

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'écologie et du génie de l'environnement

Polycopié de cours pour les Master II Phytopathologie et protection des végétaux

## *Maladies parasitaires des végétaux*

Elaboré par monsieur Boualem BOUMAAZA

Année 2016

**Sommaire**

Introduction .....	1
<b>I- Les caractères généraux des champignons .....</b>	<b>3</b>
1- L'appareil végétatif ou thalle .....	3
2- Cytologie et physiologie .....	4
3- Reproduction des champignons .....	6
<b>II- Les systèmes de classification.....</b>	<b>16</b>
<b>III- Les principaux groupes de champignons phytopathogènes .....</b>	<b>22</b>
1- Ascomycota.....	22
2- Basidiomycota.....	24
3- Zygomycota .....	27
4- Oomycota.....	29
5- Chytridiomycota.....	31
<b>IV- Les principales maladies fongiques.....</b>	<b>33</b>
IV.1- Maladies causées par les Ascomycota.....	33
IV.2- Maladies causées par les Basidiomycota.....	49
IV.3- Maladies causées par les Oomycota .....	51
IV.4- Maladies causées par les Chytridiomycota.....	55
IV.5- Maladies causées par les Zygomycota.....	56
<b>V- Les principales maladies bactériennes .....</b>	<b>57</b>
V.1- Les maladies causées par <i>Corynebacterium sp.</i> .....	59
V.2- Maladies causées par <i>Erwinia sp.</i> .....	60
V.3- Maladies causées par <i>Pseudomonas sp.</i> .....	62
V.4- Maladies causées par <i>Xanthomonas sp.</i> .....	65
V.5- Maladies causées par <i>Agrobacterium sp.</i> .....	67
V.6- Maladies causées par <i>Streptomyces sp.</i> .....	68
<b>VI- Les principales maladies virales .....</b>	<b>69</b>
VI.1- Groupe des Potyvirus.....	69
VI.2- Groupe des lutéovirus .....	70
VI.3- Groupe des Closterovirus .....	70
VI.4- Groupe des Nepovirus .....	71
VI.5- Groupe des Cucumovirus .....	71
VI.6- Groupe Des Geminivirus .....	71
VI.7- Groupe des Ilarvirus .....	72
<b>References bibliographiques .....</b>	<b>73</b>

### Liste des figures

- Figure 1 :** Types de mycélium
- Figure 2 :** Schématisation de la structure de la paroi fongique
- Figure 3 :** Types de reproduction sexuée chez les mycètes
- Figure 4 :** Types de reproduction asexuée chez les mycètes
- Figure 5 :** Les différents organes de fructification chez les champignons
- Figure 6 :** Mode de groupement des conidies des champignons filamenteux
- Figure 7 :** Mode de formation des conidies.
- Figure 8 :** les différentes formes de spore
- Figure 9 :** Les ascomycète..
- Figure 10 :** Mode de formation des ascospores
- Figure 11 :** Formation des hyphes à dicaryons.
- Figure 12 :** Cycle biologique des ascomycètes
- Figure 13 :** Stade de développement des basidiospores au sein d'une baside
- Figure 14 :** Exemple des Auto-basidiomycètes
- Figure 15 :** Cycle biologique des basidiomycètes
- Figure 16 :** Quelque exemple de basides
- Figure 17 :** Mode de formation des zygosporos
- Figure 18 :** Zygosporangium contient des sporocyste..
- Figure 19 :** Cycle biologique des zygomycètes
- Figure 20 :** Cycle biologique des oomycètes
- Figure 21 :** Formation de oospore par reproduction sexuée (phytium)
- Figure 22 :** Zoospores qui se forment dans les sporanges.
- Figure 23 :** Cycle biologique des chytridiomycetes
- Figure 24 :** Représentation schématique de la pénétration directe des cellules épidermiques
- Figure 25 :** Pustules d'oïdium sur froment
- Figure 26 :** Modèle concernant l'interaction entre les protéines et la cellule végétale.
- Figure 27 :** Symptômes de *Ascochyta rabiei* sur le pois chiche
- Figure 28 :** Symptômes d'*Alternaria* sur la tomate
- Figure 29 :** Symptomatologie et morphologie de *Botrytis chinera*
- Figure 30 :** Symptômes de tavelure sur jeunes fruits déformés et crevassés par la maladie
- Figure 31 :** Cycle de vie de *Venturia inaequalis*
- Figure 32 :** symptômes de moniliose sur les fruits de pomme et de pêche
- Figure 33 :** symptômes de la verticilliose sur les les feuilles de tomate
- Figure 34 :** symptômes de la Sclérotiniose sur les les racines de plants
- Figure 35 :** Chancre sur les rameaux des arbres
- Figure 36 :** Symptômes de mildiou sur les différents organes de la plante
- Figure 37 :** Cycle de développement de *Phytophthora infestans*
- Figure 38 :** Symptômes de galle verruqueuse de la pomme de terre
- Figure 39 :** Cycle du feu bactérien des Maloïdées, causé par la bactérie *Erwinia amylovora*
- Figure 40 :** Symptômes de moucheture bactérienne sur la tomate
- Figure 41 :** Symptômes de la gale bactérienne sur les la tomate et poivron

## **Introduction**

Les champignons, ou les mycètes, représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur Terre. Ce sont des organismes eucaryotes uni ou pluricellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes) d'aspect filamenteux ou lévuriforme, Ces organismes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes (Redecker, 2002), à mode de reproduction sexuée ou asexuée. Ils produisent un grand nombre de spores, ce qui leur assure un pouvoir de contamination considérable. D'un point de vue morphologique, on trouve une grande variété de champignons. Ils sont classés en deux grandes catégories: la forme levure unicellulaire et la forme mycélienne pluricellulaire constituée d'hyphes (Redecker, 2002). D'un point de vue métabolique les champignons sont des chimiohétérotrophes, c'est à dire qu'ils utilisent du carbone organique comme source d'énergie (Redecker, 2002). Leur mode de nutrition se fait par absorption en libérant dans un premier temps des enzymes hydrolytiques dans le milieu extérieur. Ce sont des organismes aérobies pour la grande majorité, mais certaines levures peuvent être aéro-anaérobie et participer à des processus fermentaires (Carlile & Watkinson, 1994).

La grande majorité des espèces décrites est traditionnellement fondée sur les caractéristiques phénotypiques (morphologiques et/ou biochimiques). Les champignons peuvent être également classés selon leurs habitats, leurs localisations géographiques, selon le concept écologique de l'espèce (Taylor, 2000). L'ensemble des caractéristiques phénotypiques évoquées précédemment nécessitant plus obligatoirement une révolution totale. Lorsque, plusieurs espèces risquent de réunir des organismes partageant surtout ou les contraintes écologiques sont les mêmes. En outre, des lignées ou les caractères morpho-anatomiques évoluent rapidement, notamment lorsqu'une espèce change de milieu. Par conséquent, de nombreuses études ont visé à développer des outils d'identification reposant sur l'étude des acides nucléiques. Ces techniques moléculaires ont permis de réparer une grande anomalie dans la classification des mycètes. Avec les séquençages d'ADN, une multitude de nouveaux caractères est disponible pour ceux qui veulent classer des taxons. Les séquences fournissent donc une grande quantité de caractères.

Du côté phytopathologique, la plupart des champignons et Bactérie vivent en relation avec d'autres organismes, selon plusieurs manières : saprophytes, symbiotique et parasites. Ces derniers s'alimentent les tissus vivants des végétaux (hôtes), alors peuvent clairement être caractérisés comme biotrophes. Ces hôtes contribuent à la dissémination du parasite dans la

nature. La présence des agents pathogènes sur une plante hôte peut entraîner différents types de symptômes nécrose, de dessèchement, des pertes de vigueur, des flétrissements, des pourritures, des déformations d'organes (galles), mosaïques, sur différents organes, feuilles, tiges, fleurs, fruits et racines. Ces parasites, lorsqu'ils provoquent des maladies et dégâts aux plantes, peuvent avoir un fort impact sur la production agricole. Les pertes de rendement occasionnées par ces micro-organismes est difficile et fait appel à de nombreux critères. Les facteurs climatiques, édaphiques et écologiques qui agissent sur la culture, le parasite et la relation hôte/parasite doivent être pris en compte.

## I- Les caractères généraux des champignons

### 1-L'appareil végétatif ou thalle

Le Thalle des champignons peut prendre différentes formes :

#### 1- Thalle filamenteux (pluricellulaire)

La plupart des champignons ont toutefois un thalle fongique filamenteux et pluricellulaire, appelé mycélium, en forme de filaments. Chez certains groupes de champignons, le filament, que l'on dit siphonné (dit cénocytiques), est constitué de nombreux noyaux, car les cellules ne sont pas séparées les unes des autres. Chez les champignons dits supérieurs, les filaments, appelés hyphes, sont au contraire cloisonnés. Les hyphes de ce type, peuvent contenir un, deux ou plusieurs noyaux. Les hyphes cloisonnées (septé) et caractérisent les Ascomycota et les Basidiomycota. Les cloisons sont absentes dans les hyphes de la plupart des Oomycota, des Chytridiomycota et des Zygomycota.

#### 2- Thalle levuriforme (unicellulaire)

Le thalle de certains champignons est constitué d'une seule cellule(unicellulaire), appelée cellule levuriforme, puisque telle est la morphologie habituelle des levures. Ce thalle unicellulaire est rencontré chez certains Ascomycète, Basidiomycète et Zygomycète.

#### 3- Thalle plasmodial

Un **plasmode** (= thalle plasmodiale) est une masse de cytoplasme molle, déformable, caractérise les pseudo-champignons appartenant au Protozoa tels que les Plasmodiophoromycota. Il est formé par des masse cytoplasmiques, renfermant plusieurs noyaux, sans paroi cellulaire (Figure 1).

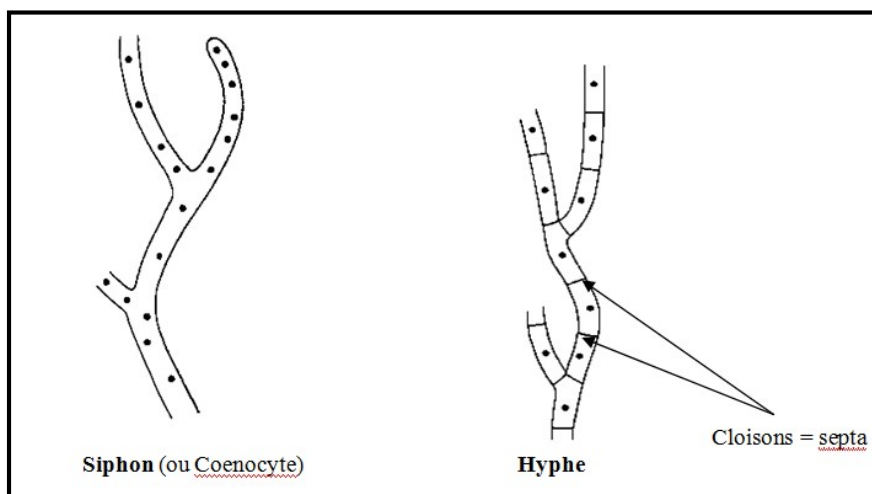


Figure1 : Types de mycélium

## 2- Cytologie et physiologie

### Paroi

La paroi cellulaire est une structure dont la composition et l'organisation sont modifiées durant le cycle cellulaire et en réponse aux changements des conditions environnementales, et peut également avoir plusieurs rôles physiologiques tels que formant des sites de liaison pour des enzymes ou ayant des propriétés antigéniques qui servent d'intermédiaires dans les interactions entre les champignons et les autres organismes. La paroi est composée essentiellement de polysaccharides (80 à 90%), mais aussi de faibles teneurs de protéines et beaucoup moins de lipides (Figure 2). Chez les champignons, la chitine et les  $\beta$ -glucanes en sont les polysaccharides structuraux majeurs. La cellulose, qui est le constituant majeur de la paroi cellulaire des pseudo-champignons Oomycète. La paroi des Zygomycète est typiquement un mélange de chitine, de chitosane et de polymères d'acides uroniques au lieu du mélange de chitine et de glucanes.

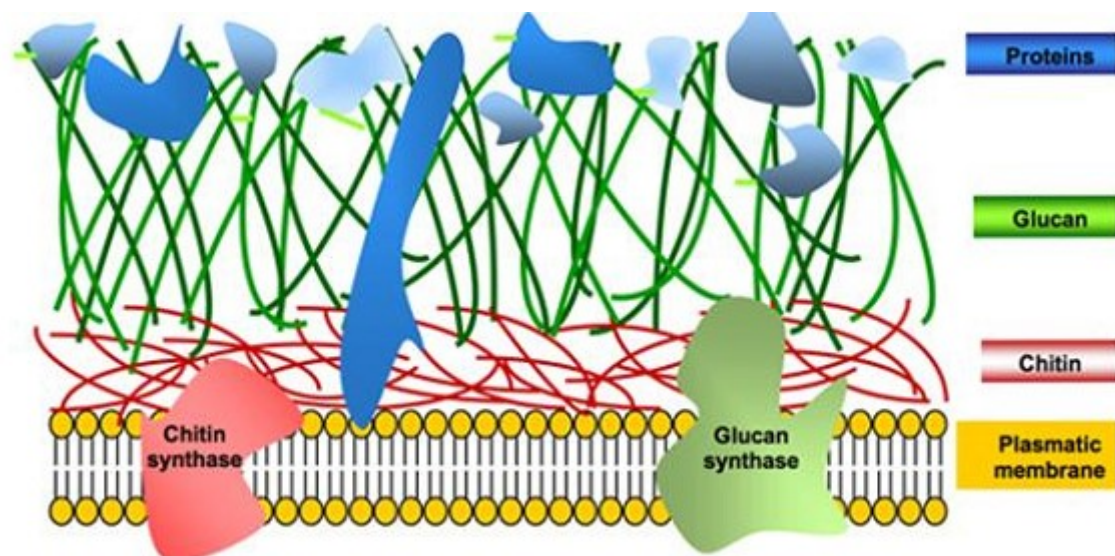


Figure 2 : Schématisation de la structure de la paroi fongique

### Ribosomes

Les ribosomes sont présents dans le cytoplasme. Ce sont des éléments complexes, formés de protéines et d'acide ribonucléique (ARNr) et sont souvent groupés en amas qu'on appelle polyribosomes ou polysomes. Leur rôle est de synthétiser les protéines en assurant la traduction de l'information génétique portée par l'ARN messager

### **Plasmides**

Les plasmides sont des fragments d'ADN double-brin (bicaténaire) distincts du nucléoïde, habituellement circulaires qui peuvent exister indépendamment du chromosome de l'hôte et se répliquer de manière autonome. Ils sont présents dans de nombreuses bactéries et quelques champignons filamenteux.

### **Noyau**

Le noyau fongique (2-3 µm de diamètre) est un organite, généralement de forme sphérique à ovoïde, contenant l'essentiel du matériel génétique de la cellule sous la forme d'un complexe ADN–protéines appelé chromatine. Lors de la division cellulaire, la chromatine se condense pour prendre la forme de chromosomes. La plupart des champignons sont haploïdes, mais certains autres peuvent alterner entre des générations haploïdes et diploïdes. Les pseudo-champignons Oomycète sont diploïdes. Le noyau est entouré par une enveloppe nucléaire qui consiste en deux unités membranaires séparées par un espace périnucléaire.

### **Membrane plasmique**

La membrane plasmique des cellules fongique ressemble à celle des eucaryotes. Elle est constituée d'une double couche lipidique associée à des protéines et à des glucides sur sa face externe. Entre les phospholipides se trouvent également des molécules de stérols. le principal stérol membranaire chez les champignons vrais est l'ergostérol. la membrane plasmique peut servir la régulation de l'absorption et la libération des substances, principalement les enzymes impliquées dans la synthèse de la paroi.

### **Appareil de Golgi**

L'appareil de Golgi chez les champignons est un organite constitué par des empilements de saccules. Les protéines sécrétoires sont très souvent modifiées dans l'appareil de Golgi par clivage et assemblage et sont ensuite dirigées vers leur localisation propre.

### **Mitochondries**

Les mitochondries sont des organites présents dans le cytoplasme des cellules fongiques en forme circulaires, ovales ou allongées, mais sont souvent ramifiées. La mitochondrie a une membrane externe lisse et une membrane interne qui se prolonge en crêtes qui pénètrent dans la matrice. Elles sont responsables des réactions métaboliques de la respiration cellulaire



qui aboutissent à la fabrication d'énergie sous forme d'ATP. C'est pour cette raison qu'on les compare souvent à des « centrales électriques de la cellule ».

### **Cytosquelette**

Le cytosquelette est un ensemble d'éléments présent dans le nucléoplasme et le hyaloplasme des cellules eucaryotes. Il est responsable, entre autres, de la forme interne et externe de la cellule. Les microtubules et les microfilaments sont les organites constitués la cellule eucaryotes. Les microfilaments du cytosquelette, d'un diamètre compris entre 6 et 8 nm, sont des polymères d'actine G suivant une disposition monocaténaire en hélice. Ils sont ubiquitaires chez les eucaryotes. Les microtubules sont des structures cylindriques creuses et rigides constitutives du cytosquelette. Ils ont un diamètre d'environ 25 nm, une épaisseur de 5 nm et une longueur variable du fait de leur dynamique (liée à leur fonction au sein de la cellule et à leur dynamique).

### **Lysosomes**

Les lysosomes, qui sont souvent responsables de la dégradation des composants intracellulaire grâce à des enzymes telles les phosphatases acides, sont des vésicules particulières qui existent aussi dans les cellules fongiques.

### **Vacuoles**

Les vacuoles sont de petites structures du cytoplasme appelées organites. Elles représentent presque la totalité des cellules hyphales. Elles sont composées d'eau, d'ions, de glucides. La vacuole n'a pas de forme ou de taille particulière, sa structure variant en fonction des besoins de la cellule. Les vacuoles jouent un rôle de stockage de composés et des métabolites cellulaires (polyphosphate) et interviennent dans les dégradations et recyclages les amino-acides . Elles ont aussi un rôle dans la régulation du pH cellulaire.

## **3- Reproduction des champignons**

Les champignons se reproduisent grâce à des spores. Celles-ci sont issues soit d'une reproduction sexuée (dite parfaite, champignon téléomorphe) ou d'une multiplication asexuée (dite imparfaite ou végétative, caractéristique de l'anamorphe).

### **3.1- La reproduction asexuée**

La plupart des champignons ont la capacité de se multiplier par le moyen de spores mitotiques sans fusion de gamètes produites dans le cycle normal du mycélium végétatif (le plus souvent haploïde). Ces spores, petites cellules déshydratées au métabolisme réduit et entourées

d'une paroi protectrice, leur diamètre varie de 2 à 250  $\mu\text{m}$ , ils sont produites en grande quantité par des structures spécialisées développées à partir du mycélium. Dans cette catégorie, il existe deux types de spores: Les spores peuvent aussi être produites de manière endogène à l'intérieur de cellules spécialisées ou sporocystes (sporocystiospores), ou de manière exogène (conidiogénèse) produites soit à la surface du mycélium ou sur des filaments spécialisés (appareils conidiens ou conidiophore) libres ou groupés dans une structure spécialisée appelée pycnide. Les spores, produites en très grande quantité et issues de la reproduction asexuée jouent un rôle essentiel dans la dispersion des champignons et la colonisation de nouvelles plantes. En effet une spore germe et émet un filament qui croît, s'allonge par l'extrémité apicale et se ramifie pour donner un nouveau mycélium. A ce titre on distingue les spores à paroi sèche, non mouillable (xérospores) et aisément transportées par l'air ; et les spores à paroi hygrophile, gluantes et dispersées par l'eau ou par contact avec les insectes, les acariens etc. La production des spores se fait par croissance apicale et élongation des filaments à partir de leurs extrémités dans toutes les directions. Ces spores sont connues sous le nom de thallospores ou spores thalliques. Chez les champignons anamorphiques, les spores sont appelées conidies et les termes de cellules sporogènes et sporophores sont remplacés par cellules conidiogènes et conidiophores, respectivement (Figure 4).

Les spores produites par les Ascomycète et des Basidiomycète sont portées dans des sporanges et sont alors appelées sporangiospores. Les sporangiospores des Zygomycète ne sont pas mobiles et sont appelées aplanospores. Certains groupes de champignons (Oomycète, Plasmodiophoromycète et Chytridiomycète) produisent des spores végétatives nues, mobiles dans l'eau grâce à un ou deux flagelles (zoospores) qui se forment à l'intérieur de sporanges .

### **3.2- La reproduction sexuée**

Le cycle sexuel des champignons se déroule en trois étapes: **plasmogamie**, **caryogamie** et **méiose** (Jennings & Lysek, 1996). La **plasmogamie** correspond à la fusion de deux protoplastes de deux cellules haploïdes compatibles. La cellule résultante est appelée dicaryon car elle possède deux types de noyaux haploïdes. Les deux noyaux vont fusionner lors de la **caryogamie** (caryogamie: un noyau à  $2n$  chromosomes) puis la méiose va convertir une cellule diploïde en quatre cellules haploïdes (4 noyaux à  $n$  chromosomes) (Carlile & Watkinson, 1994). Ces phénomènes nucléaires se produisent généralement dans des organes de fructification plus ou moins différenciés. Les grands groupes de la classification des champignons sont fondés sur la nature et la morphologie de ces fructifications. Cette

reproduction sexuée aboutit à la production de spores spécialisées ayant des noms particuliers tels que zygospores, ascospores, basidiospores et oospores (Figure3).

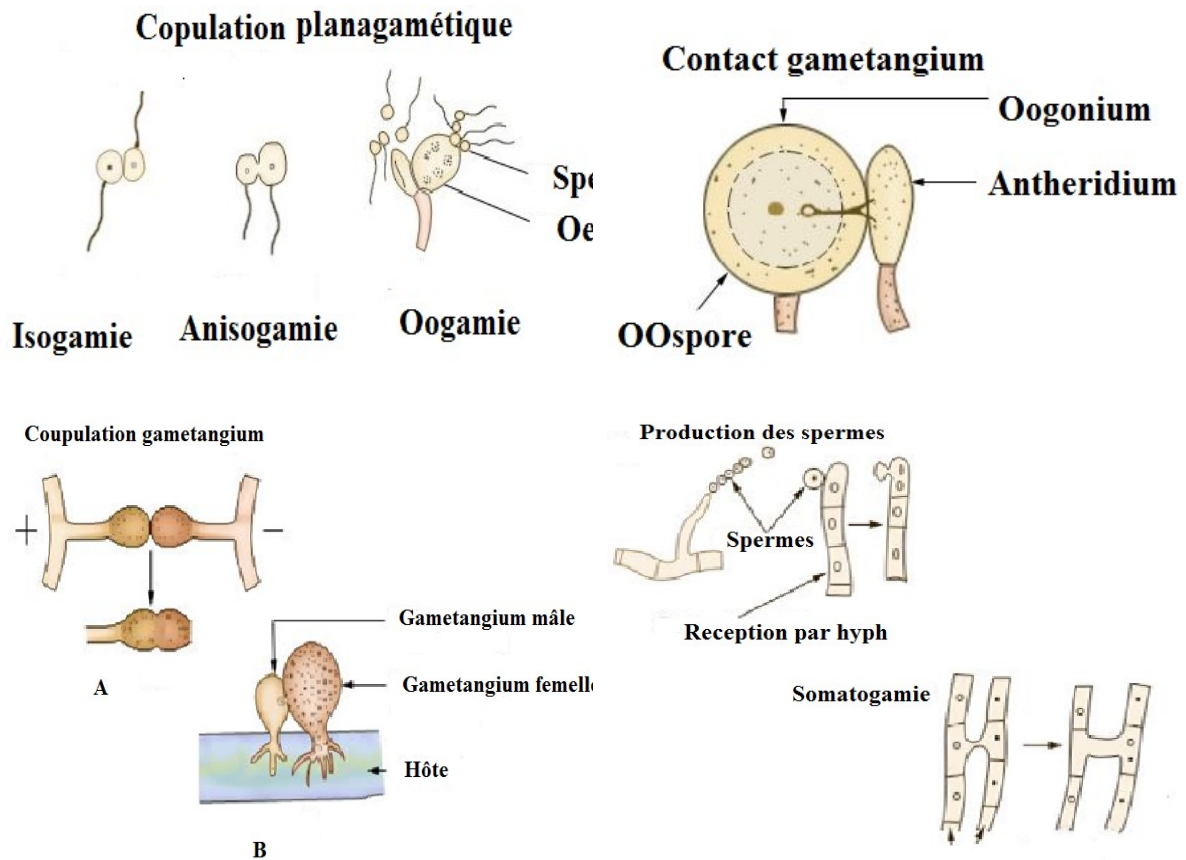


Figure3 : Types de reproduction sexuée chez les mycètes

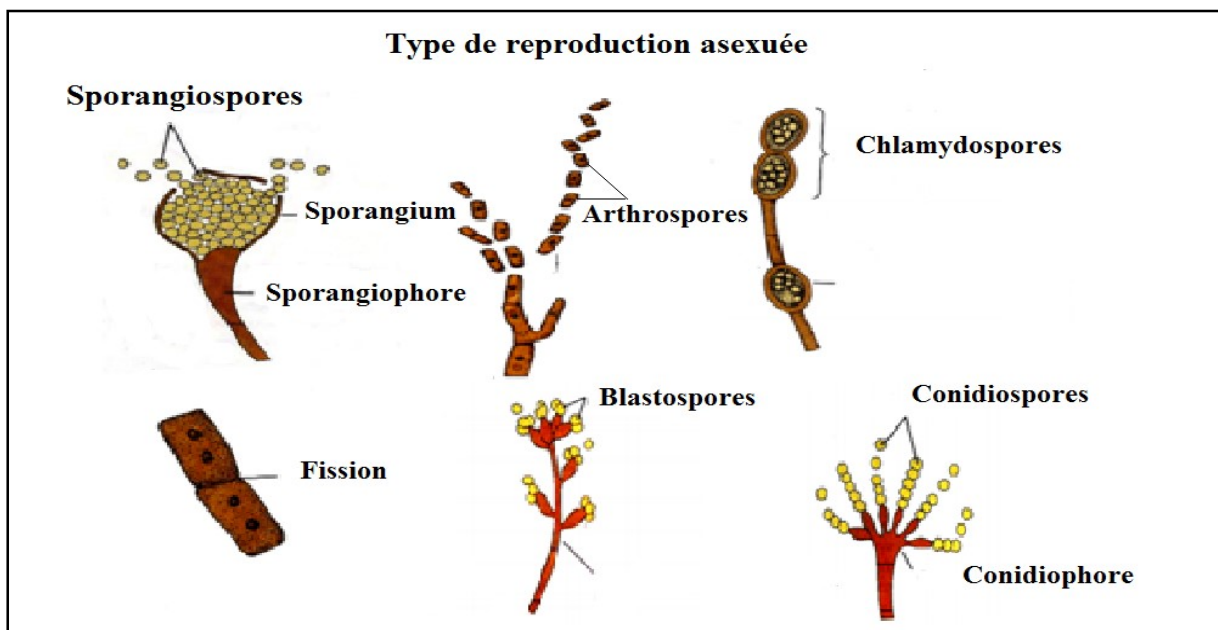


Figure 4. Types de reproduction asexuée chez les mycètes

### **3.3- Organe de fructification**

Il existe 5 types d'ascocarpes selon le mode d'organisation du stroma: périthèces, cléistothèces, apothécies, pycnides et acervule (Figure 5)

Les structures protectrices issues de la reproduction sexuée:

- 1- **Un Cleistothèce:** Le cleistothèce est un organe en forme de sphère qui contient les asques et les ascospores .
- 2- **Apothécies :** est une formation sexuée particulière à certains champignons ascomycètes. Elle est caractérisée par sa forme de coupe, au sein de laquelle se localise l'hyménium.
- 3- **Le Périthèce :** est la fructification, en forme de bouteille, renfermant les asques. C'est un organe formé après la rencontre de deux filaments mycéliens et dans lequel se développent les asques.

Les structures protectrices issues de la reproduction asexuée sont les pycnides et les acervules :

- 1- **Pycnides :** structure ronde en forme de sac, avec une ouverture apicale (ostiole), à l'intérieur de laquelle sont formées des conidies.
- 2- **Les acervules** sont des agrégats de filaments mycéliens enchevêtrés, solidement attachés sur un végétal délimitant une cavité avec une ouverture. A l'intérieur, on retrouve une assise de conidiophores produisant les conidies.

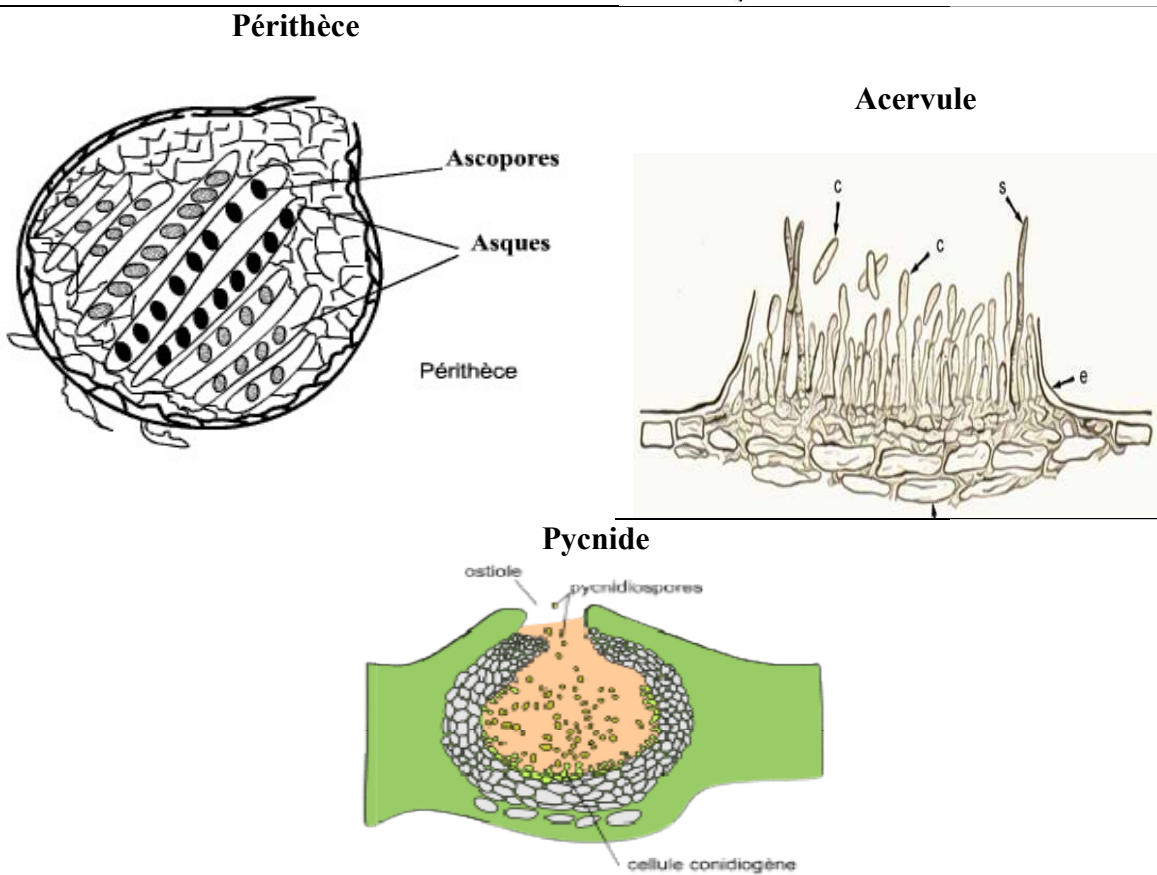
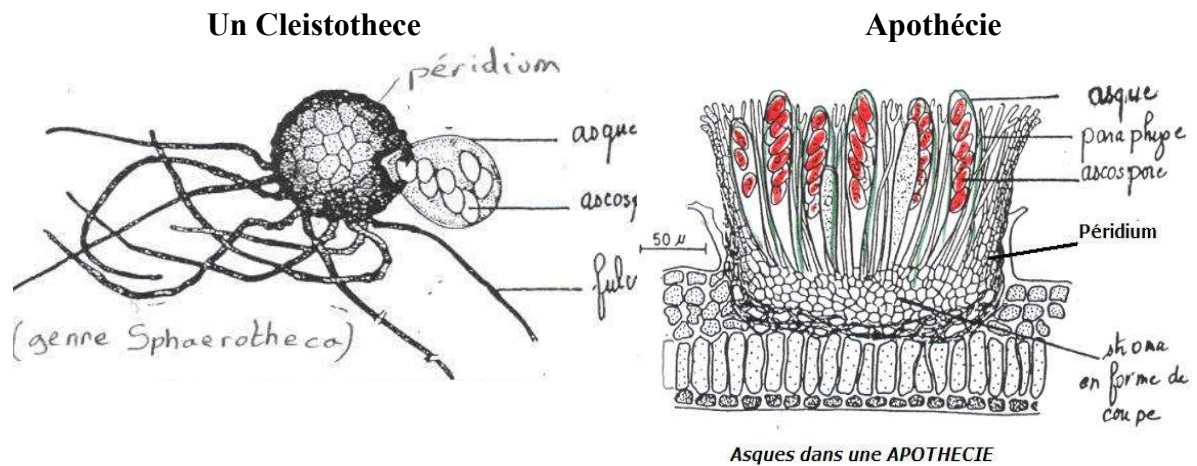
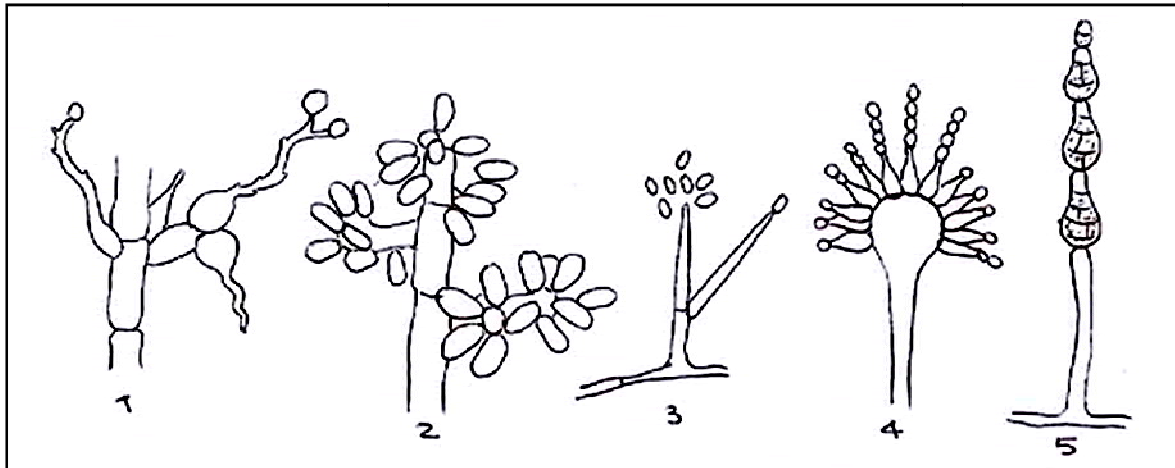


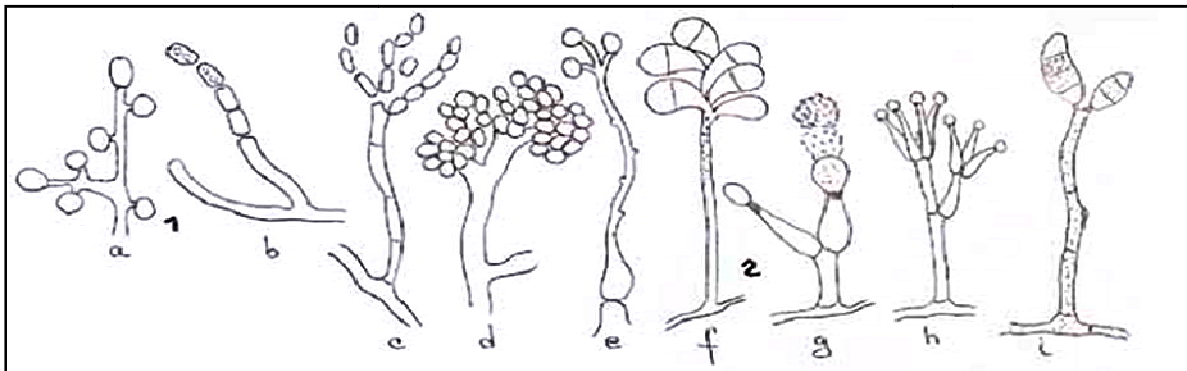
Figure 5. Les différents organes de fructification chez les champignons

3.4-Les différents modes de formation de spores

La reproduction sexuée peut aboutir à 4 types de spores: Une oospore, une Zygosporangie, une ascospore et une basidiospore (Figure 6, 7).



**Figure 6 :** Mode de groupement des conidies des champignons filamenteux  
 1. grappes(Beauveria), 2. Masses(Botrytis), 3. tête (Acremonium),4. Chaîne basipètes(Aspergillus) ,5.chaîne acropètes(Alternaria).

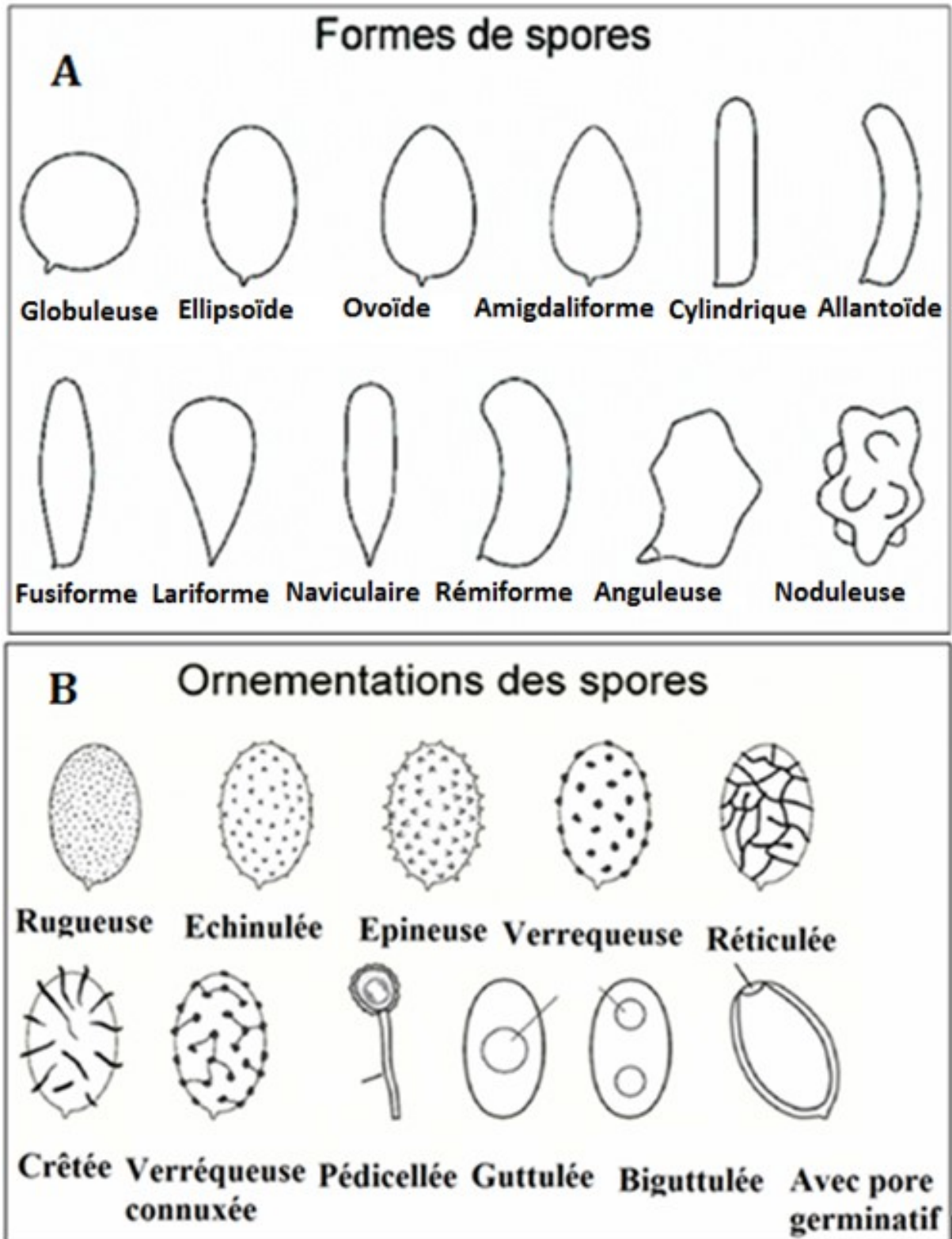


**Figure 7:** Mode de formation des conidies. Formation thalique : a : solitaire (Chrysogenum), b : arthritique (Geotrichum). Formation blastique : c :acropete (Cladosporium), d : synchrone (Botrytis), e: sympodial (Beauveria), f: regressif (Trichoderma), g: annelidique (Scopulariopsis), h: phialidique (Penicillium), i : poric (Curvularia).

### 3.5-Les différentes formes de spores

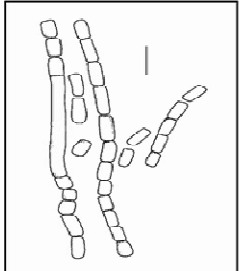
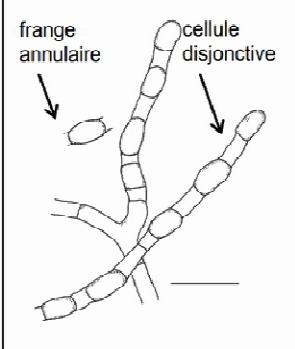
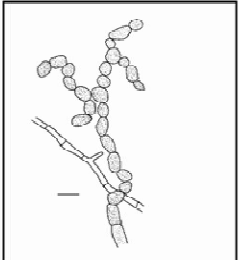
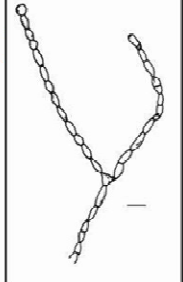
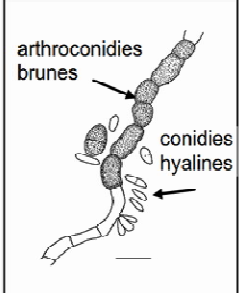
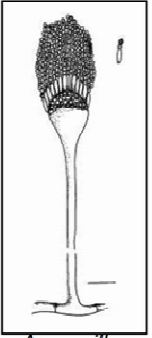
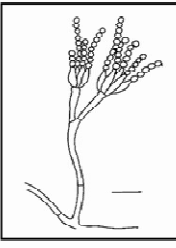
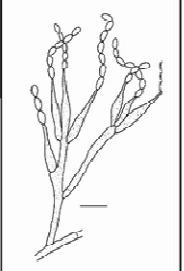
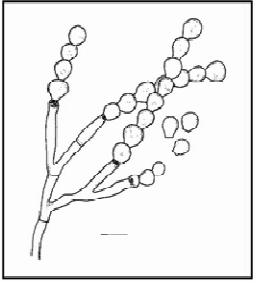
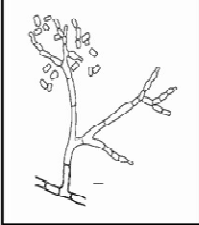
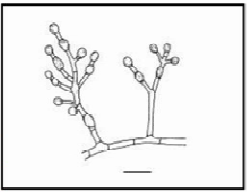
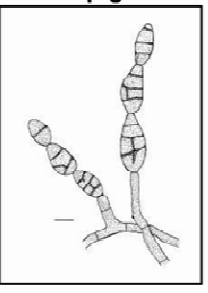
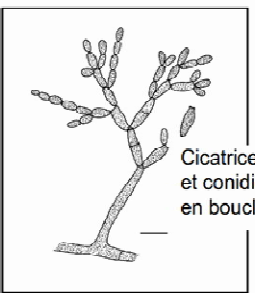
Une particularité remarquable des champignons est leur aptitude à former des types de spores extrêmement variés. Les spores sont des éléments unicellulaires ou pluricellulaires, haploïdes ou diploïdes, issues d'une mitose (spores dites "végétatives") ou d'une méiose (spores "sexuées") voire d'une simple fragmentation d'un filament mycélien, et aussi bien souvent une forme de résistance aux conditions de milieu défavorables, donc une structure de survie. La taille des spores des champignons supérieurs est nettement petite, de l'ordre de 5 à 20 microns (ou millième de millimètre) et leur forme peut être extrêmement variée. Les Spores assument une grande variété de formes (aciculaire, allantoïde, sphérique, ellipsoïdale, apiculées, etc.), les couleurs et les ornementations (réseaux, crêtes, verrues, aculei, etc.),

peuvent être cloisonnées à la fois longitudinalement et transversalement. L'étude des spores est particulièrement intéressante car chaque espèce a une spore spécifique (Figure8).



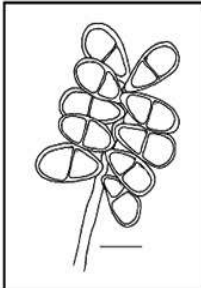
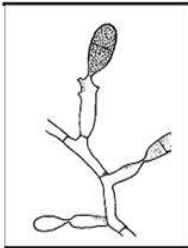
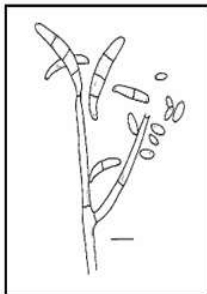
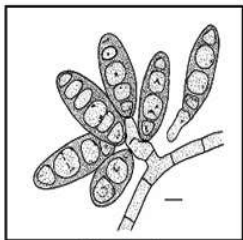
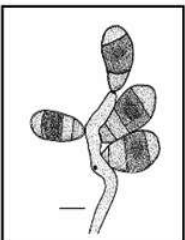
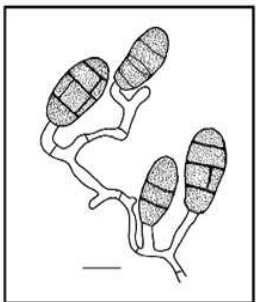
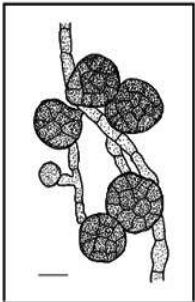
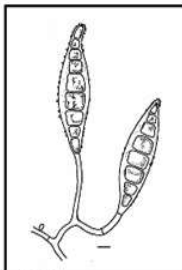
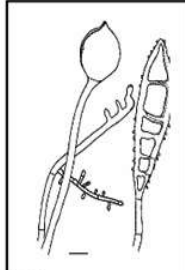
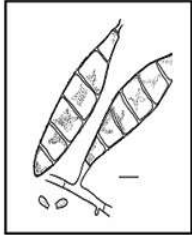
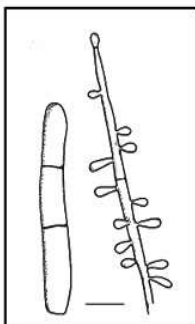
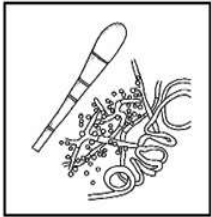
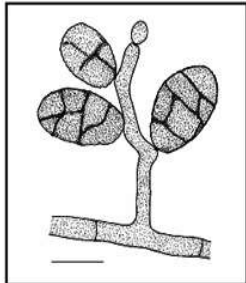
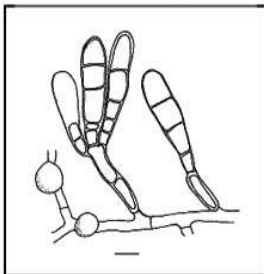
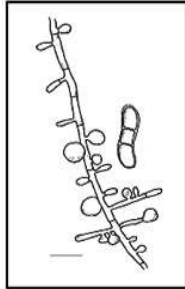
**Figure 8** : les différentes formes de spore

Conidies en chaîne

Arthroconidies		Conidies autres que des arthroconidies	
<p>♦ Conidiophores absents</p> <p>Arthroconidies alternées</p>  <p><i>Geotrichum</i></p>  <p><i>Coccidioides Malbranchea</i></p> <p>Arthroconidies simples, colonie glabre, blanche</p>  <p><i>Neoscytalidium (Scvtalidium)</i></p> <p>Arthroconidies simples, colonie laineuse, blanche ou brunâtre</p> <p>Colonie blanche à jaunâtre, croissance lente, arthroconidies ovales</p>  <p><i>Onychocola canadensis</i></p> <p>arthroconidies brunes, conidies hyalines</p>  <p><i>Aureobasidium</i></p> <p>Colonie glabre blanche à rose ou jaune pâle, devenant brun noir avec l'âge</p>		<p>♦ Champignons hyalins, conidiophores non ramifiés se terminant en vésicule</p>  <p><i>Aspergillus</i></p> <p>♦ Champignons hyalins, conidiophores ramifiés en pinceau</p> <p>Colonie souvent verte</p>  <p><i>Penicillium</i></p> <p>Colonie souvent rouille, jamais verte</p>  <p><i>Paecilomyces</i></p> <p>Conidies à base tronquée</p>  <p><i>Scopulariopsis</i></p>	
<p>♦ Conidiophores présents</p> <p>colonie blanche à rose pâle, très laineuse</p>  <p><i>Chrysonilia</i></p> <p>colonie blanche à brunâtre poudreuse</p>  <p><i>Geomyces Chrysosporium</i></p>		<p>♦ Champignons dématiés</p>  <p><i>Alternaria</i></p> <p>Cicatrices et conidies en bouclier</p>  <p><i>Cladosporium</i></p>	



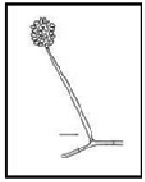
**Conidies pluricellulaires (Conidies unicellulaire parfois présent)**

<p style="text-align: center;"><b>Conidies bicellulaires</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Colonie blanche ou pâle</p> <p>Colonie brune</p> <p><i>Trichothecium</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Ochroconis (Scolecobasidium)</i></p> </div> </div>	<p style="text-align: center;"><b>Macroconidies pluricellulaires avec microconidies unicellulaires</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Colonie laineuse, blanche, rose pâle ou mauve, croissance rapide</p> <p><i>Fusarium</i></p> </div>
<p style="text-align: center;"><b>Conidies avec plus de 2 cellules</b></p> <div style="display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Bipolaris</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Curvularia</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Pithomyces</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Epicoccum</i></p> </div> </div>	<p style="text-align: center;"><b>Dermatophytes</b></p> <div style="display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr 1fr; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Microsporium canis</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Microsporium audouinii</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Microsporium gypseum</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Uréase négative</p> <p><i>Trichophyton rubrum</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Uréase positive</p> <p><i>Trichophyton mentagrophytes</i></p> </div> </div>
<p style="text-align: center;"><b>Dermatophyte</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Ulocladium</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Epidermophyton floccosum</i></p> </div> </div>	<div style="text-align: center;">  <p><i>Trichophyton tonsurans</i></p> </div>

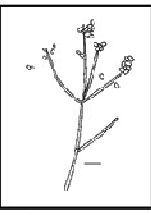
Conidies en amas ou solitaires

**Conidies en amas**

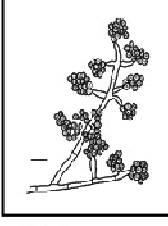
**Champignons hyalins**



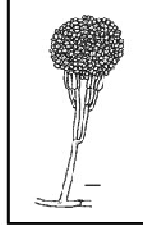
*Acremonium*



*Verticillium*

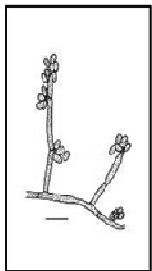


*Trichoderma*

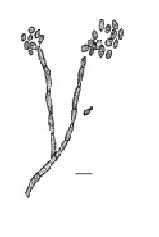


*Trichoderma (Gliccladium)*

**Champignons dématés**



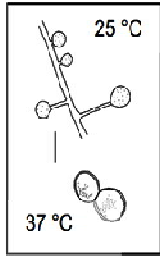
*Exophiala*



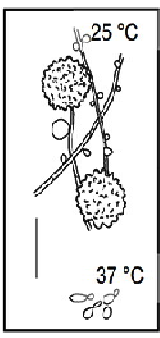
*Phialophora*

**Conidies solitaires (fixées individuellement sur le conidiophore)**

**Champignons dimorphes**

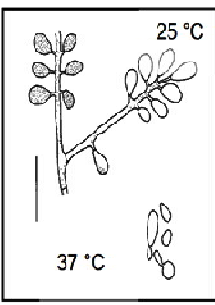


*Blastomyces dermatitidis*



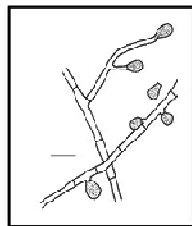
*Histoplasma capsulatum*

Conidies en rosette

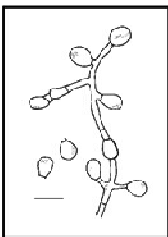


*Sporothrix schenckii*

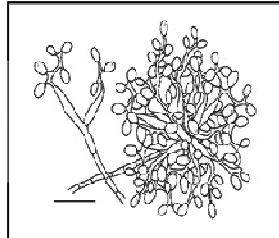
Macroconidies tuberculées



*Scedosporium forme Graphium parfois*



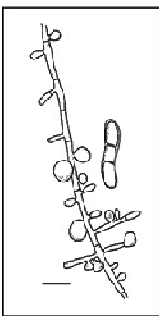
*Chrysosporium*



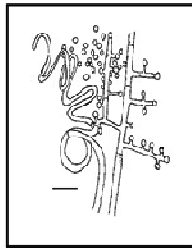
Conidiophores en zigzag

*Beauveria*

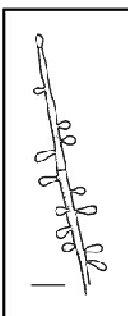
**Dermatophytes**



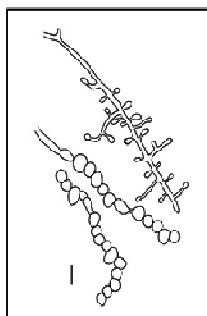
*Trichophyton tonsurans*



*Trichophyton mentagrophytes*



*Trichophyton rubrum*



*Trichophyton verrucosum*

◀ Uréase positive

▶ Uréase négative

Autres possibilités :

- *Microsporium audouinii*
- *Microsporium persicolor*

## **II- Les systèmes de classification**

La classification traditionnelle des champignons filamenteux basée sur les critères phénotypiques a été supplantée par le développement des méthodes génotypiques. La classification phylogénétique basée sur des critères a permis une révision et une modification de la classification des champignons.

Historiquement, les champignons étaient reconnus sur la base de leur morphologie selon le concept morphologique d'espèce (Taylor, 2000). Les champignons peuvent être également décrits selon leurs habitats, leurs localisations géographiques et selon le concept écologique de l'espèce (Taylor, 2000).

La classification phénotypiques sont souvent longues et difficiles, manquent de précision et d'objectivité, en raison de la grande diversité des champignons. Les caractères morphologiques convergents rapprochent parfois des organismes différents, tandis qu'ils séparent des espèces proches. En outre, des lignées ou les caractères morpho-anatomiques évoluent rapidement, notamment lorsqu'une espèce change de milieu.

L'analyse macroscopique des colonies obtenues après culture des champignons filamenteux est basée sur plusieurs aspects de l'appareil végétatif: l'aspect, le relief, la taille et la couleur. Lors de l'analyse microscopique des colonies, plusieurs structures des champignons filamenteux sont observées comme l'appareil végétatif, les organes de fructification et les spores.

Un autre critère de la classification des champignons est basé sur le mode de reproduction sexuée. Les champignons ont été classés depuis plusieurs siècles essentiellement sur la mode de reproduction sexuée, on parle alors de champignons téléomorphes, qui sont relativement stables au cours de l'évolution et dans une population. Pour certains champignons appelés anamorphes, le mode de reproduction ne s'aboutisse que de manière asexuée ou végétative. L'ensemble de ces champignons sont regroupés au sein de la division des Deuteromycota (anamorphes), que l'on appelle aussi « champignons imparfaits ».

Le développement des méthodes moléculaires a permis l'émergence de nouveaux outils de classification, induit une érosion profonde dans la systématique traditionnelle, notamment par la technique de PCR (Polymerase Chain Reaction). Cette technique a également permis de réorganiser la classification des champignons sur la base génotypique et non plus phénotypiques.

Dans ce cas il est devenu possible de rattacher certains genres ou des espèces sexués à leurs véritables groupes phylétiques, voire parfois les rapprochements à des taxons.

Le concept phylogénétique de l'espèce consiste à comparer les séquences d'ADN entre plusieurs individus afin de le comparer. L'analyse d'une banque d'ADN comprenant de plusieurs espèces doit permettre de valider la taxonomie afin de vérifier la fiabilité de la l'arbre phylogénétique des mycètes (Tableau1).

Historiquement, les champignons étaient classés dans le groupe des Plantes et étaient considérés comme proches des végétaux; leur première classification en tant que Règne date de 1969 (Whittaker, 1969). En contrario, l'analyse de l'Arbre de la vie réalisé par Baldauf (2004) sur les bases de données moléculaires et structurales, montre que les champignons appartiennent au groupe des Opisthokontes, au sein de l'Empire Eucaryote. Des études phylogénétiques ont prouvé que champignons et animaux étaient des groupes frères, au sein du groupe des Opisthokontes (Baldauf & Palmer, 1993; Baldauf, 1999). La caractéristique principale des Opisthokontes est la présence des cellules sexuées mobiles à un flagelle polaire. Une autre caractéristique des Opisthokontes est tous ces organismes possèdent du glycogène et de la chitine (Baldauf, 1999).

Les Eumycètes ou Fungi, sont parfois appelés "champignons vrais" proches des animaux (Métazoaires) avec lesquels ils forment les Opisthocontes (Tanabe et *al.*, 2002). Les Eumycètes partagent notamment avec les Métazoaires la capacité de synthétiser de la chitine, le glycogène comme forme de réserve, des mitochondries à crêtes aplaties e oïl le tryptophane est représenté par le codon UGA.

Actuellement, les champignons sont classés parmi les Opisthokontes constituant un groupe particulier d'eucaryotes. Différents rangs taxonomiques sont utilisés pour la classification des êtres vivants. Ces rangs hiérarchiques sont: le règne, l'embranchement ou division, la classe, l'ordre, la famille, le genre et l'espèce. La nomenclature utilisée pour déterminer le nom scientifique des espèces est binomiale. Elle fait référence au genre puis à l'espèce. Cette nomenclature suit les règles énoncées par le naturaliste Carl Von Linné en 1753. On distingue ainsi :

- mycota pour la division,
- mycotina pour la sous-division
- mycètes pour la classe
- ales pour l'ordre
- aceae pour la famille.

Le règne des « champignons » ou Fungi, appelé Eumycota, comprend actuellement, 8 divisions (Phylum) (Tableau 1) :

- Phylum des Microsporidia
- Phylum des Neocallimastigomycota
- Phylum des Chytridiomycota
- Phylum des Blastocladiomycota
- Phylum des Zygomycota
- Phylum des Glomeromycota
- Phylum des Ascomycota
- Phylum des Basidiomycota

Les champignons Anamorphiques (Deutéromycètes) ne sont plus considérés comme une catégorie taxonomique formelle puisqu'ils ne forment pas une unité monophylétique. Ce sont des champignons qui auraient perdu la faculté de se reproduire sexuellement ou qui sont des anamorphes d'autres phylums, principalement les Ascomycota et rarement les Basidiomycota. (Bouazid N, 2015)

**Tableau1:** classification des champignons d'après (Hibbett et al., 2007., James et al. 2006)

<b>Division</b>	<b>Classe</b>	<b>Ordre</b>	<b>Famille</b>	<b>Espèces Exemple</b>
<b>Ascomycota</b> (spores contenues dans des asques)	Taphrinomycètes	Taphrinales	Protomycétacées Taphrinacées	Cloque du poirier
	Dothidéomycètes	Botryosphaeriales (ou Dothidéales)	Botryosphaeriacees	<i>Botryosphaeria obtusa</i> <i>Botryosphaeria stevensii</i>
		Capnodiales	Davidiellacées Mycosphaerellacées	<i>Cladosporium cucumerinum</i> <i>Cercospora carotae</i>
		Myriangiales	Elsinoacées	<i>Sphaceloma rosarum</i>
		Pléosporales	Didymellacées Leptosphaeriacees Mélanommatacées Phaeosphaeriacees Pléosporacées Venturiacées	<i>Ascochyta avenae</i> <i>Septoria avenae</i> <i>Pyrenochaeta lycopersici</i> <i>Parastagonospora nodorum</i> <i>Alternaria alternata</i> <i>Venturia inaequalis</i>
	Eurotiomycètes	Eurotiales	Trichocomacées	<i>Aspergillus flavus</i>
	Léotiomycètes	Erysiphales	Erysiphacées	<i>Blumeria graminis</i>
		Hélotiales	Dermatécées Sclérotiniacées	<i>Oculimacula acufiformis</i> <i>Botrytis cinerea</i>
		Rhytismatales	Rhytismatacées	<i>Blumeriella jaapii</i>
	Sordariomycètes	Diaporthales	Diaporthacées Valsacées	<i>Phomopsis citri</i> <i>Valsaria insitiva</i>
		Hypocréales	Clavicipitacées Glomérellacées Nectriacées	<i>Claviceps purpurea</i> <i>Colletotrichum coccodes</i> <i>Fusarium graminearum</i>

		Magnaporthales	Magnaporthacées	<i>Pyricularia oryzae</i>	
		Méliolales	Méliolacées	<i>Meliola citricola</i>	
		Microascales	Cératocystidacées	<i>Chalara paradoxa</i>	
		Ophiostomatales	Ophiostomatacées	<i>Ophiostoma ulmi</i>	
		Phyllachorales	Phyllachoracées	<i>Phyllachora graminis</i>	
		Xylariales	Diatrypacées Xylariacées	<i>Eutypa lata</i> <i>Xylaria hypoxylon</i>	
<b>BASIDIOMYCOTA</b>	Agaricomycètes	Agaricales	Cyphellacées Physalacriacées Schizophyllacées Typhulacées	<i>Chondrostereum purpureum</i> <i>Armillaria mellea</i> <i>Schizophyllum commune</i> <i>Typhula incarnata</i>	
		Athéliales	Athéliacées	<i>Athelia rolfsii</i>	
		Cantharellales	Cératobasidiacées	<i>Rhizoctonia solani</i> )	
	Pucciniomycètes	Pucciniales	Mélampsoracées Phakopsoracées Phragmidiacées Pucciniacées Uropyxidacées	<i>Melampsora lini</i> <i>Phakopsora euvtis</i> <i>Gymnoconia nitens</i> <i>Puccinia graminis</i> <i>Tranzschelia pruni-spinosae</i>	
			Entylomatales	Entylomatacées	<i>Eballistra oryzae</i>
			Exobasidiales	Exobasidiacées	<i>Exobasidium vexans</i>
	Exobasidiomycètes	Tillétiales	Tillétiacées	<i>Tilletia caries</i>	

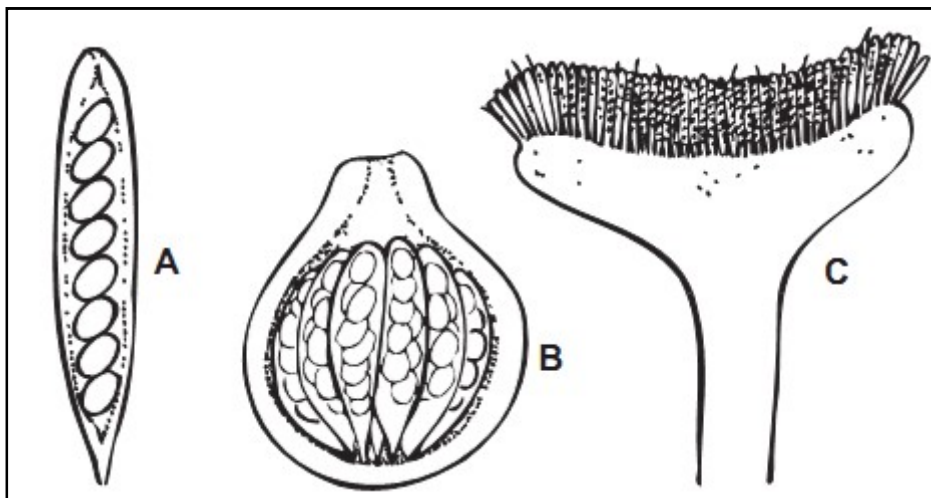
	Ustilaginomycètes	Urocystidales	Glomosporiacées Urocystidacées	<i>Thecaphora solani</i> <i>Urocystis agropyri</i>
		Ustilaginales	Ustilaginacées	<i>Ustilago nuda</i>
<b>ZYGOMYCOTA</b>	Zygomycètes	Mucorales	Choanéphoracées Mucoracées	<i>Choanephora cucurbitarum</i> <i>Rhizopus stolonifer</i>
<b>CHYTRIDIOMYCOTA</b>	Chytridiomycetes	Chytridiales	Synchytriacées	<i>Synchytrium endobiotium</i>
		Spizellomycétales	Olpidiacées	<i>Olpidium viciae</i>
<b>BLASTOCLADIOMYCOT</b>	Blastocladiomycetes	Blastocladales	Physodermatacées	<i>Physoderma alfalfae</i>
<b>GLOMEROMYCOTA</b>	Gloméromycètes	Glomerales	Glomeraceae Entrophosporaceae	<i>Archaeospora, Geosiphon.</i>
		Diversisporales	Diversisporaceae Sacculosporaceae Pacisporaceae Acaulosporaceae	
		Paraglomerales	Paraglomeraceae	
		Archaeosporales	Archaeosporaceae Ambisporaceae Geosiphonaceae	
<b>MICROSPORIDIA</b>	Rudimicrosporea	Microsporida		<i>Enterocytozoon bienensei</i> <i>Brachiola connor</i> <i>Nosema ocularum</i>
		Minosporea		
<b>NEOCALLIMASTIGOMYCOTA</b>	Neocallimastigomycetes	Neocallimastigales		



### III- Les principaux groupes de champignons phytopathogènes

#### 1- Ascomycota

Les ascomycètes sont des champignons supérieurs dont les spores (ascospores) pour la reproduction sexuée se forment dans des sortes de sacs appelés asques (Figure 9). Chaque asque produit, à maturité, huit spores ou ascospores. Comme de nombreux champignons, les Ascomycètes possèdent un stade sexué (parfait et un stade asexué (imparfait). Fréquemment, pour les Ascomycètes, un même organisme est désigné par 2 noms différents, correspondant chacun à l'un de ses stades.



**Figure 9:** l'ascomycète. A : asque contenant 8 ascospores. B : périthèces d'une pyrénomycète. C : apothécie d'un discomycète.

Les spores donnent après germination des hyphes (mycéliums) qui produiront eux-mêmes des structures à noyaux multiples, respectivement les ascogones et les anthéridies. Dès que les conditions du milieu sont propices, l'ascogone émet alors un prolongement qui vient fusionner avec une anthéridie ; les noyaux pénètrent alors dans l'ascogone et s'apparient sans fusionner, c'est ce qu'on appelle la plasmogamie. L'ascogone va ensuite produire des hyphes cloisonnés dans lesquels migrent les noyaux appariés (deux par cellule =  $n + n$  chromosomes). L'ensemble de ces hyphes cloisonnés forme un ascocarpe ou champignon à proprement parlé. C'est le stade dicaryotique ( $n + n$  chromosomes) (Figure 10, 11).

Dans chaque cellule terminale dicaryotique des hyphes cloisonnés, les 2 noyaux vont enfin fusionner (= caryogamie) et donner ainsi une cellule mononucléaire à  $2n$  chromosomes. Celle-ci va se transformer en un asque. C'est le stade diploïde ( $2n$  chromosomes). Dans chaque asque, le noyau va subir deux divisions, une « réduction chromatique ou méiose » et une mitose, pour donner huit spores, ou ascospores, avec  $n$  chromosomes. Après la méiose,

débuté ici le stade haploïde ( $n$  chromosomes) qui durera jusqu'à la formation des hyphes à dicaryons (Figure12).

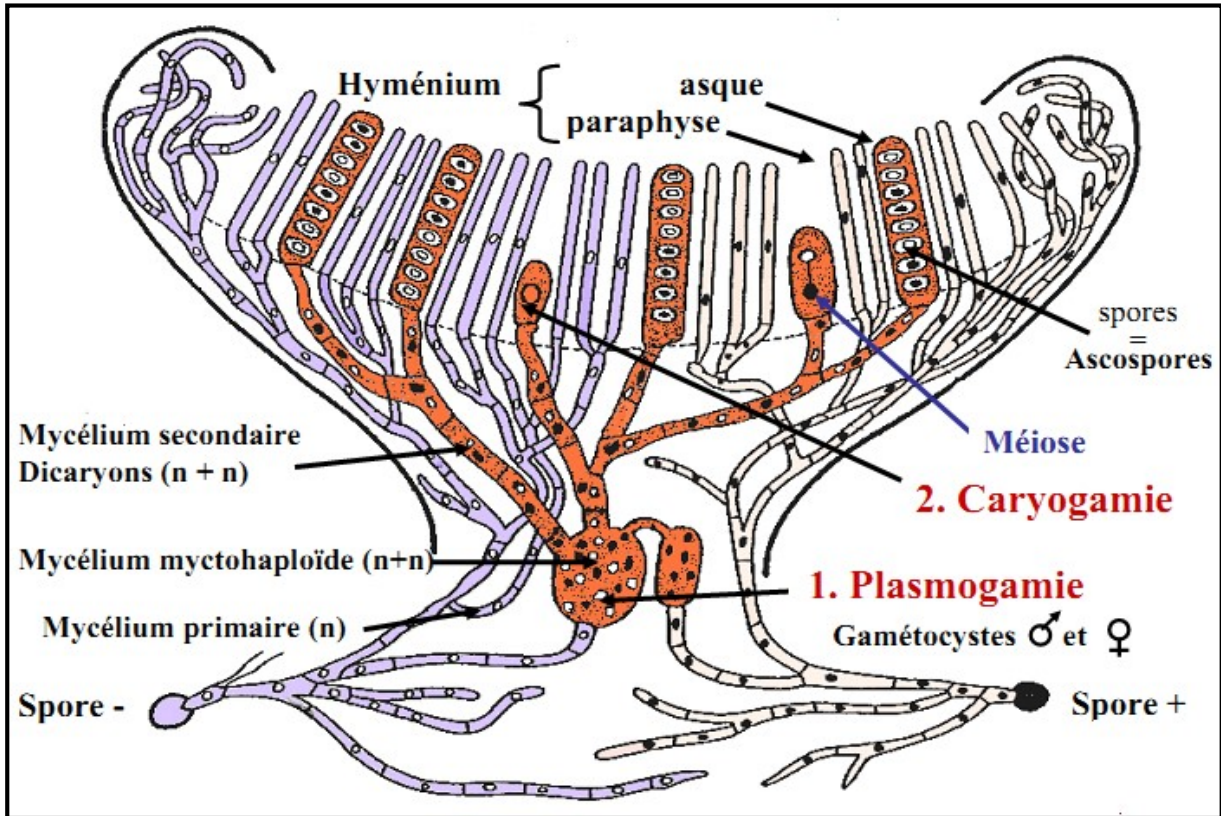


Figure10: mode de formation des ascospores

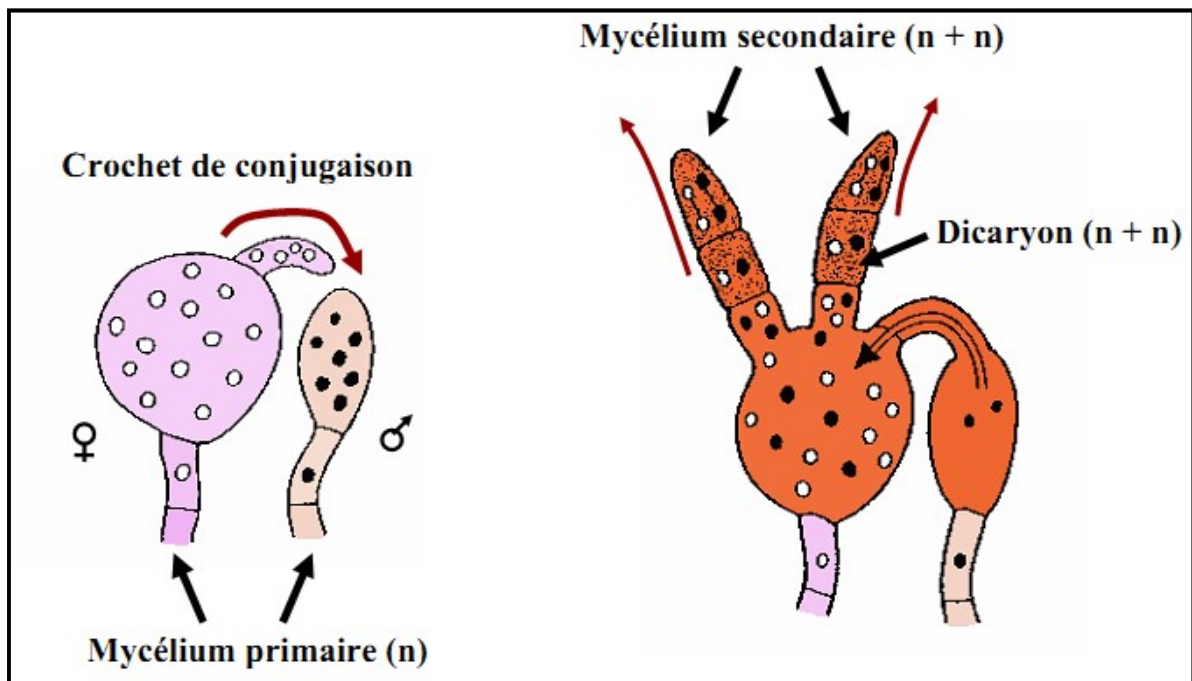


Figure 11. Formation des hyphes à dicaryons.

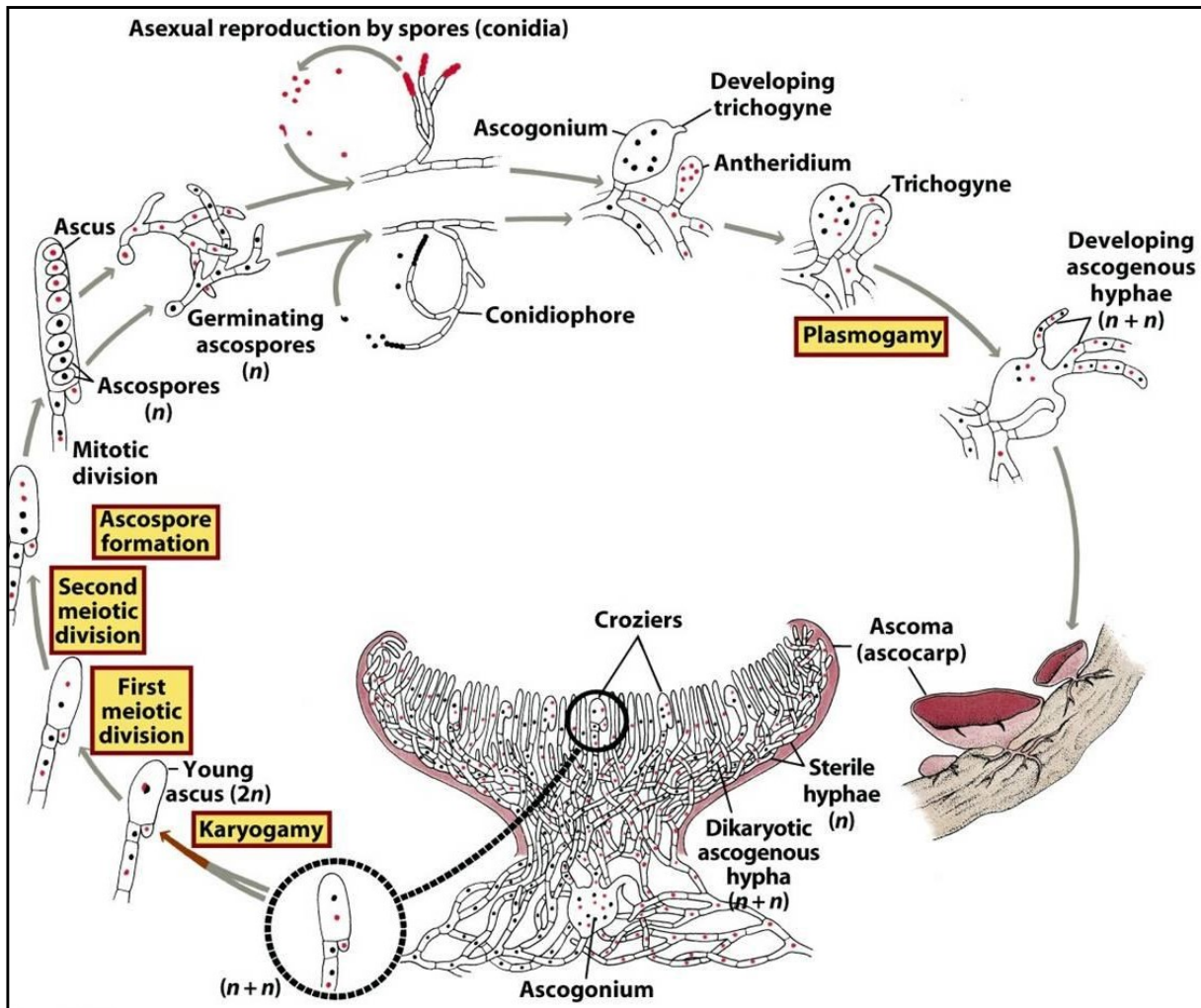


Figure12 : cycle biologique des ascomycètes

## 2- Basidiomycota

Ce sont des champignons, pour la majorité macroscopique, dont les spores pour la reproduction sexuée sont produites dans des sacs en forme de massue appelés BASIDES. Chaque baside produit, à maturité, quatre spores ou basidiospores. Il y a environ 30 000 espèces connues. La reproduction sexuée s'effectue en 2 temps :

Les cytoplasmes des cellules fusionnent, on dit qu'il y a plasmogamie. Ceci donne naissance à un mycélium dicaryotique (=mycélium secondaire), c'est à dire constitué de cellules à deux noyaux haploïdes. Cette phase dicaryotique spécifique des champignons constitue la génération sporophytique. Le mycélium dicaryotique s'organise en pseudo tissus et forme le carpophore (Figure13, 14,15).

Au niveau des sporocystes, a lieu la fusion de deux noyaux haploïdes, ou caryogamie, suivie d'une méiose qui génèrera quatre spores méiotiques exogènes.

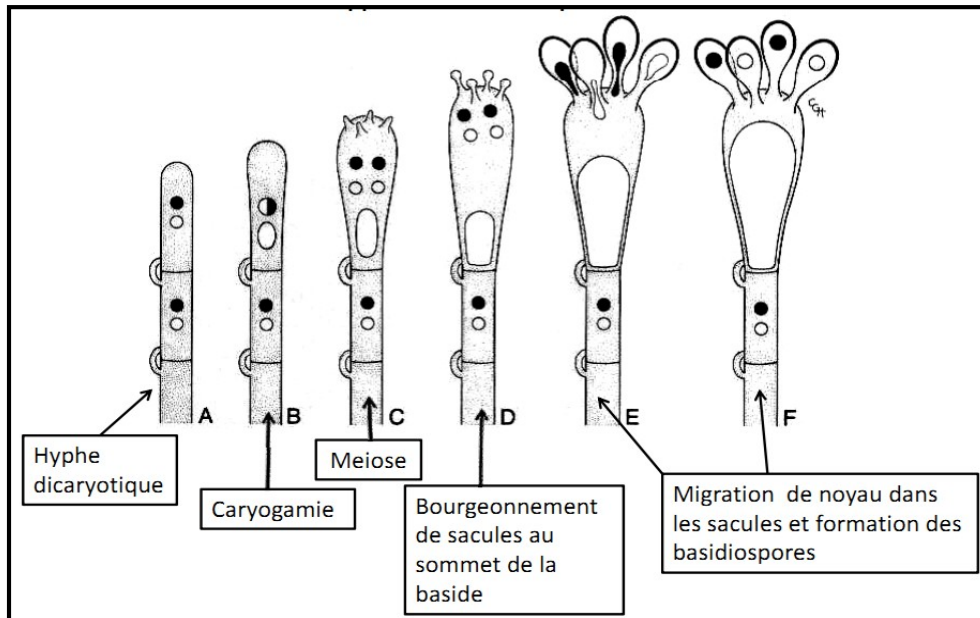


Figure13: Stade de développement des basidiospores au sein d’une baside

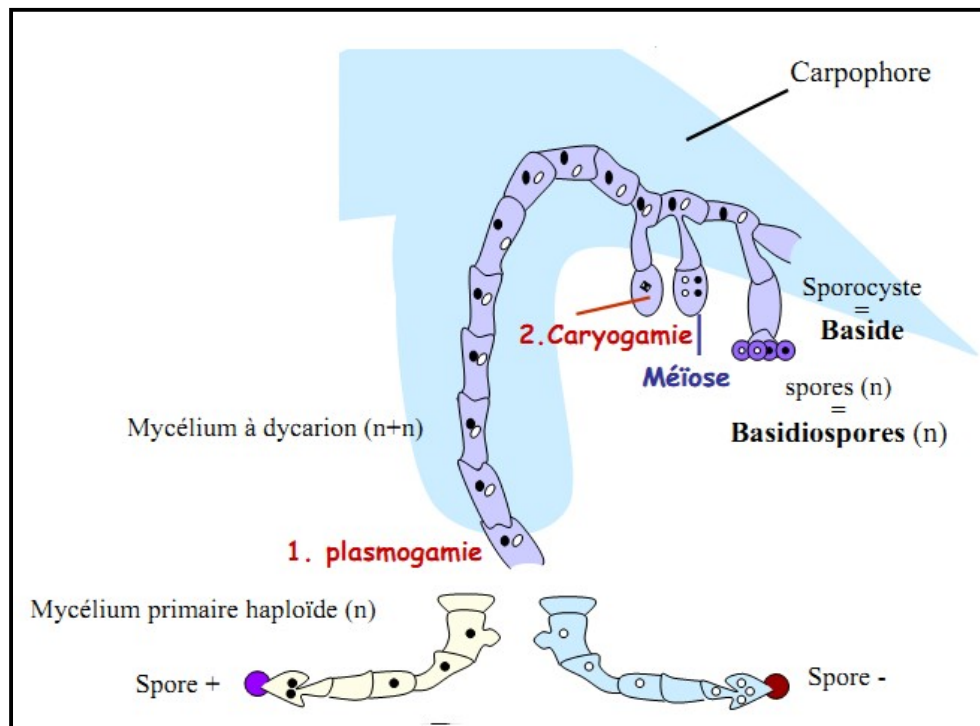


Figure14:Exemple des Auto-basidiomycètes

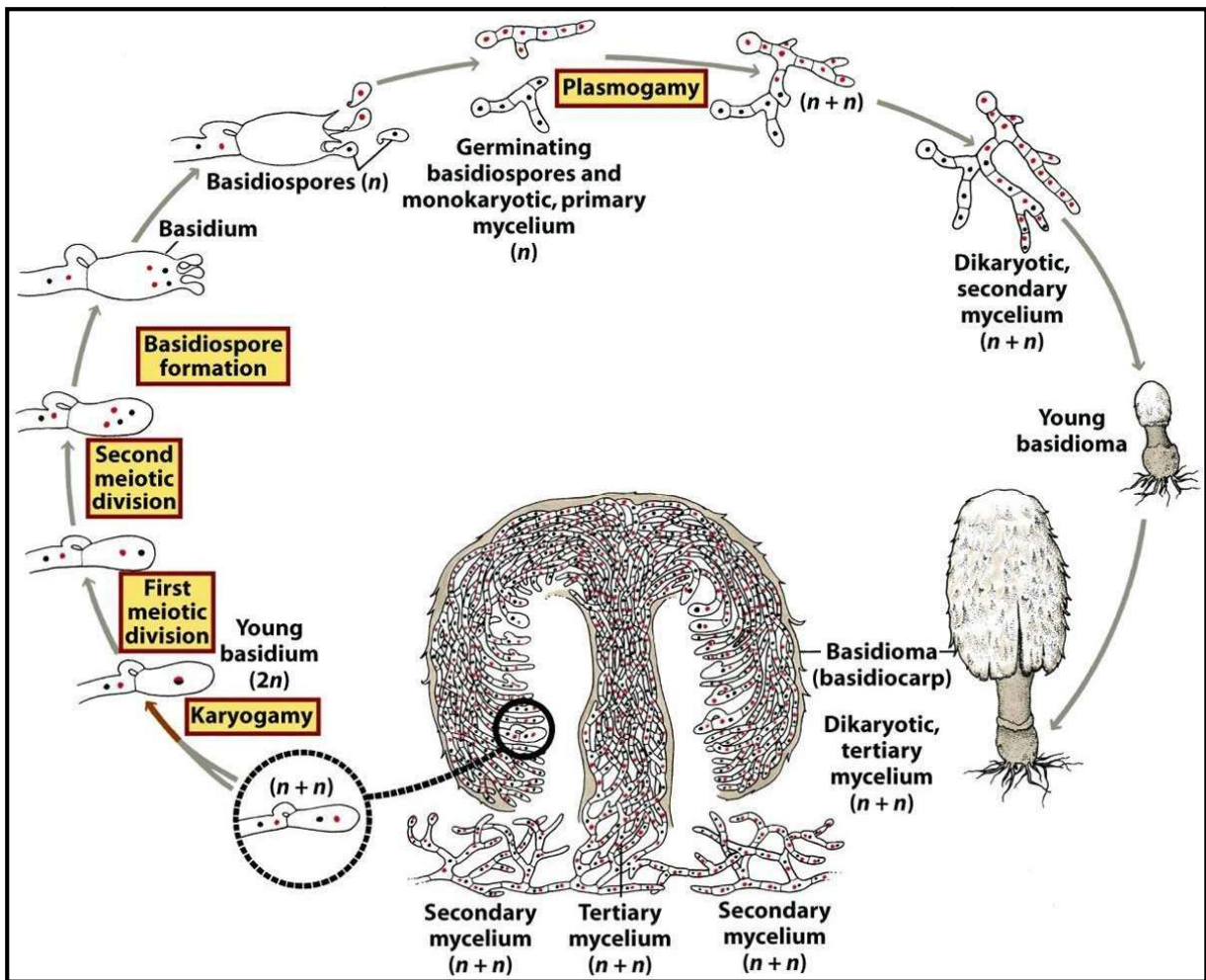


Figure15: cycle biologique des basidiomycètes

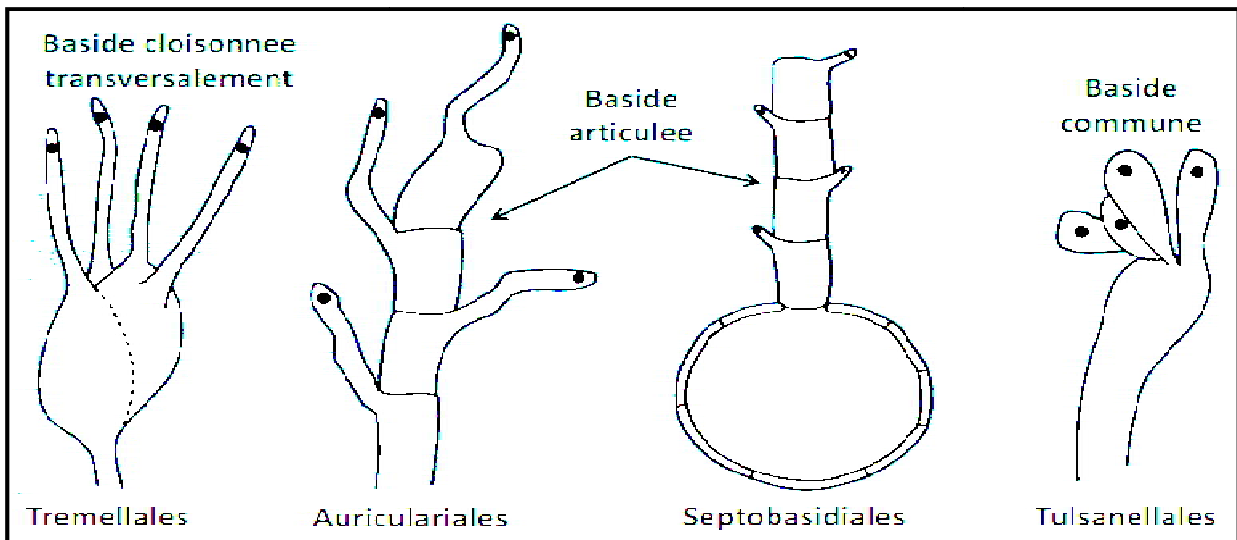


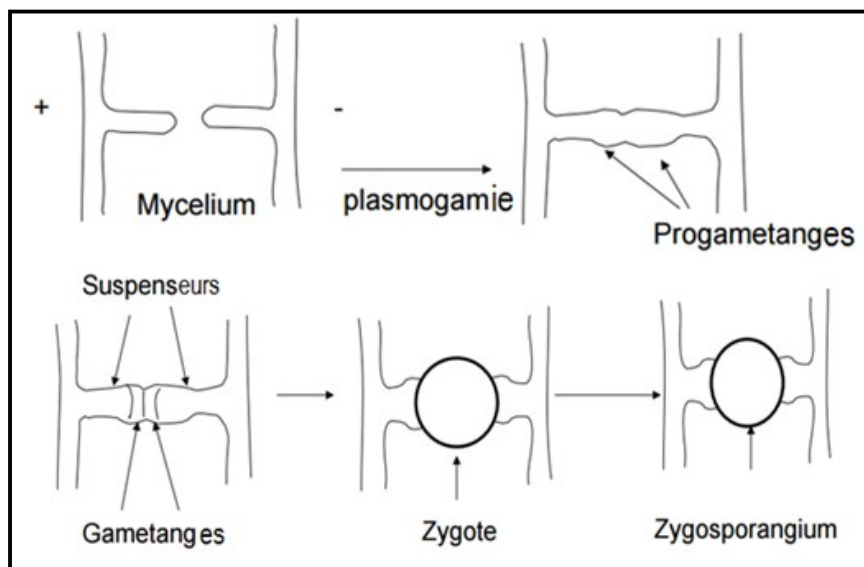
Figure16: Quelques exemples de basides

**3- Zygomycota**

Les Zygomycota constituent un groupe des champignons le plus souvent saprophytes. Certaines espèces sont parasites d'insectes et contribuent à la régulation des populations de ces derniers (Entomophthorales). Ce groupe formé d'organismes microscopiques hétérogènes est polyphylétique (Tanabe et *al.*, 2000; Bar-Hen et *al.*, 2008; James et *al.*, 2006). Plus de 600 espèces ont été décrites à ce jour, ce qui représente moins de 1% des champignons décrits (Hawksworth, 2001).

La reproduction sexuée des zygomycètes, ou champignons à mycélium non cloisonné, s'effectue par la conjugaison d'hyphes mâles (+) et d'hyphes femelles (-). Quand deux hyphes compatibles se touchent (progamétange), elles se fondent (gamétange) et donnent naissance à un prozygosporangium par la plasmogamie (fusion) de deux noyaux, un noyau (+) et un noyau (-) et forment ainsi, un noyau diploïde (2n). Ce zygosporangium jeune commence à s'agrandir pour former le zygosporangium mûr qui contient une seule zygospore. Cette zygospore germe, formant un sporange dont les spores haploïdes germent à leur tour (Figure17).

Dans le cycle de reproduction asexuée, les spores, sous des conditions favorables, germent et donnent naissance à un tube germinatif, lequel se développe pour former un mycélium aérien. Le mycélium émet des stolons aériens qui développent des rhizoïdes à certains points, avec un ou plusieurs sporangiophores sont formés (Figure18). Ensuite, l'extrémité de chaque sporangiophore commence à se gonfler et à donner origine à un sporange. Après sa maturité, il se casse en libérant ses spores dans l'air (Figure19).



**Figure17** : Mode de formation des zygospores

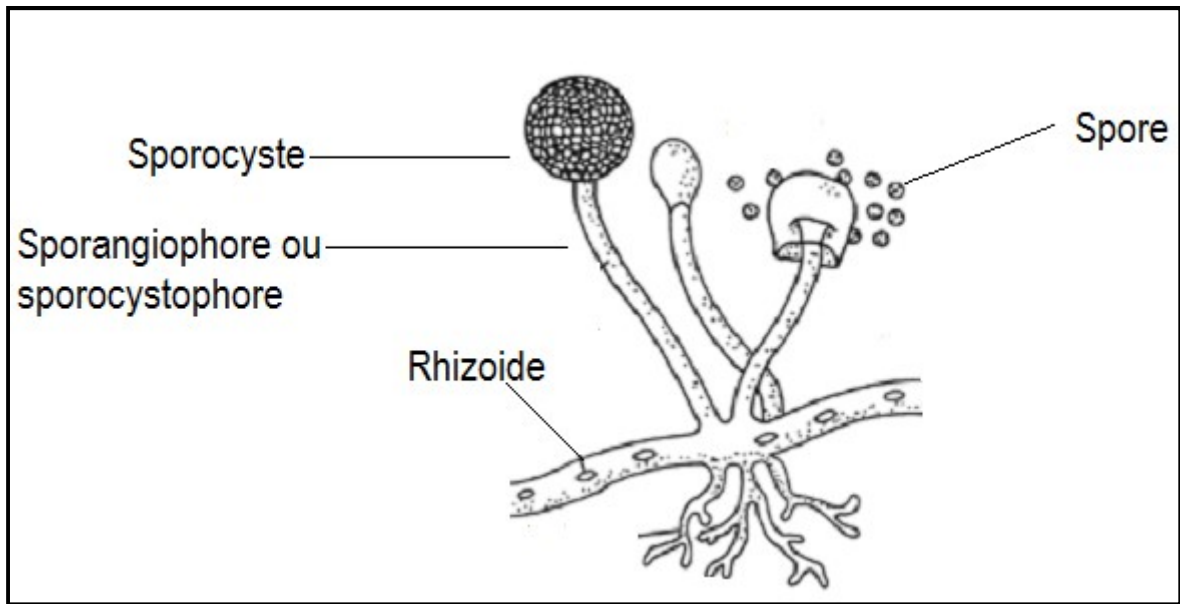


Figure18 : zygosporangium contient des sporocyste..

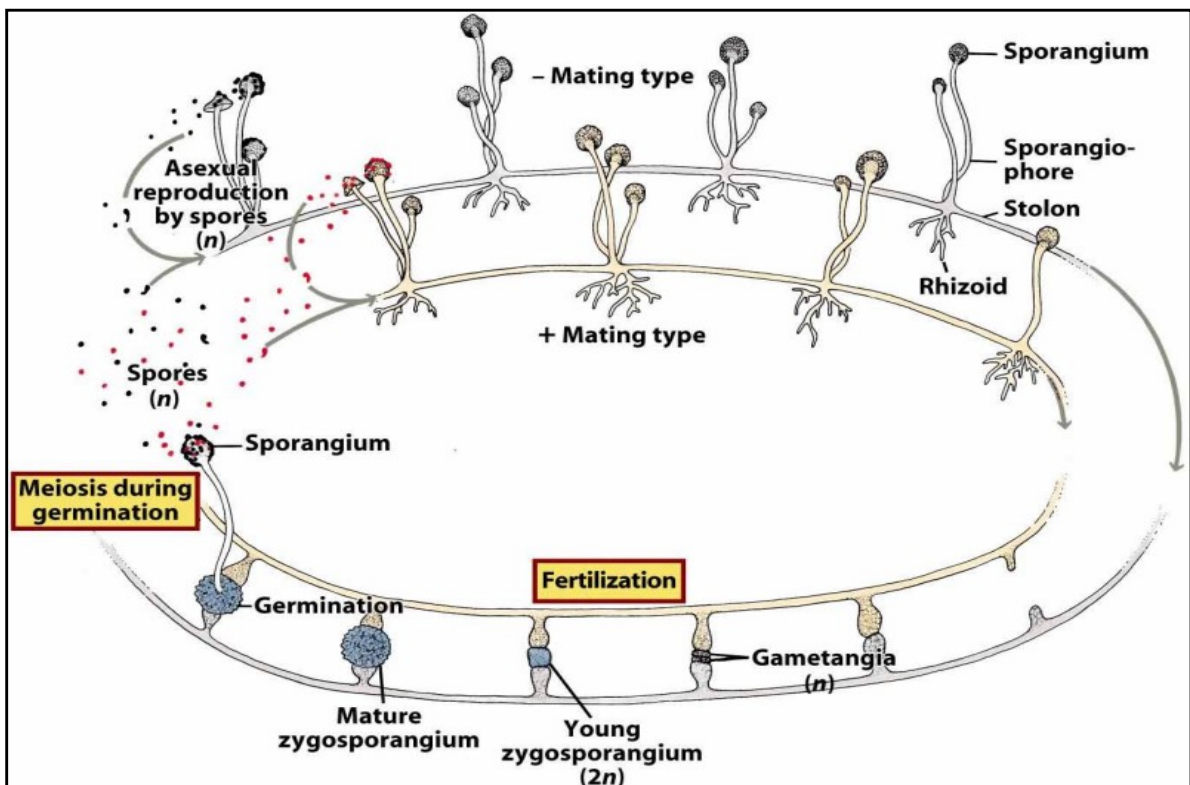


Figure19 : cycle biologique des zygomycètes

#### 4- Oomycota

Les oomycètes sont issus d'une lignée appelée pseudo-champignons ou faux-champignons car ils n'ont pas le même ancêtre que les champignons vrais, malgré leur morphologie et nutrition par absorption similaires à celles des champignons. Ils voisinent avec des taxons unicellulaires et certaines algues. Ils sont des parasites facultatifs ou hautement spécialisés des plantes, caries des racines (root rot), rouilles et mildious. On connaît près de 1 000 espèces décrites. Ils contiennent de la cellulose, et produisent des gamètes sexuels. Les cloisons sont absentes sauf à la base des structures reproductives. Les espèces qui attaquent les plantes se développent de façon intracellulaire ou intercellulaire.

L'appareil végétatif est constitué de filaments non cloisonnés (ou siphons), toutefois des cloisons (*septa*) peuvent être présentes à la base de structures reproductives ou dans des compartiments anciens. La paroi cellulaire est principalement constituée de composés cellulosiques,  $\beta$ -1,3- et  $\beta$ -1,6-glucanes, et amino-acide hydroxyproline mais dépourvues de chitine. Le cytoplasme contient des noyaux diploïdes, des mitochondries, l'appareil de Golgi et des vacuoles.

On distingue les Pythiales et les Péronosporales. Les espèces parasites des Pythiales provoquent des fontes de semis (*Pythium*, *Phytophthora*), des pourritures, ou même des mildious (ex: *Phytophthora infestans*, sur pomme de terre). Toutes les Péronosporales sont parasites. Elles sont responsables de mildious, graves maladies épidémiques (ex.: *Plasmopara viticola* sur vigne, *Peronospora tabacina* sur tabac, *Bremia lactucae* sur laitue).

La multiplication asexuée des Oomycètes se fait par l'intermédiaire des zoospores qui se développent dans les sporanges. Deux types de zoospores biflagellées morphologiquement distincts sont produits par la plupart des Oomycètes en fonction de leur cycle biologique particulier (Figure 20). Le premier est appelé zoospore primaire et est piriforme avec les flagelles attachés à l'extrémité antérieure de la spore. Le second type est appelé zoospore secondaire et est pratiquement produit par tous les Oomycètes qui forment des zoospores. Elle est réniforme avec les flagelles insérés latéralement dans un sillon à la surface de la spore. La fonction des zoospores dans le cycle biologique des Oomycètes est de nager sur des distances courtes dans l'eau. Bouzid N. (2015).

La reproduction sexuée se fait directement, sans participation de zoospores, à l'intérieur de sacs produits par l'hyphe, nommés *gamétocystes*. L'opération se fait entre un gamétocyste mâle, le spermatocyste, et un gamétocyste femelle, l'oogone, par l'intermédiaire de tubes



copulateurs qui pénètrent l'oogone. Après production de noyaux haploïdes dans chacun des gamétocystes (par méiose), le tube copulateur (ou siphon) permet une fusion des protoplasmes (ou plasmogamie) suivie d'une fusion des noyaux haploïdes (ou caryogamie) au sein de l'oogone (Figure 21). Les gamètes restant à l'intérieur du protoplasme, assurent une grande sécurité à l'étape la plus vulnérable du cycle de reproduction. Les œufs formés s'appellent des oospores.

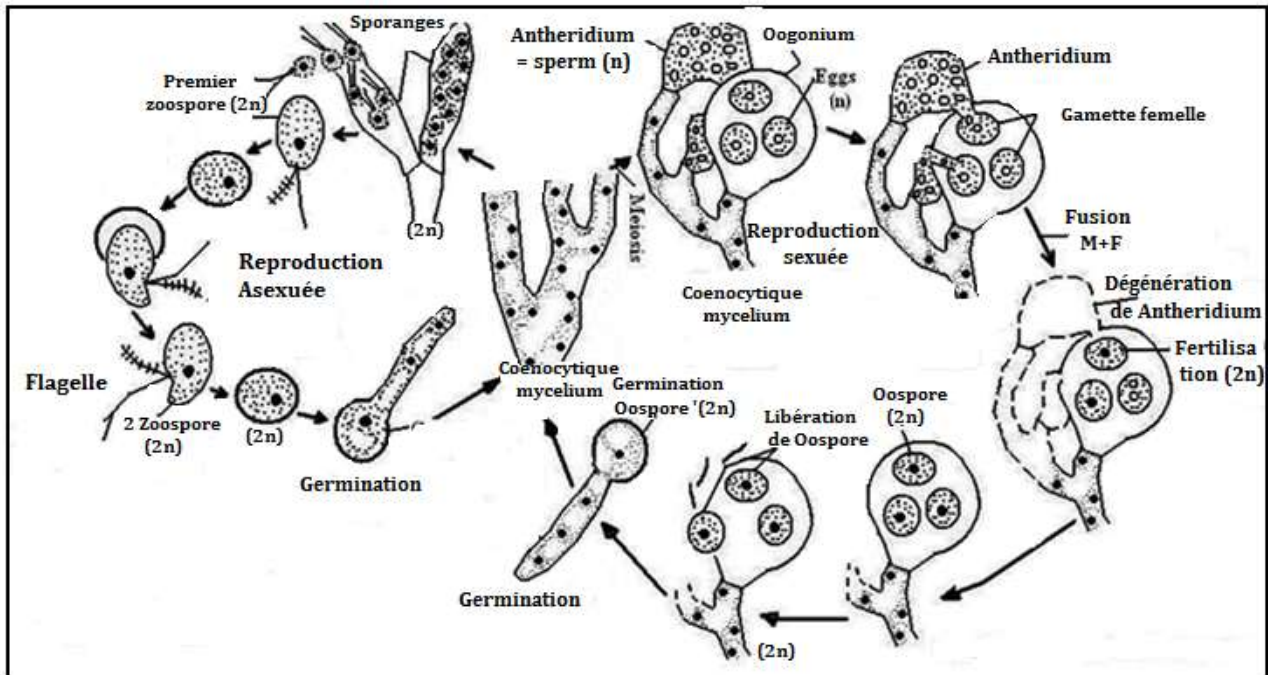


Figure 20: cycle biologique des oomycètes

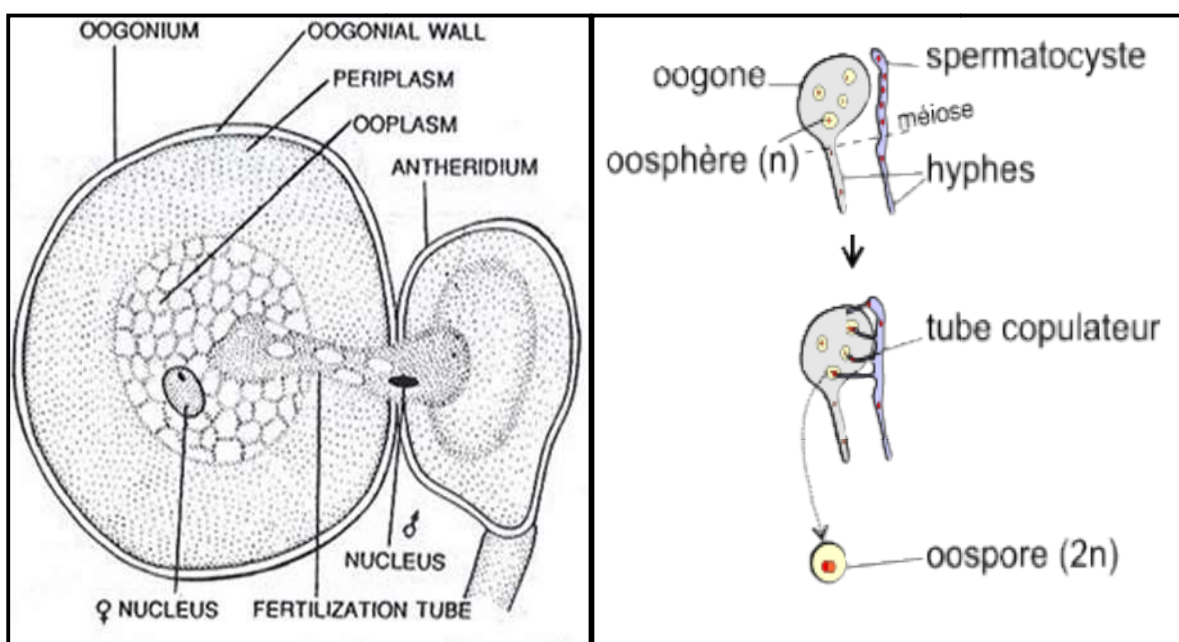


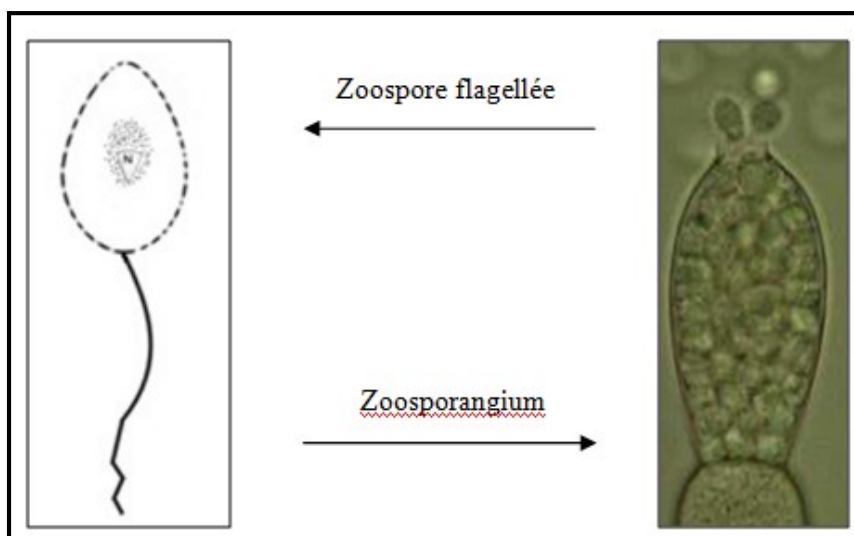
Figure 21 : Formation d'oospore par reproduction sexuée (phytium)

**5- Chytridiomycota**

Les Chytridiomycètes (*Chytridiomycota*) ou chytrides constituent un vrai groupe de champignons saprophytes ou parasites. Ils se développent dans les milieux aquatiques (eau douce, eau salée) ou sols humides. Certains sont parasites, d'autres saprophytes (ils se nourrissent de matière organique morte) ou encore symbiotes (certains vivent dans les estomacs compartimentés des ruminants). Cette division regroupe les espèces à spores uniflagellées et paroi cellulaire chitineuse. Le thalle peut aussi être unicellulaire.

La reproduction asexuée des Chytridiomycètes a lieu par l'intermédiaire des zoospores qui se forment dans les sporanges (Figure 22) . Ces zoospores postérieurement uniflagellées peuvent émerger à travers une ou plusieurs papilles quand le sporange se décharge. Bouzid N. (2015).

La reproduction sexuée, les Chytridiomycètes sont les seuls champignons à posséder des cellules sexuelles mobiles appelées (anthérozoïde) munies de flagelles libéré à partir d'un gamétange mâle, féconde un gamète femelle non mobile (œuf). Les noyaux des gamétanges subissent une mitose (division) pour former des gamètes (haploïdes). La fusion de deux gamètes de sexe différent aboutit à un zygote diploïde. Le zygote subit une mitose du noyau produisant une multitude de zoospores flagellée diploïdes. La germination de ce dernier produit des organismes munis de sporanges (enveloppes de forme sphérique). Les sporanges extrêmement résistants aux aléas climatiques. Après une phase de dormance, ces noyaux subissent une méiose (division d'un noyau diploïde formant quatre noyaux haploïdes). Ces noyaux haploïdes se développent pour produire des zoospores haploïdes.



**Figure 22** : zoospores qui se forment dans les sporanges.

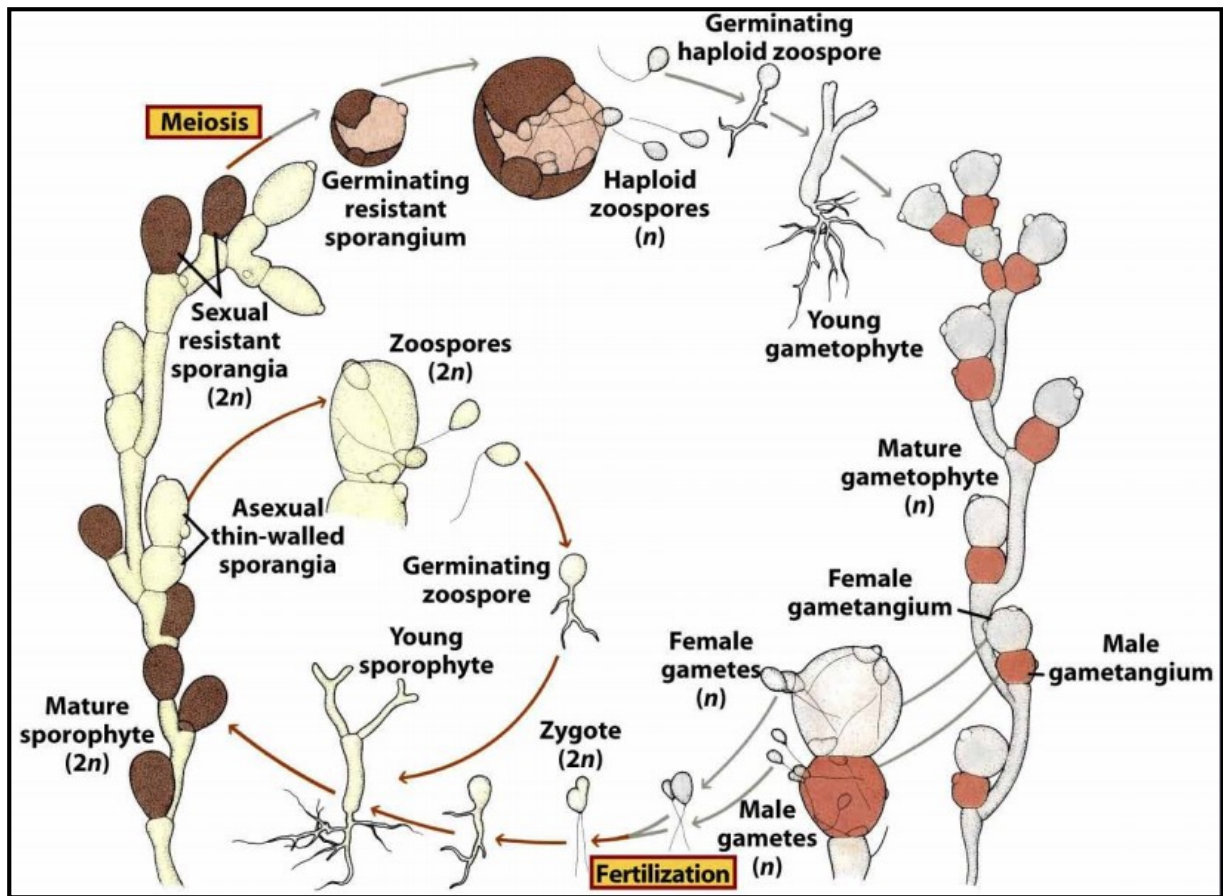


Figure 23 : cycle biologique des chytridiomycetes

## IV- Les principaux maladies fongiques

### IV.1- Maladies causées par les Ascomycota

#### Cloque du pêcher

*Taphrina deformans* est l'ascomycète responsable de la cloque du pêcher, cette maladie est caractérisée par la production par les plantes infectées de feuilles qui sont totalement ou partiellement enroulées, déformées et épaissies (Fig.24). Ces feuilles parasitées par le mycélium se déforment ; des boursouflures apparaissent. Les feuilles s'épaississent, changent de couleur, prennent une pigmentation rouge ou lie-de-vin. Lorsque les cloques deviennent nombreuses, les feuilles se recroquevillent du côté inférieur et se replient en spirale. Les feuilles atteintes ne grandissent plus, se dessèchent, noircissent et finissent par tomber. La cloque est favorisée par un temps humide et froid, ralentie en cas de sécheresse et d'élévation de température.

*Taphrina* est un endobiotrophe ; il se développe à l'intérieur d'un être vivant. Le mycélium est surtout localisé dans le parenchyme foliaire, mais parfois dans les parois des cellules de l'épiderme. La conservation du champignon pendant l'hiver a lieu dans les écailles sous forme de conidies à paroi épaisse et probablement sous forme d'ascospores.



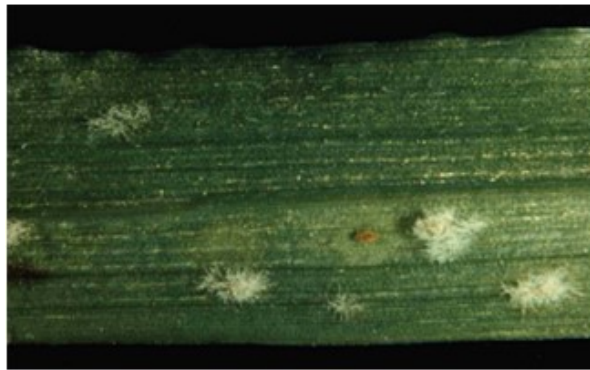
Fig.24- Feuilles de pêcher cloquées

#### L'oïdium des céréales

L'oïdium des céréales (*Blumeria graminis*) est la maladie la plus facile à diagnostiquer sur les céréales. Le développement d'un mycélium blanc et cotonneux à la surface des organes atteints ne permet aucune confusion avec d'autres pathogènes. Est un champignon phytopathogène qui provoque l'oïdium de plusieurs espèces de Graminées (ou Poacées) et en particulier d'au moins quatre céréales cultivées : le blé, le seigle, l'orge et l'avoine. L'oïdium

fragilise la plante sur laquelle il s'installe en altérant la cuticule des feuilles, diminuant la photosynthèse et amoindrissant ses défenses favorisant l'installation d'autres maladies comme la septoriose par exemple.

Les symptômes, de *B. graminis*, se manifestent par l'apparition d'un feutrage blanc-poudreux, qui se ponctue au cours du temps de points noirs ou cléistothèces, organes de la reproduction sexuée (Fig.25). Si l'oïdium est relativement discret dans beaucoup de situations, il peut localement causer des dégâts importants (15 à 20 q/ha pour les années à forte pression), en particulier sur les variétés sensibles ou les sols froids et humides.



**Fig.25-** Pustules d'oïdium sur froment.

#### **L'oïdium de la vigne (*Erysiphe necator*)**

L'oïdium de la vigne est une maladie introduite, originaire d'Amérique, dont la cause est un champignon biotrophe *Erysiphe necator* (Schw. Burr.). Cet agent pathogène appartient à l'embranchement des Septomycètes, à la classe des Ascomycètes, l'ordre des Erysiphales et à la famille des Erysiphacées. Son mycélium filamenteux et cloisonné, se développe uniquement à la surface des organes de l'hôte. Les symptômes les plus marquants au cours de la période végétative sont un aspect gaufré et boursoufflé des feuilles qui s'accroît, bords relevés en forme de tuiles vers la face supérieure et une poussière blanchâtre envahit l'ensemble du limbe. Pendant la période végétative de la vigne, cet agent pathogène se reproduit de manière asexuée, sous forme de conidies qui sont dispersées par le vent, à la surface des feuilles. Il possède deux modes de conservation hivernale : soit il demeure sous forme de mycélium dormant dans les bourgeons et colonise les jeunes pousses au printemps (symptômes drapeaux), soit il réalise un cycle de reproduction sexuée par la fusion de deux hyphes de types sexuels compatibles et produit des cléistothèces. Au printemps, les cléistothèces germent et les ascospores libérées provoqueront les infections primaires sur les feuilles en croissance. Ainsi, les feuilles colonisées fournissent-elles une source d'inoculum

pour les baies en développement. Les feuilles sont sensibles à l'oïdium dès le stade première feuille déployée (stade 7) et les baies le sont dès leur formation jusqu'à la véraison. Une relation directe est observée entre la présence d'inoculum primaire sur les feuilles et les dégâts ultérieurs causés sur les grappes.

### **Septorioses**

Les septorioses sont des maladies foliaires causées par *Septoria* (Deutéromycètes, Coelomycètes, Sphaeropsidales) affecte les cultures maraîchères et les céréales. Le *Septoria* appartient au genre *Mycosphaerella*. Sur les cultures maraîchères, les taches foliaires commencent comme des petits points jaunâtres qui par la suite s'étendent, tournent au brun pâle ou gris jaunâtre et finalement au brun foncé.

Sur les céréales, *Septoria tritici* (téléomorphe : *Mycosphaerella graminicola*) provoque des taches foliaires ovales et brunâtres similaires à d'autres. Un critère distinctif est la présence de points noirs très visibles à la loupe chez *Septoria tritici* (les pycnides). Ces pycnides apparaissent très rapidement dès le début de la formation de la nécrose. Les symptômes sont observés non seulement sur blé mais aussi sur avoine. En conditions favorables, l'attaque atteint également les gaines avec l'apparition de taches comparables à celles des feuilles et peut atteindre les épis avec un brunissement des extrémités des glumes; les grains deviennent tachetés. L'infection primaire est due aux conidies et/ou les ascospores libérées par les pluies à partir des pycnides et/ou des pseudothèces (respectivement) se trouvant dans les chaumes infectés des cultures précédentes. En cours de végétation, l'infection est favorisée par une humidité élevée et une température optimale entre 20 et 25 °C. Les infections secondaires sont assurées par les conidies libérées à partir des pycnides formées sur les plantes infectées. Ces conidies exsudées à la surface des feuilles sont disséminées vers le haut et latéralement par les pluies.

### **Piétin-échaudage du blé**

Le piétin-échaudage du blé est causé par *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* qui est une espèce de Pyrénomycètes dans l'ordre des Diaporthales. Elle se conserve dans les racines et les bases des tiges infectées des débris de la plante hôte. La plupart des infections est causée par le mycélium qui se met en contact avec les racines des plantes en croissance. Il envahit les racines et s'étend vers le collet et la base de la tige. Quand le blé est conduit en monoculture, le piétin-échaudage s'accroît d'abord durant quelques années, puis diminue et se stabilise à un niveau faible (Bouazid N 2015).

Les symptômes apparaissent après l'épiaison : les épis sont blancs, desséchés et vides, les racines sont nécrosées, la base de la tige est noire. Les plantes malades s'arrachent facilement.

#### ***Ascochyta tritici***

Un exemple est celui de *Ascochyta tritici* appartient aux Champignons Anamorphiques et au groupe des Coelomycètes (champignons à conidies réunies dans des pycnides). *Ascochyta tritici* génère des nécroses blanches avec une bordure brun-noir très foncée. Les nécroses fragilisent le limbe qui devient translucide, allant jusqu'à craqueler en vieillissant. Si la forme des taches peut être très variée (ovale, longiligne en bordure de feuille ou très irrégulière allant jusqu'à former des réseaux).

Le champignon se conserve sous forme de pycnides dans les chaumes. L'infection primaire est assurée par les conidies libérées de ces pycnides et propagées par le vent et la pluie. C'est ainsi que se réalisent aussi les infections secondaires pendant la végétation du blé sur lequel se développent les pycnides qui libèrent les conidies.

#### ***Ascochyta rabiei***

L'agent causal de l'antracnose de pois chiche, *Ascochyta rabiei* (Pass.) lab., appartient à la subdivision des Deuteromycotina, à la classe des Coelomycètes, à l'ordre des Sphaeropsidales, et à la famille des sphaeropsidaceae (Agrios, 1988). La forme parfaite (Téléomorphe) de *Ascochyta rabiei*, *Mycosphaerella rabiei* Kovachevski V. Arx. synonyme : *Didymella rabiei* Kovachevski V. Arx. *Mycosphaerella (Didymella) rabiei* fait partie des Ascomycètes, classe des Loculoascomycètes, ordre des Sphaeriales, famille des Sphaeriaceae et genre *Didymella (Mycosphaerella)* (Agrios, 1988).

*Mycosphaerella rabiei* est un champignon hétérothallique (Wilson et Kaiser, 1995) et nécessite la présence de deux types de thalles (autrement dit groupes de compatibilité) appelés « *Mating types* », MAT1-1 et MAT1-2 pour l'accomplissement de la reproduction sexuée (Kaiser, 1997). En effet, *A. rabiei* est reconnu par sa grande variabilité pathogénique, le plus souvent attribuée à la forme sexuée, qui peut créer de nouveaux types de virulence de l'agent pathogène

Les pycnides d'*Ascochyta rabiei* sont de couleur brun foncé à noir et mesurent entre 100 et 225 µm de diamètre. Les pycniospores sont généralement unicellulaires, occasionnellement bicellulaires, cylindriques, droites ou légèrement arrondies à une ou deux extrémités, hyalines et mesurent 10,0 - 17,5 x 3,1 - 5,0 µm. La formation des chlamydospores

n'est pas observée (Khan et al. , 1999). Les conidies ont 1-2 ou 4 noyaux par spore (Bruns et Barz, 2001).

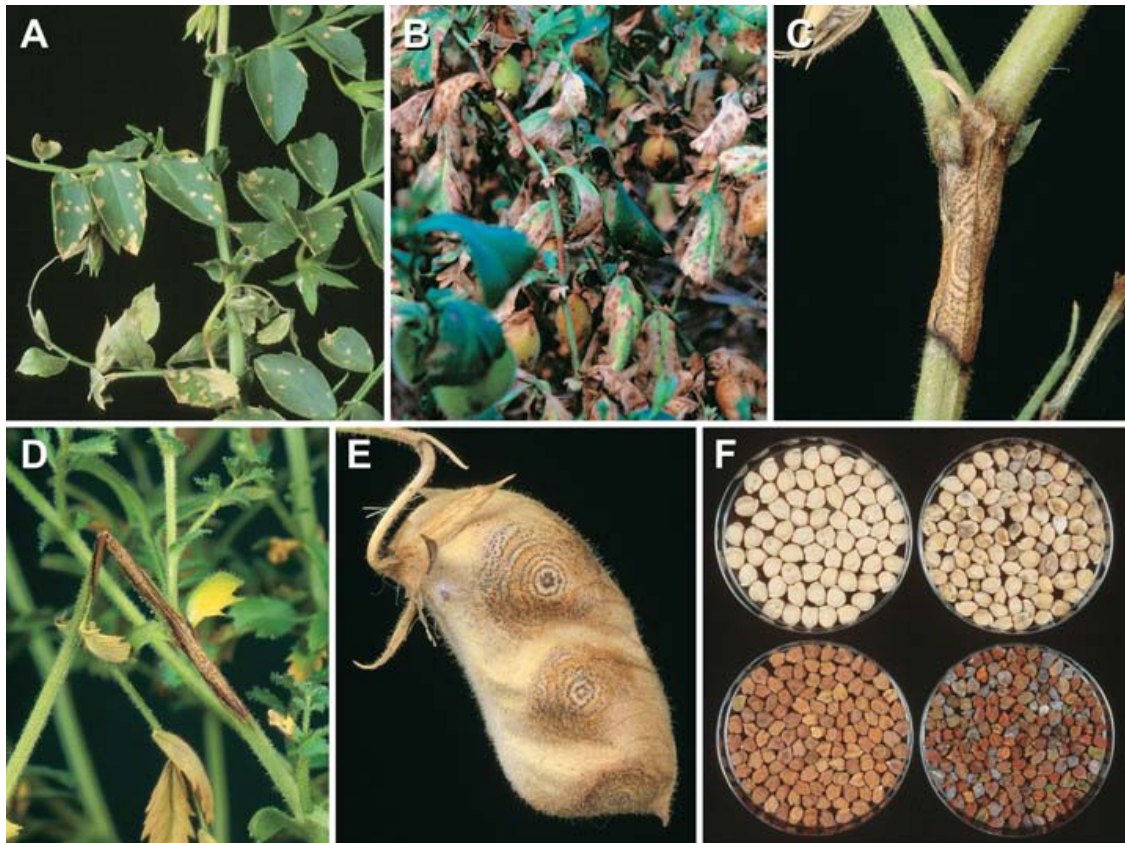
Les premiers symptômes correspondent à l'apparition de taches vertes claires sur les folioles de la plante. Les taches sont circulaires en spots. Des pycnides apparaissent ensuite en cercles concentriques sur la foliole qui brunit, se dessèche et finit par tomber (Nene, 1982) (Fig.26).

Des lésions apparaissent ensuite sur tige et pétiole. Sur les pétioles et les ramifications de la tige principale, des taches brunes allongées (3-4 cm) ponctuées de pycnides noires peuvent former un anneau ; la portion située au dessus du point d'attaque flétrit , jaunit et se dessèche. Ces organes peuvent se briser au niveau du point de l'infection sous l'action mécanique du vent ou sous leur propre poids (Nene, 1981).

#### **Alternariose des solanacées**

Les maladies causées par *Alternaria* (Deutéromycètes, Hyphomycètes, Hyphomycétales) affectent essentiellement les feuilles, mais elles peuvent provoquer aussi la fonte des semis, la pourriture des tiges et la pourriture des tubercules et des fruits. Les *Alternaria* sont des saprophytes ou des parasites des plantes très répandus dans la nature. Généralement, les taches foliaires d'*Alternaria* sont brun foncé à noires, d'habitude nombreuses, s'étalant et se développant en cercles concentriques. Les feuilles fortement infectées tournent au jaune, deviennent sénescentes et se dessèchent ou tombent. Les conidies d'*A. alternata* sont multicellulaires, allongées, généralement plus larges d'un côté que de l'autre et terminées à la base par un pédicelle. Les cloisons se forment à la fois dans les sens longitudinal et transversal. La capacité de sporulation soit relativement faible en comparaison d'autres maladies fongiques





**Fig.26:** Symptômes de *Ascochyta rabiei* sur le pois chiche. **A**, Nécroses brunes sur les folioles ; **B**, Nécroses sévères sur les folioles ; **C**, Lésion sur une tige avec des pycnides ; **D**, Tige cassée ; **E**, Lésions avec des anneaux nécrotiques des pycnides sur une gousse ; **F**, Semences saines et infectées de pois chiche (Gauche et droite, respectivement), des deux types, kabuli et desi (Haut et bas, respectivement) (Jayakumar et *al.*, 2005).

L'alternariose des solanacées (aussi appelée brûlure alternarienne) est causée par deux champignons du genre *Alternaria*: *Alternaria solani* et *Alternaria alternata* dont les cycles sont relativement comparables à celui du mildiou. Il lui faut de la chaleur (température idéale de 20 à 30 °C) mais aussi un minimum d'humidité (rosée, orages,...) pour se développer. L'Alternariose est caractérisée par l'apparition de tâches noires arrondies à la surface des feuilles, des tiges et des fruits (Fig.27). Ces tâches sont caractérisées par une croissance en anneaux concentriques, donnant aux lésions une forme de cible. *Alternaria solani* va s'attaquer à des plantes affaiblies présentant des stress pouvant avoir plusieurs origines : Stress mécanique (tassement...), hydrique, physique (T°C, grêles...), physiologique (carences Mg, K, Mn)



Fig.27 : symptômes de *Alternaria* sur la tomate.

### Pourriture grise

*Botrytis cinerea* est le champignon responsable de la pourriture grise chez des centaines de plantes hôtes au niveau mondial. Ce champignon comme beaucoup d'autres connaît une double classification :

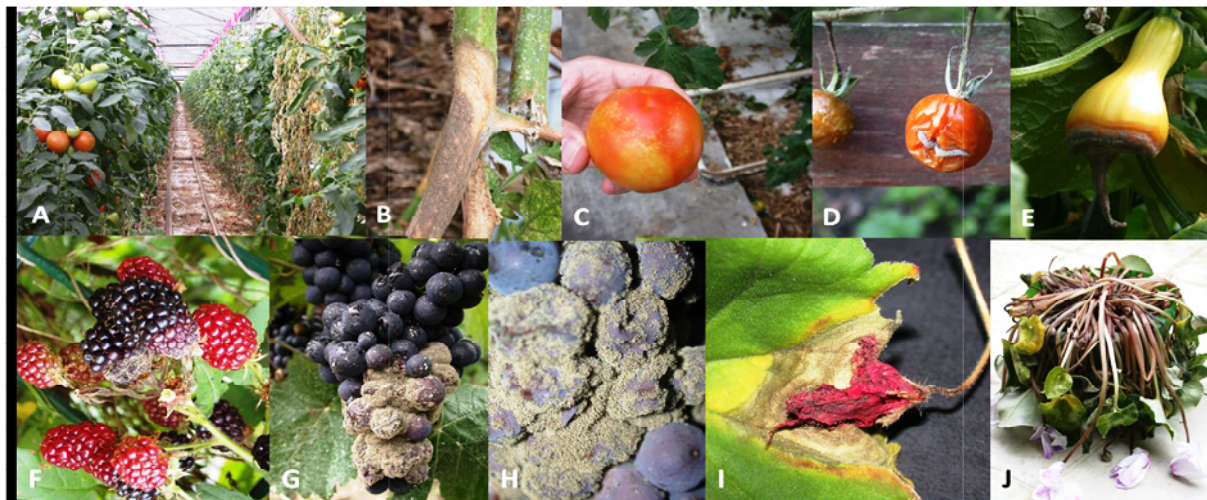
Une forme parfaite (téléomorphe), *Botryotinia fuckeliana* (de Barry) Wetzl. C'est un Ascomycète, de la classe des Discomycètes, de l'ordre des Léotiales, famille des Sclerotiniaceae.

Une forme imparfaite (anamorphe), *Botrytis cinerea* Pers. C'est un Deutéromycète de la classe des Hyphomycètes, de l'ordre des Moniliales, famille des Moniliaceae. C'est de Bary (1866) qui a établi une relation génétique entre *Botrytis cinerea* Pers., organisme asexué, et *Botryotinia fuckeliana* appelé au départ *Peziza fuckeliana*, organisme sexué.

*B. cinerea* est un champignon pathogène ubiquiste et polyphage, capable d'infecter plus de 200 espèces de plantes dicotylédones et monocotylédones, causant des pertes économiques importantes sur les cultures avant et après récolte (Hubert et al., 2005). Il affecte de nombreuses productions végétales d'importance économique en culture sous serre ou en plein champ, comme par exemple : le raisin, la pomme, la poire, la cerise, la fraise et le kiwi en production fruitière, l'aubergine, la carotte, la laitue, le concombre, le poivron, la tomate, la courgette en production légumière ou des plantes ornementales comme la rose, le gerbera ou le cyclamen. Les symptômes qui sont les plus typiques pour les feuilles et les petits fruits sont l'apparition de taches brunes, suivis par l'apparition de feutrage grisâtre, qui sont en fait les conidies (Fig.28 ).

*Botrytis cinerea* possède un cycle infectieux sexué et asexué. Il peut produire soit des spores asexuées (macroconidies) ou sexuées (microconidies), soit du mycélium ou des sclérotés (Ajouz, 2009). Durant l'hiver, *B. cinerea* se conserve principalement sous forme de

sclérotés dans les débris morts. Les sclérotés, dans des conditions particulières, développent des apothécies qui donnent des ascospores. Ces apothécies sont rarement observables mais constituent aussi une forme de dissémination du champignon. Les sclérotés germent et produisent un mycélium qui, grâce à ses appressoria, perforera la cuticule végétale. Il y aura par la suite, développement des conidiophores portant des macroconidies (spores asexuées) qui serviront d'inoculum primaire. Les macroconidies libérées seront principalement propagées à l'aide du vent et de la pluie, ce qui sera considéré d'inoculum secondaire. L'infection par *B. cinerea* peut aussi être favorisée par des blessures sur les fruits ou les feuilles (Elmer et Michailides, 2004). De plus, *B. cinerea* peut, selon les conditions environnementales, effectuer plusieurs cycles de reproduction asexuée au cours d'une saison.



**Fig.28** -Symptomatologie et morphologie de *Botrytis cinerea*. A : Attaque en serre de tomate. La proximité des plantes et la litière infectée au sol favorisent les épidémies. B : Chancre sur tige de tomate. C : Tâches fantôme sur tomate, correspondant à des infections avortées. D : Surinfection sur tomate cerise infectée par le mildiou. *B. cinerea* est également un parasite de faiblesse. E : Jeune fruit de concombre infecté. F : Infection sur mûres cultivées. G et H : Mycélium sporulant sur grappe de raisin. I : Infection sur feuille de *Pelargonium*, après contact d'une fleur infectée. J.

#### **Tavelure des arbres fruitiers**

La tavelure, causée par le pathogène *Venturia inaequalis* (Loculoascomycètes, dans l'ordre des Pléosporales) dont l'anamorphe est *Spilocaea pomi*, est une des principales maladies affectant la production de pomme, bien qu'elle peut affecter quelques autres arbres fruitiers à pépin. La tavelure s'attaque à tous les organes herbacés du pommier ou du poirier sur lesquels elle se manifeste par des taches irrégulières de couleur brun olive à brun-noir

(Fig.29). Le développement de la tavelure comporte une phase parasitaire et une phase saprophytique.

Dans la phase parasitaire, le champignon développe son mycélium sous la cuticule. A la fin de la période d'incubation, le mycélium crève la cuticule et émet à l'extrémité de supports très courts, les conidiophores, des conidies piriformes de couleur brun olive, qui donnent aux taches de tavelure leur aspect velouté caractéristique.

La phase saprophytique se déroule dans les feuilles mortes. Le mycélium envahit le parenchyme, puis forme des organes de reproduction sexuée, les périthèces. Ces derniers sont des corps piriformes, de couleur brun-noir, mesurant environ 0,1 mm de diamètre sur les deux faces du limbe. Le périthèce renferme les asques de couleur jaune verdâtre. La survie de la tavelure durant l'hiver est assurée principalement par les périthèces formés dans les feuilles mortes. La pluie est nécessaire à la libération des ascospores. Les ascospores déposées par le vent sur les organes herbacés du pommier ne germent qu'en présence d'une goutte d'eau. La spore émet alors un tube germinatif qui se renfle au contact de la cuticule, la transperce mécaniquement, puis développe un mycélium souscuticulaire. Les taches de tavelure primaire apparaissent après une période d'incubation de 18 à 25 jours suivant les conditions météorologiques du printemps.

Les symptômes sur feuilles se caractérisent par des taches de forme circulaire, de couleur brune olivâtre à brun foncé sur la partie supérieure des feuilles. Sur les fruits les attaques moins précoces donnent lieu à des taches brunes olivâtres pouvant provoquer un arrêt de croissance de l'épiderme qui peut se crevasser plus ou moins profondément. Les attaques tardives se caractérisent par des marques plus petites, superficielles, noires qui peuvent être bordées de rouge et apparaissent lors de la conservation.



Fig.29: Symptômes de tavelure sur jeunes fruits déformés et crevassés par la maladie

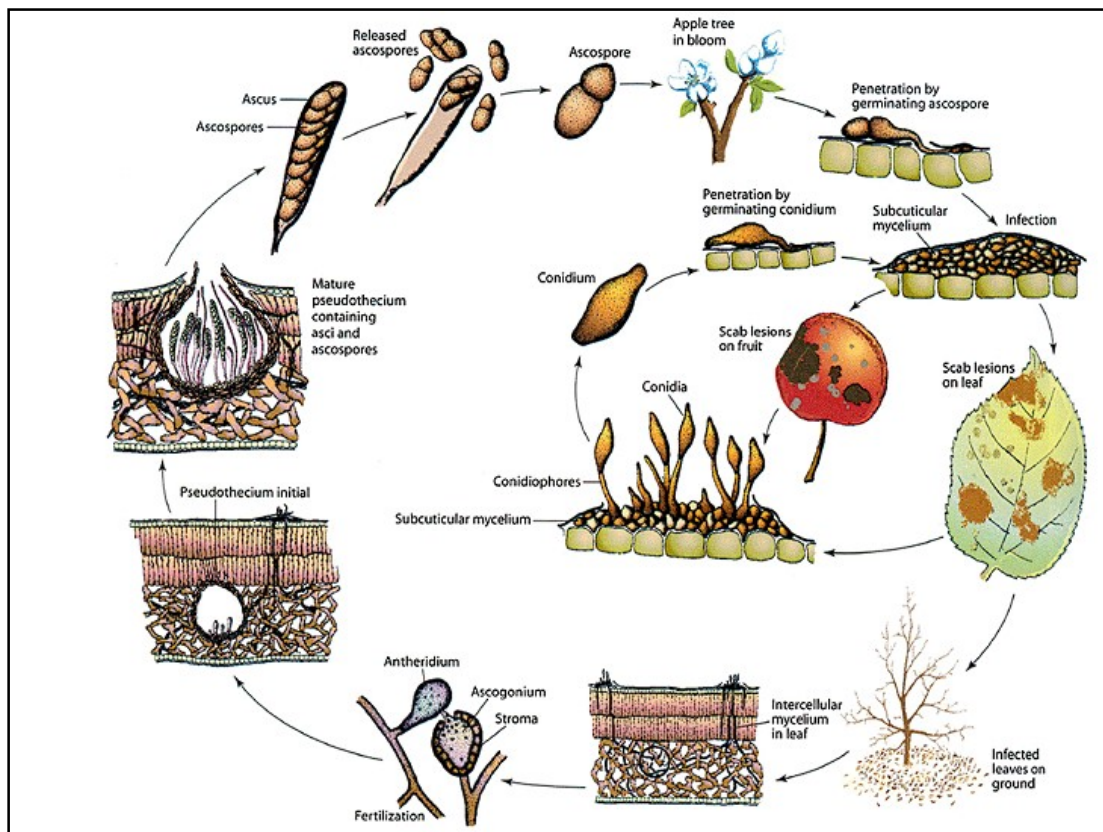


Fig.30: Cycle de vie de *Venturia inaequalis* (tiré de Bowen et al., 2011)

**La moniliose**

Trois espèces de Monilinia (anamorphe : Monilia) peuvent causer cette maladie

*Monilia laxa* est à l'origine de la moniliose des fleurs.

*Monilia laxa et fructigena* sont à l'origine de la moniliose des fruits.

*Monilia linhartiana* est à l'origine de la moniliose du cognassier

Les monilioses sont une des maladies les plus préjudiciables pour la production des fruits à pépins (pommiers, poiriers) et les fruitiers à noyaux (cerisiers, pruniers, pêchers, abricotiers)

Lors de la floraison de l'arbre, le mycélium issu des conidies de *Monilia laxa* ou de *M. fructicola* envahit le stigmate, l'ovaire puis les pétales qui brunissent. La maladie provoque par le brusque flétrissement et le dessèchement de toute la fleur. Suite à la destruction des bouquets floraux, le mycélium du champignon progresse par le pédoncule vers les brindilles fructifères et les jeunes rameaux. Si le rameau est jeune, la partie terminale de la branche attaquée se dessèche, entraînant la destruction de toutes les fleurs qu'elle porte. Les Monilia se conservent sous forme sclérote noire sur les arbres au niveau des chancres, des pédoncules de fruits infectés et sur les momies restées sur les arbres ou tombées au sol. La contamination des fruits se fait exclusivement dans le verger par des conidies disséminées par le vent et par la pluie. Ces conidies peuvent provenir des chancres, momies ou fruits atteints présents dans le verger ou les vergers voisins (Fig.31). Cependant le champignon est surtout un parasite de blessure, et les infections sont beaucoup plus fréquentes quand les fruits sont proches de la maturité et fragiles. Toutes les voies de pénétration: piqûre d'insecte, blessure, microfissure, favorisent les attaques.



**Fig.31:** symptômes de moniliose sur les fruits de pomme et de pêche

### **La flétrissure vasculaire**

Les *Fusarium* et *Verticillium*, agents des fusarioses vasculaires, sont de graves agents de flétrissement chez de nombreuses cultures, dont le melon, la tomate, le pois. Ces parasites, provoquent des trachéomycoses. Ils s'installent en effet dans les vaisseaux du bois des plantes, lesquelles réagissent par des gommages et des bouchons qui bouchent ces vaisseaux et provoquent des jaunissements, des dépérissements et des nécroses vasculaires. La progression de la maladie entraîne la mort des plantes.

Les conidies sont de trois types : macroconidies, microconidies et blastoconidies.

Les macroconidies falciformes, avec plusieurs septa transverses, une extrémité apicale crochue et une base pédicellée sont produites en basipétale (croissance à partir de la base) par les monophialides ou les sporodochia (agrégats de conidiophores) et sont accumulées en masse.

Les microconidies sont ellipsoïdes, ovoïdes, subsphériques, pyriformes, claviformes ou allantoïdiennes, généralement unicellulaires et présentent une base arrondie ou tronquée. Elles sont produites en séries basipétales sur des mono ou polyphialides et accumulées en petites têtes ou en chaînes.

Les blastoconidies sont produites séparément sur des cellules polyblastiques et présentent de 0 à 3 septa.

Des chlamydospores, souvent présentes, sont hyalines ou pâles, intercalaires ou terminales et possèdent une paroi épaisse.

### **Les fusarioses des solanacées**

Les *Fusarium* sont parmi les champignons telluriques les plus agressifs, causant des flétrissements et des pourritures sur de nombreuses espèces végétales cultivées. La tomate peut être victime de deux maladies fusariennes différentes soit la flétrissure fusarienne (*Fusarium wilt*) causée par *Fusarium oxysporum lycopersici* abrégée FOL et la pourriture de la racine et du collet (*Fusarium crown and root rot*) causée par *Fusarium oxysporum radicle-lycopersici* abrégée FORL.

#### ***Fusarium oxysporum f.sp. radicle-lycopersici (FORL)***

Ils se caractérisent par une altération du système racinaire. Le champignon induit la pourriture du système racinaire : le cylindre central et le cortex des racines brunissent puis se désagrègent. Le collet peut présenter un chancre brun, humide, bien délimité et déprimé recouvert d'un mucus rose saumon (fructifications sporifères). Les symptômes apparaissent souvent à proximité de la récolte lorsque les plantes sont très chargées en fruits. Ces altérations provoquent également un flétrissement ou un jaunissement des feuilles de la base des plantes.

Le champignon se conserve dans le sol grâce à ses chlamydospores et au mycélium capable de survivre sur les débris végétaux. L'infection a surtout lieu à partir des conidies formées sur les chancres. La dissémination du champignon se fait au niveau du sol par les eaux de ruissellement, le vent ou les éclaboussures ou les importations dans l'exploitation de terreaux ou de plants contaminés.

***Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici (FOL)***

Cette fusariose vasculaire (*Fusarium wilt*) peut affecter les très jeunes plantes comme les plantes adultes. Sur les premières, elle occasionne un ralentissement de croissance, le flétrissement et le jaunissement des feuilles basses ; les tissus vasculaires sont fortement brunis. Bien souvent, les plantules finissent par se dessécher et mourir. Sur plantes adultes, là encore, se sont les vieilles feuilles qui expriment les premiers symptômes. Quelques-unes des folioles montrent des chloroses sectorielles. Par la suite, le jaunissement gagne l'ensemble du limbe et s'étend à d'autres folioles situées sur le même côté des feuilles. En plus de jaunir, les feuilles finissent par flétrir durant une grande partie de la journée.

***F. solani var. coeruleum*** : Pourriture circulaire avec plis concentriques sur l'épiderme et croissance mycélienne de couleur blanche, orange ou bleue à la surface. Une pourriture de couleur brun clair avec un bord diffus se développe depuis la surface vers l'intérieur.

***F. sulphureum*** : De petites lésions apparaissent autour des blessures et se développent en produisant des symptômes qui, de l'extérieur, ressemblent à la gangrène, c'est-à-dire de légères dépressions de forme irrégulière. À l'intérieur, les lésions forment des cavités remplies de tissus poudreux de couleur grise.

***F. avenaceum*** : Les symptômes ressemblent généralement à ceux de *F. solani var. coeruleum*, mais les pourritures sont souvent de plus petite taille et le tissu atteint est de couleur brun foncé.

**Fusarioses des céréales**

Il comprend les espèces qui ont à la fois des pouvoirs pathogènes et saprophytes. Les *Fusarium* les plus fréquentes ce sont : *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. avenaceum*, *F. crookwellense* et *F. sporotrichioides*. Les deux espèces les plus fréquentes sur le blé *F. graminearum* et *F. culmorum*. Les champignons *Fusarium* ont la capacité de produire des mycotoxines. Les deux espèces *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* peuvent causer la pourriture de la tige et la brûlure de l'épi du blé et ces infections de champ peuvent conduire à l'altération post récolte plus importante de ce produit s'il est stocké à une trop forte activité de l'eau (Adams et Moss, 2008). Pendant l'hiver et tout au long du cycle



cultural, les agents pathogènes responsables de la fusariose des épis survivent dans le sol sous forme de chlamydospores. Cet inoculum primaire est capable d'infecter les semis et induire une fonte des semis et une pourriture du collet. L'inoculum est formé principalement de macroconidies ou microconidies (phases télomorphes *Fusarium* et *Microdochium*) et d'ascospores (phases anamorphes *Gibberella* et *Monographella*) qui sont produites en conditions humides et chaudes. Les ascospores et les conidies sont dispersés par le vent ou par splashing. Certaines espèces du genre *Fusarium* sont transmises par les semences et toutes les espèces de ce genre sont des champignons du sol capables de s'y conserver sous forme de mycélium et de périthèces dans les débris infectés et sous forme de chlamydospores.

### **La verticilliose**

La verticilliose est une maladie cryptogamique, affecte le système vasculaire (l'ensemble des vaisseaux qui assurent la circulation de la sève) et qui peut provoquer le dépérissement de nombreux légumes, plantes d'ornement et fruitiers. Deux espèces en sont responsables : le *V. albo-atrum* et le *V. dahliae*. Le mycélium pénètre à l'intérieur de la plante par les racines puis se diffuse dans les vaisseaux à l'intérieur desquels il prolifère, et ce, jusqu'aux nervures des feuilles et aux inflorescences. En conséquence, la circulation de la sève se trouve gênée et le métabolisme de la plante perturbé. Bien que certaines plantes infectées arrivent à croître sans développer de verticilliose (par compartimentation de la zone infectée), d'autres sont très sensibles à la contamination.

*Verticillium albo-atrum* se caractérise par l'infection des feuilles, qui développent des tâches jaunes suivies de zones irrégulières de nécrose entre les vaisseaux majeurs (Fig.32).

*Verticillium dahliae* est un pathogène de la pomme de terre, des tomates et des fraises. Il peut également infecter le houblon lors de saisons chaudes en provoquant des symptômes équivalents à ceux trouvés avec *Verticillium albo-atrum*. Il est par conséquent recommandé de ne pas planter de houblon après avoir cultivé des pommes de terre ou des tomates pour éviter une contamination.

Les champignons pathogènes responsables de la verticilliose survivent dans le sol, ou sur des restes de plantes contaminées, plusieurs années sous une forme appelée microsclérote. Lorsque le microsclérote entre en contact avec les racines d'une plante hôte et lorsque les conditions sont favorables (température avoisinant 20°C et sol humide), il germe et produit le mycélium qui se propage dans la plante.



**Fig.32** : symptômes de la verticilliose sur les les feuilles de tomate

### **Sclérotiniose**

*Sclerotinia sclerotiorum*, un des responsables de la Sclérotiniose, sont des champignons qui provoquent des pourritures à évolution rapide de tous les organes au-dessus et au niveau du sol, chez de nombreuses cultures (Fig.33). Le Sclerotinia fait des dégâts surtout sur aubergine, haricot, pois, carotte. Les organes nécrosés se recouvrent d'un feutrage blanc pur à partir duquel prennent naissance des masses noires assez volumineuses (jusqu'à 10-15 mm), les sclérotés, qui se conservent à faible profondeur dans les sols et substrats. Ces sclérotés germent en donnant soit des apothécies qui libèrent des ascospores contaminants, soit du mycélium pathogène. La croissance de pathogène est inhibée en profondeur par la trop forte concentration en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). L'optimum d'agressivité de *S. sclerotiorum* se situe entre 18 °C et 25 °C.

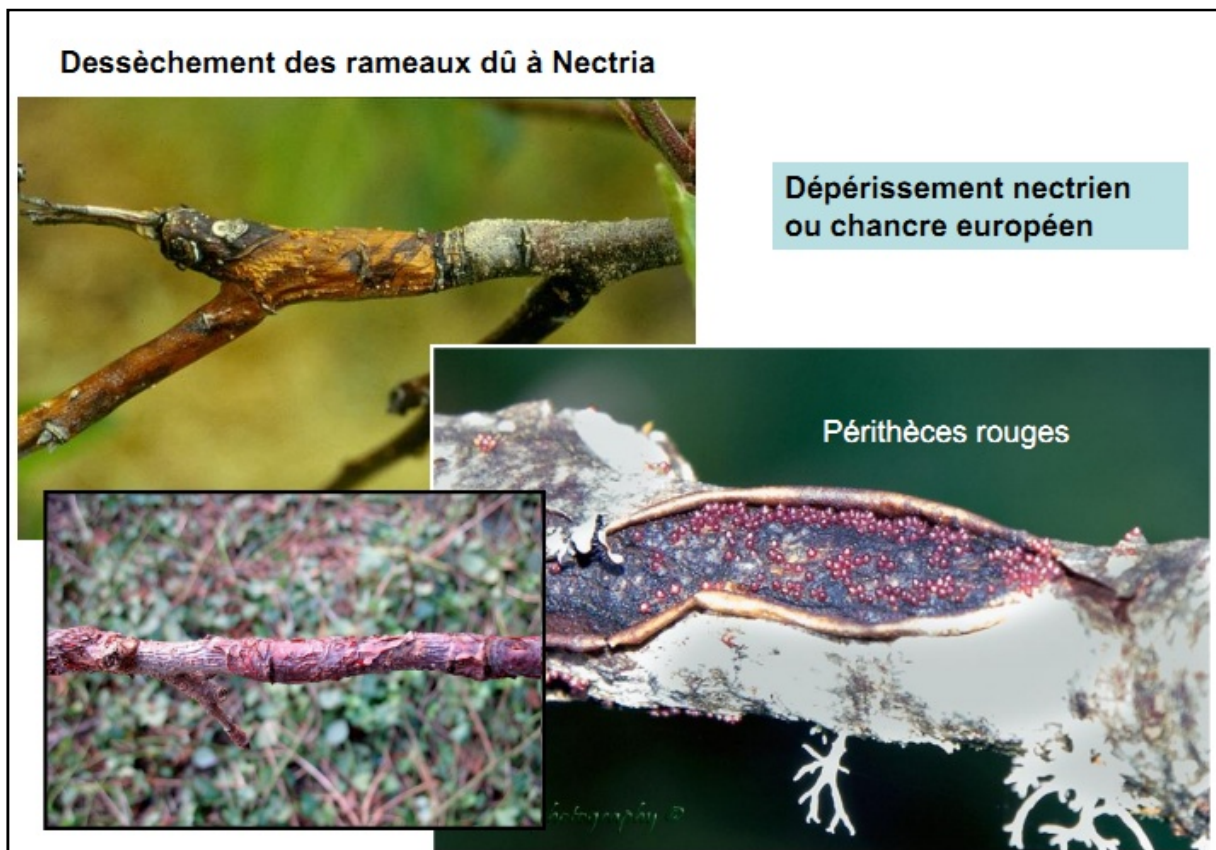


**Fig.33** : symptômes de la Sclérotiniose sur les les racines de plants

**Chancre européen sur pommier**

Cette maladie qui affecte les arbres fruitiers à pépins peut être causée par *Nectria galligena* (anamorphe : *Cylindrocarpon mali*). La maladie se manifeste par la présence de chancre sur les rameaux et les branches qui, faute d'être suffisamment alimentés en sève, dépérissent (Fig.34).

La contamination des arbres peut se produire toute l'année, mais c'est essentiellement à l'automne, lors de la chute des feuilles que les arbres sont les plus sensibles (lorsque les feuilles tombent, il se crée des petites plaies au niveau de l'attache du pétiole sur le rameau). Le bois endommagé et les bourgeons peuvent aussi être des portes d'entrée pour ces champignons. Sur les rameaux et les branches infectés, l'écorce se craquelle et sur les parties nécrosées, on peut observer des petites pustules (rouges corail en hiver et blanches en été). La plaie s'agrandit pour former un chancre étendu ceinturant le rameau. Sur les grosses branches, la lésion évolue pendant plusieurs années : elle se creuse et forme un ou plusieurs bourrelets concentriques en périphérie. Les parties situées au dessus du chancre dépérissent. Les fruits (pommes et les poires) peuvent également présenter des pourritures sèches au niveau de l'oeil et du pédoncule avant maturité ou lors de leur conservation.



**Fig.34** : Chancre sur les rameaux des arbres.

#### **IV.2- Maladies causées par les Basidiomycota**

##### **Le rhizoctone**

Cette maladie est due à des espèces de *Rhizoctonia* qui affectent la plupart des plantes annuelles et de nombreuses plantes pérennes. Les symptômes les plus communs que ces espèces causent sont la fonte des semis, la pourriture racinaire, la pourriture et le chancre des tiges. L'espèce la plus importante est *Rhizoctonia solani* (Deutéromycètes, Agonomycètes, Agonomycétales) dont le téléomorphe est *Thanatephorus cucumeris*. L'agent pathogène passe l'hiver dans le sol ou dans les débris végétaux contaminés sous forme de mycélium. Un sol contaminé facilite la propagation de l'agent pathogène d'un champ à l'autre. Il se peut qu'aucun symptôme foliaire, comme le flétrissement et la mort, ne soit visible avant que la maladie ne soit très avancée.

Les plantes infectées présentent des symptômes de flétrissement. La surface de la racine est recouverte d'un mycélium rouge -violet. Le flétrissement de la plante peut prêter à confusion, mais le mycélium peut être observée après le nettoyage de la surface de la racine est un symptôme évident de cette maladie

##### **Rouille**

**La rouille jaune** est une maladie foliaire des céréales due à un champignon, *Puccinia striiformis*. Elle affecte principalement le blé tendre et le triticale, mais elle peut être également observée sur l'orge ou le blé dur. Les agents responsables des rouilles sont dits « parasites obligatoires » (syn. biotrophe stricte) puisqu'ils ne peuvent se développer en l'absence de leur plante hôte. Les symptômes de la rouille jaune peuvent être observés sur les feuilles, les gaines mais aussi les épis. Ils se caractérisent par la présence de pustules allongées (urédosores), de couleur jaune-orangée, organisées de façon linéaire entre les nervures de la face supérieure des feuilles. Leur disposition particulière en longues lignes parallèles les unes aux autres donnent un aspect trié aux feuilles et c'est cette particularité qui a donné son nom à l'espèce. Le champignon passe l'hiver sous forme d'urédospores sur les repousses de céréales ou de mycélium en dormance, le champignon peut survivre à de très faibles températures (jusqu'à -10°C). Au printemps, lorsque le climat devient frais et humide, le champignon reprend son développement pour initier la production de nouvelles urédospores. Des températures comprises entre 10 et 15°C et un taux d'humidité relative voisin de 100 % sont les conditions optimales pour la germination des spores. Le champignon est généralement inhibé par les températures supérieures à 20°C. Le cycle complet de la maladie, de l'infection à la production de nouvelles spores, peut être accompli en sept jours.

En fin d'été, de petites traces courtes et de couleur gris foncé peuvent parfois être observées sur la face inférieure des feuilles : ce sont des téléutosores. Chez la rouille jaune, ils sont rares et le plus souvent recouverts par l'épiderme.

**La rouille noire:** cette maladie du blé a pour symptômes des pustules sporulées de couleur brune qui apparaissent sous forme de rayures sur les feuilles et les tiges. Plus tard dans la saison, des pustules allongées de couleur noire contenant les téléutospores se développent, essentiellement sur les tiges. Le champignon développe des téléutospores sur le plant de blé, qui produisent une spore secondaire, la basidiospore. Celle-ci infecte un hôte totalement différent, l'épine-vinette (*Berberis spp.*). Sur l'épine-vinette, une nouvelle spore fait son apparition, l'écidiospore, qui peut se propager et réinfecter la céréale hôte. Cette infection donne naissance à l'urédospore, qui provoque les symptômes normaux sur le blé. Les flambées infectieuses sont causées par des spores aériennes originaires du sud-ouest de l'Europe et du nord de l'Afrique ; par conséquent, l'infection se produit généralement lorsque des mouvements d'air adéquats se créent. La température optimale est supérieure à 20°C. Aussi, les mouvements d'air doivent être associés à des températures élevées. Les températures inférieures à 15°C inhibent le développement de la maladie.

**La rouille brune** (*Puccinia triticina*) est spécifique au blé. D'autres *Puccinia spp.* et pathotypes peuvent affecter l'orge, le seigle et le triticale, mais ils ne provoquent pas d'infections croisées. Les symptômes de la rouille brune se manifestent souvent en automne sur les cultures à semis précoce, sous forme de pustules de couleur orange à brune. Lors des infections de début d'automne, les pustules individuelles peuvent être confondues avec celles de la rouille jaune, de par leur couleur orange à brune et leur diamètre compris entre 0,5 et 1,0 mm environ. Les symptômes apparaissent essentiellement sur les feuilles. Lors des attaques sévères, des pustules peuvent également être observées sur la tige et les glumes. Le champignon hiverne essentiellement sur les repousses de céréales et les cultures à semis précoce. Jusqu'à peu, la maladie était rarement sévère au printemps, car la sporulation et la germination des spores nécessitent des températures comprises entre 15°C et 22°C, et une humidité relative de 100 %. De ce fait, les épidémies de rouille brune surviennent normalement de mi-été à la fin d'été, avec les jours de vent sec qui disséminent les spores, et les nuits fraîches avec rosée, favorables à cette maladie du blé.

### **Carie commune**

Les caries sont des maladies largement répandues, provoquées par des champignons basidiomycètes de la famille des Tillétiacées appartenant au genre *Tilletia*. Visuellement, selon l'aspect des plantes on distingue deux types de caries : la carie commune et la carie naine. La contamination de la culture se produit au moment de la levée, à partir de spores présentes à la surface du grain ou dans le sol. Ces spores donnent naissance à un mycélium qui pénètre le coléoptile dès son émergence et progresse vers l'ébauche de l'épi. Au printemps, le parasite systémique poursuit sa progression dans la plante, sans symptôme facilement identifiable jusqu'à épisaison. Peu après la floraison, le mycélium envahit le futur grain et produit ses spores (téliospores) à la place du germe et de l'amande. Seules les enveloppes du grain sont conservées. En été, les spores entrent en phase de conservation. Les grains cariés peuvent s'ouvrir à la moindre pression, ils éclatent ainsi à la récolte en libérant les très nombreuses spores qui sont disséminées dans l'air. Elles viennent contaminer les grains sains qui pourront donner à leur tour des plantes infectées après semis.

La carie commune du blé passe pratiquement inaperçue avant l'épisaison. Il faut observer attentivement la végétation pour détecter un léger raccourcissement des plantes accompagné par une augmentation du tallage avec des brins mous, des épis grêles ou stériles, abaissant le nombre de tiges épiées par pied. À l'épisaison, les symptômes sont bien établis et selon les variétés une coloration bleu verdâtre (glauque) peut marquer les feuilles et les gaines. Les épis cariés épient un peu avant les plantes saines, mais gardent plus longtemps leur coloration vert glauque et semblent présenter un retard au moment de la maturation. L'épi carié est déformé par rapport à l'épi sain et souvent différent en longueur. À la récolte les grains cariés sont très légers, trapus à la base, bruns gris et ridés, leur sillon est à peine visible. Ils s'écrasent à la moindre pression en libérant une poussière de spores noires qui va contaminer les grains sains et le sol au battage.

### **IV.3- Maladies causées par les Oomycota**

#### **Pythium**

Le pythium constitue un élément permanent de microflore des sols. On distingue deux grandes catégories : les nématosporangiés (sporangies lobés irrégulière) et les sphérosporangiés (sporangies sphériques). Ce champignon qui vive dans le sol s'attaque aux racines, au collet et aux tiges des jeunes plantules au cours de la levée et provoque le ramollissement et la désorganisation des organes atteints ; les plantes se courbent, puis s'affaissent sur le sol. Il provoque en plein champ des destructions par foyers. Les attaques de

ce champignon est généralement favorisées par l'humidité excessive des substrats. Les fortes densités de semis rendent les plantules moins vigoureuses et plus sensibles. Plus généralement, les Fontes des semis sont grandement favorisées par tous les facteurs agro-climatiques qui n'assurent pas une germination et une levée optimale des semences : sols frais, semis trop profonds. Les fertilisations azotées excessives peuvent également favoriser ces maladies. Les semis à basses températures (cultures primeurs) sont plus sujets à ce problème.

#### **Les maladies du mildiou**

Le mildiou est une maladie redoutable. Elle peut toucher tous les organes de la plante: jeunes pousses, feuilles et pétioles, bouquets terminaux, tiges et tubercules. Les pertes de rendement engendrées par cette maladie peuvent atteindre 100% ; en moins de trois semaines une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite (Gaucher et al., 1998).

Le genre *Phytophthora* appartient à la famille des Pythiacées et comprend plus de 80 espèces (Cooke et al. 2000). Les *Phytophthora* sont responsables des maladies de plantes qui causent les plus gros dégâts dans les cultures à travers le monde (Sasabe et al. 2000). Ils affectent une large gamme de plantes cultivées ainsi que des espèces forestières. Sur 50 espèces de *Phytophthora* étudiées, 32 ont des spectres d'hôtes larges et 18 n'ont qu'un seul hôte.

Le mildiou de la pomme de terre et de la tomate est provoqué par *Phytophthora infestans*, agent pathogène particulièrement destructeur de cette culture, mais également capable de causer des dommages sur d'autres Solanacées sauvages et cultivées, en particulier la tomate. *P. infestans* est un Oomycète de la famille des Perenosporaceae. Les oomycètes sont caractérisés par un mycélium non cloisonné et de zoospores biflagellés. ces champignons sont considérés comme « pseudo-fungi », en raison de l'absence de la chitine au niveau de leur paroi. Les oospores de *P. infestans* sont produites en petites quantités sur les plants de la pomme de terre et de la tomate cultivés en plein champ et peuvent survivre dans le sol pendant de longues périodes.

La survie en dehors de l'hôte se produit essentiellement sous forme de mycélium présent dans les tubercules infectés restant dans les sols. Au printemps suivant, les différentes formes de conservation (mycélium ou oospores) donnent des sporanges, qui peuvent être disséminés par le vent et la pluie. Les sporanges germent et libèrent des zoospores biflagellées qui germeront au contact de l'hôte pour pénétrer dans les tissus des feuilles où se développe un réseau mycélien intra et intercellulaire.

Le mildiou peut attaquer tous les organes aériens de la plante. Il se caractérise par le développement de taches d'abord humides, voire de plages, sur les folioles. Ces attaques confèrent localement aux tissus touchés une teinte vert pâle à vert brun. Lorsque les conditions sont favorables, la progression des symptômes sur les folioles est fulgurante ; les feuilles, les rameaux voire les plants entiers, finissent par se nécroser et se dessécher entièrement (Fig.35). L'infection des tubercules se manifeste par la présence de zones légèrement déprimées de taille variable et de forme irrégulière, où la peau est brun violet et coriace.

*P. infestans* comprend deux phases : une phase asexuée assurée par les sporanges et une autre phase sexuée assurée par les oospores.

Une fois sur les folioles, les sporanges libèrent des zoospores flagellées puis émettent un tube germinatif qui pénètre dans la foliole. Après être installé dans l'hôte, le mycélium émet des sporangiophores sur la face inférieure des folioles par les stomates, parfois directement au travers de l'épiderme. Ces sporangiophores produisent de nombreux sporanges. Cette étape nécessite la présence d'une forte humidité (égale ou supérieure à 90%) et des températures comprises entre 3 et 26°C (Grünwald et Flier, 2005). Les sporanges sont aisément entraînés par le vent et la pluie, parfois sur des longues distances et gagnent de nouvelles plantes encore saines, assurant des contaminations secondaires (Goodwin et al., 1993). La production d'oospores résultant de la reproduction sexuée intervient uniquement lorsque des souches appartenant à des types sexuels opposés sont en présence (Fig.36). La détermination génétique du type sexuel est simple : ce caractère est codé par un seul gène. Les oospores sont capables de se maintenir au moins un hiver au champ et de réinfecter ensuite une culture de pomme de terre (Drenth et al., 1995).



**Fig.35** : Symptômes de mildiou sur les différents organes de la plante



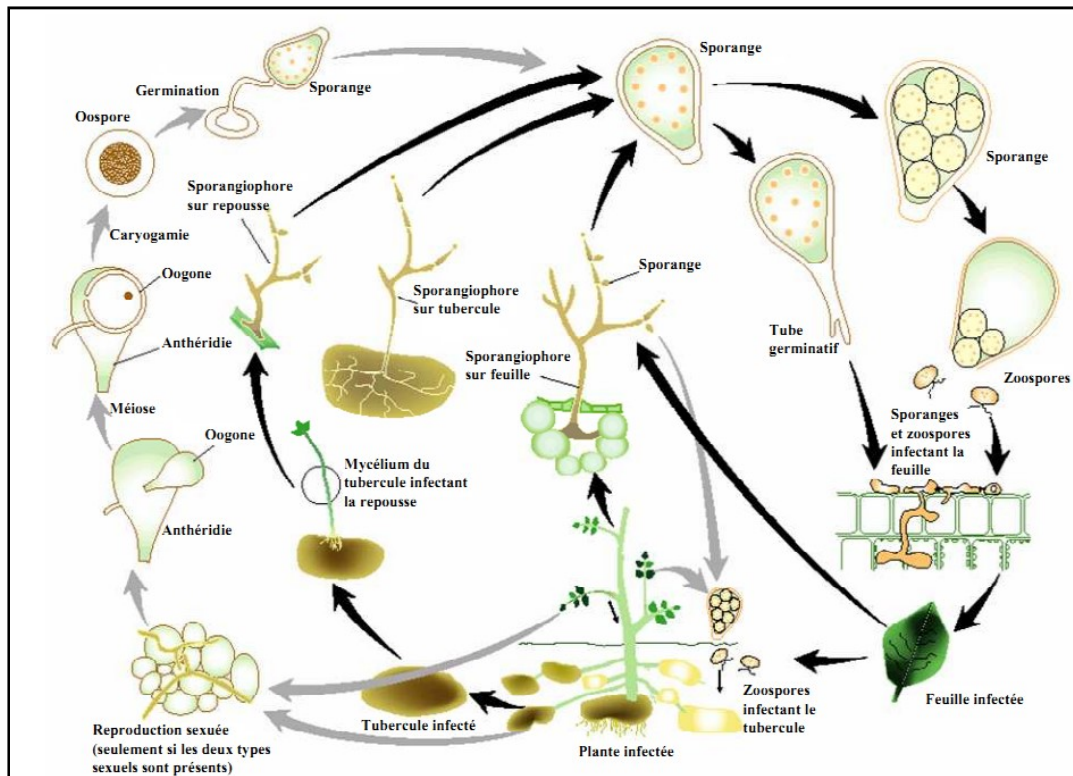


Fig.36 : Cycle de développement de *Phytophthora infestans*.

### Le Mildiou de la vigne

Le Mildiou de la vigne est une maladie causée par un oomycète biotrophe, parasite obligatoire affilié aux algues brunes, *Plasmopara viticola* qui appartient au règne des Chromistes . La maladie attaque tous les organes herbacés, provoque l'altération du feuillage et entraîne sa chute précoce ainsi que la destruction totale du raisin. Les jeunes feuilles sont les plus vulnérables et une attaque précoce, grave peut provoquer une défoliation prématurée. Les symptômes sur très jeunes baies se caractérisent par une teinte grise et se couvrent d'un feutrage blanc, c'est le rot gris (rot = pourriture, en anglais). Sur les baies de taille plus importantes, une teinte brune apparait et on parle de "rot brun". Le développement de *Plasmopara viticola* se fait suivant deux cycles imbriqués :

un cycle sexué, long, passant par la forme *oospore* dormante, résistante au froid, puis au printemps, la germination donnant des *zoospores*, allant infecter les tissus de la vigne par un *mycélium* parasite responsable de l'infection primaire, pour se terminer à l'automne par la formation d'un nouvel œuf, bien protégé par des parois épaisses et capable de survivre l'hiver en l'absence de végétation

Un cycle court et rapide, passant directement du mycélium aux zoospores, capables de propager des infections secondaires lors de la période végétative, par multiplication clonale.

**Mildiou de la fève**

Le champignon: *Peronospora viciae* appartient au phylum des Oomycota et à la classe des Oomycètes. Les conidies de *P. viciae* sont monocellulaires, ovales à légèrement ellipsoïdes. Leurs dimensions sont 20-30 x 17-22 µm. Les conidiophores se terminent par des stérigmates droits ou légèrement courbés, assez pointus et généralement groupés par deux.

La maladie apparaît principalement à partir de début floraison jusqu'à la fin du développement des gousses. Tous les organes peuvent être touchés, mais ce sont principalement les feuilles qui sont concernées. Les symptômes peuvent être observés durant tout le cycle de végétation; les attaques peuvent affecter les feuilles, les gousses et les graines.

Lors d'attaques précoces, le champignon entraîne le nanisme des plantes puis la déformation et la décoloration des tiges et des pétioles. Ces symptômes s'accompagnent d'un dessèchement de la partie terminale des plantes. Le mildiou peut se manifester dès la levée et provoquer une fonte des semis. Le champignon se conserve dans le sol ou les débris infectés sous forme d'oospores et/ou de mycélium. Les fortes humidités et les températures voisines de 15-20 °C sont favorables à cette maladie qui n'est pas transmise par les semences

**IV.4- Maladies causées par les Chytridiomycota**

**Galle verruqueuse de la pomme de terre**

La galle verruqueuse, appelée aussi « galle noire » ou « maladie verruqueuse de la pomme de terre » est une maladie grave de la pomme de terre provoquée par un champignon primitif *Synchytrium endobioticum* qui se manifeste par la formation sur les tubercules les de galles noires plus ou moins volumineuses, souvent en forme de chou-fleur (Fig.37) . Cette maladie affecte aussi certaines espèces de solanacées sauvages.



**Fig.37** : Symptômes de galle verruqueuse de la pomme de terre

#### **IV.5- Maladies causées par les Zygomycota**

##### ***Rhizopus***

*Rhizopus* est un champignon de la famille des *Mucoraceae* de la sous-division des *Mucoromycotina*, taxon comprenant la majorité des espèces anciennement classées parmi les *Zygomycota*. Il est responsable de pourritures molles et liquides sur divers fruits et légumes (fraises, raisin, tomates...) ainsi que de la moisissure noire, observée communément à la surface du pain et d'autres aliments amylacés. C'est une espèce cosmopolite, présente partout dans le monde. Il survit très facilement sur ou dans le sol ou sur les débris végétaux et peut s'y maintenir plusieurs années sous les formes de spores, zygosporos ou de mycélium. Outre l'altération de fruits, légumes et céréales, il provoque aussi une pourriture des racines d'arbres fruitiers, notamment les agrumes. On trouve de plus *Rhizopus* dans les entrepôts sur le matériel de conditionnement et de stockage des fruits. Le moisissement des végétaux apparaît après la récolte.

##### **Moisissure sur tomate**

*Rhizopus stolonifer* pénètre dans les fruits par l'intermédiaire de la moindre blessure puis les envahit avec son mycélium. Pour se multiplier par voie asexuée, il sort en surface afin de sporuler. Les spores émises sont disséminées par le vent sur de longues distances. Les conditions humides et chaudes d'août et septembre sont très favorables à son développement. Il croît entre 5 °C et 30 °C avec un optimum vers 25 °C. Une tomate blessée qui a été attaquée par *Rhizopus stolonifer* va voir ses tissus se liquéfier peu à peu en quelques jours, sous l'effet de la décomposition de la matière organique.

De nombreuses enzymes sont excrétées par *Rhizopus stolonifer*, comme des enzymes pectolytiques qui hydrolysent la pectine et contribuent à la décomposition des tissus végétaux. Même après une irradiation qui aura tué le champignon et stoppé sa croissance mycélienne, les enzymes pectolytiques qui ont été produites dans le substrat continueront un certain temps à digérer les substances nutritives.

La morphologie de l'anamorphe se caractérise par une hyphe siphonnée, multinuclée, possédant une paroi de chitine et de glucanes, et ayant une croissance apicale. Le protoplasme renferme de nombreuses vacuoles qui poussent le cytoplasme et les noyaux à la périphérie. Les réserves de nourriture sont stockées sous forme de glycogène et de lipide. Au moment de la reproduction, ou après une blessure, des septa (cloisons) sont formées.

La moisissure *Rhizopus stolonifer* se manifeste sous trois formes différentes au cours de son cycle de développement. Elle passe par les stades spores, zygosporos et mycélium et leur germination et fructifications respectives.

Le développement *Rhizopus stolonifer* se fait suivant deux cycles :

Un cycle sexué, passant par les étapes spores, zygosporos et mycélium et leur germination et fructifications respectives. Les spores et zygosporos sont chacune constituées par une cellule multinucléée, entourées d'une paroi épaisse la protégeant de l'environnement. Les noyaux de la spore sont haploïdes, ceux de la zygosporos diploïdes. La germination d'une spore donne une hyphes, la germination d'une zygosporos donne un sporocyste, formation qui ensuite produit des spores.

Un cycle asexué, court, où le mycélium produit des sporocystes engendrant un grand nombre de spores, libérées à l'air libre et pouvant être emportées par le vent ou l'eau afin de propager immédiatement la moisissure.

## **V- Les principales maladies bactériennes**

### **Introduction**

Les bactéries sont des êtres vivants unicellulaires dont la taille est de l'ordre  $\mu\text{m}$ , ce sont des procaryotes qui ne possèdent pas un noyau vrai" pourvu d'une membrane mais un unique 'chromosome nu. La taille d'une bactérie varie entre 1 à 10  $\mu\text{m}$ . Le poids d'une bactérie est d'environ 10-12 g. Elle contient 70% d'eau. Rapporté au poids sec, une bactérie est constituée de protéines (55%), de lipides (10%), de lipopolysaccharides (3%), de peptidoglycane (3%), de ribosomes (40%), d'ARN (20%) et d'ADN (3%).

### **Structure moléculaire des bactéries**

Les cellules procaryotes ne possèdent pas de noyau mais possèdent du matériel nucléaire sous forme d'un chromosome unique, circulaire, d'une longueur voisine de 1 mm.

### **Les plasmides**

Les plasmides sont des petites molécules d'ADN circulaire double brin, qui possède obligatoirement une origine de répllication (ORI-R). Ils portent un nombre réduit de gènes, qui ne sont pas essentiels à la survie de la cellule, mais qui lui confèrent des capacités d'adaptation plus importantes. Les plasmides conjugatifs sont transférables d'une bactérie à une autre par conjugaison : ils portent les gènes nécessaires à la synthèse des pili sexuels et les gènes de conjugaison, ainsi qu'une origine de transfert (ORI-T).

### **Les transposons**

Les transposons sont des éléments d'ADN capables de changer de localisation dans le génome sans apparaître à l'état libre contrairement aux plasmides. Les transposons les plus simples sont des fragments d'ADN de 750 à 1600 pb, contenant le gène de la transposase (enzyme permettant l'insertion du transposon dans l'ADN cible), encadré par des séquences répétées inversées. Les transposons composites contiennent d'autres gènes que celui de la transposase, des gènes de résistance aux antibiotiques par exemple. Les transposons ne peuvent quitter leur cellule hôte et ne peuvent se transmettre que par division (mitose, méiose) ou fusion (fécondation) de celle-ci.

### **Les prophages**

Ce sont des séquences d'ADN provenant de virus bactériens appelés « bactériophages ». Lors du cycle lysogénique, le matériel génétique viral s'insère dans le génome cellulaire. Le prophage est donc transmis verticalement lors de la division bactérienne. Une bactérie lysogène peut acquérir un caractère supplémentaire.

### **Classification des bactéries**

Dans cette classification, les caractères phénotypiques utilisés sont peu nombreux par rapport au nombre de gènes habituellement présents chez les bactéries. De plus, ces caractères sont hiérarchisés les uns par rapport aux d'autres.

Les bactéries peuvent être classées selon leurs caractères :

- Biochimiques (classification en biotypes ou biovars)
- Antigéniques (classification en sérotypes ou sérovars)
- Pathogéniques (classification en pathotypes ou pathovars)
- Enzymatiques (classification en zymotypes ou zymovars)
- Sensibilité aux antibiotiques (classification en antibiotypes)
- Sensibilité aux bactériophages (classification en lysotypes ou lysovars)
- Moléculaires : identification de l'ADN par ribotypie, hybridation ADN-ADN,

hybridation ADN-ARN, séquençage de l'ARN ribosomique, etc

Les bactéries peuvent aussi être classées selon : la plus usité

- La coloration de Gram
- La morphologie
- La mobilité
- La capacité à sporuler
- La température de croissance
- Les besoins nutritionnels

- Le mode respiratoire
- La capacité de photosynthèse
- L'utilisation des différentes sources de carbone ou d'azote
- Le G+C% du génome

Les organismes procaryotes (Procaryotae) regroupent les organismes unicellulaires ne présentant pas de noyau individualisé, c'est à dire les Bactéries et les Archaeobactéries. Les Eucaryotes (Eucarya) regroupent quand à eux l'ensemble des organismes unicellulaires ou multicellulaire à noyau individualisé.

### **Symptomatologie des maladies bactériennes**

Les bactéries sont responsables de l'apparition de symptômes notamment de taches foliaires, nécroses et brûlures, de tumeurs et galles, de flétrissement vasculaire (trachéobactériose), de chancres et exsudations gommeuses, de pourritures molles, de gales sur les organes de réserve souterrains.

Une même bactérie peut provoquer des symptômes différents sur différents organes

- Les nécroses et les brûlures : ce sont des attaques localisées qui aboutissent à la mort lente des cellules ; la feuille présente des petites plaques de cellules mortes et sèches
- Les tâches huileuses ou pourriture molles : l'attaque des bactéries se matérialise par une prolifération rapide qui détruit les tissus sous-jacents, la prolifération des bactéries se réalise dans un amas visqueux
- Les galles ou tumeurs : il s'agit d'une prolifération anarchique des cellules de la plante hôte provoqué par les bactéries
- Les trachéobactérioses : il s'agit d'une prolifération à l'intérieur des tissus conducteurs de la plante hôte ; les feuilles se flétrissent du côté des tissus atteints.

#### **V.1- Les maladies causées par *Corynebacterium sp.***

##### **Chancre bactérien causées par *Corynebacterium sp.***

*Corynebacterium michiganense* pv. *michiganense* (Smith) Dye & Kemp

Synonyme : *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Smith) Davis et al.

*Corynebacterium michiganense* (Smith) Jensen

La principale plante-hôte d'importance économique est la tomate, mais le pathogène a été signalé sur d'autres *Lycopersicon* spp. ainsi que sur des plantes sauvages telles que *Solanum douglasii*, *S. nigrum* et *S. triflorum*. Les signalements sur *Phaseolus*, pois et maïs sont douteux.

Les semences infectées de tomate donnent naissance à des plantules infectées. La dissémination de la maladie en plein champ ou sous serre est favorisée par l'eau (irrigation) et par les pratiques culturales. La bactérie pénètre dans les tissus de la plante par les stomates ou par tout autre ouverture naturelle, de même que par des plaies ou par les racines. Après l'infection, une longue période de latence se déroule avant l'apparition des premiers symptômes. La bactérie se localise dans les vaisseaux du xylème. Les vaisseaux contaminés contiennent des dépôts granulaires visqueux, des thylles et des masses bactériennes. Le pathogène produit aussi un glycopeptide toxique biologiquement actif. La bactérie peut persister longtemps dans des débris végétaux, terre ou sur les équipements et dans les serres. Elle ne persiste pas longtemps dans le sol per se. Cependant, elle demeure viable pendant au moins huit mois dans les semences.

En serre, le premier symptôme est un flétrissement réversible des feuilles pendant les périodes de chaleur. Les feuilles peuvent présenter alors des zones internervaires nécrotiques, blanches puis brunes. Le flétrissement devient rapidement irréversible et la plante entière se dessèche. En plein champ, le premier symptôme est le dessèchement des bords des folioles, principalement chez les feuilles inférieures. La plante se dessèche lentement, en général sans manifester de flétrissement. Les fruits peuvent ne pas se développer et tomber. Sur tiges, pétioles et pédoncules, une décoloration blanc crème, jaune ou brun rougeâtre des vaisseaux.

## **V.2- Maladies causées par *Erwinia* sp.**

### **Les pourritures**

Dans les régions tempérées, la pourriture molle est principalement causée par les bactéries *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, alors que dans les régions plus chaudes, *Erwinia chrysanthemi* est le principal agent responsable de cette maladie.

Les *Erwinia carotovora* sont des bactéries psychrotrophes qui se développent à des températures comprises entre 5 et 36 °C avec un optimum entre 27 et 30 °C. Les *E. carotovora* sont des bâtonnets (0,5-1 µm de diamètre sur 1-3 µm de longueur) Gram-négatif mobiles (flagelles péritriches), anaérobies facultatifs et ayant une forte activité pectolytique (Stevenson et al, 2001).

Après infection de la plante via les racines, les stolons ou les lenticelles des tubercules (Czajkowski et al. 2010), les bactéries peuvent coloniser l'ensemble du système vasculaire de la plante. Il en résulte alors, en cas de faible humidité relative du sol, un flétrissement du feuillage par obstruction de la circulation de la sève brute dans le xylème.

En cas de hausse de l'humidité relative, les bactéries peuvent pénétrer de manière invasive dans les tissus parenchymateux et produire des enzymes pectinolytiques en abondance, principalement des pectate lyases et des polygalacturonases. Ces enzymes vont ensuite dépolymériser la pectine des parois cellulaires des tissus de la pomme de terre et induire une pourriture brune foncée sur les parties basses de la tige (fig. 2C et 3A), communément appelée jambe noire (Laurila et al. 2010), ainsi que des pourritures humides du tubercule.

**La brûlure bactérienne, causée par la bactérie *Erwinia amylovora***

**Nom français :** feu bactérien

**Synonymes :** *Micrococcus amylovorus*

*Erwinia amylovora*

*Bacillus amylovorus*

Le Feu Bactérien, généré par la bactérie *Erwinia amylovora*, est l'une des plus redoutables maladies affectant les arbres fruitiers à pépins. *Erwinia amylovora* 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.

L'agent pathogène passe l'hiver exclusivement dans l'écorce des plantes infectées l'année précédente (Fig.38). Les parties attaquées présentent des chancres qui sont les sources d'inoculum primaire les plus importantes pour la contamination des fleurs au printemps. La bactérie pénètre dans la plante à travers les fleurs, les ouvertures naturelles (stomates, lenticelles, hydathodes) ou bien les plaies. La bactérie est disséminée par plusieurs moyens de dispersion tel que: le vent, la pluie, les insectes, les oiseaux, les aérosols, l'homme peut intervenir via l'utilisation du matériel végétal contaminé ou par différentes opérations culturales (taille). La température optimale de développement de la bactérie est de 18 °C. De fortes contaminations peuvent se réaliser à des températures de 21 à 30°C. par temps ensoleillé qui favorisent l'activité des insectes. Toutes les parties aériennes des plantes-hôtes peuvent être contaminées par le pathogène (fleurs, feuilles, pousses, troncs, collets et porte-greffes) Les symptômes les plus communs et caractéristiques sont:

Sur fleurs : Dépérissement et mort des inflorescences. Les fleurs mortes se dessèchent et deviennent brun noir. Elles restent attachées à la plante en général.

Sur pousses : Flétrissement et mort des pousses et rameaux. De jeunes pousses et rameaux flétrissent, brunissent, et dans la plupart des cas l'extrémité de la pousse se recourbe en forme de crosse caractéristique.



Sur feuilles : Brûlure des feuilles. Les feuilles infectées présentent, un noircissement des pétioles et de la nervure principale avant d’envahir toute la feuille.

Sur fruits : Brûlure des fruits. Les fruits infectés brunissent, voire noircissent aussi, se ratatinent, et, de même que les fleurs, restent attachés et prennent un aspect momifié.

Sur branches et tronc : Brûlure des troncs et charpentières avec formation des chancres.

Exsudat bactérien: Put être observé sur chancre, fruit, pédoncules des feuilles et fleurs.

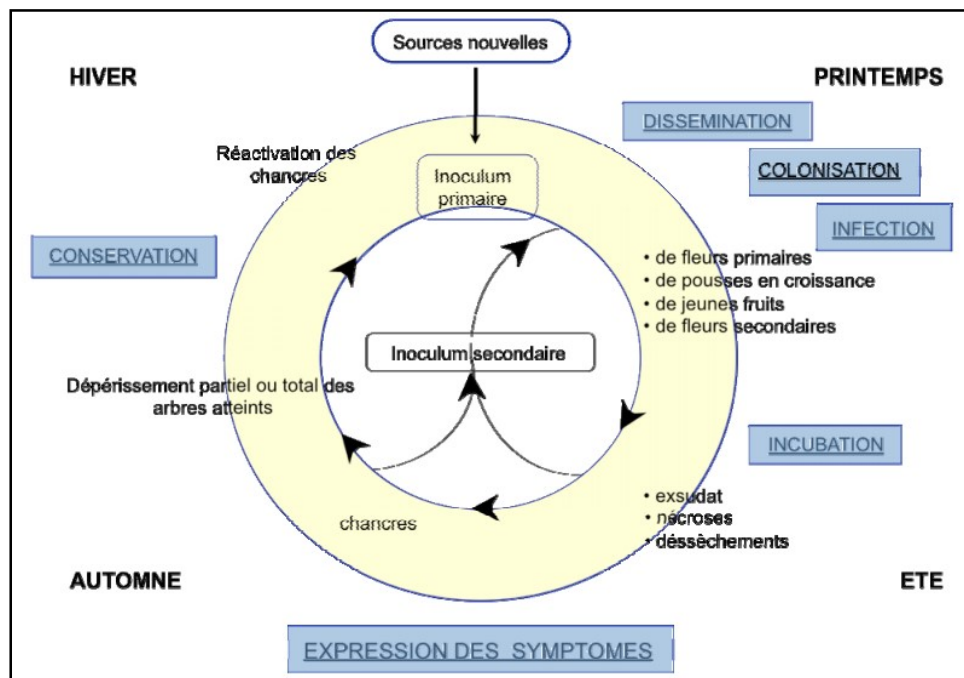


Fig.38 : Cycle du feu bactérien des Maloïdées, causé par la bactérie *Erwinia amylovora* (d’après Paulin, 1996).

### V.3- Maladies causées par *Pseudomonas sp.*

#### Les chancres bactériens des arbres fruitiers

Le groupe des *Pseudomonas* se compose de bâtonnets, Gram négatifs, mobiles, non sporulantes, elles sont aérobies obligatoires largement répandues dans le sol, l’eau, et l’air . Quelques espèces comme *Pseudomonas syringae*, sont phytopathogènes *Pseudomonas* est considérée comme étant une bactérie endophytique. Ainsi le genre *Pseudomonas* appartient à la famille des *Pseudomonaceae*, il comprend une soixantaine d'espèces avec les caractéristiques suivantes :

- Des bacilles à Gram négatifs
- Aérobie stricts
- Capables de se multiplier sur milieux usuels

- Mobiles par ciliature polaire (sauf *Pseudomonas mallei*)
- Possédant une oxydase
- Incapables de fermenter le glucose
- Produisant des pigments

Les agents pathogènes pénètrent dans l'arbre par les blessures, les plaies de taille, les cicatrices faites par les feuilles à leur chute. Au printemps, ils infectent les bourgeons, les fleurs et plus tardivement les jeunes feuilles. Pendant les mois d'été chauds et secs, les populations bactériennes sont généralement basses. À l'automne, particulièrement lorsque les conditions climatiques sont humides et fraîches, les bactéries se multiplient et peuvent envahir les arbres hôtes à travers les cicatrices foliaires jusqu'à deux ou trois jours après la chute des feuilles. De petits chancres (nécrose sur l'écorce du rameau) finissent par se former sur les branches, à la base des bourgeons morts, d'où souvent il exsude de la gomme à la fin du printemps. Au début de l'été, les branches entières peuvent mourir. Les feuilles situées aux extrémités des branches infectées se flétrissent souvent et finissent par mourir pendant l'été ou au début de l'automne.

#### **La tuberculose de l'olivier**

La tuberculose de l'olivier est la principale maladie bactérienne de l'olivier. Causée par *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*. C'est une bactérie phytopathogène de la famille des Pseudomonaceae. *P.savastanoi* pv. *savastanoi*; bacille gram-négatif (0.4 – 0.8 x 1.2 – 2.3 µm), mobile, pourvu d'un a quatre flagelles polaires. La bactérie survit d'une saison à l'autre dans les tumeurs (car ne forme pas de spores) elle s'y multiplie abondamment toute l'année et se déplace dans les vaisseaux des plantes grâce au flux et grâce aux flagelles. Cette bactérie possède 3 propriétés importantes : un pouvoir pathogène, un pouvoir glaçogène et une aptitude à la vie épiphyte.

L'aptitude épiphyte s'exprime par une capacité à coloniser la surface des organes aériens des plantes, à s'y multiplier de façon importante.

Le pouvoir glaçogène s'exprimant par une capacité à induire une rupture précoce de la surfusion de l'eau.

Le pouvoir pathogène montre une spécificité d'hôte liée au pathovar considéré bien qu'on le suspecte de parasiter aussi d'autres espèces comme le Laurier rose,... Le développement de l'infection est conditionné par l'existence de voies de pénétration naturelles (elles sont limitées) ou artificielles (blessures) offertes à l'inoculum ; les conditions climatiques pendant les phases initiales de l'infection et durant l'incubation apparaissent capables de moduler l'intensité de l'infection.

Les symptômes s'observent principalement sur rameaux, brindilles mais également sur charpentes. Sur les parties infectées, on note la présence de petites tumeurs parenchymateuses avec un aspect spongieux et de forme irrégulière. Au début de leur apparition, elles sont molles, de couleur verte et a surface lisse. Les jeunes rameaux âgés d'un an perdent leur feuillage et se dessèchent. Les rameaux vigoureux deviennent chétifs et se produit en eux une mort partielle. Le développement des tumeurs sur les fruits est très rare.

#### **La moucheture bactérienne**

L'organisme causal (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) est listé parmi les organismes nuisibles de nombreuses plantes cultivées maraîchères appartenant à une large gamme de familles (Solanaceae, Cucurbitaceae Légumineuse). L'espèce a également été isolée sur des plantes ornementales malades (Lilas, Rose, Magnolia) et observée dans les grandes cultures (blé, seigle, avoine). Toutes les souches de *P. syringae* ne peuvent pas infecter les mêmes hôtes et il existe une large variabilité intra-spécifique du pouvoir pathogène. Elle est actuellement présente un peu partout dans le monde.

Le développement de la maladie est favorisé par un temps frais (13-25 °C) et pluvieux ou par une irrigation par aspersion. La moucheture bactérienne apparaît souvent dans les zones arides où l'irrigation par aspersion est utilisée. L'organisme est capable de survivre sur les racines ou les feuilles de nombreuses cultures et adventices. Les semences peuvent être infectées, toutefois la transmission par les semences est habituellement minime.

La moucheture bactérienne causée par *P. syringae* pv. *tomato* a entraîné d'importants dommages dans les cultures de tomate (*Solanum lycopersicum*). *P. syringae* colonise la surface extérieure de la plante (feuille en particulier), elle pénètre les espaces intercellulaires par des lésions ou des ouvertures naturelles. Cette bactérie peut s'attaquer aux feuilles, aux tiges, aux pétioles et aux fleurs de la plante. La maladie se manifeste, sur les feuilles, par des petits points noirs habituellement inférieurs à 2 mm de diamètre, entourés d'une auréole jaune et par des taches noires rarement supérieures à 1mm de diamètre, entourées parfois d'un halo vert foncé, sur les fruits. Ces taches sur les fruits peuvent réduire considérablement leur valeur marchande (Fig.39).



Fig.39: Symptômes de moucheture bactérienne sur la tomate

#### V.4- Maladies causées par *Xanthomonas sp.*

##### La gale bactérienne des solanées

La gale bactérienne des Solanées causée par des bactéries *Xanthomonas compestri* *pv. vesicatoria*, sont des bactéries bacilles (0.7-1.0 x 2.0-2.4) gram-négatifs, appartenant à la classe des  $\gamma$ -Protéobactéries, au genre *Xanthomonas*, à la famille des Xanthomonadaceae et à l'ordre des Xanthomonadales. Elles sont aérobies strictes et possèdent un flagelle polaire unique. Sur agar nutritif, elles ont une croissance relativement lente et forment des colonies circulaires, lisses, muqueuses, fluides, jaunes et à bords entiers. La bactérie est présente dans tous les continents, notamment dans les pays tempérés chauds et tropicaux. En conditions climatiques favorables, c'est à dire de température et humidité élevées, la maladie peut conduire à des défoliations sévères et à des abscissions précoces des fruits qui font chuter drastiquement les rendements. De plus, l'aspect des fruits attaqués, en particulier pour la tomate qui présente des tâches subérisées (gale), est un frein à leur commercialisation.

Les symptômes peuvent se manifester sur toutes les parties aériennes de la plante. Sur feuilles, tiges et pétioles de tomate, les lésions se présentent sous forme des zones circulaires (1-5 mm) saturées d'eau, d'abord vertes, puis brunes et nécrosées. Les fruits de tomate portent des taches subérisées de 2 à 10 mm de diamètre, circulaires et à marges saturées d'eau. Sur piment, la maladie présente des symptômes similaires sur tiges et pétioles. Cependant, sur les feuilles de piment, la taille et la forme des lésions sont variables. En général, les lésions sont concaves sur la partie supérieure de la feuille et légèrement convexes sur la partie inférieure. Sur fruits de piment, bien que rarement visibles, les symptômes se présentent sous formes de taches de 2 à 3 mm, vertes et circulaires au début, qui deviennent brunes, rugueuses (Fig.40).

L'agent pathogène de la gale bactérienne des solanées se conserve bien dans les semences, les débris végétaux et peut servir d'inoculum primaire pour la maladie. La survie de la bactérie dans les semences peut aller jusqu'à 10 ans. Dans les débris végétaux présents

sur et dans le sol, la bactérie se maintient jusqu'à 6 mois. Les plants spontanés peuvent héberger la bactérie pendant un an et peuvent servir de réservoir d'inoculum entre deux cultures. Les *Xanthomonas* sp., vivent, dans un premier temps, de façon épiphyte au moins plusieurs semaines, à la surface des feuilles des plantes hôtes et non hôtes où elles se multiplient sans provoquer des symptômes.

La survie des bactéries sur les feuilles dépend des conditions environnementales. Des fortes valeurs d'humidité relative (HR > 90%) favorisent une multiplication de la bactérie sur les feuilles de tomates qui est 10 à 100 fois plus importante comparée à celle obtenue avec des faibles valeurs de HR (10-25%).

Les bactéries pénètrent dans les feuilles à travers les ouvertures naturelles où via les blessures occasionnées ou par les piqûres d'insectes. Dans la feuille, si les conditions sont favorables, l'agent pathogène se multiplie dans les espaces intercellulaires du mésophylle avant de coloniser les cellules de l'épiderme inférieur et particulièrement le long des nervures. Les premiers symptômes apparaissent entre 5 et 9 jours, d'abord sur la face inférieure de la feuille qui est très riche en stomates. Dans les plants de tomate, le début de l'épidémie coïncide avec la maturation physiologique des premiers fruits. Les stomates jouent un rôle important dans le processus infectieux.

La bactérie est estivale et son optimum de croissance se situe entre 20 à 35°C. Les nuits chaudes comprises entre 23 et 27°C ainsi que les fortes hygrométries consécutives aux orages, aux rosées ou à l'irrigation sont les conditions appropriées au développement de la maladie. Des températures nocturnes inférieures à 16°C limitent le développement de la bactérie.



**Fig.40 :** Symptômes de la gale bactérienne sur les la tomate et poivron

**V.5- Maladies causées par *Agrobacterium sp.*****Galle du collet de la vigne**

La galle du collet est une maladie affecte de nombreuses plantes de culture, tels la vigne ou les arbres fruitiers à noyau. L'agent pathogène responsable de la maladie, appelée *Agrobacterium tumefaciens*. *A. tumefaciens* est une bacille d'environ 1 x 3 microns, à coloration de Gram négative, appartient à la famille des *Rhizobioaceæ*, elle-même incluse dans la classe des alpha-protéobactéries au sein du phylum des proteobactéries. La bactérie est mobile, et aérobie stricts. Elles. Leur température optimale de croissance s'étage de 24 à 28°.

L'envahissement des cellules par les bactéries présentes dans les vaisseaux provoque leur croissance autonome et anarchique, et induit la synthèse de substances nutritives utilisées par les bactéries pour leur développement. Ainsi, il se forme localement des galles, tout d'abord lisses et d'une teinte vert-jaunâtre, mais qui deviennent progressivement crevassées et tubéreuses en même temps que leur taille s'accroît. Ces galles peuvent être circulaires et former un cordon continu autour du tronc ou d'un bras, bloquant la circulation de la sève provoquant au final son dépérissement ou sa mort.

La bactérie *Agrobacterium tumefaciens* infecte les végétaux (principalement des dicotylédones) à la faveur d'une blessure. Des composés phénoliques produits par la plante attirent au contraire *Agrobacterium* vers le site de la blessure. Sous l'action de ces composés phénoliques, *Agrobacterium* met en place un système de transfert d'un fragment de son ADN, vers la cellule blessée. Cet ADN, dit ADN-T (ou T-DNA en anglais), est porté par le plasmide Ti (tumor-inducing) et s'intègre au génome nucléaire de la cellule végétale. Les gènes portés par l'ADN-T s'expriment dans le végétal et conduisent :

A la synthèse d'hormones de croissance végétales, l'auxine, et une cytokinine, dont la surproduction entraîne une multiplication anarchique des cellules végétales, d'où formation de la tumeur.

D'autre part, à la synthèse par la cellule végétale de composés absents habituellement de ces cellules, appelés opines. Les opines sont spécifiquement utilisées par les agrobactéries qui ont induit la formation de la tumeur. Cette spécificité est liée au fait que les gènes déterminant l'utilisation des opines sont portés par le plasmide Ti. De plus, les opines induisent le transfert du plasmide Ti d'une agrobactérie vers une autre par conjugaison. Les opines sont par conséquent des médiateurs chimiques clefs de l'interaction *Agrobacterium* - plante, dont la

présence dans la tumeur facilite la croissance des pathogènes et concourt à leur dissémination.

#### **V.6- Maladies causées par *Streptomyces* sp.**

##### **Gale commune de la pomme de terre**

La gale commune de la pomme de terre est une maladie répandue dans le monde. Les tubercules affectés par la gale commune sont considérés de moindre qualité ou ne sont pas vendables ce qui cause des dommages économiques importants pour les pays producteurs de pommes de terre (Loria et al., 1997). Cette maladie caractérisée par des lésions brunâtres superficielles, surélevées ou profondes, se développant surtout sur les tubercules, les racines et les tiges souterraines. En plus de la pomme de terre, la gale commune affecte aussi des cultures maraîchères à racines pivotantes. La carotte, la betterave, le panais et le radis en sont des exemples.

Le premier agent causal de la gale commune de la pomme de terre est nommé *Streptomyces scabies*. En effet, plusieurs souches responsables de la gale commune ont été isolées dans des sols acides (Bonde et McIntyre, 1968). Ces souches nommées *Streptomyces acidiscabies* caractérisées par la formation de chaînes de spores droites de couleur blanche, l'absence de pigments mélanoides et leur habileté à utiliser, plusieurs sucres y compris le raffinose.

Les *Streptomyces* pathogènes sont des bactéries filamenteuses qui vivent dans le sol. Les *Streptomyces* envahissent les tissus du tubercule et causent la rupture de l'épiderme résultant en l'apparition de lésions. Ces lésions s'élargissent à mesure que le tubercule croît. Le nombre et l'étendue des lésions, c'est-à-dire la sévérité de la gale commune, sont influencés par plusieurs facteurs dont l'agressivité de la souche présente dans le sol et les conditions environnementales.

Certaines conditions environnementales favorisent la gale commune. Un sol sec au moment de la tubérisation accroît la sévérité de la maladie. Un sol sec pourrait permettre à *S. scabiei* de mieux coloniser les tubercules par une réduction de la compétition avec des bactéries motiles qui sont favorisées par des sols plus humides. *S. scabiei* peut croître à des pH entre 5,5 et 8,0 mais préfère les pH neutre. Généralement, des températures chaudes et un sol à pH neutre (pH 7) favorisent la croissance de *S. scabiei* dans le sol donc accroît la sévérité de la gale commune surtout si ces conditions sont réunies au moment de la tubérisation.

## **VI- Les principaux maladies virales**

Les virus sont des micro-organismes formés d'acide nucléique entouré d'une enveloppe de protéines de très petites dimensions 15-30 um, leurs forme peut être soit bâtonnets (mosaïque de tabac), soit en filament, d'une longueur allant jusqu'à 200 à 700um (virus de la pomme de terre), soit de particule sphérique (mosaïque de concombre), ou encore bacilliforme (mosaïque de la luzerne). Ils se reproduisent dans la plante hôte en modifiant le métabolisme de la cellule à leur profit. Ce sont des parasites cellulaires obligatoires.

### **VI.1- Groupe des Potyvirus**

Les phytovirus sont des virus qui s'attaquent aux organismes végétaux appartenant à la famille des *Potyviridae*. Il s'agit de macromolécules infectieuses porteuses d'information génétique. Ces molécules pathogènes sont multipliées par les cellules végétales contaminées en provoquant généralement des perturbations métaboliques conduisant à l'expression de symptômes qui sont dans certains cas masqués. Ces virus sont en fait des structures très simple, formés d'un acide nucléique qui peut être soit un ARN soit un ADN, simple brin ou double brin protégé par une carapace constituée de protéines de capsid (Astier *et al.*, 2001). Chez quelques phytovirus, cette capsid peut contenir en outre des molécules d'une enzyme capable d'assurer la transcription de l'acide ribonucléique viral (ARN polymérase virale), tandis que dans de rares cas, elle est entourée d'une enveloppe lipidique.

Les potyvirus sont notamment liés à leur mode de transmission. Ce sont des virus naturellement transmis par les pucerons, ce qui limite toute entreprise de lutte ciblée.

- Acronymes de virus infectant des végétaux :
- Chili veinal mottle virus (ChiVMV) : Virus de la marbrure des nervures du piment
- Lettuce mosaic virus (LMV) : Virus de la mosaïque de la laitue
- Pea seed-borne mosaic virus (PSbMV) : Virus de mosaïque jaune du haricot
- Potato virus Y (PVY) : Virus Y de la pomme de terre
- Soybean mosaic virus (SMV) : Virus de la mosaïque du soja
- Tobacco etch virus (TEV) : Virus de la gravure du tabac
- Turnip mosaic virus (TuMV) : Virus de la mosaïque jaune du navet
- Plum Pox Virus (PPV) : Sharka



## **VI.2- Groupe des lutéovirus**

Les lutéovirus ont été reconnus comme un groupe de phytovirus. Ils ont en commun un certain nombre de propriétés comme la structure isométrique de leurs particules, leur restriction au tissu phloémique de la plante hôte et leur transmission obligatoire par puceron. En fonction de la région du génome considérée, le segment d'ARN linéaire comprenant de 5300 à 5800 nucléotides. La réplication a lieu dans le cytoplasme. Les virions, non-enveloppés, sont constitués de capsides rondes à symétrie icosaédrique, de 26 à 30 nm de diamètre. Ce groupe de virus a une répartition cosmopolite. Ces virus sont restreints aux tissus du phloème des plantes-hôtes. Les symptômes consistent en un jaunissement ou rougissement des organes végétatifs de la plante, et parfois en un enroulement foliaire. Il comprend notamment le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV) qui en est le membre-type. Le nom *Luteovirus* dérive du latin *luteus*, c'est-à-dire «jaune», et évoque le jaunissement symptomatique des plantes infectées par ce virus. La famille des *Luteoviridae* comprend les genres suivants :

- *Luteovirus* ; espèce-type : virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV)
- *Polerovirus* ; espèce-type : virus de l'enroulement de la pomme de terre (PLRV)
- *Enamovirus* ; espèce-type : virus de la mosaïque à énation du pois (PEMV)

## **VI.3- Groupe des Closterovirus**

Closterovirus est un genre de phytovirus pathogènes appartenant à la famille des Closteroviridae. Les virions sont filamenteux, flexueux, exceptionnellement longs, de 1250 à 2200 nm de long et de 10 à 13 nm de diamètre. Le génome est constitué d'un ARN à simple brin à polarité positive de 15,5 à 19,3 kb1. Ce genre a une distribution vraisemblablement mondiale. La famille des *Closteroviridae* comprend les trois genres suivants :

- *Closterovirus*: espèce-type : virus de la jaunisse grave de la betterave (BYV) , transmis par pucerons.
- *Crinivirus*: espèce-type : virus de la jaunisse infectieuse de la laitue (LIYV) , transmis par aleurodes.
- *Ampelovirus*: espèce-type : virus associé de l'enroulement de la vigne (GLRaV) , transmis par cochenilles.

#### **VI.4- Groupe des Nepovirus**

Nepovirus est le nom d'un genre de virus qui infecte les plantes à la famille des *Secoviridae* et à la sous-famille des *Comovirinae*, comprend une trentaine d'espèces officiellement décrites. Ce sont des virus à ARN linéaire, à simple brin et à polarité positive (ssRNA), classés dans le groupe IV de la classification Baltimore.

La famille des *Secoviridae* comprend les genres suivants :

- *Cheravirus*: espèce-type : virus de la feuille sèche du cerisier
- *Sadwavirus*: espèce-type : virus du nanisme du satsuma
- *Sequivirus*: espèce-type : virus de la tache jaune du panais
- *Torradovirus*: espèce-type : Virus du torrado de la tomate.
- *Waikavirus*: espèce-type : virus sphérique du tungro du riz.
- *Comovirus*: espèce-type : virus de la mosaïque du niébé
- *Fabavirus*: espèce-type : virus du flétrissement de la fève.
- *Nepovirus*: espèce-type : virus des taches en anneaux du tabac.

En outre les espèces suivantes sont rattachées à la famille des *Secoviridae* sans être assignées à un genre particulier :

- virus de la nécrose du framboisier noir, BRNV (*Black raspberry necrosis virus*)
- virus latent des taches annulaires du fraisier, SRLV (*Strawberry latent ringspot virus*)
- virus de la marbrure du fraisier, SMV (*Strawberry mottle virus*).

#### **VI.5- Groupe des Cucumovirus**

Cucumovirus est un genre de virus qui infecte les plantes (phytovirus). Ce genre est rattaché à la famille des *Bromoviridae*. La transmission de ces virus se fait par des insectes vecteurs de la famille des *Aphididae* (pucerons). Il comprend trois espèces officiellement décrites, dont

- Virus de la Mosaïque du concombre (CMV)
- Virus de la Mosaïque de l'arachide (PSV)
- Virus de l'aspermie de la tomate (TAV)

#### **VI.6- Groupe Des Geminivirus**

Les Geminiviridae sont une famille de phytovirus à ADN circulaire à simple brin ambisens. Ces virus constituent d'un seul segment de 2500 à 3000 nucléotides. Ils ont une capsidie allongée. La capsidie a de 18 à 20 nm de diamètre et environ 30 nm de long.

Les Geminivirus sont transmis par différents insectes vecteurs : des cicadelles (*Cicadulina mbila*), d'aleurode (*Bemisia tabaci*). La famille des Geminiviridae comprend les genres suivants :

- Mastrevirus: espèce-type: Virus de la striure du maïs (MSV)
- Curtovirus: espèce-type: Virus de l'enroulement apical de la betterave (BCTV)
- Begomovirus: espèce-type: Virus de la mosaïque dorée du haricot (BGMV)
- Topocuvirus: espèce-type: Virus du pseudo-enroulement de la tomate (TPCTV)

#### **VI.7- Groupe des Ilarvirus**

Les virus du genre Ilarviruses (virus labile isométrique) dont le virus de strie du Tabac (TSV), est le virus type diffèrent entre eux considérablement dans leurs propriétés biologiques. La plupart des Ilarvirus, infectent une large gamme de plantes dont la plupart sont des plantes pérennes (les rosacées à noyaux). Les Ilarvirus peuvent être transmis par inoculation mécanique et la transmission par graine est commune parmi les Ilarvirus et certains d'entre eux sont transmis par le pollen. Les Ilarviruses ont de particules quasi sphériques, une structure légèrement pléomorphe, avec un diamètre variant de 23-35nm. Les plus importants Ilarvirus affectant dans le bassin méditerranéen sont :

- Le virus des tâches annulaires nécrotiques du prunier (PNRSV)
- Le Prune Dwarf Virus (virus nanisant du prunier) (PDV)
- Le virus de la mosaïque du pommier Apple Mosaic Virus (ApMV)

## References bibliographiques

- Agrios, G. N. 1988. Plant pathology, 4 th ed. Academic Press, London. pp. 271-272.
- Ajouz, S., 2009-Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des biofongicides. PhD. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon, France, 198 p.
- Apel K, Hirt H. 2004.Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:373–99.
- Astier, S., Albouy, J., Maury, Y., Lecoq, H. (2001). Principes de virologie végétale : génome, pouvoir pathogène, écologie des virus. Paris, FRA : INRA Editions.
- Baldauf S. L. 1999. A search for the origins of animals and fungi: Comparing and combining molecular data. *American Naturalist.* 154: S178-S188.
- Baldauf S. L., Palmer J. D. 1993. Animals and fungi are each other's closest relatives: Congruent evidence from multiple proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA.* 90: 11558-11562.
- Bar-Hen A., Mariadassou M., Poursat M.A., Vandenkoornhuyse P. 2008. Influence function for robust phylogenetic reconstructions. *Molecular Biology and Evolution.* 25:869–873.
- Bouzi N, 2015. Les champignons et pseudo-champignons pathogènes des plantes cultivées. Biologie, Nouvelle Systématique, Interaction Pathologique. Publication de L'INAT.<[www.nasraouibouzi.tn](http://www.nasraouibouzi.tn)>
- Bruns, R. et Barz, W. 2001. Studies on cell number and nuclei in spores and on ploidy level in *Ascochyta rabiei* isolates. *Journal of Phytopathology* 149 : 253-258.
- Carlile M.J., Watkinson S.C. The Fungi. 1994. (Academic Press eds).
- Cooke DEL, Drenth A, Duncan JM, Wagels G, Brasier CM (2000) A molecular phylogeny of *Phytophthora* and related oomycetes. *Fungal Genetics and Biology* 30:17-32
- Czajkowski R., de Boer W. J., Velvis H. & van der Wolf J. M., 2010. Systemic colonization of potato plants by a soilborne, green fluorescent protein-tagged strain of *Dickeya* sp. biovar 3. *Phytopathology* 100 (2), 134–142.
- Drenth, A., Janssen, E.M. et Govers, F. 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44: 86-94.
- Elmer, P.A.G., and Michailides, T.J., 2004-Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops, p. 243-272, in: *Botrytis: biology, pathology and control.* Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski and N. Delen, eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Gaucher, D., Duvauchelle, S. & Andrivon, D. (1998) Mildiou de la pomme de terre – le champignon évolue, la lutte aussi ! *Perspectives Agricoles* 236: 1-20.
- Goodwin, S. B., Cohen, B. A., Deahl, K. L. et Fry, W. E. 1993. Migration from northern Mexico as probable cause of recent genetic changes in populations of *Phytophthora infestans* in the United States and Canada. *Phytopathology* 84: 553-558.
- Grünwald, N.J. et Flier, W. G. 2005. The Biology of *Phytophthora infestans* at its centre of origin. *Annual Review of phytopathology* 43: 171-190.
- Hawksworth D.L. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research.* 105: 1422-1432.
- Hibbett D.S., Binder M., Bischoff J.F., Yao Y.J., Zhang N. et al., 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research.* 111: 509-547.
- Hubert J., Stejskal V., Munzbergova Z., Kubatova A., Vanova M. et Zdarkova E., 2005. Mites and fungi in heavily infested stores in the Czech Republic, *J. Econ. Entomol.*, 97, 2144-2153.
- James T.Y., Kauff F., Schoch C.L., Matheny P.B., Hofstetter V., Cox C.J., Celio G., Gueidan C., Fraker E., McLaughlin D.J., Spatafora J.W., Vilgalys R. et al., 2006. Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature.* 443: 818-822.

- Jayakumar, P., Gossen, B. D., Gan, Y. T., Banniza, S. et Warkentin, T. D. 2005. *Ascochyta* blight of chickpea : Infection and host resistance mechanisms. *Canadian J. of Plant Pathol.* 27 : 499-509.
- Jennings D.H., Lysek G. 1996. Fungal biology: understanding the fungal lifestyle. (Bios Scientific publishers eds).
- Kaiser, W. J. 1997. Intra and international spread of *Ascochyta* pathogens of chickpea, faba bean and lentil. *Canadian Journal of Plant Pathology* 19 : 215-224.
- Khan, M. S. A., Ramsey, M. D., Cprdière, R., Infantino, A., Porta – Puglia, A., Bouznad, Z. et Scott, E. S. 1999. *Ascochyta* blight of chickpea in Australia : Identification, pathogenicity and mating – type. *Plant Pathology* 48 : 230-234.
- Loria R., Bukhalid R. A., Fry B. A. and King R. R. 1997. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. *Plant Disease*. 81 (8): 836-846
- Nene, Y. L. 1981. A review of *Ascochyta* blight of chickpea (*Cicer arietinum* L.). In : Saxena, M. C. et Singh, K. B. Eds. Proceeding on workshop on *Ascochyta* blight and winter sowing chickpeas, 4-7 May 1981. Alep, Syrie. *ICARDA*, 17-33.
- Nene, Y. L. 1982. A review of *Ascochyta* blight of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Tropical Pest Management* 28 : 61-70.
- Redecker D. 2002. New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil. *Research in Microbiology*. 153: 125-130.
- Sasabe M, Takeuchi K, Kamoun S, Ichinose Y, Govers F, Toyoda K, Shiraishi T, Yamada T (2000) Independent pathways leading to apoptotic cell death, oxidative burst and defense gene expression in response to elicitor in tobacco cell suspension culture. *European Journal of Biochemistry* 267:5005-5013
- Tanabe Y, O'Donnell K, Saikawa M, Sugiyama J, 2000. Molecular phylogeny of parasitic Zygomycota (Dimargaritales, Zoopagales) based on nuclear small subunit ribosomal DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 16: 253–262.
- Tanabe Y., M.M. Watanabe & J. Sugiyama, 2002. Are Microsporidia related to fungi? A reappraisal based on additional gene sequences from basal fungi. *Mycol. Res.*, 106, 1380-1391.
- Taylor J.W., Jacobson D.J., Kroken S., Kasuga T., Geiser D.M., Hibbet D.S., Fisher M.C. 2000. Phylogenetic species recognition and species concept in fungi. *Fungal Genetics and Biology*. 31: 21-32.
- Whittaker R. H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. *Science*. 163: 150-160.
- Wilson, A. et Kaiser, W. J. 1995. Cytology and genetics of sexual incompatibility in *Didymella rabiei*. *Mycologia* 87 : 795-804.
- Stevenson W. A., R. Loria, G. D. Franc, et D. P. Weingartner. 2001. Compendium of potato diseases. American Phytopathological Society. 2e éd. St-Paul, Minnesota. 106p.