes et les sclérotés. Les rhizomorphes et les sclérotés constituent deux types de stromes ayant une signification phytopathologique comme organes de conservation

- Sclérotés

La production des sclérotés est largement répartie chez les champignons à mycélium septé. Les sclérotés se développent initialement par ramification hyphale localisée et répétée, suivie par l'adhésion des hyphes et l'anastomose des branches. Durant la maturation des sclérotés, les hyphes externes peuvent être agglutinés et forment une croûte tandis que l'intérieur se différencie en un cortex de cellules à paroi épaisse mélanisée et un médulla central d'hyphes avec des réserves substantielles en éléments nutritifs de stockage de glycogène, de lipides et de tréhalose.

Les sclérotés peuvent survivre pendant de longues périodes, souvent des années, dans le sol. Dans des conditions favorables, ils germent soit en produisant des hyphes (les sclérotés mycélogéniques de *Sclerotium rolsii* et *Rhizoctonia solani*, par exemple) ou en produisant directement des structures sexuelles de sporulation (comme chez *Claviceps purpurea* et *Sclerotinia sclerotiorum*).

- Rhizomorphes

Le rhizomorphe est une agrégation qui ressemble aux racines et qui est formée d'hyphes caractérisées par un « méristème » apical bien défini.

Les rhizomorphes, qui sont limités à certains *Basidiomycota*, sont fréquemment différenciés en une écorce de petites cellules de couleur noire entourant un cœur central de cellules allongées sans couleur. Les rhizomorphes s'étendent plus rapidement que les hyphes non différenciées et peuvent croître sur de longues distances à travers le sol. Ils permettent ainsi au champignon de se développer et de coloniser rapidement de grandes superficies. L'exemple remarquable est le rhizomorphe d'*Armillaria mellea*.

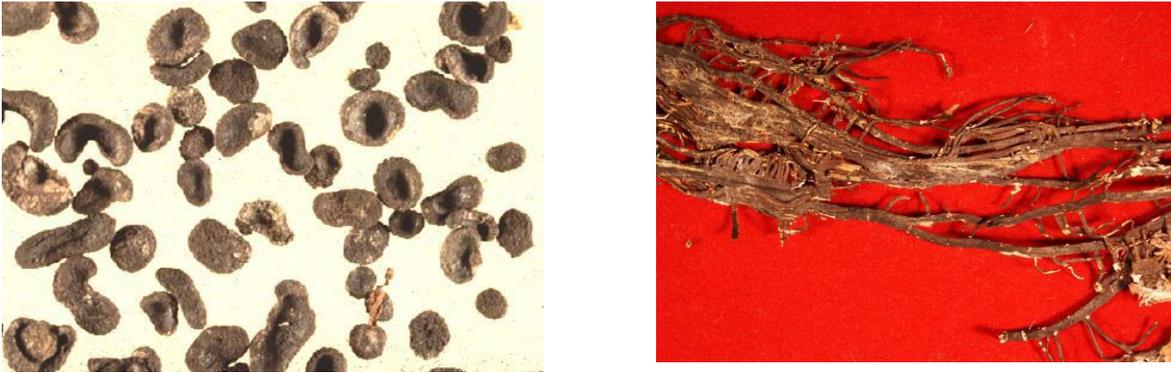


Figure 7: Sclérotes de *Sclerotinia sclerotiorum* (gauche), Rhizomorphes : cordons ramifiés subcorticaux (droite)

I.1.2 Structure de la cellule

I.1.2.1 Noyau

Les compartiments hyphaux des champignons peuvent contenir un, deux ou plusieurs noyaux. Les noyaux fongiques sont d'habitude petits (2-3 μm de diamètre) comparés à ceux des animaux et des plantes et ils ont comparativement de petits chromosomes. Bien que généralement de forme sphérique à ovoïde, les noyaux ont des structures extrêmement plastiques qui sont capables de passer à travers les minuscules pores septaux. La plupart des champignons sont haploïdes, mais certains autres peuvent alterner entre des générations haploïdes et diploïdes.

I.1.2.2 Paroi

La paroi fongique est formée essentiellement de polysaccharides (80 à 90%), mais aussi de faibles teneurs de protéines et beaucoup moins de lipides. Les polysaccharides de la paroi sont différents suivant les grands groupes fongiques. La majorité des champignons vrais, à l'exception des *Zygomycota*, ont typiquement la chitine et les glucanes comme polysaccharides essentiels de leur paroi.

La chitine est aussi le constituant majeur de l'exosquelette des insectes et d'autres arthropodes ; il s'agit d'un polymère linéaire de polysaccharide azoté, la *N* acétylglucosamine ; les sous-unités étant liées par des ponts B 1,4-glycosidiques.

Les glucanes sont des polymères ramifiés formés de monomères de glucose. Ils consistent essentiellement en une chaîne principale avec des ponts B-1,3 (ou rarement B-1,4) à laquelle sont liés des chaînes latérales avec des liaisons B-1,6.

La paroi des *Zygomycota* est typiquement un mélange de chitine, de chitosane et de polymères d'acides uroniques (par exemple l'acide glucuronique) au lieu du mélange de chitine et de glucanes. Le chitosane consiste en une forme de chitine faiblement ou non acétylée, formant un polymère essentiellement de B-1,4- glucosamine.

La paroi des pseudo-champignons *Oomycota* contient la cellulose au lieu de la chitine comme composante majeure de la paroi cellulaire. La cellulose, qui est le constituant majeur de la paroi cellulaire des plantes, consiste en un polymère linéaire de B-1,4-glucose.

La paroi des pseudo-champignons *Oomycota* contient la cellulose au lieu de la chitine comme composante majeure de la paroi cellulaire. La cellulose, qui est le constituant majeur de la paroi cellulaire des plantes, consiste en un polymère linéaire de B-1,4-glucose.

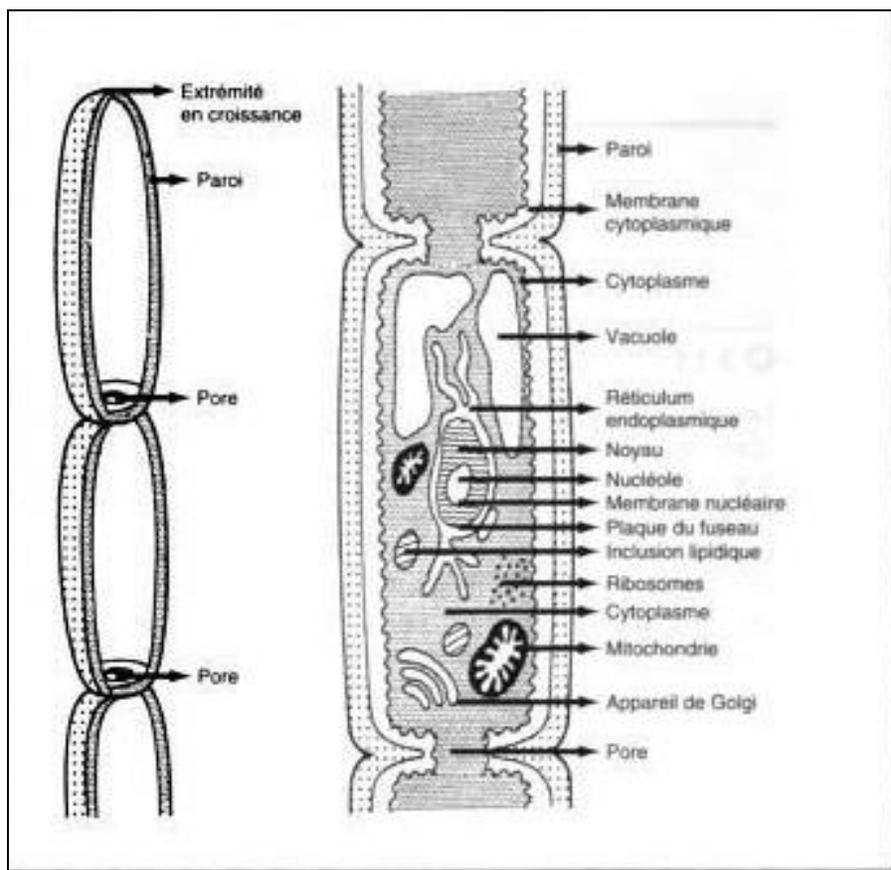


Figure 8 : Structure de la cellule fongique (Lepoivre, 2003)

I.1.2.3 Cloison

La plupart des champignons vrais (*Ascomycota* et *Basidiomycota*) ont des cloisons transversales fréquentes divisant les hyphes en compartiments. Les cloisons sont d'habitude perforées. Les cloisons des *Ascomycota* ont généralement un seul pore central bien que pour certaines espèces, plusieurs perforations peuvent exister. Les pores permettent une continuité cytoplasmique entre les compartiments adjacents. Certains pores centraux uniques sont suffisamment grands pour permettre le passage des organites cytoplasmiques et des noyaux

I.1.2.4 Membrane plasmique

Les champignons ont une membrane plasmique similaire à celle des autres eucaryotes, consistant en une bicouche de phospholipides et des protéines et stéroïdes associés. Cependant, le principal stéroïde membranaire chez les champignons vrais est l'ergostérol et non le cholestérol comme chez les animaux ou les phytostéroïdes du type cholestérol comme chez les plantes. Les pseudo-champignons *Oomycota* ont des stéroïdes comme ceux des plantes dans leur membrane.

I.1.2.5 Inclusions de stockage

Comme les autres organismes eucaryotiques, les champignons accumulent les lipides comme réserve de carbone. Les corps lipidiques, qui sont entourés par une seule membrane, sont rencontrés plus fréquemment dans les spores et les hyphes mûrs ou sénescents. Une autre source de carbone, très répandue chez les champignons, est le polysaccharide glycogène. Des agrégats de glycogène se forment principalement dans les parties les plus âgées des hyphes et dans les cellules reproductives.

I-2 Reproduction chez les champignons

La reproduction est la formation de nouveaux individus ayant toutes les caractéristiques typiques de l'espèce parentale. Les champignons se reproduisent principalement par l'intermédiaire des spores qui sont des structures uni- ou multicellulaires avec diverses formes et tailles, capables de reproduire l'espèce parentale après germination.

Les spores peuvent se former à travers une voie asexuée ou à travers une voie sexuée après fécondation. La reproduction asexuée n'implique pas de caryogamie (fusion des noyaux) et de méiose. Par contre, la reproduction sexuée est caractérisée par l'union de deux noyaux suivie par la

méiose. Cette reproduction sexuée mène à la recombinaison génétique et la formation de nouveaux génotypes qui permettent aux champignons de s'adapter facilement à une multitude de conditions environnementales.

I.2.1 Reproduction sexuée et asexuée

Généralement, les champignons se reproduisent à la fois asexuellement et sexuellement, bien que non nécessairement en même temps. La reproduction asexuée est d'habitude plus importante pour la colonisation du milieu par l'espèce parce qu'elle mène à la production d'un grand nombre d'individus, particulièrement quand le cycle asexuel est répété plusieurs fois durant une saison, tandis que le stade sexué de nombreux champignons peut être produit une fois par saison ou par an.

La reproduction asexuée est dite somatique ou encore végétative, le nom générique des spores asexuées est conidies. La reproduction sexuée génère des spores sexuées dont les plus rencontrées sont :

- Oospore (chez les *Oomycota*)
- Zygosporé (chez les *Zygomycota*)
- Ascospore (chez les *Ascomycota*)
- Basidiosporé (chez les *Basidiomycota*)

I.2.2 Anamorphe et téléomorphe

L'existence de deux formes morphologiques différentes (forme sexuée et asexuée) chez beaucoup de champignons a conduit les mycologues, depuis longtemps à donner double appellation pour une même espèce fongique chez certains groupes fongiques (principalement *Ascomycota* et secondairement *Basidiomycota*) . Le terme anamorphe est utilisé pour le stade asexué ; le terme téléomorphe est utilisé pour le stade sexué ; *Exemple*: l'agent de la septoriose foliaire du blé :

- Téléomorphe:*Mycosphaerella graminicola*
- Anamorphe : *Zymoseptoria tritici*

Les champignons peuvent être soit :

-Monoïques quand un thalle porte à la fois des organes sexués mâle et femelle qui peuvent être compatibles ou non,

-Dioïques quand les organes sexués mâle et femelle sont produit sur des thalles différents.

Sur la base de leur compatibilité sexuelle, les champignons peuvent être :

- Homothalliques c'est à dire que leur thalle est auto-fertile et, de ce fait, il est capable de se reproduire sexuellement par lui même sans le recours d'un autre thalle.
- Hétérothalliques c'est à dire que leur thalle est auto-stérile et exige le recours d'un autre thalle qui lui est compatible pour pouvoir se reproduire sexuellement.

I.2.3 Cycle nucléaire des champignons

D'une manière générale, les organismes qui se reproduisent sexuellement ont des noyaux haploïdes durant la phase gamétophyte et des noyaux diploïdes durant la phase sporophyte du cycle biologique. Les gamètes se forment dans les gamétanges durant la phase haploïde. Celle-ci se termine quand deux cellules sexuelles fusionnent par un processus appelé plasmogamie .

La fusion de deux noyaux est appelé caryogamie. A l'exception des *Oomycota* qui appartiennent au règne *Stramenopila*, le résultat de la fécondation est un zygote qui se développe à l'intérieur de l'organe dans lequel s'effectue la méiose . Les quatre produits de la méiose sont haploïdes et donnent naissance à un thalle végétatif correspondant au gamétophyte.

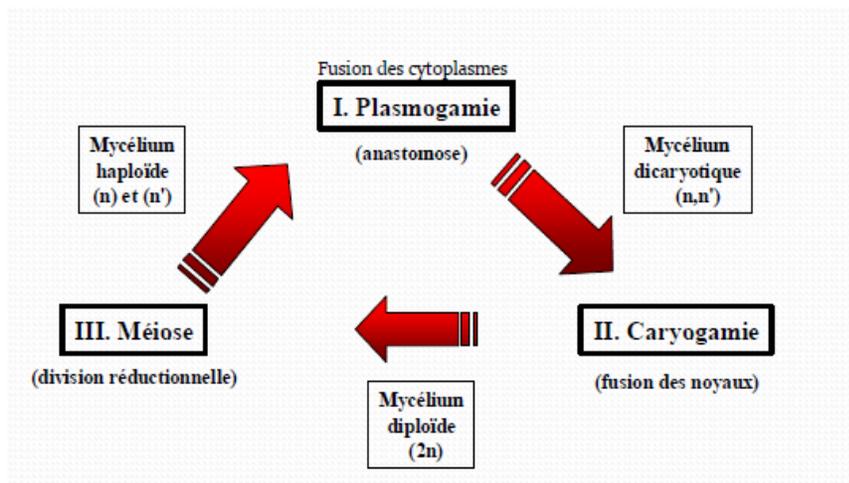


Figure 9 : Cycle nucléaire chez les champignons

I.3 Classification des champignons

Le règne *Fungi* est apparu pour la première fois avec la classification de Whittaker en 1969 qui a divisé le monde vivant en cinq règnes, avec l'un de ces règnes réservé aux champignons qui sont ainsi séparés du règne végétal.

Cette proposition a été basée sur les différences fondamentales entre les champignons (hétérotrophes et chémotrophes) et les plantes (autotrophes et phototrophes).

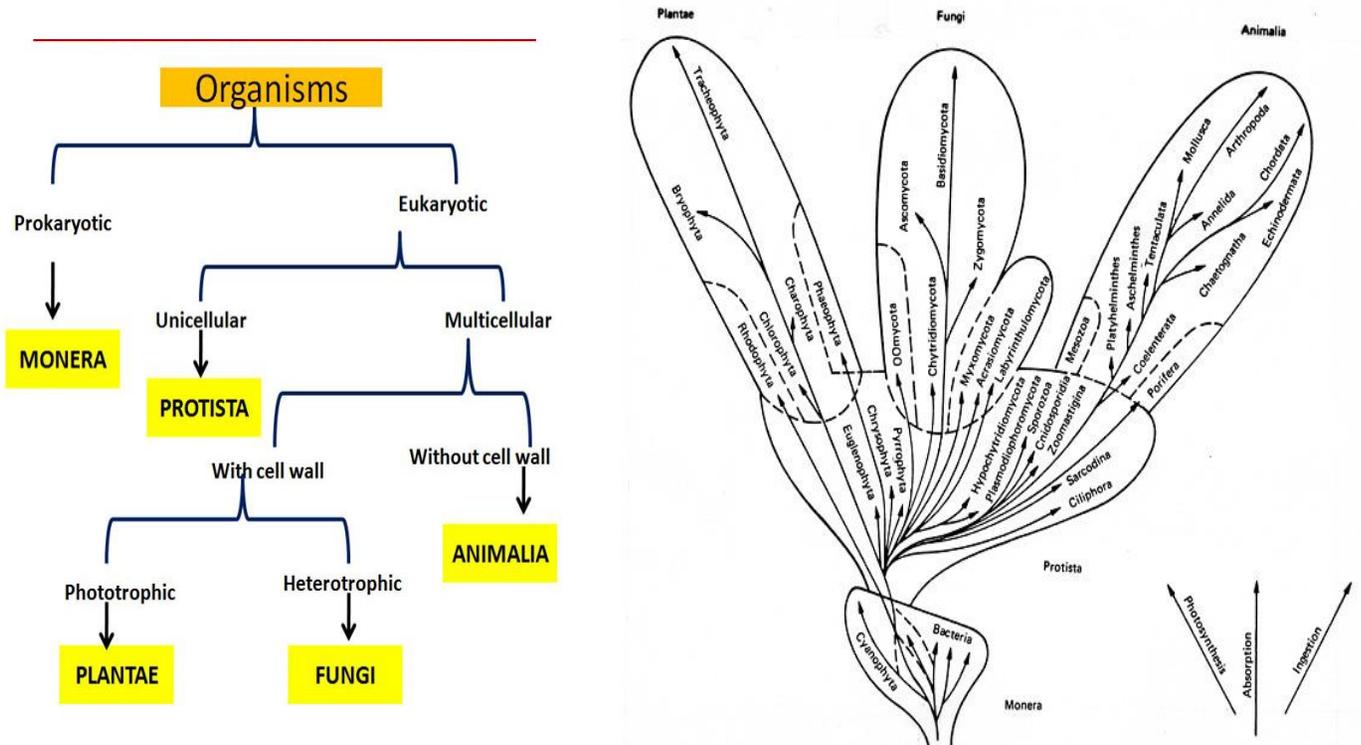


Figure 10 : Classification des organismes vivants selon Whittaker 1969

La classification de Whittaker rapidement adoptée par les mycologues n'a pas duré longtemps et un 2ème grand changement a eu lieu pendant les années 90 sur la base des nouvelles techniques moléculaires. Ces nouvelles techniques ont permis de constater que le monde fongique est polyphylétique. En effet, en plus du règne des champignons (vrais), il y a des espèces supposées longtemps être fongiques qui se sont avérées appartenir à 2 autres règnes non fongiques : *Chromista* (appelé également *Stamenopila* englobant également les algues) et *Protozoa* (renfermant les protozoaires).

Donc, les organismes traditionnellement appelés champignons sont réparties dans trois règnes : *Fungi*, *Stramenopila* (= *Chromista*) et *Protozoa*

-Le règne *Fungi* comprend huit phyla dont cinq seulement contiennent des agents phytopathogènes. Il s'agit des phyla *Chytridiomycota*, *Blastocladiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota* et *Basidiomycota*

-Le règne *Stramenopila* (= *Chromista*) est divisé en trois phylums : *Hyphochytridiomycota*, *Labyrinthulomycota* et *Oomycota*. Seul ce dernier phylum des *Oomycota* contient des phytopathogènes.

-Le règne *Protozoa* composé de plusieurs phyla . Seul le phyla *Plasmodiophoromycota* contient quelques espèces phytopathogènes

Tableau 1 : Evolution de la classification des organismes vivants

Haeckel 1866 3 règnes	Chatton 1925 2 empires	Copeland 1938 4 règnes	Whittaker 1969 5 règnes	Woese et al. 1977 6 règnes	Woese et al. 1990 3 domaines	Cavalier-Smith 1993 2 empires et 8 règnes		Cavalier-Smith 1998 2 empires et 6 règnes		Ruggiero et al. 2015 2 empires et 7 règnes	
Protista	Prokaryota	Monera	Monera	Eubacteria	Bacteria	P r o k a r y o t a	Eubacteria	P r o k a r y o t a	Bacteria	P r o k a r y o t a	Bacteria
				Archaeobacteria	Archaea		Archaeobacteria				Archaea
Plantae	Eukaryota	Plantae	Protoctista	Protista	Eucarya	E u k a r y o t a	Archezoa	E u k a r y o t a	Protozoa	E u k a r y o t a	Protozoa
			Plantae	Plantae			Chromista		Chromista		
Animalia	Eukaryota	Plantae	Fungi	Fungi	Eucarya	E u k a r y o t a	Plantae	E u k a r y o t a	Plantae	E u k a r y o t a	Plantae
			Fungi	Fungi			Fungi		Fungi		
Animalia		Animalia	Animalia	Animalia			Animalia		Animalia		Animalia

I.4 Interaction plante champignon phytopathogène - plante

I.4.1 Etapes de l'infection fongique

L'infection d'une plante par un champignon pathogène passe par plusieurs étapes telles que : la fixation du champignon sur le végétal, la germination des spores fongiques, la formation de l'appressorium, la pénétration

I.4.1.1 Fixation des spores sur la surface végétale

A la surface des feuilles, les spores des champignons pathogènes sont rapidement fixées à la cuticule de l'hôte et résistent au lavage de la surface. Cette fixation est assurée par un phénomène d'adhésion mis en évidence chez plusieurs champignons. Ce phénomène est assuré par plusieurs facteurs :

- La nature hydrophobe de la cuticule
- Des composées fongiques hydrophobes (molécules adhésives) qui sont de nature protéique ou glycoprotéique ; parmi ces molécules, les plus connues sont les hydrophobines (protéine hydrophobes de petite taille 96 à 157 acides aminés riches en cystéine).
- De matériaux adhésifs constitués d'un mucilage formé de polysaccharides ou de glycoprotéines.
- Interaction moléculaire (lectine de l'hôte et polysaccharides du parasite, réaction enzyme- substrat).

I.4.1.2 Germination des spores

La germination d'une spore aboutit généralement à la formation d'un tube germinatif qui apparaît en quelques heures après que la spore ait été placée dans les conditions favorables .

Un état de dormance des spores peut retarder la germination : exemple : l'auto inhibition des urédospores des rouilles et téliospore de charbon qui sera levé après dispersion des spores dans l'eau.

La germination des spores débute par un gonflement des spores qui est du à la pénétration de l'eau (hydratation) suivie de l'élongation du tube germinatif. La plus part des champignons exige une humidité relative supérieure à 90% pour la germination.

I.4.1.3 Formation de l'appressorium

Lors de la pénétration dans la feuille, que ce soit par percement de la cuticule (pénétration directe) ou par passage entre les cellules de garde d'un stomate (pénétration indirecte), le tube germinatif forme généralement une structure plus ou moins différenciée, l'**appressorium**.

L'appressorium est un renflement du tube germinatif parfois entouré de mucilage pour améliorer l'adhésion.

I.4.1.4 Pénétration

La pénétration peut se réaliser par les ouvertures naturelles : on parle dans ce cas d'une pénétration indirecte, par le tube germinatif de plusieurs pathogènes (rouille, cercosporiose,...) pénètre par les stomates, ou par le percement de la cuticule : on parle dans ce cas d'une pénétration directe.

La cuticule est constituée de polyesters d'acides gras associés à des cires, formant la première barrière susceptible d'arrêter la progression d'un hyphes pénétrant ; la pénétration à travers la cuticule nécessite soit une action mécanique de l'appressorium, soit une action enzymatique.

Pénétration mécanique : Un faisceau de résultats appuie la proposition d'une pénétration de type mécanique chez des champignons dont les parois sont rigidifiées par la présence de mélanine.

Pénétration par voie enzymatique : Le rôle de la cutinase (enzyme qui dégrade la cutine) dans la pénétration a été démontré chez plusieurs champignons.

Exception faite pour la pénétration mécanique de *Plasmodiophora* et de *Polymyxa*, il est probable que la pénétration soit le résultat d'actions enzymatiques ramollissant la paroi et de pression mécanique exercée par l'appressorium.

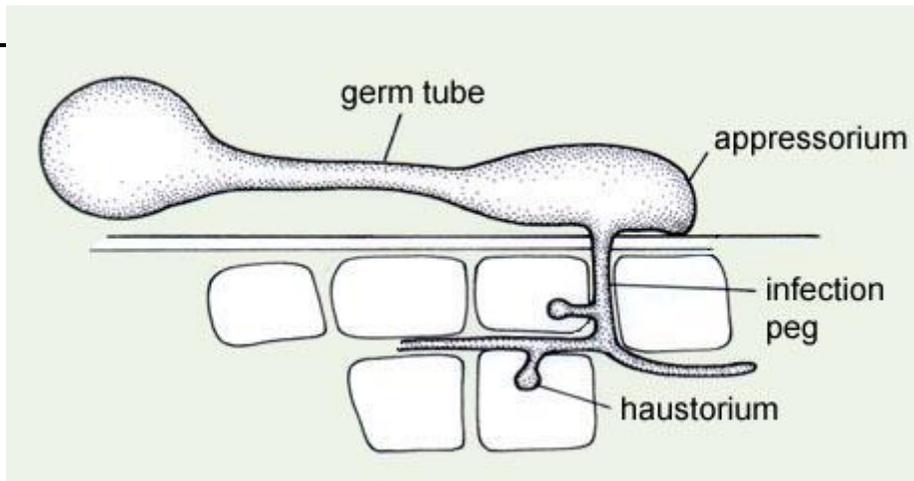


Figure 11: Pénétration directe chez les champignons (Internet : podcastscience.fm)

I.4.1.5 Relation trophique champignons – plantes

Il ya trois type de relation trophique

Un premier type de relation: le développement du champignon se limite à un strome entre la cuticule et l'épiderme qui demeure extérieur au symplasma de l'hôte, c'est le cas *Venturia inaequalis* (*tavelure du pommier*) ou l'hyphe utilise comme base alimentaire les parois des cellules épidermiques grâce à l'action des pectinase

Un second type, représenté essentiellement par les oïdiums, correspond à l'établissement d'une relation trophique limitée aux seules cellules épidermiques, dans lesquelles le champignon développe un suçoir

Un troisième type l'hyphe primaire après pénétration établit une relation trophique avec une première cellule, puis développe des hyphes secondaires intercellulaires qui colonisent progressivement d'autres cellules du mésophylle, c'est le cas des agents des rouilles et des mildious

I.4.1.6 Colonisation de l'hôte

Après la pénétration, le mycélium s'étend à l'intérieur de la plante hôte mais la colonisation ne signifie que rarement l'envahissement complet. Les maladies fongiques sont souvent localisées, c'est l'occupation organotrope.

Exemples

-L'ergot de seigle (*Claviceps sp*) n'envahit que les partie femelles des graminées,

-Les agents du flétrissement (*Fusarium sp*, *Verticillium sp*) se développent dans les vaisseaux conducteurs de sève brute.

I.4.2 Principaux facteurs de pathogénèse chez les champignons

I.4.2.1 Pathotoxines

La pathotoxine une molécule produite par le parasite dans son hôte, et elle est nécessaire au développement total ou partiel de la maladie. Sa production est strictement corrélée au pouvoir pathogène de cette souche. La pathotoxine est un élément important du pouvoir pathogène chez les champignons necrotrophes, et pratiquement inexistante chez les champignons biotrophes.

Exemples de pathotoxines spécifiques

- **Victorine**: produite par *Helminthosporium victoriae* affectant l'avoine variété victoria,
- **Helminthosporoside** produite par *Helminthosporium sacchari* parasite de la canne à sucre.

Exemples de pathotoxines non spécifiques

- Fusicoccine**: toxine de flétrissement produite par *Fusicoccum* ,
- **Cercosporine** : toxine non spécifique produite par plusieurs espèces de *Cercospora* .

I.4.2.2 Enzymes

Les composées pectiques représentent les constituants principaux de la paroi primaires séparant deux cellules végétales adjacentes et sont également présent en faible quantité dans la paroi secondaire de la cellule. Les enzymes agissant sur la paroi primaire: enzymes capables de dégrader la pectine sont:

- Polygalacturonase (PG),
- pectate lyase PL,
- pectine lyase PNL,
- pectine methyesterase PME

La pectine : un polymère d'acides galacturoniques associés par des liaisons α -1,4 .

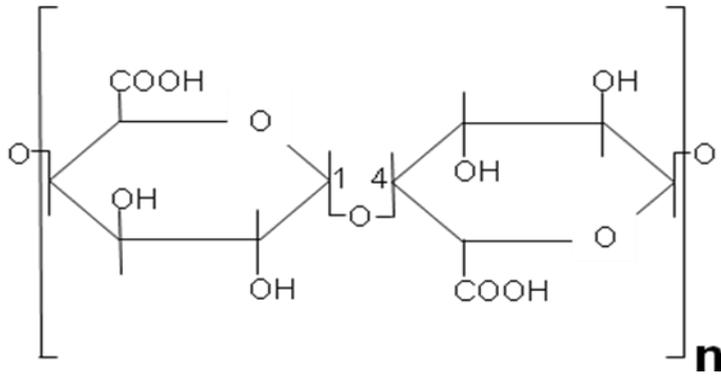


Figure 12 : composition de la pectine (lepoivre, 2003)

Les polygalacturonases PG sont des hydrolases qui clivent les liaisons α -1,4 entre acides galacturoniques en fixant une molécule d'eau. Les pectine-méthylestérases PME déstérifient les pectines préparant ainsi l'action des PG et PL. Les lyases PL clivent les liaisons α -1,4- entre acides galacturoniques par une réaction de β -élimination

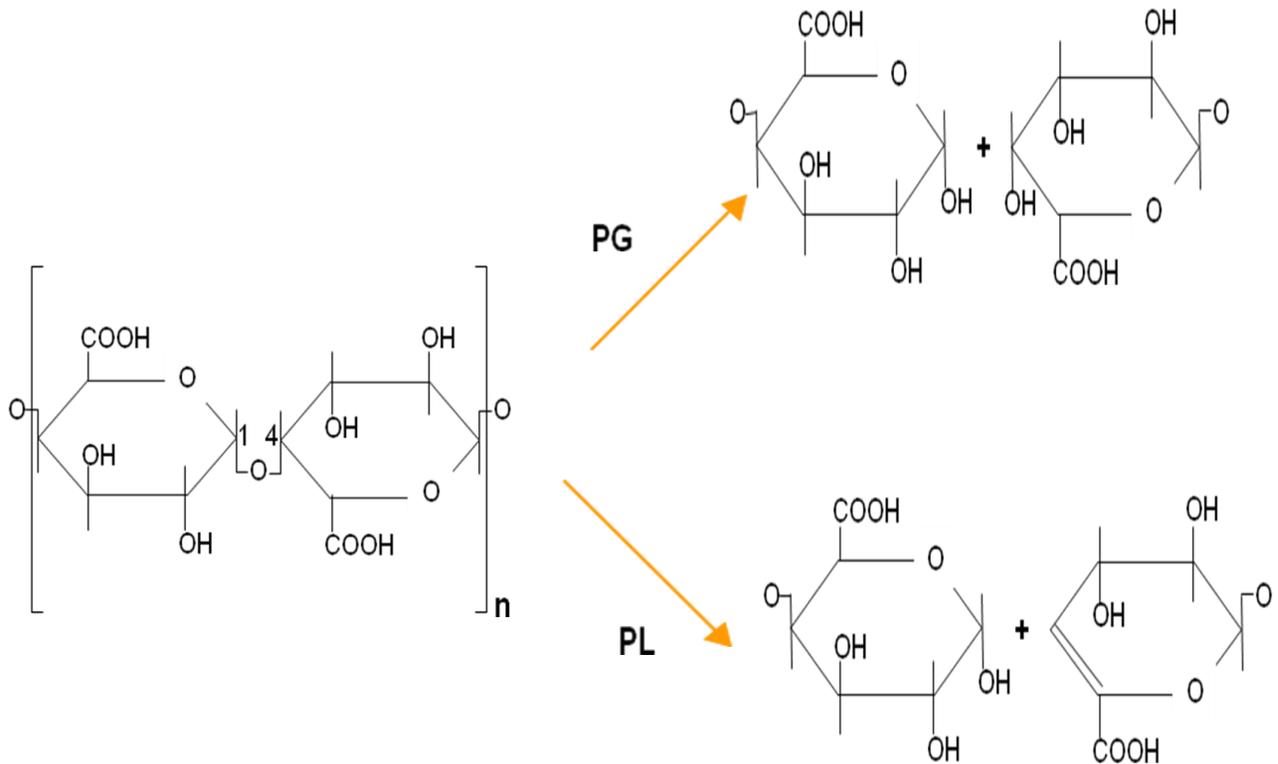


Figure 13 : action des enzymes sur la pectine (lepoivre, 2003)

Les enzymes libèrent des composés pectiques utilisés comme source de carbone. Chez beaucoup d'agents nécrotrophes, l'action des PG et PL permet à l'agent pathogène de tuer les cellules de l'hôte en avant du front d'avancement des hyphes. C'est le cas de *Botrytis fabae*. Les endo-PG produites par des pathogènes vasculaires, peuvent être impliquées dans la formation de gels pectiques qui altèrent la conduction de la sève par les vaisseaux.

Les enzymes agissant sur les parois secondaires des plantes sont les cellulases. Les cellulases sont surtout présentes en abondance chez les champignons altérant le bois.

I.4.3 Réactions de défense de la plante hôtes

Les plantes peuvent présenter des réactions afin d'arrêter le processus infectieux déclenché par les champignons phytopathogènes ; on peut citer :

- Dépôts de callose ou de lignine au contact de l'hyphe ou du suçoir. La callose est un polymère de D-glucose en liaisons β -1,3
- Production des molécules antimicrobiennes (phytoalexine), Les phytoalexines désignent des molécules antimicrobiennes dont la synthèse est induite chez les végétaux en réponse à différents facteurs de stress
- Production des Protéines associées à la résistance tels que :
 - Enzymes hydrolytiques : les β -1,3-glucanases et les chitinases (enzymes capable de endomager la paroi des champignons)
 - Inhibiteurs d'endo-polygalacturonases.

Chapitre II : Règne *FUNGI*

Le règne des vrais champignons (*Fungi*) se divise en 8 phylums dont 5 (*Chytridiomycota*, *Blastocladiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota* et *Basidiomycota*) contient des champignons phytopathogènes et renferme les champignons vrais qui sont des organismes eucaryotes se nourrissant par absorption et caractérisés par des parois cellulaires riches en chitine et β -glucanes, des thalles unicellulaires ou filamenteux et des spores généralement non flagellées.

Les *Ascomycota* et les *Basidiomycota* ont des filaments mycéliens interrompues à des intervalles irréguliers par des cloisons transversales appelée septa ou cloison alors que les *Zygomycota* et certains *Chytridiomycota* et *Blastocladiomycota* montrent des filaments mycéliens coenocytiques ou siphonnées.

Les stades asexués ou anamorphes des *Ascomycota* et de quelques *Basidiomycota* sont habituellement placés séparément dans un groupe artificiel que l'on désigne sous les noms suivants : champignons mitosporiques, champignons imparfaits ou deutéromycètes.

II.1 Phylum *Chytridiomycota*

Le phylum des *Chytridiomycota* se caractérise par un thalle unicellulaire ou mycélien cénocytique et un stade zoospore généralement monoflagellée ou rarement multiflagellée dont les flagelles sont lisses. Les parois cellulaires sont connues contenir la chitine et les glucanes. Ce phylum se divise en 2 classes qui sont les Chytridiomycètes renfermant des pathogènes de plantes et les Monoblépharidomycètes. .

II.1.1 Classe des Chytridiomycètes

La reproduction asexuée des Chytridiomycètes a lieu par l'intermédiaire des zoospores qui se forment dans les sporanges. Ces zoospores postérieurement flagellées peuvent émerger à travers une ou plusieurs papilles quand le sporange se décharge.

La reproduction sexuée des Chytridiomycètes est accomplie par une variété de méthodes.. Dans cette reproduction, la conjugaison peut être planogamétique où la conjugaison a lieu entre des

planogamètes isogames (gamètes morphologiquement similaires) ou des planogamètes anisogames (gamètes morphologiquement différents). La copulation peut aussi avoir lieu quand un gamète mâle mobile (anthérozoïde) libéré à partir d'un gamétange mâle, féconde un gamète femelle non mobile (oeuf). Chez des formes plus évoluées, la conjugaison est gamétangique et est accomplie par le transfert d'un protoplaste entier d'un gamétange dans un autre.

La classe des Chytridiomycètes renferme plusieurs ordres parmi lesquels 2 contiennent des phytopathogènes : Chytridiales, Spizellomycetales.

Ordre des Chytridiales

Dans l'ordre de Chytridiales, les espèces phytopathogènes existent dans la famille des Synchytriacées . On peut citer l'exemple de l'espèce *Synchytrium endobioticum*, agent causal de la galle verruqueuse ou galle noire de la pomme de terre qui s'attaque aux tubercules et aux stolons sur lesquelles il provoque des hypertrophies et des hyperplasies.



Figure 14 : Symptôme de *Synchytrium endobioticum* sur pomme de terre
(<https://gd.eppo.int/taxon/SYNCEN/photos>)

Ordre des Spizellomycetales

Dans l'ordre des Spizellomycetales, les espèces phytopathogènes existent dans la famille des Olpidiacées : on peut signaler *Olpidium brassicae* qui infecte les racines du chou et d'autres plantes (lin, capselle, betterave).

Certaines espèces appartenant aux genres *Olpidium* et *Synchytrium* sont des agents vecteurs de virus phytopathogènes.

II.2 Phylum *Blastocladiomycota*

Les *Blastocladiomycota* faisaient partie des *Chytridiomycota* en tant qu'ordre des Blastocladales. Ils en sont séparés pour former un phylum contenant une seule classe.

II.2.1 Classe des Blastocladiomycètes

La classe des Blastocladiomycètes referme un seul ordre dont l'une des familles contient des phytopathogènes.

Ordre des Blastocladales

Famille des Physodermatacées : Cette famille contient des phytopathogènes appartenant au genre *Physoderma*. Exemples :

- *Physoderma alfalfae* : agent de la tumeur marbrée de la luzerne,
- *Physoderma maydis* : agent des taches brunes du maïs.





Figure 15: Symptôme de *Physoderma maydis* agent de la taches brune du maïs sur fruits et feuille

II.3 Phylum *Zygomycota*

Ce phylum comporte quatre sous phylum dont un seul comporte des espèces phytopathogènes c'est le sous phylum *Mucoromycotina*.

II.3.1 Sous phylum de *Mucoromycotina*

Etant zygomycota, les *Mucoromycotina* possèdent un mycélium siphonné. La reproduction sexuée s'effectue par la fusion de deux gamétanges identiques et aboutit à la formation de **zygosporanges** contenant des **zygospores**. Celles-ci germent pour donner un tube germinatif court qui se termine par un sac ou sporange contenant des **sporangiospores**. La reproduction asexuée se réalise par les sporangiospores qui sont non mobiles car dépourvues de flagelles. Après leur libération du sporange, les sporangiospores germent pour donner un mycélium haploïde qui produit à son tour des sporanges sur des filaments spécialisés ou **sporangiohores**. Chez certains genres, il peut se différencier à la base des sporangiohores, des **rhizoïdes** qui pénètrent dans le substrat.

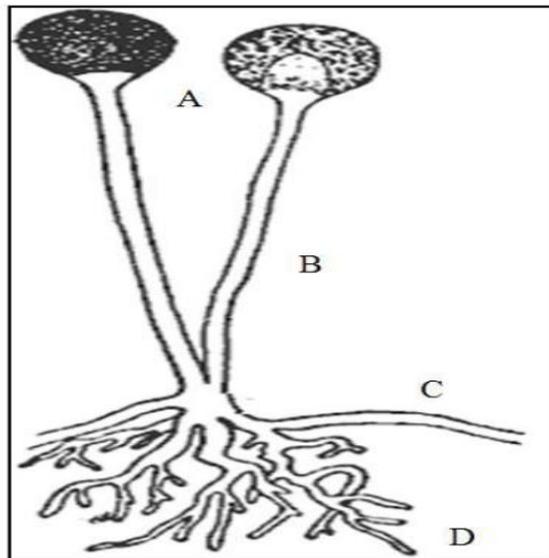


Figure 16 : Soporanges (A), Sporangiohore (B), Stolon (C) et Rhizoïdes (D) de *Mucoromycotina* (Nasraoui, 2015)

Le sous-phylum des *Mucoromycotina* renferme 3 ordres dont seul l'ordre des Mucorales contient des espèces pathogènes de plantes.

Ordre des Mucorales

L'ordre des Mucorales renferme plusieurs familles dont les plus importantes sont celles des Choanéphoracées et des Mucoracées. Ces dernières renferment des pathogènes qui attaquent les produits végétaux en cours de stockage.

Famille des Choanéphoracées : Les Choanéphoracées contiennent des phytopathogènes qui appartiennent aux genres *Choanephora* et *Gilbertella*. Exemples :

- *Choanephora cucurbitarum* : agent de la pourriture des fruits des cucurbitacées,
- *Gilbertella persicaria* : agent de la pourriture des pêches.



Figure 17 : symptôme de la pourriture des pêches causée par *G. persicaria* (a) sporange (b) et zygospore (c) (Internet : zygomycetes.org)

Famille des Mucoracées : La famille des Mucoracées renferme des espèces qui sont phytopathogènes. Elles appartiennent aux genres *Mucor* ou *Rhizopus*. Exemples :

- *Mucor racemosus* : agent de la moisissure des fruits stockés,
- *Rhizopus stolonifer* : agent de la moisissure des fraises et des pommes de terre stockée



Figure 18 : Dégât de *Rhizopus stolonifer* sur fraise (Internet: zygomycetes.org)

II.4 Phylum Ascomycota

Le phylum des *Ascomycota* est le plus grand groupe des champignons avec plus de 60000 espèces dont un nombre élevé est formé de pathogènes de plantes. Les caractéristiques les plus communes de ce phylum sont la production d'ascospores

Le thalle des *Ascomycota* peut être unicellulaire ou le plus souvent mycélien. Les parois cellulaires contiennent principalement la chitine. Les hyphes des *Ascomycota* sont divisés en compartiments par des cloisons contenant d'habitude, au niveau de leur centre, un petit pore circulaire qui permet une continuité cytoplasmique entre les cellules des hyphes. . Les *Ascomycota* peuvent produire des structures mycéliennes spécialisées telles que les appressories, les haustories et les hyphopodes. Chez certaines espèces, les hyphes mycéliens peuvent se développer en sclérotés.

Dans ce phylum, la méiose prend place après la caryogamie dans une structure en forme de sac appelé **asque**. Les **ascospores** se forment à l'intérieur de l'asque d'une manière endogène. Les asques des *Ascomycota* peuvent être nus ou enfermés à l'intérieur de fructifications sexuées appelées **ascocarpes** (Gr. *askos* = sac + *karpos* = fruit).

II.4.1 Caractéristiques des *Ascomycota*

Les *Ascomycota* sont caractérisés par :

- la formation d'asque contenant des ascospores (spores sexuées = méiospores) typiquement 8 ascospores/asque
- les hyphes septées renfermant des noyaux haploïdes
- des asques habituellement formés dans un ascoma microscopique ou macroscopique appelé également ascocarpe

Il existe trois types d'asques chez les *Ascomycota*:

1. Asque prototuniqué : Asque à paroi fine, Ascospores libérées par rupture de la paroi
2. Asque unituniqué : Paroi interne et externe de l'asque ne se séparent pas durant la libération des ascospores. L'asque et les ascospores sont libérées à travers un pore, fente ou opercule terminal.
3. Asque bituniqué : Appelé aussi asque "Jack-in-the Box", constitué de deux parois une interne (endotunique) fine et extensible, et l'autre externe (exotunique) épaisse et rigide, Les parois interne et externe se séparent durant la libération des ascospores.
- 4.

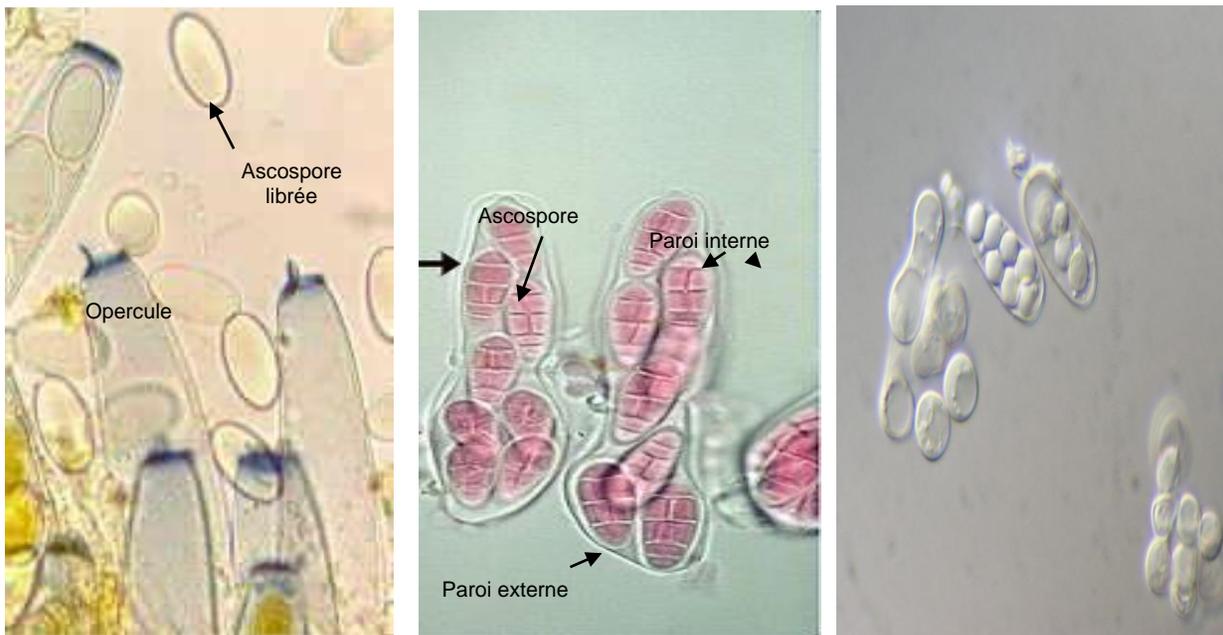


Figure 19 : Trois types d'asques : unituniqué (gauche) ; bituniqué (centre); prototuniqué (droite)

Sur la base de la structure et de la morphologie des ascocarpes, on peut distinguer quatre groupes d'ascomycètes:

1. Les “**plectomycètes**” dont les ascocarpes appelés **cléistothèce**, sont entièrement clos et renferment des asques dispersés dans la fructification et non disposés en un **hyménium**.
2. Les “**discomycètes**” dont les ascocarpes appelés **apothécie** sont en forme de coupe ou de disque complètement ouverts et dont les asques forment un hyménium.
3. Les “**loculoascomycètes**” dont l'ascocarpe est un **ascostroma ou pseudothèce** c'est à dire une masse stromatique à l'intérieur de laquelle se forme un ou plusieurs locules (cavités) par résorption du tissu central.
4. Les “**pyrénomycètes**” dont les ascocarpes sont des **périthèces** c'est à dire des fructifications sexuées, fermées ou plus généralement ouvertes par un **ostiole** et dont les asques sont disposés en une couche fertile ou hyménium.

Un hyménium (pl. hymenia; Gr *hymen* = membrane, couche fertile constituée par des asques). La plupart des ascocarpes forment, en plus des asques, des filaments stériles appelés **paraphyses** dans le cas des périthèces et des apothécies, et **pseudoparaphyses** dans le cas des pseudothèces

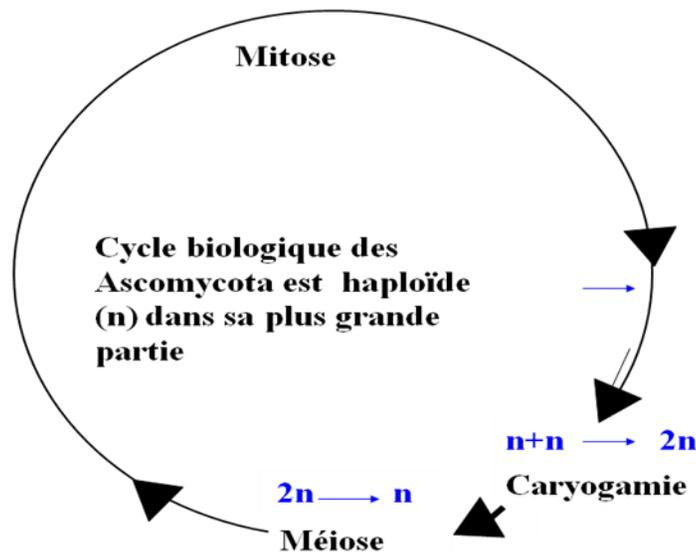


Figure 20: Cycle biologique des *Ascomycota*

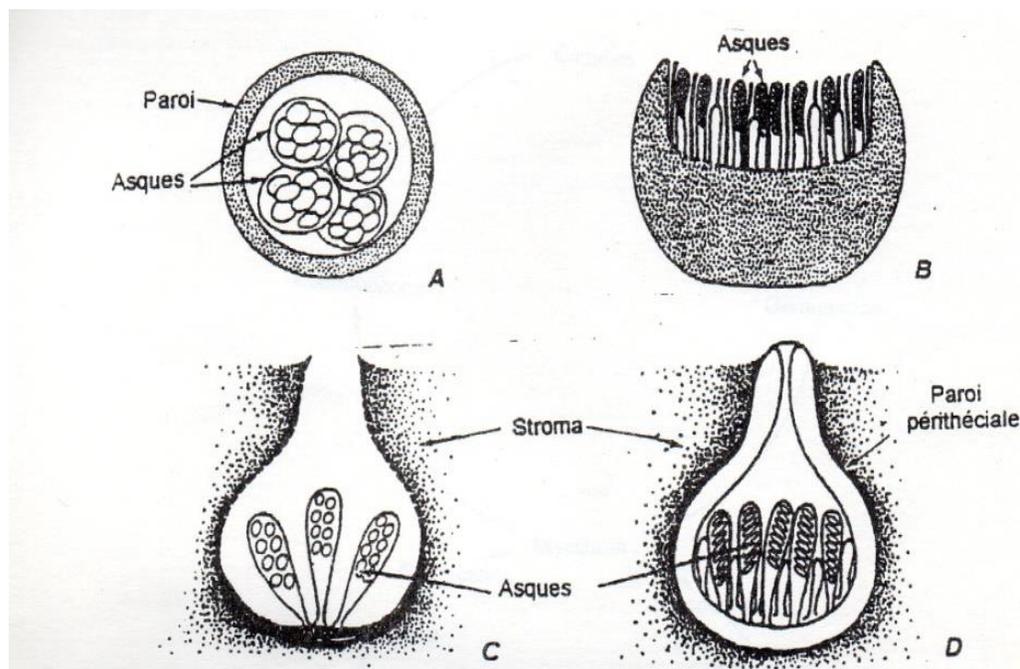


Figure 21: les différents types d'ascocarpes des *Ascomycota* (A) Cléistothèce, (B) Apothécie, (C) Ascostroma, (D) Périthèce (Moore-Landecker, 1972)

II.4.2 Classification des *Ascomycota*

Pendant plus d'un siècle, les *Ascomycota* étaient groupés sur la base de la morphologie des ascocarpes et l'arrangement des asques. Mais la révolution moléculaire pendant la dernière décennie, a éclairci la systématique des *Ascomycota* en permettant de classer les taxons selon leurs phylogénies. Les techniques moléculaires ont ainsi permis de résoudre le problème chronique de la classification des Champignons Anamorphes en les rattachant d'une façon claire et évidente à leurs téléomorphes même si ces derniers ne sont pas observés dans la nature.

Les données moléculaires ont permis de diviser le phylum des *Ascomycota* en 3 sous-phylums monophylétiques : les *Saccharomycotina*, les *Taphrinomycotina* et les *Pezizomycotina*. Ces 3 sous-phylums se divisent eux-mêmes en 15 classes. Les *Saccharomycotina* renferment une seule classe, qui est la classe sans ascocarpe des Saccharomycètes formée par les levures bourgeonnantes.

Le sous-phylum des *Taphrinomycotina* comporte 4 classes caractérisées par l'absence d'ascocarpe et qui sont les Néoelectomycètes, les Pneumocystidomycètes, les Schizosaccharomycètes (levures se divisant par scissiparité) et les Taphrinomycètes. Seule la classe des Taphrinomycètes qui renferme des pathogènes de plantes sera détaillée.

Le sous-phylum des *Pezizomycotina* renferme 10 classes caractérisées par la présence d'ascocarpes. Il s'agit des classes des Arthoniomycètes (lichens), des Dothidéomycètes, des Eurotiomycètes, des Laboulbénomycètes (entomopathogénie), des Lécanoromycètes (lichens), des Léotiomyètes, des Lichinomycètes (lichens), des Orbiliomycètes (prédation des nématodes), des Pézizomycètes (saprotrophie) et des Sordariomycètes. La plupart des pathogènes des plantes sont classés dans 4 classes qui sont les Dothidéomycètes, les Eurotiomycètes, les Léotiomyètes et les Sordariomycètes et qui seront développées dans ce qui suit.

II.4.3 Sous phylum *Taphrinomycotina*

Les *Taphrinomycotina* comportent la classe des Taphrinomycetes qui renferme un seul ordre.

II.4.3.1 Classe des Taphrinomycetes

Ordre des Taphrinales

L'ordre des Taphrinales renferme des espèces qui ont un mycélium subcuticulaire ou subépidermique, composé de cellules dicaryotiques ascogènes. L'ascocarpe est absent. Les anamorphes sont des types de levures et sont monocaryotiques. Ils se forment par bourgeonnement des ascospores. Les Taphrinales sont d'habitude des pathogènes biotrophes des plantes. Elles sont divisées en deux familles : Protomycétacées et Taphrinacées

-Famille de Protomycetaceae : renferment des parasites biotrophes des espèces végétales appartenant aux familles des Umbelliferae et des Asteraceae.

-Les Taphrinaceae renferment un seul genre, *Taphrina*. Les espèces appartenant au genre *Taphrina* parasitent notamment les arbres fruitiers où elles provoquent des déformations importantes comme les cloques sur les feuilles, les balais de sorcière sur les rameaux et les pochettes sur les fruits. Exemple : *Taphrina bullata* : agent de la cloque du poirier,

- *Taphrina cerasi* : agent du balai de sorcière du cerisier,
- *Taphrina deformans* : agent de la cloque du pêcher,
- *Taphrina pruni* : agent des pochettes du prunier.

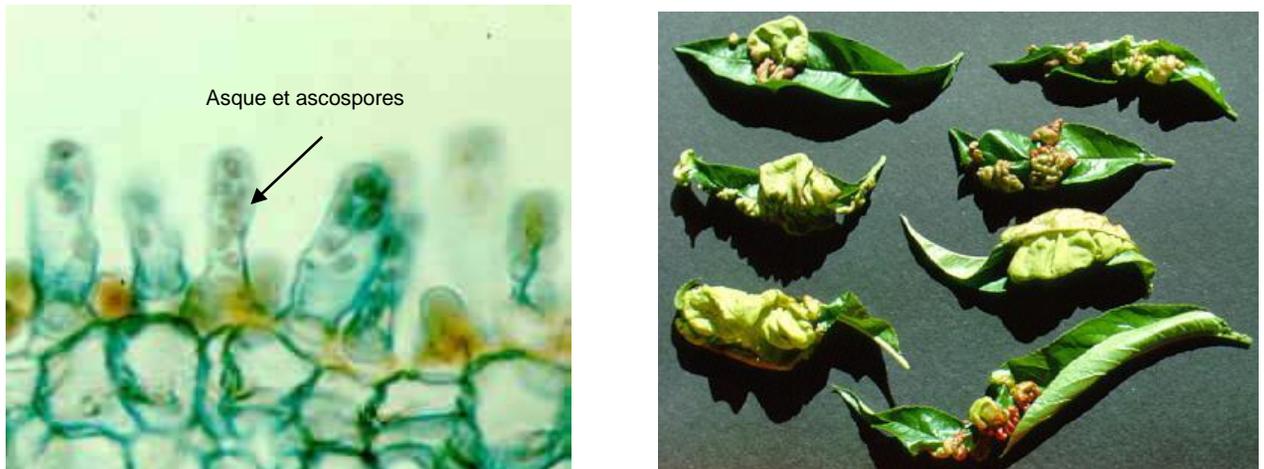


Figure 22: Cloque de pêcher causée par *Taphrina deformans* : (a) coupe transversale de feuille, (b) symptômes sur feuille (Ogawa et al., 1995)

II.4.4 Sous phylum *Pezizomycotina*

II.4.4.1 Classe des *Dothideomycetes*

Les Dothidéomycètes forment la classe la plus grande et la plus diversifiée des *Ascomycota*. L'ascocarpe peut être cléistothécique, périthécique, apothécique ou surtout pseudothécique (ascostroma). En particulier, cette classe renferme la plupart des Loculoascomycètes. Beaucoup de phytopathogènes existent principalement dans les ordres des Botryosphaeriales, des Capnodiales, des Myriangiales et des Pléosporales

- **Ordre des Botryosphaeriales (ou Dothidéales)**

L'ordre des Botryosphaeriales renferme de nombreuses espèces pseudothéciques. Les phytopathogènes existent majoritairement dans la famille des Botryosphaeriacées.

Famille des Botryosphaeriacées : Cette famille contient des pathogènes de plantes dans les genres *Botryosphaera* et *Guignardia*. Exemples :

- *Botryosphaeria* (anamorphe : *Fusicoccum amygdalinum*) : agent du chancre du pêcher,

-*Guignardia bidwellii* (anamorphe : *Phyllosticta ampellicida*) : agent de la pourriture noire de la vigne

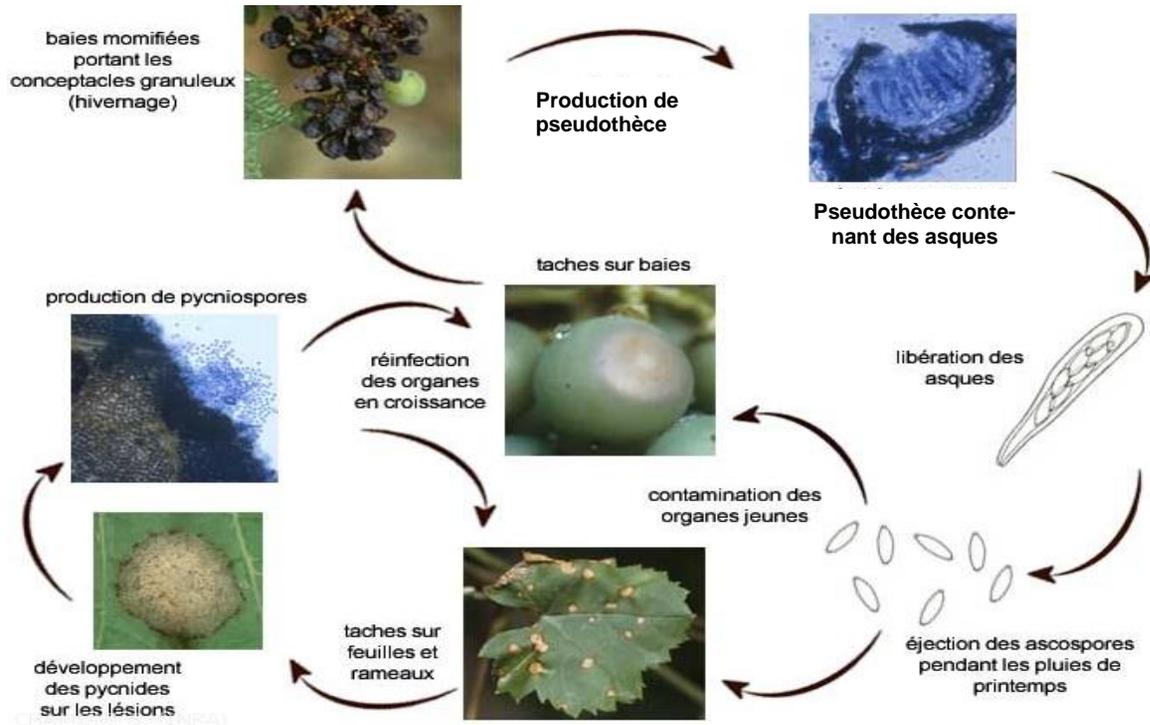


Figure 23 : cycle de *Guignardia bidwellii* agent de la pourriture noire de la vigne (Blancard, 2017)

• Ordre des Capnodiales

L'ordre des Capnodiales renferme beaucoup d'espèces à ascocarpe pseudothécique ou périthécique. Plusieurs familles existent dans cet ordre dont celles des Davidiellacées et des Mycosphaerellacées contenant de nombreux phytopathogènes.

Famille des Davidiellacées : la famille des Davidiellacées renferme des espèces pathogènes de plantes du genre *Davidiella*. Exemple :

-*Davidiella* (anamorphe : *Cladosporium cucumerinum*) : agent de la cladosporiose des cucurbitacées.

Famille des Mycosphaerellacées : Cette famille contient des espèces pathogènes de plantes principalement dans le genre *Mycosphaerella*. Exemples :

- *Mycosphaerella angulata* (anamorphe : *Pseudocercospora brachypus*) : agent des taches angulaires de la vigne,

- *Mycosphaerella fragariae* (anamorphe : *Ramularia fragariae*) : agent des taches foliaires du fraisier,
- *Mycosphaerella graminicola* (anamorphe : *Zymoseptoria tritici*) : agent de la septoriose du blé.



Figure 24: symptômes de *Mycosphaerella graminicola* sur feuille (gauche et centre) ; ascocarpe(a), asque(b), ascospore (c et d) de *M. graminicola* (à droite) (Wiese, 1987 ; Pastircak , 2005)

• Ordre des Myriangiales

L'ordre des Myriangiales contient plusieurs espèces à ascocarpes du type pseudothèce. Les pathogènes de plantes sont connus dans la famille des Elsinoacées

Famille des Elsinoacées : La famille des Elsinoacées renferme des phytopathogènes qui appartiennent au genre *Elsinoë*. Exemple :

- *Elsinoë ampelina* (anamorphe : *Sphaceloma ampelinum*) : agent de l'antracnose de la vigne,

• Ordre des Pléosporales

L'ordre des Pléosporales contient un très grand nombre d'espèces à ascocarpes pseudothéciques, rarement cleistothéciques. Cet ordre renferme un nombre élevé de familles dont les plus importantes qui contiennent des phytopathogènes sont les Leptosphaeriaceae, les Mélanommataceae, les Phaeosphaeriaceae, les Pléosporaceae et les Venturiaceae.

Famille des Didymellaceae : Cette famille renferme des phytopathogènes dans le genre *Didymella*. Exemples :

- *Didymella* (anamorphe : *Ascochyta hordei*) : agent de l'antracnose de l'orge,

- *Didymella* (anamorphe : *Ascochyta pisi*) : agent de l'antracnose du pois,
- *Didymella lycopersici* (anamorphe : *Phoma lycopersici*) : agent de la phomose de la tomate.



Figure 25 : Symptômes de la phomose de la tomate causée par *Didymella lycopersici* (Schwartz et al., 2005)

Famille des Leptosphaeriacées : La famille des Leptosphaeriacées renferme des phytopathogènes appartenant majoritairement au genre *Leptosphaeria*. Exemples :

- *Leptosphaeria avenaria* (anamorphe : *Septoria avenae*) : agent de la septoriose de l'avoine,
- *Leptosphaeria coniothyrium* (anamorphe : *Sphaeria coniothyrium*) : agent du chancre du rosier,
- *Leptosphaeria maculans* (anamorphe : *Phoma lingam*) : parasite des crucifères

Famille des Mélanommatacées : La famille des Mélanommatacées contient des phytopathogènes du genre *Herpotrichia*. Exemple :

- *Herpotrichia* (anamorphe : *Pyrenochaeta lycopersici*) : agent des taches brunes de la tomate.

Famille des Phaeosphaeriacées : Cette famille renferme des phytopathogènes appartenant majoritairement au genre *Phaeosphaeria*. Exemple :

- *Phaeosphaeria nodorum* (anamorphe : *Parastagonospora nodorum*) : pathogène (anciennement agent de la "septoriose" des épis) du blé.

Famille des Pléosporacées : La famille des Pléosporacées renferme des phytopathogènes dans les genres *Cochliobolus*, *Lewia*, *Pleospora* et *Pyrenophora*. Exemples :

- *Cochliobolus carbonum* (anamorphe : *Bipolaris zeicola*) : agent des taches foliaires du maïs,
- *Lewia* (anamorphe : *Alternaria alternata*) : agent de l'alternariose de nombreuses espèces végétales,
- *Pleospora alfalfae* (anamorphe : *Stemphylium alfalfae*) : pathogène de la luzerne,
- *Pyrenophora graminea* (anamorphe : *Drechslera graminea*) : agent de la striure foliaire (ou helminthosporiose) de l'orge,
- *Pyrenophora tritici-repentis* (anamorphe : *Drechslera tritici-repentis*) : agent des taches jaunes ou bronzées (ou helminthosporiose) du blé.

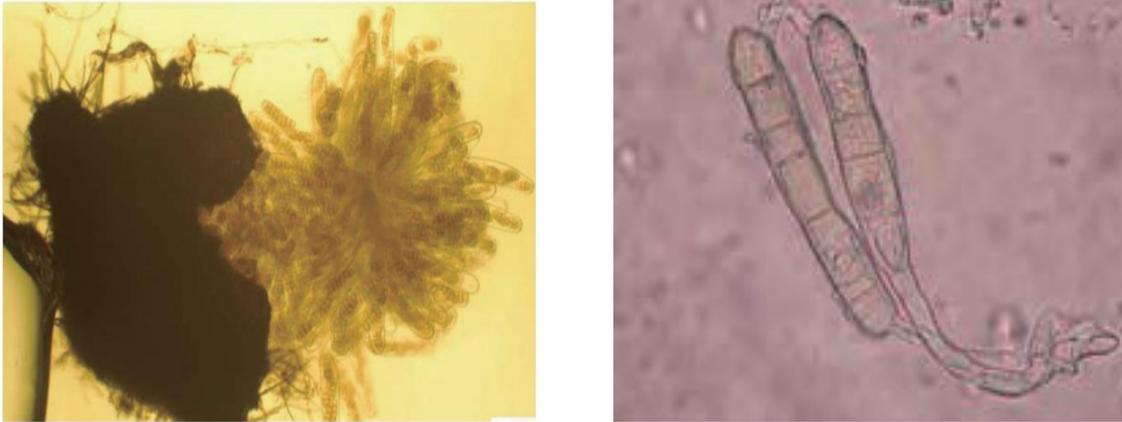


Figure 26 : Pseudothèque avec asques (*gauche*), conidies cloisonnées (*droite*) de *Pyrenophora tritici-repentis* (Benslimane, 2014 ; Bouakaz et Oussaid , 2013)

Famille des Venturiacées : Cette famille renferme des espèces phytopathogènes qui appartiennent aux genres *Acantharia* et *Venturia*. Exemples :

- *Acantharia* (anamorphe : *Fusicladium oleagineum*) : agent de l'oeil du paon de l'olivier,
- *Venturia inaequalis* (anamorphe : *Spilocaea pomi*) : agent de la tavelure du pommier,
- *Venturia pirina* (anamorphe : *Fusicladium pyrorum*) : agent de la tavelure du poirier.

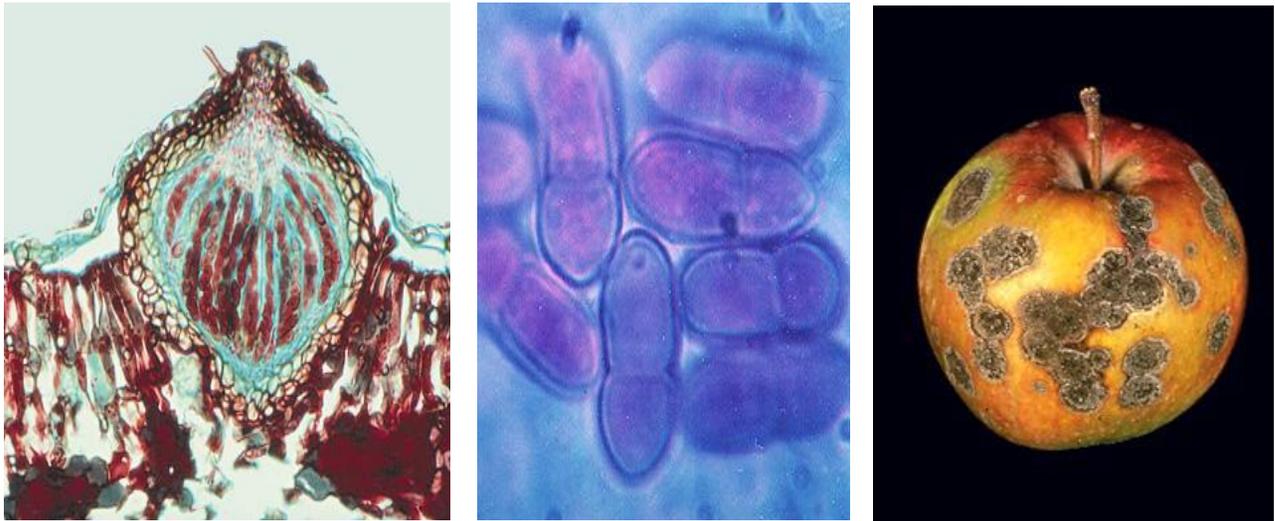


Figure 27: Pseudothèce avec asque (gauche) et ascospores (centre) de *Venturia inaequalis* ; symptôme de la tavelure de pommier (droite) (Jones et Aldwinckle, 1990)

II.4.4.2 Classe des Eurotiomycetes

La classe des Eurotiomycètes se caractérisent par des ascocarpes du type cléistothèce ou péri-thèce. Seul l'ordre des Eurotiales referme des phytopathogènes.

• Ordre des Eurotiales

Cet ordre se caractérise par un ascocarpe cléistothécique et referme 3 familles dont celle des Trichocomacées.

Famille des Trichocomacées : Cette famille comprend des pathogènes qui se développent sur les produits végétaux en cours de stockage. Exemples :

- *Emericella* (anamorphe : *Aspergillus flavus*) : pathogène des semences stockées,
- *Eupenicillium* (anamorphe : *Penicillium italicum*) : agent de la moisissure bleue des fruits des agrumes.

II.4.4.3 Classe des Leotiomycetes

La classe des Léotiomycètes se caractérise par des ascocarpes cléistothéciques ou apothéciques. Cette classe se divise en 5 ordres, dont 3 renferment d'importants pathogènes des plantes : les Erysiphales, les Hélotiales et les Rhytismatales.

• **Ordre des Erysiphales**

L'ordre des Erysiphales renferme une seule famille, les Erysiphacées. Les espèces pathogènes de cet ordre, sont des biotrophes qui causent des maladies très communes connues sous les noms d'oïdium, de blanc ou de "powdery mildew". Ces noms se justifient à cause de la poudre pulvérulente, blanche ou beige qui couvre les organes attaqués et plus particulièrement les feuilles. L'apparence blanche est due aux conidiophores et aux innombrables conidies qui sont produites par ces champignons. Plus de 40 000 espèces de plantes principalement des dicotylédones sont attaquées par les *Erysiphales*. Le mycélium des *Erysiphales* est superficiel (= ectophyte) ; Chez certaines espèces. Les hyphes sont fixées à l'épiderme de l'hôte par des appressoria qui sont simples ou multilobés. Les espèces qui produisent des hyphes externes à l'hôte différencient à partir de chaque appressorium un ou plusieurs haustoria dans les cellules épidermiques ou dans certains cas dans le mésophylle proche de l'épiderme. La forme des haustoria peut être globuleuse, pyriforme ou digitée. L'ascocarpe des *Erysiphales* est complètement fermé et ressemble à un cléistothèce dans lequel se différencient des asques. A maturité, les ascocarpes de la plupart des *Erysiphales* sont pourvus d'appendices ou **fulcres** d'aspects très divers : (1) flexueux ressemblant à des hyphes somatiques comme chez *Erysiphe*, *Blumeria*, *Sphaerotheca* et *Leveillula*, (2) rigides : en forme d'aiguille renflée à la base comme chez *Phyllactinia*, à extrémité recourbée en crosse comme chez *Uncinula* ou ramifiée dichotomiquement comme chez *Microsphaera* et *Podosphaera* .

Famille des Erysiphacées : Cette famille contient de nombreux genres tels que *Blumeria*, *Erysiphe*, *Leveillula*, *Microsphaera*, *Phyllactinia* et *Podosphaera*. Exemples :

- *Blumeria graminis* (anamorphe : *Oidium monilioides*) : agent de l'oïdium des céréales,
- *Erysiphe betae* : agent de l'oïdium de la betterave,
- *Erysiphe polygoni* : agent de l'oïdium de plus de 500 espèces végétales,
- *Leveillula taurica* (anamorphe : *Oidiopsis taurica*) : agent de l'oïdium de près de 700 espèces végétales, en particulier le piment,
- *Microsphaera grossulariae* : agent de l'oïdium européen du groseiller,
- *Phyllactinia guttata* (anamorphe : *Ovulariopsis*) : agent de l'oïdium de nombreuses espèces végétales,
- *Podosphaera leucotricha* (anamorphe : *Oidium farinosum*) : agent de l'oïdium des arbres fruitiers à pépins,

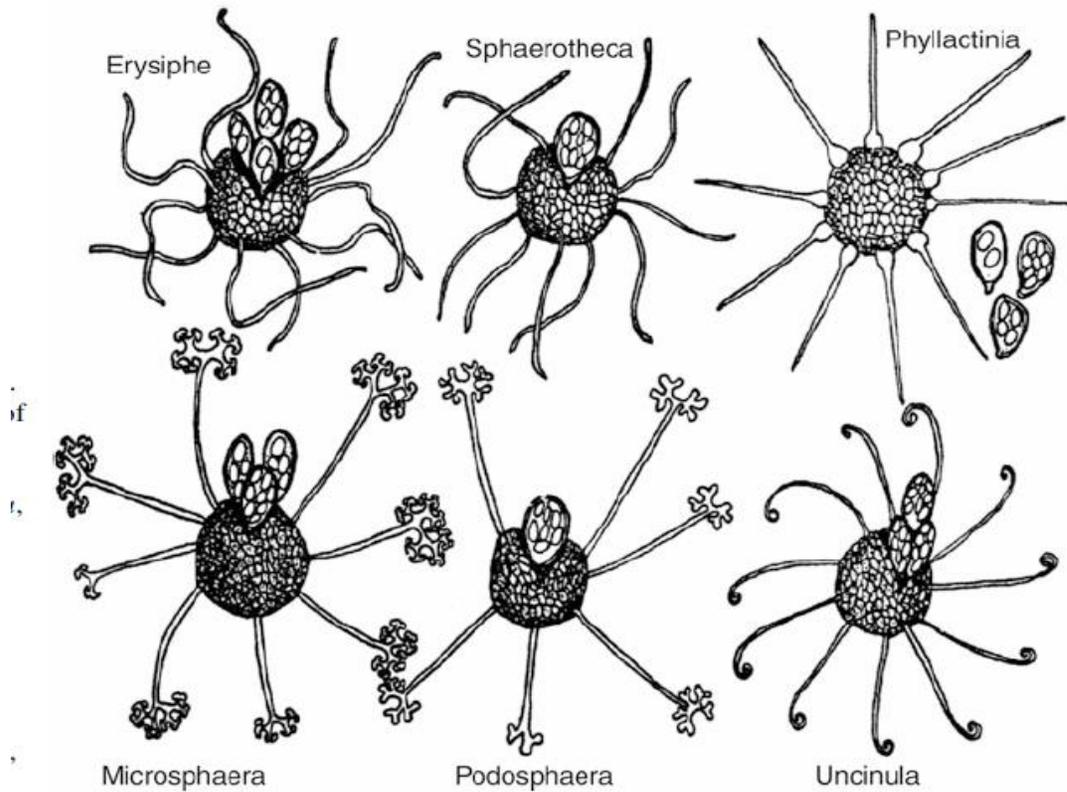


Figure 28: les différentes formes de cléistothèque rencontré chez les Erysiphales (Horst,2008)



Figure 29 : Oïdium de blé - Feutrage blanc envahissant la surface de la feuille du blé (gauche) , conidies de *Blumeria graminis* (droite) (Bouakaz et Oussaid , 2013)

La morphologie des fulcres et le nombre d'asques par ascocarpe constituent les critères de distinction des genres de l'ordre des Erysiphales.

Tableau 2 : Classification des Erysiphales selon la morphologie des fulcres et le nombre d'asques par ascocarpe

Type de fulcres	Formes de fulcres	Nombre d'asques /ascocarpe	Genres
Fulcres flexueux ressemblant à des hyphes somatiques	/	Plusieurs / ascocarpe	<i>Blumeria</i> : 1 espèce <i>Erysiphe</i> : 100 espèces <i>Leveillula</i> : 8 espèces
		1 asque / ascocarpe	<i>Sphaerotheca</i> : 50 espèces
Fulcres rigides	Ramifiées dichotomiquement à leurs extrémités	Plusieurs / ascocarpe	<i>Microsphaera</i> : 125 espèces <i>Sawadaea</i> : 6 espèces
		1 asque / ascocarpe	<i>Podosphaeria</i> : 12 espèces
	Extrémités recourbées en crosse	Plusieurs asques/ascocarpe	<i>Uncinula</i> : 81 espèces
	En forme d'alène renflée à la base	/	<i>Phyllactinia</i> : 24 espèces

• **Ordre des Hélotiales**

L'ordre des Hélotiales se caractérise par des ascocarpes apothéciques. Les phytopathogènes existent principalement dans les familles des Dermatécées et des Sclérotiniacées.

Famille des Dermatécées : Cette famille contient des phytopathogènes qui appartiennent essentiellement aux genres *Diplocarpon*, *Oculimacula* et *Pyrenopeziza*. Exemples :

- *Diplocarpon earlianum* (anamorphe : *Marssonina fragariae*) : agent des brûlures foliaires du fraisier,
- *Oculimacula yallundae* (anamorphe : *Helgardia herpotrichoides*) : agent du piétin verse des céréales,

- *Pyrenopeziza brassicae* (anamorphe : *Cylindrosporium concentricum*) : agent des taches foliaires des crucifères.

Famille des Sclérotiniacées : La famille des Sclerotiniacées renferme beaucoup de phytopathogènes dans les genres *Botryotinia*, *Monilinia* et *Sclerotinia*. Exemples :

- *Botryotinia fabae* (anamorphe : *Botrytis fabae*) : agent des taches brunes (ou chocolat) de la fève,

- *Botryotinia fuckeliana* (anamorphe : *Botrytis cinerea*) : agent de la moisissure grise des tissus charnus ou sénescents de nombreuses espèces végétales,

- *Monilinia fructicola* (anamorphe : *Monilia fructicola*) : agent de la moniliose des arbres fruitiers à noyau,

- *Sclerotinia sclerotiorum* : agent de la sclérotiniose de plusieurs espèces végétales

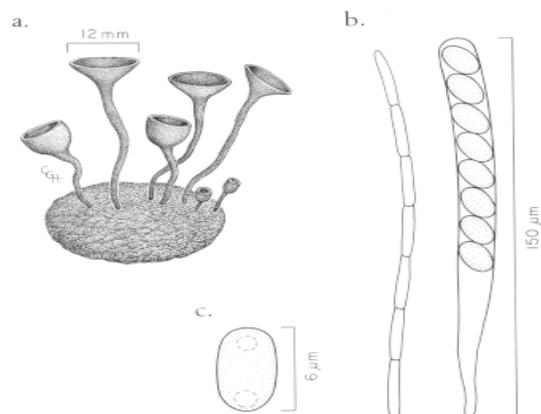


Figure 30 : *Monilinia fructicola*. symptômes sur fruit (gauche) ; **a** . Apothécie formé sur le fruit momifié, **b**. paraphyse et asque, **c**. ascospore mature (droite) (Hanlin,1990)

• **Ordre des Rhytismatales**

L'ordre des Rhytismatales forme des ascocarpes apothéciques et contient 3 familles dont une, celle des Rhytismatacées, renferme des phytopathogènes.

Famille des Rhytismatacées : La famille des Rhytismatacées renferme des espèces phytopathogènes dans des genres tels que *Blumeriella* et *Rhytisma*. Exemples :

- *Blumeriella jaapii* : pathogène du cerisier,
- *Rhytisma acerinum* : est très commune sur les feuilles d'érable où elle cause la maladie des croûtes noires de l'érable.

II.4.4.4 Classe des Sordariomycetes

La classe des Sordariomycètes se caractérise par des ascocarpes le plus souvent du type périthèce, rarement du type cleistothèce. Les asques sont unituniqués inoperculés. Elle renferme plusieurs phytopathogènes qui appartiennent essentiellement aux ordres des Diaporthales, Hypocréales, Magnaporthales, Méliolales, Microascales, Ophistomatales, Phyllachorales et Xylariales.

• Ordre des Diaporthales

L'ordre des Diaporthales contient beaucoup d'espèces qui sont périthéciques. Deux importantes familles contiennent des phytopathogènes : Diaporthacées et Valsacées.

Famille des Diaporthacées : Cette famille contient des pathogènes de plantes qui appartiennent principalement au genre *Diaporthe*. Exemples :

- *Diaporthe* (anamorphe : *Phomopsis viticola*) : agent des taches foliaires de la vigne.

Famille des Valsacées : Les Valsacées contiennent des phytopathogènes appartenant notamment au genre *Valsaria*. Exemples :

- *Valsaria insitiva* (anamorphe : *Cytospora cincta*) : agent du chancre des arbres fruitiers à noyau.

• Ordre des Hypocréales

L'ordre des Hypocréales contient beaucoup d'espèces périthéciques, rarement cléistothéciques. Les phytopathogènes existent principalement dans 3 familles : Clavicipitacées, Glomérellacées et Nectriacées.

Famille des Clavicipitacées : Cette famille contient des phytopathogènes qui appartiennent principalement aux genres *Claviceps* et *Epichloë*. Exemples :

- *Claviceps purpurea* (anamorphe : *Sphacelia segetum*) : agent de l'ergot du seigle,
- *Epichloë typhina* (anamorphe : *Acremonium typhinum*) : agent de la quenouille des graminées.

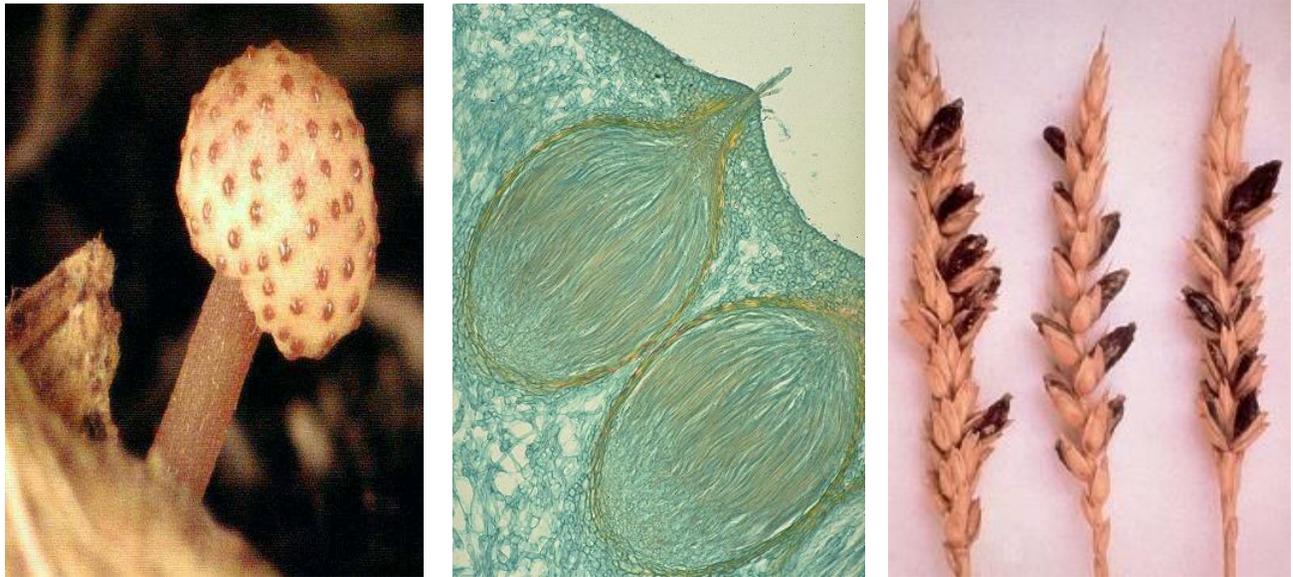


Figure 31 : stroma de *Claviceps purpurea* (gauche), périthèce formé dans le stroma (centre), symptôme de l'ergot sur épi de céréales (droite)

Famille des Glomérellacées : Cette famille renferme des phytopathogènes dans le genre *Glomerella*. Exemples :

- *Glomerella cingulata* (anamorphe : *Colletotrichum gloeosporioides*) : agent de l'antracnose de nombreuses espèces végétales,
- *Glomerella graminicola* (anamorphe : *Colletotrichum graminicola*) : agent de l'antracnose du sorgho,

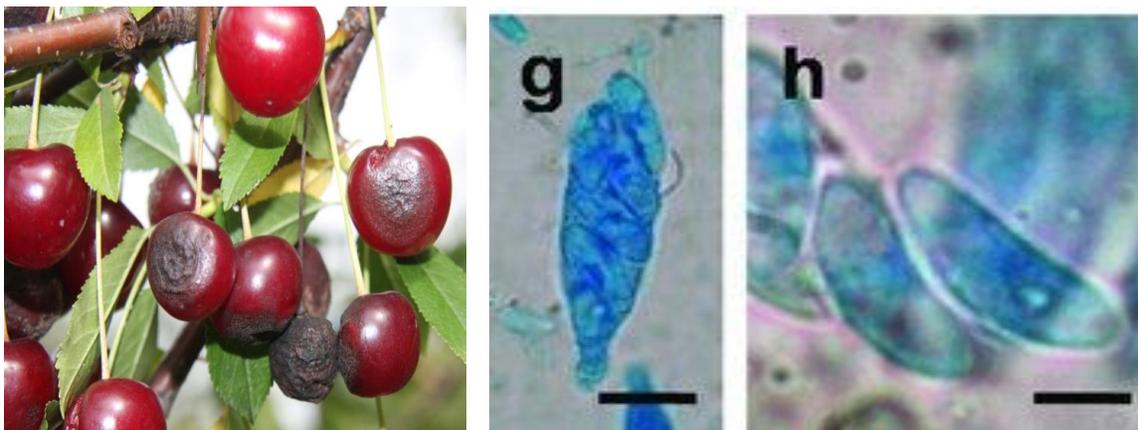


Figure 32 : *Glomerella cingulata*. Symptômes sur cerise (gauche) asque (centre) ascospores (droite), (Caliman et al , 2013)

Famille des Nectriacées : Cette famille renferme des genres tels que *Gibberella*, *Haematonectria*, *Ilyonectria*, *Nectria* et *Neonectria* contenant des espèces phytopathogènes. Exemples :

- *Gibberella* (anamorphe : *Fusarium oxysporum*) : agent du flétrissement vasculaire d'un grand nombre d'espèces végétales,
- *Gibberella avenacea* (anamorphe : *Fusarium avenaceum*) : agent du flétrissement de nombreuses espèces végétales,
- *Gibberella zeae* (anamorphe : *Fusarium graminearum*) : agent de la fusariose des céréales,
- *Haematonectria haematococca* (anamorphe : *Fusarium solani*) : agent de la pourriture racinaire de nombreuses espèces végétales,
- *Ilyonectria radiculicola* (anamorphe : *Cylindrocarpon radiculicola*) : agent de la pourriture racinaire de différentes espèces végétales.
- *Nectria cinnabarina* (anamorphe : *Tubercularia vulgaris*) : pathogène des arbres fruitiers,
- *Neonectria galligena* (anamorphe : *Cylindrocarpon mali*) : agent du chancre du pommier.

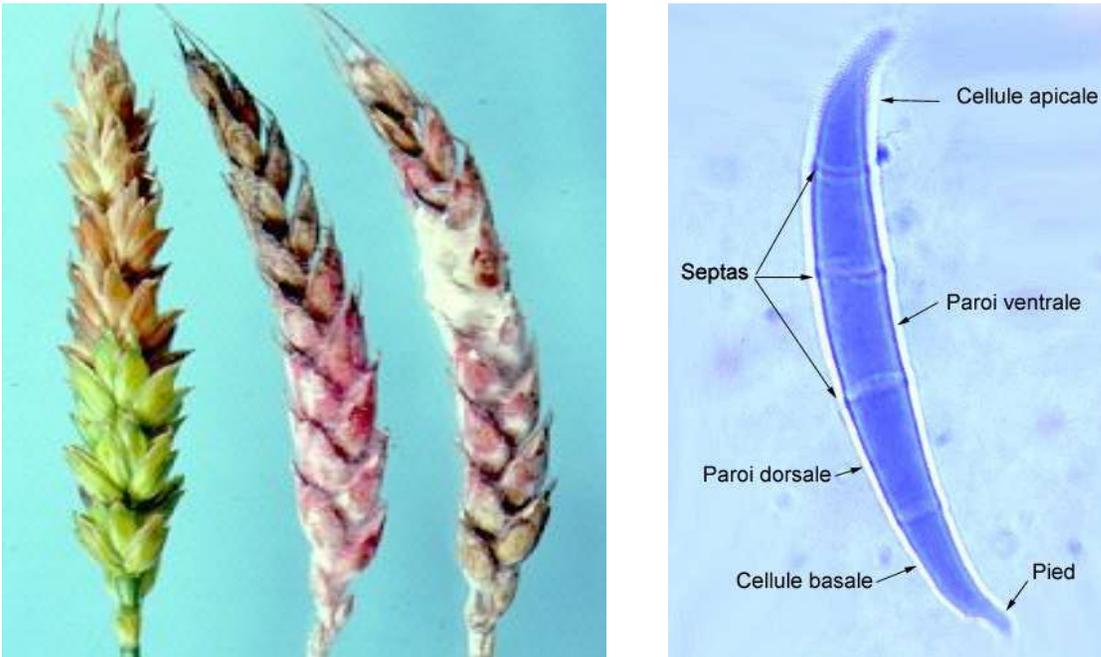


Figure 33: Symptôme de la fusariose de l'épi sur blé (gauche), Macroconidie de *F. graminearum* (droite) (Wiese, 1987 ; LNPV, 2008)

• Ordre des Magnaporthales

L'ordre des Magnaporthales contient beaucoup d'espèces périthéciques. Les pathogènes existent principalement dans une seule famille.

Famille des Magnaporthacées : la famille des Magnaporthacées renferme différents phytopathogènes qui sont necrotrophes sur les racines. Les genres les plus connus sont *Gaeumannomyces* et *Magnaporthe*. Exemples :

- *Gaeumannomyces graminis* : agent du piétin-échaudage des céréales,
- *Magnaporthe grisea* (anamorphe : *Pyricularia grisea*) : pathogène du riz.

• **Ordre de Méliolales**

L'ordre des Méliolales renferme des espèces périthéciques ou cléistothéciques groupées dans l'importante famille des Méliolacées.

Famille des Méliolacées : La famille des Méliolacées contient certains pathogènes biotrophes des plantes. Le genre le plus connu est *Meliola*. Exemple : *Meliola citricola* : agent de la fumagine des agrumes.



Figure 34 : *Meliola citricola* ; conidie (gauche) et mycélium (centre) ; symptômes sur feuille (droite) (McKenzie, 2013b)

• **Ordre des Microascales**

L'ordre des Microascales renferme des espèces décrites ayant des ascocarpes qui sont majoritairement périthéciques, mais parfois cléistothéciques. La principale famille contenant des phytopathogènes est celle des Cératocystidacées.

Famille des Cératocystidacées : Cette famille renferme des phytopathogènes appartenant principalement au genre *Ceratocystis*. Exemple :

- *Ceratocystis* (anamorphe : *Thielaviopsis basicola*) : agent de la pourriture racinaire du tabac,
- *Ceratocystis paradoxa* (anamorphe : *Chalara paradoxa*) : agent de la pourriture du coeur du palmier dattier.



Figure 35 : Symptôme de la pourriture du cœur du palmier dattier causée par *Ceratocystis paradoxa* (gauche et centre) , conidie de *Ceratocystis paradoxa* (droite).(Elliot et al, 2004)

• **Ordre des Ophiostomatales**

L'ordre des Ophiostomatales forment des ascomes périthéciques, rarement cléistothéciques. Cet ordre contient des phytopathogènes dans la famille des Ophiostomatacées.

Famille des Ophiostomatacées : La famille des Ophiostomatacées renferme des pathogènes de plantes principalement dans le genre *Ophiostoma*. Exemple :

- *Ophiostoma ulmi* (anamorphe : *Graphium ulmi*) : agent de la maladie hollandaise ou tylose de l'orme.

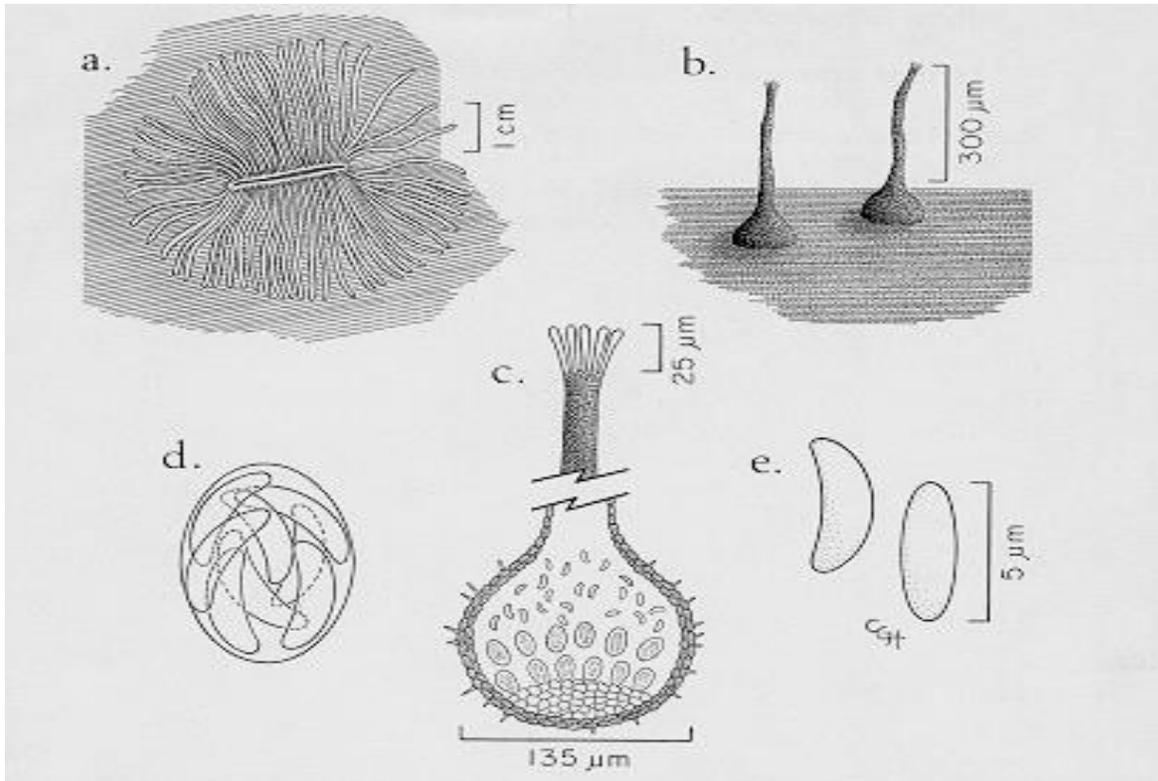


Figure 36: *Ophiostoma ulmi*. (a) Galerie formé sur l'orme par les scolytes, (b) périthèce formé sur le bois infesté par les scolytes, (c) coupe dans le périthèce montrant les asques et les ascospores libres, (d) asque avec des ascospores, (e) ascospores (Hanlin, 1990)

- **Ordre des Phyllachorales**

L'ordre des Phyllachorales contient des espèces à ascomes périthéciques. La famille qui renferme des pathogènes de plantes est celle des Phyllachoracées.

Famille des Phyllachoracées : Cette famille renferme des phytopathogènes dans le genre *Phyllachora*. Exemple : *Phyllachora graminis* : agent des taches foliaires des graminées.

- **Ordre des Sordariales**

L'ordre des Sordariales contient des espèces phytopathogènes à ascocarpes périthéciques. Exemple : *Monosporascus cannonballus* : agent du dépérissement de Cucurbitacées.

• **Ordre des Xylariales**

L'ordre des Xylariales contient des espèces à perithèce, rarement à cléistothèces. Les principaux phytopathogènes sont dans les familles des Diatrypacées et des Xylariacées.

Famille des Diatrypacées : Cette famille renferme des espèces phytopathogènes dans le genre *Eutypa*. Exemple : *Eutypa lata* (anamorphe : *Libertella blepharis*) : agent du chancre des arbres fruitiers.

Famille des Xylariacées : la famille des Xylariacées renferme des phytopathogènes appartenant aux genres *Rosellinia* et *Xylaria*. Exemples :

- *Rosellinia necatrix* (anamorphe : *Dematophora necatrix*) : agent de la pourriture blanche des arbres fruitiers,



Figure 37 : Asque et stroma de *Rosellinia necatrix* (gauche et centre), pourriture blanche sur racine (droite) (internet : <http://pyrenomycetes.free.fr>)

II.5 Phylum des *Basidiomycota*

II.5.1 Généralités

Les Basidiomycota sont les champignons les plus évolués du règne fongique (plus de 30000 espèces décrites) ; ils sont caractérisés par des spores sexuées appelées basidiospores qui naissent d'une manière exogène sur des basides qui représentent le lieu où s'effectue la méiose. Beaucoup d'espèces macroscopiques sont communément observées dans les prairies et les forêts.

Les Basidiomycètes n'ont pas de phase mobile et possèdent toujours une paroi. Ils sont filamenteux septés, les cloisons présentent un pore de structure caractéristique (le dolipore). La phase végétative est le plus souvent dicaryotique (deux noyaux haploïdes non fusionnés).

Le mycélium de la plupart des espèces hétérothalliques passe par trois stades de développement distincts, primaire, secondaire et tertiaire. Le **mycélium primaire** est haploïde et d'habitude se développe après la germination des basidiospores. Ce mycélium cloisonné est souvent composé de cellules unicléées. Ensuite, le mycélium primaire donne naissance au **mycélium secondaire** après la plasmogamie entre des spermaties et/ou des hyphes. En conséquence, ce mycélium secondaire et les spores qu'il produit, sont dicaryotiques avec des cellules binucléées. Durant ce stade, l'une des caractéristiques spécifiques aux *Basidiomycota* est la production d'**anses d'anastomose** qui se forment durant la division conjugée des noyaux à l'extrémité d'une hyphe en croissance. Le **mycélium tertiaire** se développe à partir du mycélium secondaire et consiste en un mycélium organisé et spécialisé qui renferme les basidiocarpes et/ou les basides qui libèrent les basidiospores. Le mycélium tertiaire est aussi dicaryotique.

Chez certaines espèces, les hyphes mycéliens peuvent se développer en sclérotés, en rhizomorphes ou en cordons mycéliens. Les *Basidiomycota* peuvent produire des structures mycéliennes spécialisées telles que les appressoria et les haustoria.

II.5.2 Reproduction chez les *Basidiomycota*

La reproduction asexuée des *Basidiomycota* entraîne, pour la plupart des espèces, la production de divers types de spores qui prennent en général des noms spécifiques (écidiospores, urédospores, téliosporés, spermaties...). La reproduction sexuée chez les *Basidiomycota* culmine par la production des basides portant des basidiospores. Elle commence par la fusion et plasmogamie entre des spermaties et des hyphes réceptifs ou entre deux hyphes de mycéliums primaires com-

patibles. Les stades suivants sont les mycéliums secondaire et tertiaire qui sont dicaryotiques. A partir du mycélium tertiaire, les basidiocarpes et/ou les basides se différencient. Ensuite, la caryogamie et la méiose ont lieu dans les basides qui produisent les basidiospores extérieurement.

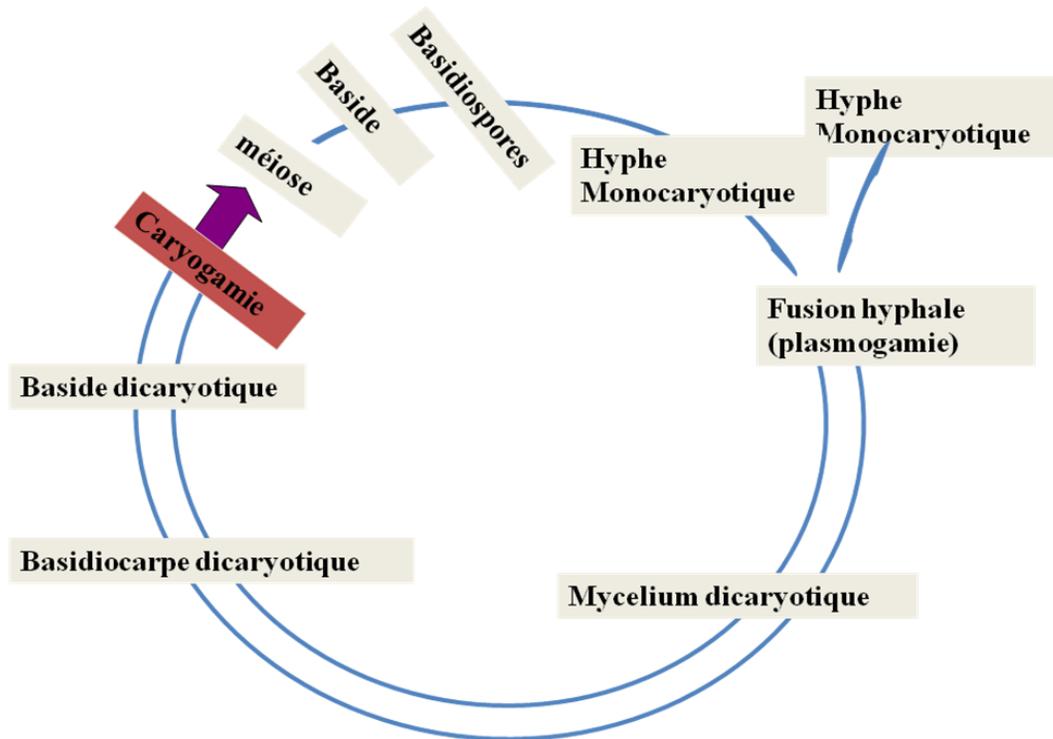


Figure 38 : Cycle biologique des basidiomycota

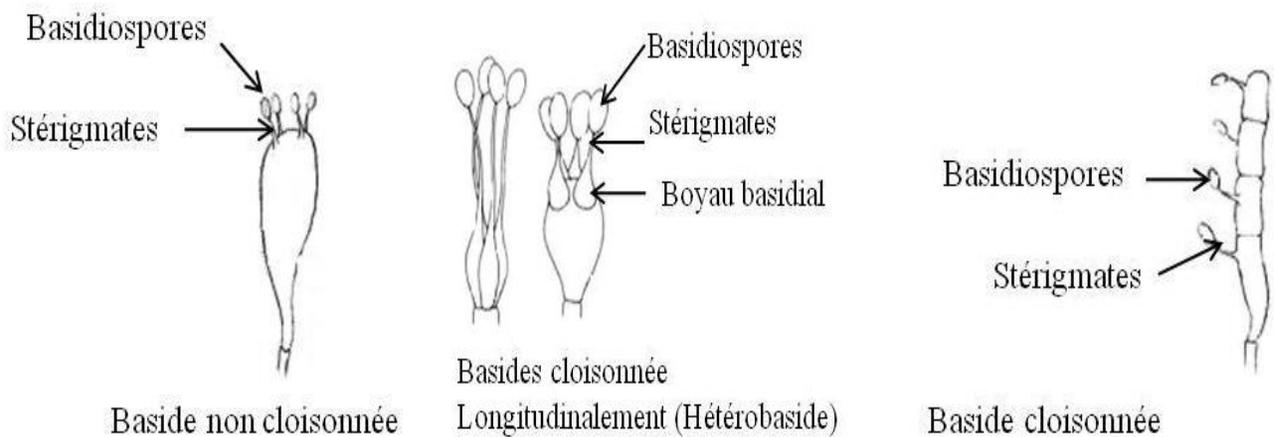


Figure 39 : Différents types de basides. Holobaside (gauche), phragmobasides (centre et droite)

II.5.3 Classification des *Basidiomycota*

Les données moléculaires ont permis de diviser le phylum des *Basidiomycota* en 3 sous-phylums monophylétiques : les *Agaricomycotina*, les *Pucciniomycotina* et les *Ustilaginomycotina*. Ces 3 sous-phylums se divisent eux-mêmes en 12 classes.

Le sous-phylum des *Agaricomycotina* renferme 3 classes : les Agaricomycètes, les Dacrymycètes et les Trémellomycètes. La plupart des pathogènes des plantes de ce sous-phylum sont rencontrées dans la classe des Agaricomycètes.

Le sous-phylum des *Pucciniomycotina* contient 8 classes : les Agaricostilbomycètes, les Atractiellomycètes, les Classiculomycètes, les Cryptomycocolacomycètes, les Cystobasidiomycètes, les Microbotryomycètes, les Mixiomycètes et les Pucciniomycètes. Cette dernière classe des Pucciniomycètes renferme les agents des rouilles d'un grand nombre de plantes.

Le sous-phylum des *Ustilaginomycotina* contient 2 classes : les Exobasidiomycètes et les Ustilaginomycètes. Ces classes renferment les agents des maladies de charbon et caries des plantes.

II.5.4 Sous phylum *Agaricomycotina*

La plupart des *Agaricomycotina* produisent des corps fructifères complexes appelés basidiocarpes ou carpophores. Les *Agaricomycotina* se caractérisent par des basides généralement non cloisonnées que l'on appelle holobasides. Certains membres des *Agaricomycotina* causent des pourritures des racines et des bois. La plupart des *Agaricomycotina* à carpophores sont saprophytes, certains s'attaquent aux racines des arbres comme *Armillaria mellea* qui forme des rhizomorphes. Ceux-ci sont des organes de survie en forme de cordons épais à l'intérieur desquels les filaments mycéliens perdent leur individualité

II.5.4.1 Classe des Agaricomycètes

La classe des **Agaricomycètes** renferme plus de 2/3 des espèces du phylum des *Basidiomycota*. Les espèces pathogènes de plantes cultivées et appartiennent majoritairement aux trois ordres des Agaricales, des Athéliales et des Cantharellales

- **Ordre des Agaricales**

L'ordre des Agaricales contient près de la moitié des espèces du phylum des *Basidiomycota*. Mais dans cet ordre, les pathogènes des plantes cultivées sont rares et appartiennent principale-

ment aux familles des Cyphellacées, des Physalacriacées, des Schizophyllacées et des Typhulacées.

Famille des Cyphellacées : La famille des Cyphellacées renferme certains phytopathogènes appartenant au genre *Chondrostereum*. Exemple : *Chondrostereum purpureum* : agent du plomb parasitaire des arbres fruitiers.

Famille des Physalacriacées : La famille des Physalacriacées renferme certains phytopathogènes appartenant au genre *Armillaria*. Exemple : - *Armillaria mellea* : agent du pourridié des arbres.



Figure 40 : *Armillaria mellea* agent du pourridié des arbres (Desjardin et al., 2015)

Famille des Schizophyllacées : Cette famille contient quelques pathogènes de plantes dans le genre *Schizophyllum*. Exemple : *Schizophyllum commune* : Agent de la pourriture blanche du bois des arbres.

Famille des Typhulacées : La famille des Typhulacées renferme quelques pathogènes de plantes dans le genre *Typhula*. Exemple : - *Typhula incarnata* : (anamorphe : *Sclerotium fulvum*) pathogène des céréales.

- **Ordre des Athéliales**

L'ordre des Athéliales contient beaucoup d'espèces dont certaines sont phytopathogènes et appartiennent à la famille des Athéliacées.

Famille des Athéliacées : La famille des Athéliacées renferme des espèces phytopathogènes dans le genre *Athelia*. Exemple : *Athelia rolfsii* (anamorphe : *Sclerotium rolfsii*) : pathogène de nombreuses espèces végétales.

• **Ordre des Cantharellales**

L'ordre des Cantharellales contient des phytopathogènes dans la famille des Cératobasidiacées.

Famille des Cératobasidiacées : Cette famille renferme certaines espèces phytopathogènes qui appartiennent aux genres *Ceratobasidium* et *Thanatephorus*. Exemples :

- *Ceratobasidium cereale* (anamorphe : *Rhizoctonia cerealis*) : pathogène des céréales,
- *Thanatephorus cucumeris* (anamorphe : *Rhizoctonia solani*) : agent du rhizoctone de nombreuses espèces végétales.



Figure 41 : Sclérotés de *Rhizoctonia solani* sur tubercule de pomme de terre (gauche) , symptôme sur tige de pomme de terre (droite) (INRA, 2018)

II.5.5 Sous-phylum des *Ustilaginomycotina*

Ce sous phylum regroupe des biotrophes qui causent les charbons et les caries chez les plantes supérieures. L'abondante sporée noire qui se forme chez les charbons et les caries est constituée par de petites spores de résistance que l'on appelle téliospores ou probasides ou encore chlamydospores. Les téliospores résultent de la fragmentation des hyphes dicaryotiques.

Ces basidiomycètes sont caractérisés par la présence de 2 phases ; l'une parasite mycélienne et dicaryotique; l'autre saprophyte lévuroïde et haploïde.

II.5.5.1 Classe des exobasidiomycetes

La classe des **Exobasidiomycètes** renferme nombreuses espèces agents de maladies charbonneuses (en particulier la carie) appartenant aux ordres des Entylomatales, des Exobasidiales et des Tillétielles.

• Ordre Entylomatales

L'ordre des Entylomatales contient des espèces phytopathogènes agents de charbon qui appartiennent à la famille des Entylomatacées.

Famille des Entylomatacées : Cette famille renferme des phytopathogènes qui appartiennent majoritairement au genre *Eballistra*. Exemple : - *Eballistra oryzae* : agent du charbon foliaire du riz.

• Ordre des Exobasidiales

Cet ordre renferme des espèces phytopathogènes provoquant parfois des galles. Elles appartiennent essentiellement à la famille des Exobasidiacées.

Famille des Exobasidiacées : La famille des Exobasidiacées contient des phytopathogènes appartenant principalement au genre *Exobasidium*. Exemple : - *Exobasidium vexans* : agent de la cloque du théier.

• Ordre des Tillétielles

L'ordre des Tillétielles contient des espèces causant essentiellement la maladie de la carie. Elles appartiennent à la famille des Tillétiacées.

Famille des Tillétiacées : Cette famille contient des phytopathogènes appartenant principalement au genre *Tilletia*. Exemples :

- *Tilletia barclayana* : agent de la carie du riz,
- *Tilletia caries* : agent de la carie commune du blé,
- *Tilletia controversa* : agent de la carie naine des céréales,
- *Tilletia indica* : agent de la carie de Karnal sur le blé,
- *Tilletia laevis* : agent de la carie commune du blé.

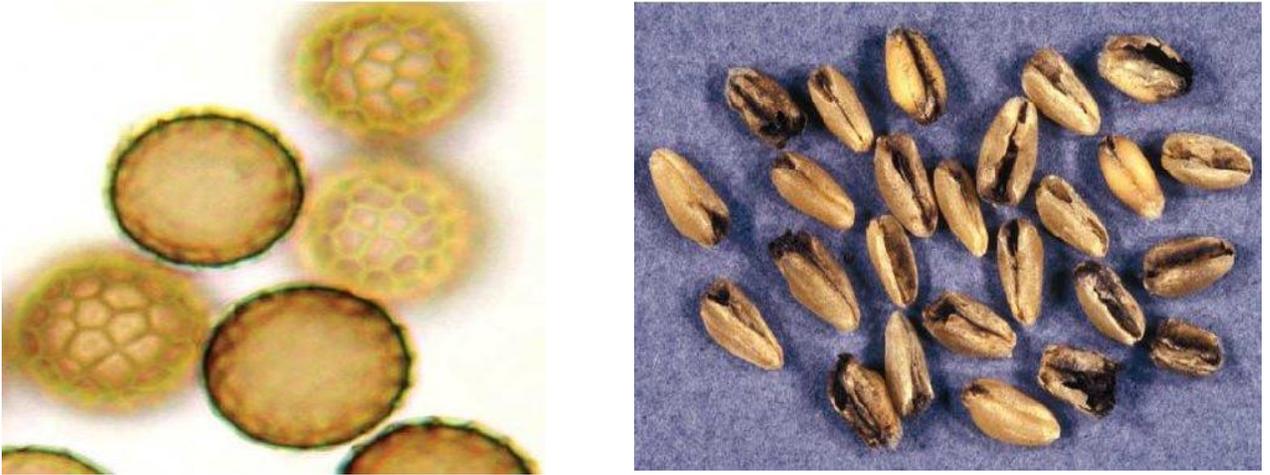


Figure 42 : télisporos de *Tilletia caries* (gauche), symptômes de carie sur les graines de blés (Carris et *al.*, 2006)

II.5.6 Sous-phylum des *Pucciniomycotina*

Les *Pucciniomycotina* renferment les champignons qui causent les rouilles des végétaux. Le nom de rouille est attribué à ces maladies en raison de la coloration brun rougeâtre à jaune orangée des fructifications que produisent ces champignons sur les organes atteints des végétaux supérieurs

II.5.6.1 Classe des *Pucciniomycetes*

- **Ordre des Pucciniales**

Le mycélium des Pucciniales manque d'anses d'anastomose et sont en général intercellulaires, fréquemment avec des haustorias. Un grand nombre d'espèces se développent comme des pathogènes obligatoires de plantes provoquant les redoutables maladies des rouilles. Les agents des rouilles produisent en abondance des spores jaune orangé, rousses plus ou moins foncées (parfois noires), couleurs caractéristiques à l'origine de la dénomination de ces maladies. Les agents des rouilles peuvent avoir jusqu'à cinq stades fréquemment numérotés de 0 à IV .

0 : Spermatis qui sont des gamètes monocaryotiques produites dans des **spermogonies**.

I : Ecidiospores qui sont des spores dicaryotiques unicellulaires, typiquement en chaînes, à paroi mince ou verruqueuse. Elles sont produites dans les **écidies**.

II : Urédospores qui sont produites dans les **urédies**. Les urédospores typiques sont des spores dicaryotiques unicellulaires ayant une paroi pigmentée rugueuse montrant deux ou plusieurs pores germinatifs.

III : Téliospores (ou téléutospores) qui sont produites par les **téliés**. Typiquement, les téliospores sont des spores de conservation uni- ou multicellulaires ayant une paroi épaisse est diversement ornementée.

IV : Basidiospores qui sont des spores généralement haploïdes, unicellulaires, à paroi mince, de courte vie, produites sur les **basides** et libérées à partir des stérigmates.

Un champignon agent de la rouille est autoïque ou autoxène si son cycle biologique a lieu sur une seule plante hôte (ou groupe de plantes hôtes étroitement liées). Il peut être hétéroïque ou hétéroxène si ses stades 0 et I prennent place sur une sorte de plante hôte (hôte secondaire ou alternante) et les stades II et III sur une autre sorte de plante hôte (hôte principal). La rouille est macrocyclique si tous les cinq stades de spores du champignon ont lieu durant son cycle biologique. Elle est microcyclique si seulement quelques stades de spores parmi les cinq ont lieu.

Les familles renfermant des agents de rouilles les plus importantes sont les Mélampsoracées, les Phakopsoracées, les Phragmidiacées, les Pucciniacées et les Uropyxidacées.

Famille des Mélampsoracées : Cette famille contient des phytopathogènes qui appartiennent majoritairement au genre *Melampsora*. Exemple :

- *Melampsora lini* : agent de la rouille du lin.

Famille des Phakopsoracées : La famille des Phakopsoracées renferme des pathogènes de plantes des genres *Cerotelium* et *Phakopsora*. Exemples :

- *Cerotelium fici* : agent de la rouille du figuier,

- *Phakopsora euvitis* : agent de la rouille de la vigne,

Famille des Phragmidiacées : Cette famille comprend des phytopathogènes des genres *Gymnocola* et *Phragmidium*. Exemples :

- *Gymnoconia nitens* : agent de la rouille orangée du mûrier,
- *Phragmidium mucronatum* : agent de la rouille du rosier

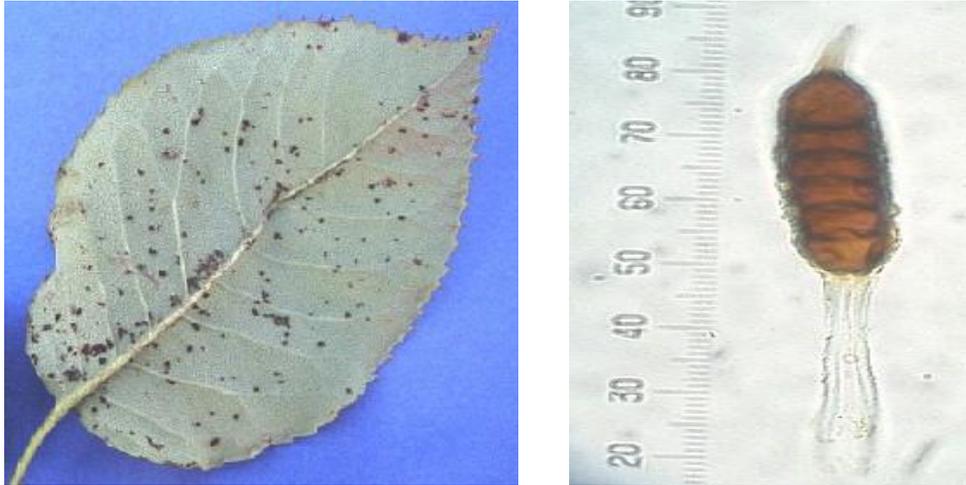


Figure 43 : La rouille du rosier causée par *Phragmidium mucronatum*. Symptôme sur la face inférieure de la feuille (gauche) ; téliosspore (droite) (Horst, 2001)

Famille des Pucciniacées : La famille des Pucciniacées est une grande famille renfermant de nombreux phytopathogènes appartenant surtout aux genres *Gymnosporangium*, *Puccinia* et *Uromyces*. Exemples :

- *Gymnosporangium sabinae* : agent de la rouille du poirier (stade IV sur *Juniperus*),
- *Puccinia graminis* : agent de la rouille noire (ou des tiges) du blé (stades 0 et I sur *Berberis*),
- *Puccinia polysora* : agent de la rouille du maïs,
- *Puccinia striiformis* : agent de la rouille jaune (ou striée) du blé,
- *Uromyces appendiculatus* : agent de la rouille du haricot,
- *Uromyces beticola* : agent de la rouille de la betterave,

Famille des Uropyxidacées : Cette famille contient des phytopathogènes qui appartiennent principalement au genre *Tranzschelia*. Exemple :

- *Tranzschelia pruni-spinosae* : agent de la rouille des arbres fruitiers à noyau (stades 0 et I sur *Anemone*).



Figure 44 : *Puccinia graminis* agent de la rouille noire, téliospore (gauche), une baside se formant sur une téliospore (centre), urédospore (droite) (Wiese, 1987)

Chapitre III : Règne des *CHROMISTA*

Le règne des *Chromista*, appelé aussi *Stramenopila*, groupe les organismes qui possèdent des flagelles pourvus de cils (= mastigonèmes). Ce règne renferme un millier de microorganismes unicellulaires ou multicellulaires, filamenteux ou vivants en colonies, principalement phototrophiques. Il contient les algues, les diatomées, des pseudochampignons et certains autres microorganismes similaires. Les pseudo-champignons forment trois phylums : *Hyphochytridiomycota*, *Labyrinthulomycota* et *Oomycota*. Seul ce dernier phylum contient des phytopathogènes.

III.1 Phylum *Oomycota*

Ce phylum se caractérise par la présence de gamétanges morphologiquement différents, par un cycle biologique en grande partie diploïde et par des filaments mycéliens coenocytiques. Les *Oomycota* n'ont aucune relation avec les vrais champignons. Cependant ils sont morphologiquement similaires aux *Fungi*. Le phylum des *Oomycota* renferme une seule classe qui est celle des Oomycètes.

La reproduction asexuée se réalise par des zoospores à deux flagelles dont l'un est long, cilié et dirigé vers l'avant et l'autre est plus court, lisse et orienté vers l'arrière. Les zoospores se différencient dans des zoosporanges sphériques ou ovoïdes.

La reproduction sexuée est oogame c'est à dire qu'elle se réalise par contact gamétangial entre l'anthéridie et l'oogone et aboutit à la formation d'une spore sexuée à paroi épaisse que l'on appelle oospore.

Les modes de parasitisme des oomycètes phytopathogènes varient selon les espèces. C'est ainsi que *Pythium debaryanum*, *Phytophthora cinnamomi* et la plupart des espèces qui causent les **mildious** sont respectivement parasites facultatifs, saprophytes facultatifs et parasites obligatoires.

Les parasites les plus spécialisés ont un mycélium intercellulaire qui envoie des suçoirs ou haustoria à l'intérieur des cellules de l'hôte. Les haustoria caractérisent les champignons phytopathogènes qui sont hautement spécialisés et ceci quelque soit le groupe auquel ils appartiennent

III.1.1 Classe des Oomycètes

Cette classe comporte plusieurs ordres dont trois : les *Saprolegniales*, les *Albuginales* et les *Peronosporales* comportent des champignons phytopathogènes.

III.1.1.1 Ordre des Albuginales

Cet ordre renferme des phytopathogènes dans la famille des Albuginacées.

Famille des Albuginacées : la famille des Albuginacées contient des pathogènes obligatoires de plantes appartenant aux genres *Albugo* et *Pustula*. Exemples :

- *Albugo candida* : agent de la "rouille" blanche des crucifères,
- *Pustula tragopogonis* : agent de la "rouille" blanche du tournesol.

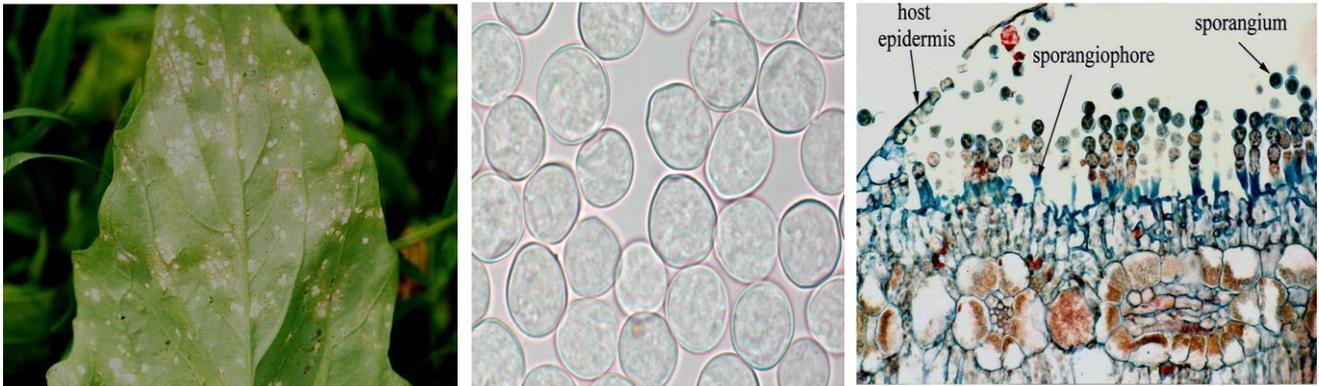


Figure 45 : *Albugo candida* : symptômes sur feuille (gauche), sporange (centre), coupe longitudinale dans une pustule de rouille blanche (droite) (McKenzie, 2013a)

III.1.1.2 Ordre des Péronosporales

L'ordre des Péronosporales renferme généralement des pathogènes de plantes dans les familles des Péronosporacées et des Pythiacées.

Famille des Péronosporacées : les espèces de la famille des Péronosporacées sont des parasites obligatoires hautement spécialisés des plantes vasculaires, souvent provoquant des maladies économiquement très importantes désignées par mildiou. Les genres les plus fréquents sont *Bremia*, *Peronosclerospora*, *Peronospora*, *Phytophthora*, *Plasmopara*, *Pseudoperonospora*, *Sclerophthora* et *Sclerospora*. Exemples:

- *Bremia lactucae* : agent du mildiou de la laitue,

- *Peronospora pisi* : agent du mildiou du pois,
- *Phytophthora capsici* : agent du pied noir du piment,
- *Phytophthora infestans* : agent du mildiou de la pomme de terre
- *Plasmopara viticola* : agent du mildiou de la vigne,
- *Pseudoperonospora cubensis* : agent du mildiou des cucurbitacées.

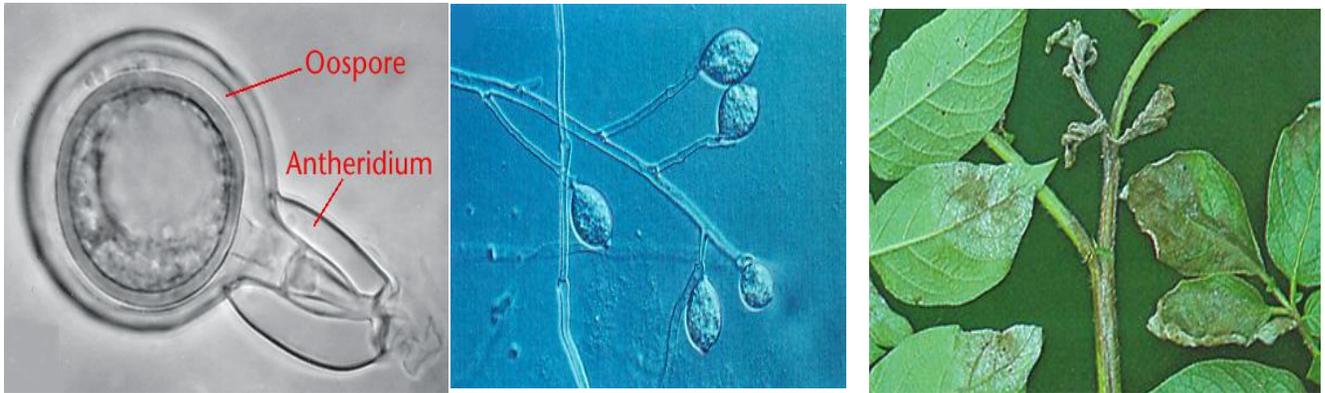


Figure 46 : *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre. Oospore (gauche) sporangiophore avec des sporanges (centre) , symptômes sur pomme de terre (Schumann et. D'Arcy, 2005)



Figure 47: symptômes de mildiou de la vigne causée par *Plasmopara viticola* (Pearson. et Goheen, 1988)

Famille des Pythiacées : Cette famille contient des espèces des genres *Globisporangium*, *Phytophthium* et *Pythium* qui s'attaquent généralement aux organes souterrains des plantes. Exemples :

- *Globisporangium debaryanum* : agent de la fonte des semis de diverses espèces végétales,
- *Pythium aphanidermatum* : pathogène de diverses espèces végétales.

III.1.1.3 Ordre des Saprolegniales

L'ordre des Saprolegniales contient des espèces phytopathogènes de la famille des Leptolégniacées.

Famille des Leptolégniacées : Le genre le plus connu des pathogènes de plantes est *Aphanomyces*. Exemples : *Aphanomyces raphani* : agent de la pourriture noire des racines du radis.

Chapitre IV : Règne *PROTOZOA*

On range dans ce règne tous les micro-organismes eucaryotes et unicellulaires. Plusieurs phyla appartiennent à ce règne. Dans ce qui suit on examinera seulement les phylums *Myxomycota* et *Plasmodiophoromycota*.

IV.1 Phylum *Plasmodiophoromycota*

Les *Plasmodiophoromycota* se caractérisent par une phase végétative constituée par un plasmode et par des zoospores pourvues de deux flagelles lisses.

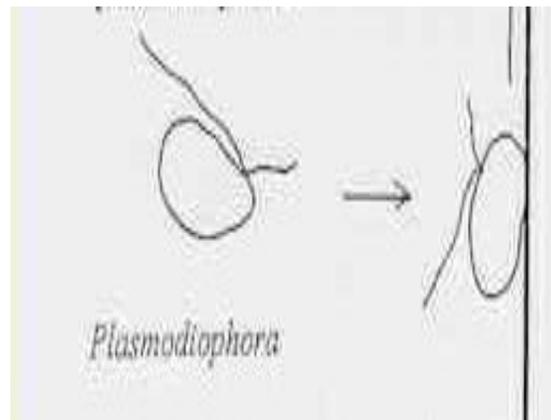


Figure 48: Représentation schématique des Zoospores de *Plasmodiophoromycota*

Les *Plasmodiophoromycota* comprennent une seule classe, les Plasmodiophoromycetes qui sont généralement des phytopathogènes qui causent un accroissement anormal des cellules hôtes (hypertrophie), accompagné ou non d'une multiplication anormale des cellules voisines (hyperplasie). Elles attaquent les racines, les pousses et les tubercules où ils se développent comme des phytopathogènes endocellulaires.

IV.I.I Classe des Plasmodiophoromycetes

Les Plasmodiophoromycètes renferment un seul ordre, les Plasmodiophorales et une seule famille, les Plasmodiophoraceae qui comportent des espèces phytopathogènes comme :

- *Plasmodiophora brassicae*, agent causal de l'hernie du chou,
- *Spongospora subterranea*, agent causal de la gale poudreuse ou gale profonde des tubercules de pomme de terre
- *Polymyxa graminis*, agent des maladies racinaires des céréales et des graminées.



Figure 49 : *Plasmodiophora brassicae* : symptômes sur les racines du chou (gauche), amas de spores dans la racine (droite) (Friberg, 2005)

IV.2 Phylum Myxomycota

Les organismes appartenant à ce phylum se caractérisent par un corps végétatif se présentant sous la forme d'un plasmode qui se transforme à maturité en une masse de spores de résistance dont la germination donne des cellules mobiles pourvues ou non de flagelles. Seul l'ordre des *Physarales* comporte certaines espèces comme *Fuligo septica* et *Physarum cinereum* dont le plasmode peut se développer sur des plantes vivantes sans pour autant les parasiter.



Figure 50 : *Physarum cinereum* sur feuille
(Labbé, 2019)



Figure 51 : *Fuligo septica* sur le bois
(Labbé, 2018)

Deuxième Partie : Bactéries phytopathogènes

Chapitre I Généralités sur les bactéries phytopathogènes

I-1 Bactéries classiques

Les bactéries sont des procaryotes microscopiques unicellulaires dépourvus de chlorophylle. Ces micro-organismes ont un noyau primitif sans membrane clairement définie. Les bactéries sont plus petites que les champignons et mesurent environ 0,5 à 1,0 x 2,0 à 5,0 μm . Plus de 1 600 espèces bactériennes sont connues. La majorité d'entre eux sont des saprophytes. Plusieurs espèces provoquent des maladies chez l'homme et les animaux. Environ 200 espèces de bactéries provoquent des maladies chez les plantes. Toutes les bactéries parasites des végétaux sont des bacilles ; elles ont généralement une longueur de 1 à 2 μm et une largeur de 0,3 à 0,5 μm ; soit une taille 10 à 20 fois inférieure à celle d'une cellule végétale. Le premier rapport de maladie des plantes par des bactéries a été fait par T.J. Burrill de l'Université de Illinois. Il a montré que le feu bactérien de la pomme et de la poire est causé par une bactérie, *Erwinia amylovora*. Les bactéries; se multipliant le plus souvent asexuellement par simple fission transversale, les cellules résultantes étant de taille égale ou presque égale.

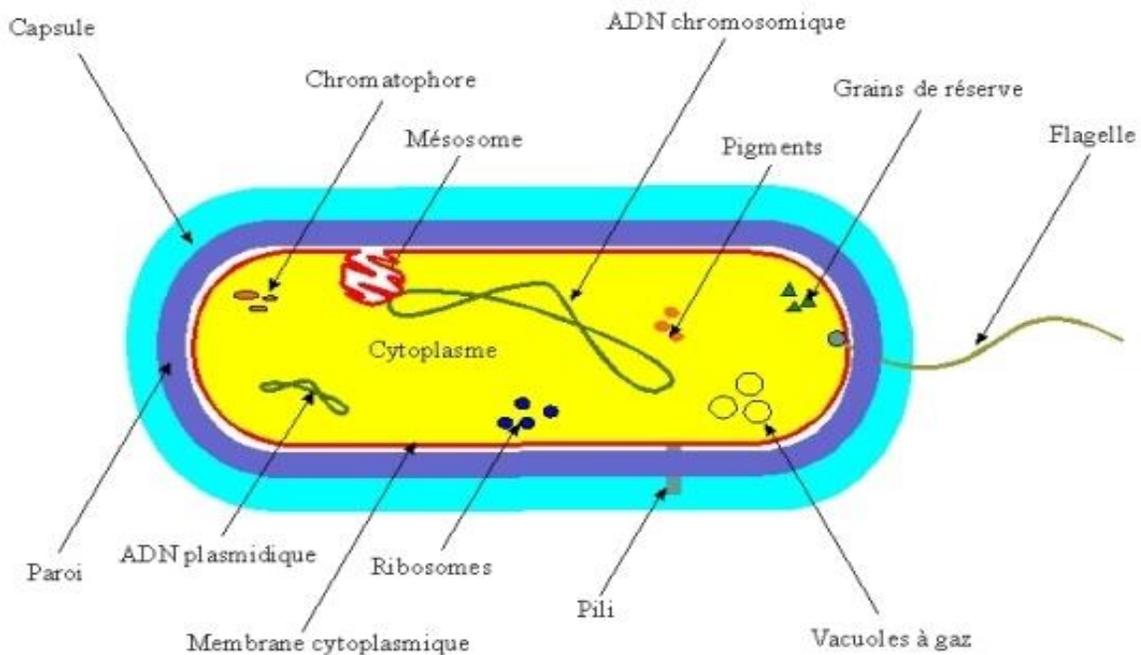


Figure 53: structure d'une bactérie gram négatif (Source internet : <http://www.ecosociosystemes.fr/>)

I-2 Bactéries vasculaires exigeantes (bactéries de type Rickettsia)

Les bactéries vasculaires exigeantes sont autrement appelées organismes Rickettsia Like RLO (bactéries qui ressemblent aux Rickettsia), ou procaryotes exigeants ou bactéries à parois ressemblant à des rickettsies. Ce sont de petites bactéries avec une ultrastructure cellulaire de bactéries gram-négatives typiques. Ils sont très exigeants dans leurs besoins nutritionnels, refusant de se développer sur des milieux bactériologiques de routine. Ils ont une paroi cellulaire. Les bactéries vasculaires exigeantes se limitent principalement au xylème (exemple le genre *Xylella*) ou au phloème (exemple : les *liberibacter*). Ces bactérie vivent également dans le liquide corporel des insectes (hémolymphe) et dépendent des insectes vecteurs pour leur transmission.

I-3 Classification des bactéries phytopathogènes

Le domaine des procaryotes est composé de deux règnes *Bacteria* et *Archaea*. Tous les bactéries phytopathogènes appartiennent au règnes *Bacteria*, ce règne est divisés en plusieurs phylum dont seulement les phylums *Proteobacteria* et , Firmicutes (classe actinobacteria, et Mollicutes) contiennent des bactéries phytopathogènes

Tableau : classification des bactéries phytopathogènes

Les Bacteria	
➤ Bactéries Gram- : Proteobacteria	
- Section des α Proteobacteria	<i>Agrobacterium</i> <i>Liberibacter</i>
- Section des β Proteobacteria	<i>Burkholderia</i> <i>Ralstonia</i> <i>Acidovorax</i> et <i>Xylophilus</i>
- Section des γ Proteobacteria	<i>Erwinia</i> <i>Pentoea</i> <i>Pectobacterium</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Xanthomonas</i> et <i>Xylella</i>
➤ Bactéries Gram + : Firmicutes	
▪ Contenu en C+G < 50% :	
- Section des Mollicutes	<i>Phytoplasma</i> et <i>Spiroplasma</i>
▪ Contenu en C+G > 50%	
- <i>Actinobacteria</i>	<i>Clavibacter</i> <i>Curtobacterium</i> et <i>Streptomyces</i>

Il faut savoir que La plupart des bactéries phytopathogènes appartiennent aux genres suivants : *Acidovorax*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Clavibacter*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Streptomyces*, *Xanthomonas*, *Xylella*, *Phytoplasma* et *Spiroplasma*

Chapitre II : Phylum *Proteobacteria*

Dans les bactéries, le phylum *Proteobacteria* constitue actuellement la lignée phylogénétique la plus large et phénotypiquement la plus diversifiée. En 1988, Stackebrandt et al. ont donné le nom *Proteobacteria* (le dieu grec Proteus, qui pouvait prendre plusieurs formes différentes) pour refléter l'énorme diversité des morphologies et des physiologies observées dans ce phylum bactérien.

En 2002, les protéobactéries ont été composées de plus de 460 genres et de plus de 1600 espèces, réparties sur 5 grandes lignées phylogénétiques de descendance connues sous le nom de «*Alphaproteobacteria*», «*Betaproteobacteria*», «*Gammaproteobacteria*», «*Deltaproteobacteria*» et «*Epsilonproteobacteria*». Les protéobactéries représentent plus de 40% de tous les genres procaryotes valablement publiés et englobent une proportion majeure des bactéries Gram négatif traditionnelles, montrent une diversité métabolique extrême et sont d'une grande importance en médecine humaine et vétérinaire, en industrie, en agriculture .

II-1 Classe de Alphaproteobacteria

II-1-1 Ordre :Rhizobiales

a- Famille :. Rhizobiaceae

Genre : *Agrobacterium*

Petites bâtonnets mobiles et courtes, avec deux à six flagelles péritriches ou un flagelle polaire ou subpolaire, ordinairement Gram négatif, ne produisant pas de gaz visible ou d'acide détectable dans les milieux de culture ordinaires; croissance sur des milieux glucidiques généralement accompagnés de la formation de polysaccharidique extracellulaire abondante (gel) ; températures optimales de 25 à 30 ° C.

Maladies causées par les *Agrobacterium*

Les infections des sites de plaie dans les plantes dicotylédones par les *Agrobacteria* conduisent au développement de tumeurs ou galle du collet, ou de racines poilues. Ces croissances anormales résultent du transfert de séquences d'ADN (l'ADN T) du plasmide induisant la tumeur bactérienne (pTi) ou induisant la racine poilue (pRi) à la cellule végétale hôte. Les séquences d'ADN T deviennent incorporées dans les chromosomes des plantes et sont maintenues et exprimées dans

la cellule végétale. Ils codent pour les enzymes impliquées dans la synthèse des hormones de croissance, l'auxine et la cytokinine. C'est la surproduction de ces hormones qui entraîne la croissance d'une tumeur.

Espèces phytopathogènes

- *Agrobacterium rhizogenes*. Agent de Racine poilue (La «racine laineuse» et le «nodule laineux») sur pommier ; la rosier, le chèvrefeuille, le mûrier, la pêche, le coing, l'olivier.
- *Agrobacterium rubi*. Agent de galle mûrier, de framboisier. Les symptômes apparaissent sur les tiges à la fin mai ou en juin sous la forme de petites protubérances sphériques ou de crêtes allongées de tissu de galle blanc, devenant brunes après plusieurs semaines.
- *Agrobacterium tumefaciens*. Agent de tumeur ou galle de collet sur une grande variété de plantes dans plus de 40 familles botaniques : mûrier, framboisier, vigne, rosier; les arbres fruitiers(pommier, abricotier, cerisier, figuier, pêche et nectarinier, prunier; amandier.....); rare sur les conifères, mais signalé sur le cèdre et de genévrier; sur de nombreux arbustes , en particulier le chèvrefeuille; sur les plantes vivaces telles que les asters, les marguerites et les chrysanthèmes; et sur les betteraves, les navets et quelques autres légumes,

Applications en Génie génétique

La capacité de *A. tumefaciens* et de *A. rhizogenes* à transférer des gènes dans des cellules végétales, où ils sont intégrés de manière stable dans le (s) chromosome (s) hôte (s), a rendu ces bactéries extrêmement utiles dans le génie génétique des plantes.

b- Famille : Phyllobacteriaceae

Genre : *Candidatus Liberibacter* est un genre de bactéries à Gram négatif, le terme « *Candidatus* » indique qu'il n'a pas été possible de maintenir cette bactérie en culture. La détection des *Liberibacter* est basée sur l'amplification par PCR de leurs gènes ARNr 16S avec des amorces spécifiques. Les espèces appartenant à ce genre sont des phytopathogènes, principalement transmis par des insectes vecteurs, les psylles.

II-2 Classe de Gammaproteobacteria

II-2-1 Ordre des Pseudomonadales

a- Famille de Pseudomonadaceae

Genre *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* a été proposé par Migula en 1894 et a depuis été révisé à plusieurs reprises. Ce genre bactérien est ubiquiste, il est capable de coloniser le sol, la rhizosphère, la phyllosphère, les tissus végétaux et animaux en décomposition, l'eau douce et l'eau de mer.

Les *Pseudomonas* appartiennent au groupe des bactéries non photosynthétiques et chimiotrophes, C'est un bacille gram négatif mobile (1 à 3 flagelles) de 0,7-3 µm de longueur sur 0,7-1 µm d'épaisseur qui peut être isolé, en paires ou en chaînes. Sur gélose nutritive, les colonies sont rondes, blanches et lisses.

Les *Pseudomonas* phytopathogènes sont classés en deux groupes en fonction de l'ADNr (acide désoxyribonucléique ribosomique). Le premier rassemble les bactéries qui n'accumulent pas le poly-β-hydroxybutyrate (réserve de carbone et d'énergie) et produisent un pigment fluorescent (un pigment verdâtre soluble dans l'eau). On retrouve notamment dans ce groupe 1 *P. fluorescens*, *P. syringae* (dépérissement de l'abricotier, du marronnier..), et *P. cichorii* (maladie des tâches noires du tabac, de la salade..). Le second groupe rassemble des bactéries phytopathogènes accumulant le poly-β-hydroxybutyrate et ne produisant pas de pigment fluorescent avec par exemple *P. gladioli* (agent de la pourriture molle des champignons, de l'oignon)

Plusieurs bactéries anciennement considérées comme *Pseudomonas* sont maintenant reclasser dans d'autres genres tel que : *Burkholderia*, *Ralstonia*, *Acidovorax*

Espèce *syringae*

C'est en 1902 que l'espèce *syringae* a été nommée pour la première fois. La bactérie a été isolée à partir de lésions sur lilas (*Syringa vulgaris*) et, identifiée comme appartenant au genre *Pseudomonas* d'où son nom : *Pseudomonas syringae*.

Les **pathovars (pv) de l'espèce *syringae*** : Une particularité de la classification des bactéries phytopathogènes, est l'ajout d'une division à l'espèce: le pathovar. Il résulte de la spécificité de certaines bactéries pour leur espèce végétale hôte. Différents pathovars d'une même espèce bactérienne sont nommés en fonction de leur pouvoir pathogène sur une gamme d'hôtes.. On dénombre 52 pathovars dans l'espèce *P. syringae*, signalés phytopathogènes.

Maladies causées par les *Pseudomonas*

Pseudomonas syringae pv. *angulata* (anciennement *Pseudomonas angulata*). Feu noir du tabac.

Pseudomonas syringae pv. *glycinea*. Brûlure bactérienne du soja. Peut-être la maladie la plus commune et la plus visible du soja,.

Pseudomonas syringae pv. *mors-prunorum*. Chancre bactérien des des arbres fruitiers à noyaux et à pepins, agrumes

Pseudomonas syringae pv. *phaseolicola*. Brulures sur les haricots communs,

Pseudomonas syringae pv. *savastanoi*. Agent de la tuberculose de l'olivier. Cette bactérie provoque des galles ou tumeurs sur les racines, le tronc, les branches, les feuilles ou les pédicelles de fruits. Les pousses terminales sont petites ou tuées; des arbres entiers peuvent mourir. Les bactéries entrent généralement par les plaies,.

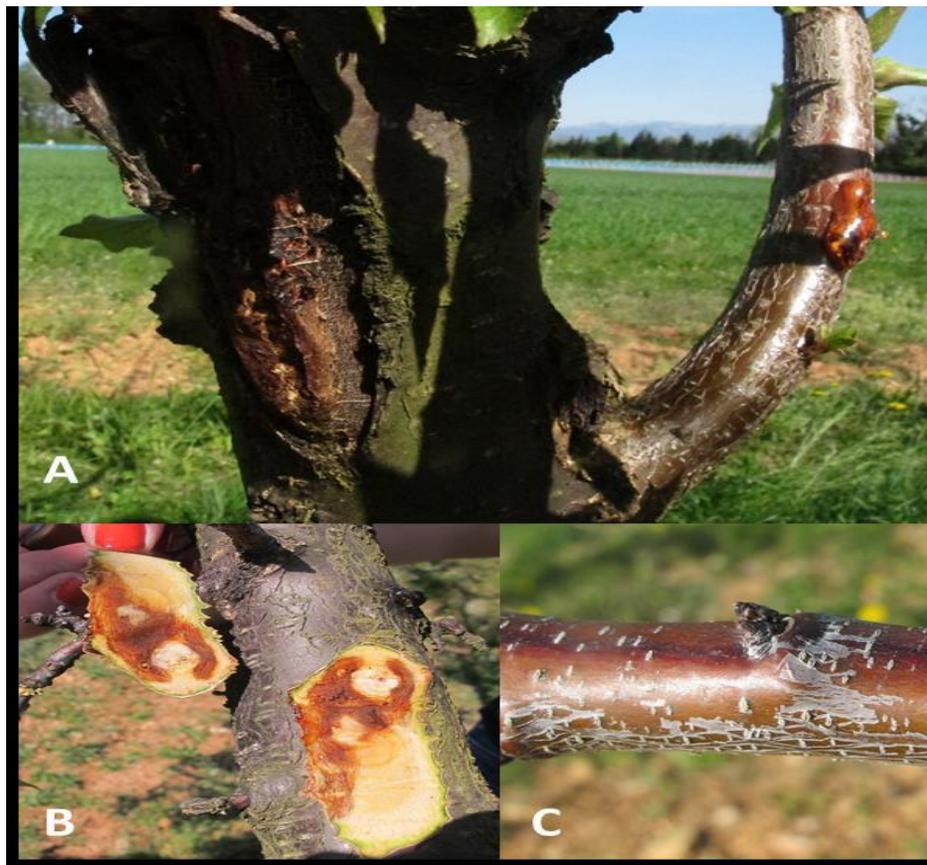


Figure 54: Quelques symptômes de la bactériose sur abricotier causée par *Pseudomonas syringae* . A : à gauche : un chancre bactérien, à droite : point de gomme. B : Tissus nécrosés. C : jeune bourgeon desséché (Morgaint B, 2015)

II-2-2 Ordres *Xanthomonadales*.

a- Famille . *Xanthomonadaceae*

a-1 .Genre *Xanthomonas*

Les *Xanthomonas* sont des bactéries à Gram négatif appartenant à la classe des gamma-protéobactéries, à la famille des *Xanthomonadaceae* et à l'ordre des *Xanthomonadales*.

Étymologiquement, *Xanthomonas* vient du grec « xanthos » qui signifie « jaune » et de « monad » qui signifie « unité ». La couleur jaune est due à la synthèse de caroténoïdes liés à la membrane externe, les xanthomonadines, pigments qui auraient des propriétés protectrices et antioxydantes.

Les bactéries du genre *Xanthomonas* présentent une grande diversité de pouvoir pathogène et une spécificité d'hôte très étroite. Ces derniers points ont gêné pendant longtemps la mise en place d'une classification définitive. Les bactéries du genre *Xanthomonas* infectent 124 espèces de plantes monocotylédones et 268 espèces de plantes dicotylédones.

Le genre compte 20 espèces et une 100^{ème} de pathovars (pv.). *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* est très étudiée pour sa capacité à produire le xanthane, un exopolysaccharide qui donne un aspect mucoïde aux colonies et qui est très utilisé comme agent viscosant et stabilisant dans les industries cosmétiques, agroalimentaires et dans le bâtiment, Le xanthane n'est pas requis pour le pouvoir pathogène mais est indispensable à la survie épiphyte de la bactérie

Les bactéries de genre *Xanthomonas* sont des bâtonnets (0,7 à 1,8 µm de long et 0,4 à 0,7 µm de large), aérobies strictes, pourvues d'un flagelle polaire unique.

***Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Xcc)** : est l'agent responsable de la pourriture noire ou nervation noire des brassicacées, maladie la plus préjudiciable de par le monde concernant cette famille de plante. Cette bactérie est capable d'infecter la plupart des brassicacées d'intérêt agronomique (le chou, le chou de Bruxelles, le chou-fleur, le brocoli, le navet, le radis, la moutarde, le canola).

Les étapes d'installation de la bactérie sur la plante dépendent de nombreux éléments environnementaux dont les facteurs nutritionnels. Il est intéressant de noter que des plantes non hôtes peuvent également être colonisées par des populations épiphytes de *Xanthomonas*

La première étape d'infection de Xcc correspond à l'entrée de la bactérie dans les tissus de la feuille. Plusieurs possibilités s'offrent à Xcc pour pénétrer dans les tissus végétaux. La bactérie peut pénétrer par des blessures causées par des vents violents, la grêle, les insectes etc.

L'infection par des blessures racinaires est également possible. Outre les blessures, cette bactérie utilise également les hydathodes, et les stomates

Après pénétration dans la feuille, *Xcc* peut envahir les vaisseaux du xylème, permettant alors une colonisation systémique de la plante et le déclenchement des symptômes de la maladie. Une température et une humidité élevées favorisent le développement de la pourriture noire. Les symptômes caractéristiques de cette maladie sont la formation de lésions jaunes en forme de « V » devenant brunes et nécrosées au fil de la progression des bactéries. Les feuilles gravement infectées se dessèchent entièrement et peuvent alors tomber. Entre deux cycles d'infection, *Xcc* est capable de survivre pendant plusieurs années sur des débris végétaux, dans le sol et à la surface des graines issues des plantes infectées

Xanthomonas fragariae : responsable de la maladie des taches angulaires sur fraisier :

Les taches foliaires angulaires apparaît d'abord sous la forme de lésions aqueuses sur la face inférieure des feuilles de fraisier. Ces lésions aqueuses sont le résultat de la colonisation bactérienne dans le tissu foliaire. Les lésions deviennent généralement plus grandes, et les lésions hypertrophiées forment alors des taches translucides. Ces taches angulaires exsudent typiquement un suintement de bactéries qui apparaît comme un film blanc et floconneux une fois sec. Les lésions sur la surface supérieure des feuilles deviendront également visibles avec le temps. Les taches angulaires grossissent et commencent à se combiner. Les feuilles gravement atteintes peuvent se déchirer et devenir dentelées, avec un aspect sec et brun rougeâtre.

Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli : agent des brûlures bactériennes de l'haricot

La bactérie pénètre dans les feuilles par les stomates ou par des plaies, et envahit ensuite les espaces intercellulaires, provoquant une dissolution graduelle de la lamelle moyenne. Des petites zones humides apparaissent sur les feuilles, puis se développent et sont encerclées par une étroite bande de tissu jaune citron. Ces lésions virent au brun, la feuille se nécrose rapidement et une défoliation peut même se produire. Les cultures attaquées ont un aspect brûlé. La bactérie peut rester viable de nombreuses années dans les enveloppes de la semence

Xanthomonas citri : Le chancre bactérien des agrumes, ou chancre asiatique des agrumes, ou chancre citrique, est une maladie bactérienne d'origine asiatique, causée par *Xanthomonas ci-*

tri. Cette maladie affecte principalement les plantes de la famille des Rutaceae et notamment les agrumes (plantes du genre *Citrus* sp.). L'infection cause des lésions sur les feuilles, les tiges et les fruits des arbres du genre *Citrus* tels que limettier, oranger et pamplemoussier. Le chancre affecte de manière significative la vitalité des arbres, ce qui provoque la chute prématurée des feuilles et des fruits ; les fruits infectés par le chancre sont comestibles mais peu esthétiques donc non commercialisables.

a-2. Genre *Xylella* : espèce *Xylella fastidiosa*

X. fastidiosa est une bactérie fastidieuse Gram-négative confinée au xylème, en forme de bâtonnet avec des parois cellulaires ondulées caractéristiques. Elle n'est pas flagellée, ne forme pas de spores et mesure 0,1 à 0,5 µm x 1 à 5 µm. *Xylella fastidiosa*, est une bactérie de la famille des *Xanthomonadaceae*, qui infecte le xylème. Seule espèce du genre *Xylella*, on lui reconnaît quatre sous-espèces : *Xylella fastidiosa* subsp. *Fastidiosa*, *Xylella fastidiosa* subsp. *Multiplex*, *Xylella fastidiosa* subsp. *Pauca* et *Xylella fastidiosa* subsp. *Sandyi*.

Xylella fastidiosa est une bactérie nuisible sur de nombreux végétaux, connue comme agent de la maladie de Pierce qui a fortement touché les vignobles californiens dans les années 1990 et de la chlorose variégée des citrus au Brésil à la fin des années 1980. Les dépérissements provoqués par la maladie peuvent avoir de graves répercussions économiques. Cette maladie est fortement épidémique et transmissible par de nombreux vecteurs.

La propagation de la maladie se fait principalement par le biais d'insectes (cercopes, cicadelles, aphrophores...) qui se nourrissent de la sève brute des végétaux.

Plantes hôtes : Les oliviers, les lauriers roses, les orangers, les mûriers, les abricotiers, les pruniers, les platanes, les cerisiers, les pêchers, les chênes, les vignes, les avocatiers, le tournesol, les luzernes, les amandiers, le romarin, les rosiers ou encore la lavande sont susceptibles d'être touchés.

Symptômes de la maladie : Brûlures foliaires et dessèchements sur feuilles et sur rameaux entraînant la mort, - Jaunissement des feuilles, Aoûtement et persistance des pétioles après la chute des feuilles pour la vigne, Nanisme (problème de croissance) et production de fruits de petite taille



Figure 55 : Symptômes de *Xylella fastidiosa* sur l'olivier (ANSES,2015)

II-2-3 Ordre : *Enterobacteriale*

a- Famille *Enterobacteriaceae*

Genre *Erwinia* et genres apparentés

La plupart des membres de ce genre causent des maladies des plantes. Ces bactéries sont des bâtonnets Gram-négatifs portant des flagelles péritriches et produisent des acides à partir de sucres, ils peuvent fermenter les substrats de manière anaérobie.

Sur la base des nouvelles données moléculaires, Quatre groupes phylogénétiques (genres) représentant les espèces appartenant traditionnellement au genre *Erwinia* ont été proposés :

-Un groupe gardant le nom du genre *Erwinia* comprend *E. amylovora*, *E. rhapontici*, *E. persicina*, *E. psidii*, *E. pyrifoliae*, *E. mallotivora* et *E. tracheiphila*.

-Un deuxième groupe appelé *Pectobacterium* comprend les espèces *E. carotovora*, *E. chrysanthemi* et *E. cypripedii*. principalement parce qu'il produit des enzymes pectolytiques pour la pathogenèse .

- Un troisième groupe appelé *Brenneria* comprend *E. alni*, *E. nigrifluens*, *E. rubrifaciens*, *E. paradisiaca*, *E. quercina* et *E. salicis*.

- Un quatrième groupe appelé *Pantoea* comprend des membres qui présentent un métabolisme oxydatif inhabituel du D-glucose et produisent des colonies jaunes à mauves exemple *E. agglomerans* (pathogène également pour l'homme). *E. stewartii* , *E. ananatis*...

Types de Maladies

Les espèces *Erwinia*, *Pectobacterium*, *Pantoea* et *Brenneria* sont responsables de quatre types de maladies des plantes:

- 1) Maladies nécrotiques caractérisés par la formation des nécroses et des chancres
- 2) Maladies caractérisées par la macération progressive des tissus : la pourriture molle;
- 3) Maladies caractérisées par des occlusions des tissus vasculaires : flétrissement vasculaire;
- 4) Maladies caractérisées par une hypertrophie entraînant la formation de tumeurs ou de galles.

Quelques exemples de bactéries phytopathogènes

Pectobacterium carotovora subsp *carotovora* (synonyme : *Erwinia carotovora* : agent de la pourriture molle que de nombreux plantes ; La bactérie infecte une variété de légumes et de plantes, y compris les carottes, les pommes de terre, les concombres, les oignons, les tomates, la laitue et les plantes ornementales comme l'iris ; La bactérie pénètre par les blessures, provoquant une pourriture rapide et humide avec une odeur très agressive.

Pectobacterium carotovora subsp *atroseptica* (anciennement *Erwinia carotovora*). agent de la jambe noir de la pomme de terre. C'est une maladie systémique touchant la pomme de terre. Les feuilles inférieures jaunissent; les feuilles supérieures s'enroulent vers le haut; la tige est tachetée de noir, plus ou moins ramollie à la base, les pousses peuvent flétrir et tomber. Les tubercules sont infectés par l'extrémité de la tige. La maladie est plus rapide par temps chaud et humide et peut continuer pendant le stockage des tubercules.

Erwinia amylovora : agent du feu bactérien sur les rosacées. Cette bactérie est capable d'infecter plus de 140 espèces végétales appartenant à 39 genres de la famille des rosacées. Le poirier, le pommier et le cognassier sont les plantes hôtes les plus sensibles. Elles causent des nécroses sur les feuilles et les fruits et des chancres sur le tronc et branches. C'est la maladie la plus dangereuse sur les rosacées à pépins.



Figure 56 : symptômes de feu bactérien sur poirier (ONSSA, 2015)

II-3 Classe de *Betaproteobacteria*

II-3-1 Ordre : Burkholderiales

a-Famille : Burkholderiaceae

a-1 -Genre *Burkholderia*

Le genre *Burkholderia* (auparavant faisant partie du genre *Pseudomonas*) regroupe un ensemble de bactéries qui colonisent une très large variété de niches écologiques, c'est quasiment un genre ubiquiste. Ce sont des bactéries à coloration Gram négatives, mobiles, aérobies strictes formant des bâtonnets, et qui sont pour certaines espèces pathogènes pour l'homme, les animaux et les plantes.

Exemples de bactéries

-*Burkholderia cepacia* (anciennement *Pseudomonas cepacia*). Agent de la Pourriture aigre de l'oignon. Pourriture des écailles charnues externes. En plein champ, les symptômes initiaux consistent souvent en une coloration brun clair d'une ou deux feuilles. Une pourriture aqueuse se développe à la base des feuilles puis progresse jusque dans le collet. Au fur et à mesure que la maladie avance, les écailles extérieures du bulbe s'infectent. Les bulbes infectés dégagent souvent une odeur aigre, comme du vinaigre.

Cette bactérie est également pathogène pour l'homme (elle cause des pneumonies), elle possède également un intérêt écologique (dépolluant)

a-2- **Genre *Ralstonia*** : Espèce type *Ralstonia solanacearum*

Ralstonia solanacearum (synonymes : *Pseudomonas solanacearum*, *Burkholderia solanacearum*) est une bactérie du sol, pathogène des végétaux, Gram-négative. Présente dans tous les continents, particulièrement dans les régions tropicales et subtropicales, elle colonise le xylème, causant une pourriture bactérienne ou bactériose vasculaire chez de nombreuses plantes-hôtes, touchant plus de 53 familles botaniques. C'est notamment l'agent de la pourriture brune de la pomme de terre, de la maladie de Granville du tabac et de la maladie de Moko du bananier.

Lorsqu'il se développe sur la pomme de terre, le flétrissement bactérien est appelé pourriture brune ou « potato Brown rot » et il est causé par les souches de phylotype II. Les symptômes sont visibles dans le tubercule lors du développement de la plante et une section longitudinale révèle une décoloration grise à brune du tissu vasculaire. Dans les cas avancés, cette décoloration se développe aussi au cœur du tubercule et un exsudat blanchâtre caractéristique apparaît, composé de bactéries et d'exopolysaccharides.

b-Famille de Comamonadaceae

Genre *Xylophilus*

Espèce type *Xylophilus ampelinus* (anciennement appelé *Xanthomonas ampelina*). La vigne est la seule plante-hôte connue. *X. ampelinus* est un bâtonnet Gram négatif à flagelle polaire unique. En culture à 25°C sa croissance est lente; les colonies entières de diamètre 0,4-0,8 mm, non muqueuses, lisses, jaunes et rondes se développent en 6-10 jours sur un milieu favorable.

Les infections primaires ont lieu principalement sur des pousses de 1 ou 2 ans, à travers les feuilles, fleurs et baies. Le pathogène se transmet aussi par les outils de taille et pénètre dans les tissus sains principalement à partir de plaies de taille, en particulier par temps humide et venteux. Puis il passe dans d'autres pousses au début de l'été

Les symptômes sont visibles du début du printemps jusqu'en juin. L'infection débute en général sur les 2 ou 3 noeuds inférieurs des pousses de 12-30 cm, et se propage lentement vers le haut. Des bandes linéaires brun rougeâtre apparaissent au départ et s'étendent de la base de la pousse vers son extrémité; ensuite, des chancres et des fissures de forme lenticulaire se développent, at-

teignant parfois la moelle. La plante ne se défend pas contre cette attaque. Les pousses se flétrissent et se dessèchent. Sur les très jeunes pousses il n'y a pas de coloration et la pousse entière dépérit.

Chpitre III : Phylum *Firmicutes*

III-1 Classe : *Actinobacteria*

Les *actinobacteria* sont un groupe d'bactéries Gram-positif avec un teneur élevé en guanine et cytosine (G+C).

III-1-1 Ordre : *Actinomycetales*

a-Famille : *Microbacteriaceae*

a-1-Genre *Clavibacter*

Ce sont bâtonnets droits ou recourbés de forme renflée à une extrémité (en massue), immobiles. Actuellement, le genre *Clavibacter* comprend une espèce, *Clavibacter michiganensis*, à cinq sous-espèces : *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *insidiosus*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* et *Clavibacter michiganensis* subsp. *tessellarius*. Les membres du genre *Clavibacter* sont caractérisés par des bâtonnets de taille environ $0,5-0,7 \times 0,75-1,5 \mu\text{m}$, qui se forment seuls ou par paires. L'optimum thermique est d'environ 25-28 ° C.

Exemples

Clavibacter michiganensis subsp *michiganensis* (*Corynebacterium michiganense*) causant le chancre bactérien de la tomate). C'est une maladie vasculaire, les semis restant rabougris. Les symptômes sur les plantes plus âgées commencent avec le flétrissement des bords des folioles inférieures, souvent seulement d'un côté de la feuille. Les feuillettes s'enroulent vers le haut, brunissent et dépérissent, mais restent attachés à la tige. Une infection unilatérale peut s'étendre à travers la plante et causer des chancres de la tige. L'infection des fruits commence par de petites taches blanches surélevées, les centres plus tard brunissent mais la couleur blanche persistante comme un halo.

a-2-Le genre *Curtobacterium*

Les caractéristiques typiques du genre peuvent être résumées comme suit. Les colonies sur gélose nutritive sont jaunes ou oranges, brillantes, légèrement convexes et rondes. Les cellules sont de petits bâtonnets irréguliers, qui tendent à devenir plus courtes dans la culture plus ancienne. Ces cellules Gram positive, se déplacent généralement au moyen de flagelles latéraux et sont aérobies strictes et mésophiles. Il s'agit des bactéries essentiellement associées aux plantes.

Exemples

Curtobacterium flaccumfaciens pv. *flaccumfaciens* (anciennement *Clavibacter flaccumfaciens*). Agent du flétrissement bactérien du haricot, causant des pertes considérables. Les plantes se flétrissent à n'importe quel stade depuis le semis jusqu'à la production de gousses, les feuilles devenant sèches, brunes. Les plantes sont souvent rabougries. Les bactéries hivernent sur ou dans les graines, qui apparaissent jaunes ou ridées. Lorsque des graines infectées sont plantées, les bactéries passent des cotylédons aux tiges et aux vaisseaux du xylème. D'autres plantes sont infectées par des blessures mécaniques et peut-être par des insectes.

b- Famille Streptomycetaceae

Genre *streptomyces*

Les streptomycètes sont des bactéries filamenteuses aérobies à Gram positif de l'ordre des Actinomycétales. Les hyphes végétatifs (0,5-2,0 µm de diamètre) produisent un mycélium largement ramifié qui se fragmente rarement. Le mycélium aérien à maturité forme des chaînes de trois à plusieurs spores. Certaines espèces peuvent porter des chaînes courtes de spores sur le mycélium substrat.

Sur des milieux agar complexes, des colonies discrètes et lichénoïdes, sont formées. Les colonies sont initialement relativement lisses, mais elles développent plus tard un mycélium aérien qui peut apparaître floconneux, granuleux, poudreux ou velouté.

Exemple de *Streptomyces* phytopathogènes

Streptomyces scabies agent de la gale commune de la pomme de terre : L'espèce *Streptomyces scabies* est – sur le plan mondial – la plus répandue. Les bactéries pénètrent par les lenticelles immatures des tubercules de pomme de terre. Les bactéries peuvent aussi envahir les tubercules blessés par des outils de jardinage. Au fil du développement des tubercules, les lésions causées par les *Streptomyces* prennent de l'ampleur. Cette maladie attaque uniquement les tubercules. Les symptômes sur la partie aérienne n'ont jamais été rencontrés dans la nature.

Les *Streptomyces* n'infestent que les pommes de terre non récoltées, c'est-à-dire les tubercules qui sont encore enfouis dans le sol. Si bien que la maladie cesse d'évoluer dès que les tubercules sont sortis de terre.

III-2 Classe : Mollicutes

III-2-1 Ordre: Acholeplasmatales

a-Famille: Acholeplasmataceae

Genre *Phytoplasma*

Les phytoplasmes sont des bactéries sans paroi qui parasitent de façon obligatoire les insectes vecteurs et le phloème des plantes. Leur taille varie entre 0.1 µm à plus de 1µm. Le génome des phytoplasmes est constitué d'un seul chromosome linéaire ou circulaire. On note la présence de plasmides (gènes extra-chromosomiques)

Les maladies à phytoplasmes sont particulièrement importantes dans les pays tropicaux en raison de l'activité ininterrompue des insectes vecteurs, en régions plus tempérées, elles concernent principalement la vigne, les arbres fruitiers. Les symptômes des maladies à phytoplasmes sont : Balais de sorcières, nanisme, chlorose, jaunissement , polyphyllie, phyllodie, dessèchement des fruits l

La transmission des phytoplasmes de plante à une autre plante est assurée par les insectes lors de prise de nourriture. Les cicadelles sont les insectes qui transmettent le plus les phytoplasmes, on peut trouver également les punaises et les psylles mais dans des rares cas. La transmission des phytoplasmes est également observée lors de greffage de porte greffe au greffon et le contraire; la cuscute peut transmettre cette bactérie lors de processus de parasitisme.

Exemple : La flavescence dorée de la vigne causée par *Phytoplasma vitis*



Figure 57: Symptômes de la flavescence dorée de la vigne causée par *Phytoplasma vitis*

III-2 Ordre :Mycoplasmatales

a- Famille : Spiroplasmataceae

Genre : *Spiroplasma*

Les spiroplasmes sont des mollicutes hélicoïdaux. Le premier *Spiroplasma* connu est *Spiroplasma kunkelii* et le premier *Spiroplasma* cultivé in vitro est *S. citri*. Ces spiroplasmes infectent leurs vecteurs respectifs (cicadelles). Les spiroplasmes sont des cellules dont la forme varie (pléomorphe). Ils peuvent être sphériques à légèrement ovoïdes (100 à 250 nm de diamètre), des filaments hélicoïdaux (les filaments hélicoïdaux in vitro mesurent 3000 à 5000 nm de longueur et 100 à 200 nm de diamètre) et des filaments non hélicoïdaux. Contrairement aux phytoplasmes, les spiroplasmes peuvent être obtenus à partir de leurs plantes hôtes ou de leurs insectes vecteurs et cultivés sur des milieux nutritifs. Ils ont besoin de cholestérol pour leur croissance. Les symptômes causés par les spiroplasmes ressemblent à ceux causés par les phytoplasmes.

Exemple : *Spiroplasma citri* agent de la maladie de Stubborm des agrumes.

Références bibliographiques

1. Agrios G.N., 2005. Plant Pathology. 5th Ed., Elsevier Academic Press, Massachusetts, USA, 922 p.
2. Benslimane H., 2014. Simple Method to Produce in vitro *Pyrenophora tritici-repentis* Teleomorph. Plant Pathol. J. 30(4): 437-439
3. Blancard D., 2017. *Guignardia bidwellii* (Ellis) Viala & Ravaz 1892, Pourriture noire, (black rot) pourriture sèche <http://ephytia.inra.fr/fr/C/6983/Vigne-Biologie-epidemiologie>.
4. Bouakaz K., Oussaid Y., 2013. Reconnaissance et identification des principales maladies cryptogamiques du blé et de l'orge, Institut National de la Protection des Végétaux, 31p .
5. Caliman M.E., Lima de Oliveira C.S., Pereira j., Bezerra J.L. 2013. First report of *Glomerella cingulata* causing leaf spot on *Dieffenbachia seguine* in Brazil. Agrotrópica 25(2): 125 - 128.
6. Carris L.M., Castlebury L. A., Goates B.J. 2006. Non systemic Bunt Fungi *Tilletia indica* and *T. horrida* : A Review of History, Systematics, and Biology. Annual Review of Phytopathology 44 (1):113-33.
7. Cavalier-Smith T., 1981. *Eukaryote kingdoms: seven or nine?*, Bio Systems 14, 461–481.
8. Cavalier-Smith T 1993. *Kingdom protozoa and its 18 phyla*, Microbiological reviews, 57 (4) 953–994
9. Cavalier-Smith, T. 2004. Only six kingdoms of life. Proc. R. Soc. Lond. B 271: 1251-1262.
10. Cavalier-Smith T, 2010. *Kingdoms Protozoa and Chromista and the eozoan root of the eukaryotic tree* , Biol. Lett., 6 (3) 342–345.
11. Chatton E.,1925. *Pansporella perplexa. Réflexions sur la biologie et la phylogénie des protozoaires*. Annales des Sciences Naturelles - Zoologie et Biologie Animale, vol. 10-VII, p. 1–84
12. Chatton E, 1937. *Titres et Travaux Scientifiques (1906–1937)*, Sottano (Sète, France).
13. Copeland H. F., 1938 . *The kingdoms of organisms*. Quarterly Review of Biology, 13: 383–420.
14. Copeland H F 1956, *The Classification of Lower Organisms*. Palo Alto, Pacific Books
15. **Desjardin D.E., Wood M.G., Stevens F.A.** 2015. California Mushrooms: The Comprehensive Identification Guide. Timber Press: Portland, OR. 560 p.
16. Elliott M. L. Broschat T. K. Uchida J. Y., Simone G. W.2004. Compendium of Ornamental Palm Diseases and Disorders. The American Phytopathological Society. 71 p.
17. **Friberg H** , 2005. Persistence of *Plasmodiophora brassicae* Influence of Non-Host Plants, Soil Fauna and Organic Material. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. SSN:1652-6880, ISBN:91-576-6914-7
18. Haeckel E, 1866. *Generelle Morphologie der Organismen*, Reimer, Berlin, 1866

19. Hanlin, R.T. 1990. Illustrated genera of Ascomycetes Volume I. Amer Phytopathological Society Press
20. Horst, R.K. 2001. Compendium of Rose Diseases. The American Phytopathological Society. 144p
21. Horst R., 2008 . Westcott's Plant Disease Handbook. Seventh Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York . 1317
22. INRA, 2018. *Rhizoctonia solani* Rhizoctone brun (*Black scurf* = *Stem canker*). <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20899/Pomme-de-terre-Rhizoctonia-solani-rhizoctone-brun>
23. Jones A.L., Aldwinckle, H.S. 1990. Compendium of Apple and Pear Diseases. The American Phytopathological Society 125 p.
24. Labbé R., 2018. Les champignons du Québec , *Fuligo septica* / *Fuligo septique* (Fleur de tan). [Internet] <https://www.mycoquebec.org>
25. Labbé R., 2019. Les champignons du Québec , *Physarum cinereum* / *Physare cendré*. [Internet] <https://www.mycoquebec.org>
26. Lepoivre P., 2003 – Phytopathologie : Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. Editions De Boeck Université, Belgique, 427 p.
27. LNPV [Laboratoire national de la protection des végétaux], 2008. Toutes céréales, détection et identification des espèces de *Fusarium spp.* Et *Microdochium nivale* sur grains de céréales par isolement mycologique semi-sélectif et étude microbiologique. Réf. MH-03.16 : version B, 28 p.
28. McKenzie, E. (2013b) *Meliola citricola* (*Meliola citricola*) Updated on 4/14/2014 11:13:36 PM Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>.
29. McKenzie, E. (2013a) *Albugo candida* (*Albugo candida*) Updated on 7/18/2013 12:00:28 PM Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>
30. Moore-Landecker E., 1972. Fundamentals of the fungi . Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall 482 p
31. Morgaint B, 2015. Identification et caractérisation des *Pseudomonas* associées à la bactériose de l'abricotier en vallée du Rhône. Mémoire de Master 2 : Université de Picardie Jules Verne. 36p
32. Nasraoui B., 2000. Principales maladies fongiques des céréales en Tunisie. Centre de Publication Universitaire, 145 p, Tunisie.
33. Nasraoui B., 2015. Les champignons et pseudo-champignons pathogènes des plantes cultivées : Biologie, Nouvelle Systématique, Interaction Pathologique . Institut Agronomique National de Tunisie (INAT), 181p
34. Ogawa, J.M. Zehr, E.I. Bird, G.W. Ritchie, D.F., K. Uriu, and Uyemoto, J.K. 1995 Compendium of Stone Fruit Diseases. The American Phytopathological Society. 128p.
35. Pastircak M, 2005 . **Note: Occurrence of *Mycosphaerella graminicola* , teleomorph of *Septoria tritici* , in Slovakia.** *Phytoparasitica* 33(4):377-379

36. Pearson R.C. and Goheen A.C. 1988. Compendium of Grape. The American Phytopathological Society. 121p.
37. Ruggiero M A, Gordon D P, Orrell T M, Bailly N, Bourgoin T, Brusca R C , Cavalier-Smith T, Guiry M D et Kirk P M, 2015 *A Higher Level Classification of All Living Organisms*. PLoS ONE, vol. 10, n° 4,
38. Sigeo D.C., 2005 .Bacterial plant pathology :Cell and Molecular aspects. 1ere Edition, Cambridge university Press, 325p.
39. Schumann, G.L.. D'Arcy C. J, 2005. Late blight of potato and tomato. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0724-01
40. Schwartz H. F. Steadman J.R, Hall R, Forster R.L., .2005. Compendium of Bean Diseases, Second Edition. The American Phytopathological Society. 120p.
41. Whittaker R H, 1969 , *New concepts of kingdoms of organisms*. Science, vol. 163., p. 150–160.
42. Wiese, M.V., 1987. Compendium of wheat Diseases. The American Phytopathological Society. 124p.
43. Woese C R, Balch W E, Magrum L J , Fox G E, Wolfe R S , 1977. *An ancient divergence among the bacteria*, Journal of Molecular Evolution, vol. 9., p. 305–311
44. Woese C R , Fox G E, 1977. "Phylogenetic structure of the prokaryotic domain : The primary kingdoms", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol.74, No.11, November 1, p.5088-5090.
45. Woese C R , Kandler O, Wheelis M L, 1990. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol.87, No.12, p.4576-4579.

Site web

1. **ANSES, 2105. *Xylella fastidiosa* Fiche de reconnaissance des symptômes .8p consulté via <https://www.anses.fr/fr/system/files/VEG-Fi-XylellaFastidiosa.pdf>**
2. **ONSSA , 2015. Feu bactérien : *Erwinia amylovora* .**
http://www.onssa.gov.ma/images/pdf/2menu/feu_bacterien.pdf
3. http://pyrenomycetes.free.fr/rosellinia/html/Rosellinia_necatrix.htm
4. <https://gd.eppo.int/taxon/SYNCEN/photos>
5. https://www.podcastscience.fm/emission/2019/03/12/podcast-science-365-plante-vs-monde-1/attachment/ps365_12-appressorium-png/
6. <http://www.ecosociosystemes.fr/>