

## CHAPITRE II. LES PRINCIPES DE LA PHYTOPATHOLOGIE GENERALE

### 1. Principe propre a une maladie

#### 1.1. Le « triangle de la maladie »

Il est important de se rappeler qu'une «maladie» n'est pas exactement la même chose qu'un «agent pathogène» ! Une façon d'envisager cela, est de penser à la maladie comme une interaction avec trois pièces nécessaires:

1) Tout d'abord, il doit y avoir un hôte qui est susceptible (prédisposé) à devenir malade. Par exemple, certains champignons pathogènes des plantes principalement attaquent les jeunes racines et plants, donc nous pouvons dire que les plantes plus âgées ne sont pas susceptibles à la maladie.

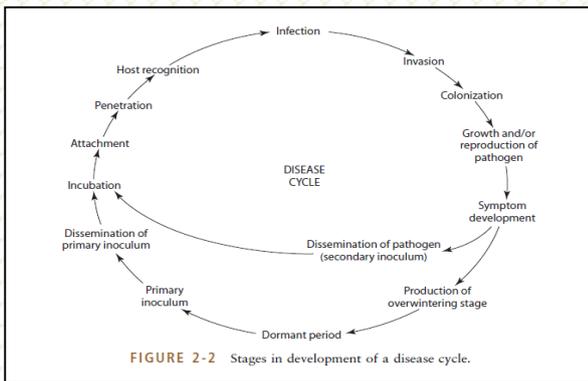
2) Deuxièmement, il doit y avoir un agent pathogène, que nous appelons parfois «l'agent causal», qui est capable d'attaquer la plante.

3) Troisièmement, l'interaction entre l'agent causal et la plante doit se produire dans un environnement qui est favorable (propice). Par exemple, certains agents pathogènes des plantes dans le sol ne peut attaquer quand il ya beaucoup d'eau dans le sol, tandis que d'autres sont plus actifs dans le sol sec. De nombreux champignons que les feuilles des plantes d'attaque nécessitant une pellicule d'eau sur la surface des feuilles en vue de pénétrer dans la plante.

#### 1.2. Développement de la maladie dans les plantes

#### 1.3. Étapes dans le développement de la maladie : le cycle de la maladie

Dans chaque maladie infectieuse une série d'événements plus ou moins distincts se produisent et entraînent le développement et la perpétuation de la maladie et de l'agent pathogène. Cette chaîne d'événements est appelée **un cycle de la maladie**. Un cycle de la maladie correspond parfois au cycle de vie du pathogène, mais il se réfère principalement à l'apparition, le développement et la perpétuation de la maladie. Le cycle de la maladie implique des changements dans la plante et de ses symptômes ainsi que ceux de l'agent pathogène. Les événements primaires dans un cycle de la maladie sont l'inoculation, la pénétration, l'établissement de l'infection, la colonisation (l'invasion), la croissance et la reproduction de l'agent pathogène, la diffusion de l'agent pathogène, et la survie de l'agent pathogène en l'absence de l'hôte.



### 3. principe de diagnostic

#### 3.1. Le diagnostic en phytopathologie :

Le diagnostic en pathologie végétale, ou **phytodiagnostic** constitue l'une des activités fondamentales liées au triangle de la maladie de la pathologie végétale. Il consiste en la détection, l'identification et la caractérisation des agents phytopathogènes des plantes (champignons, bactéries, virus) et constitue un enjeu important pour la maîtrise et le contrôle des maladies des plantes.

Le phytodiagnostic recouvre en effet deux aspects distincts :

**L'identification** : dans ce cas sur la base d'un individu ou d'une population d'individus présentant une symptomatologie

précise, l'objectif sera de mettre en évidence et d'identifier l'agent pathogène responsable des symptômes observés.

**La détection** : il s'agit alors de rechercher, par l'intermédiaire d'une méthode d'une méthode éprouvée.

Les techniques mises en œuvre pour le diagnostic sont variées

#### a. Observation et classification des symptômes

#### b. Observation et caractérisation des agents pathogènes par examen visuel

#### c. Isolement et culture des agents phytopathogènes sur milieux artificiels.

#### Techniques d'identification de laboratoire :

#### 1. Le postulat de koch

Robert Koch décrit en 1881 des méthodes d'isolement des bactéries et champignons pathogènes, en énonçant un postulat qui précise les étapes successives auxquelles il doit être satisfait pour pouvoir établir une relation causale entre une maladie et un microorganisme. Bien que se postulat ait été formulé pour des maladies infectieuses de l'homme, il peut être transposé aux principales affections parasitaires des végétaux.

Les étapes du postulat de Koch appliquée à la phytopathologie s'énoncent comme suit :

1. L'agent doit être présent chez les plantes malades, et absent chez les plantes saines
2. L'agent doit pouvoir isolé de plantes malades et multiplié sur en culture axénique
3. Lorsque l'agent en culture pure est inoculé à une plante saine, il doit induire les symptômes caractéristiques de la maladie
4. A partir des plantes ainsi infectées expérimentalement, on doit pouvoir isoler l'agent pathogène.

La réalisation complète ou partielle de postulat de Koch fait appelle à un ensemble de techniques d'observation (microscopique), nécessaire pour la détection et l'identification du parasite in situ, de techniques d'isolement de l'agent pathogène à partir des tissus de l'hôte, de méthodes de production de l'inoculum en culture pure et d'inoculation des plantes hôte en laboratoire.

### Les catégories de moyens de protection contre les bioagresseurs

#### 3. Règles générales de la lutte contre les maladies des plantes

La lutte contre les parasites des plantes cultivées est basée sur le respect de quelques règles. La mise en œuvre de ces règles repose sur des mesures d'ordre légal, sur des actions de contrôle et de surveillance, sur une prophylaxie fondée sur l'élimination des sources de vecteurs, et sur l'utilisation de méthodes de lutte physiques, chimiques, culturales et biologiques.

1. Etablir la culture à partir d'organes de propagation sains
2. Placer les organes de propagation ou les graines dans un substrat stérile
3. Empêcher la conservation des agents pathogènes dans l'environnement
4. empêcher le transport des germes infectieux
5. cultiver des variétés résistantes ou tolérantes.
6. placer la culture dans des conditions écologiques et culturales défavorables aux agents des maladies et favorables à l'expression de la résistance des plantes.
7. protéger les cultures par des moyens chimiques ou biologiques, préventifs ou curatifs.

# CHAPITRE I : I. LES MALADIES ET LES ACCIDENTS CHEZ LES PLANTES

## (LES MALADIES DES PLANTES CONCEPTS GENERAUX).

### 1. Introduction

#### 1.1. Importance de la pathologie végétale

Quelle soit cultivée ou spontanée, une plante grandit et produit aussi longtemps que le sol lui fournit suffisamment d'humidité et de nutriment, que suffisamment de lumière soit captée par ses feuilles et que la température reste dans ces limites de tolérance. Malheureusement, lorsqu'une plante est atteinte d'une maladie, sa croissance, sa fertilité et sa productivité sont affectées [5]. Les maladies des plantes diminuent la valeur sélective des plantes.

La phytopathologie est l'étude des organismes et les facteurs de l'environnement qui causent les maladies des plantes ; les mécanismes par que ces facteurs induisent les maladies et les méthodes de prévention ou de contrôle de ces maladies [2].

#### 2.1.1. Maladies infectieuses causées par :

- + Des champignons
- + Des procaryotes
- + Des virus
- + Des plantes supérieures parasites.
- + Par des protozoaires
- + Par des nématodes

#### 2.1.2. Maladies non infectieuses (abiotiques) causées par :

- + Températures trop basses ou très hautes
- + Manque ou excès d'humidité
- + Manque ou excès de lumière
- + Manque d'oxygène
- + Déficiences nutritionnelles
- + Pollution atmosphérique
- + Toxicité minérale
- + Toxicité des pesticides

### 3. Conséquences des maladies des plantes

#### 3.1. Effet sur la production

Malgré les importants moyens de lutte actuellement utilisés, les maladies de plantes entraînent toujours des pertes considérables de production qui varient selon le type de culture. L'intensité et le type de lutte utilisés. On estime que 10% de la production potentielle mondiale est perdue suite aux maladies de plantes.

#### 3.2. Effets sur la valeur ajoutée

Les maladies des plantes peuvent affecter les produits après leurs récolte ou encoure diminuer leur qualité et donc leur valeur ajoutée. On estime que dans certains cas les pertes après récolte s'élèvent jusqu'à 40% de la production potentielle. Transports, traitements, stockages, distribution, consommateurs autant d'étapes où la maladie peut survenir.

#### 4. Maladies des plantes et accroissement de la production agricole (Les ravageurs et la notion de risque en agriculture)

Une mesure du risque que représentent les ravageurs des cultures est constituée par les pertes de rendement qu'ils occasionnent. La notion de perte de récoltes est liée à celle de rendement potentiel, accessible, et réel. Le rendement potentiel est déterminé par un ensemble de facteurs physiques (température et rayonnement, en particulier) et physiologiques (paramètres de la photosynthèse et de la respiration), qui sont génétiquement fixés pour une plante donnée. Le rendement accessible prend en compte un certain nombre de facteurs qui limitent l'expression d'un génotype dans une situation de production donnée : l'alimentation hydrique et minérale, en particulier.

Le rendement réel incorpore les réductions associées aux ravageurs, ou aux calamités climatiques. La définition utilisée par la FAO pour une perte de récoltes est *l'écart qui sépare le rendement accessible du rendement réel*. D'autres indices pourraient être envisagés : les ravageurs des cultures ont des impacts économiques, sociaux, et parfois politiques.

## Chapitre III. Maladies et fonctions vitales de la plante

### 1. Les perturbations des fonctions vitales des plantes par les parasites.

#### 1.1. Influence de l'infection sur le métabolisme de l'hôte

Les troubles des fonctions physiologiques de l'hôte ne sont pas spécifiques de l'hôte. Ils ne sont qu'un aspect de la maladie et ils sont étroitement liés aux troubles morphologiques et cytologiques. Ainsi la même maladie peut se manifester par une corrosion ou une décoloration des chloroplastes, et par un abaissement de l'assimilation.

Comme dans le cas des troubles morpho-anatomiques, l'hôte tend à restaurer ses fonctions physiologiques. Aussi toute infection possède-t-elle, initialement, un effet stimulant. Mais généralement, elle se traduit, finalement, par un déclin, en qualité et en quantité, de la production, déclin dû à trois composantes : spoliation directe de substances nourricières par le parasite ; accélération du métabolisme basal ; interférence avec le métabolisme de l'hôte.

#### 1.2. Effet sur la respiration

L'activité respiratoire se modifie sous l'action des parasites. En générale la respiration augmente plus au moins rapidement peu près l'infection de l'hôte compatible. Si elle se maintient longtemps, il en résulte d'abord une affaiblissement, puis l'accumulation des produits secondaires pas toujours désirables. Sur l'hôte incompatible, la respiration est parfois accrue brusquement mais retombe vite. L'augmentation de la respiration est une réaction générale de réparation pas forcément dommageable mais signe d'une activité synthétique accrue. L'augmentation de la respiration peut atteindre 100% sur les plantes portant des taches sporulantes de rouille ou de mildiou.

Chez les cotylédons de chou infectés par le mildiou *Peronospora brassicae*, le maximum est atteint au moment où commence la sporulation ; il correspond environ à deux fois celui des témoins sains.

La respiration accrue est en corrélation avec la synthèse des substances qui jouent un rôle dans la résistance : phytoalexines, substances phénoliques. Cette synthèse exige du carbone et de l'énergie.

#### 1.3. Photosynthèse :

La chute de la photosynthèse caractérise d'ailleurs les infections d'oïdium et de rouille, parfois la photosynthèse augmente au début, pour retomber par la suite. Cette fonction vitale est en forte diminution dès le deuxième jour chez les feuilles de *Quercus rubor* infectées d'oïdium. Chez les nécrotrophes les tissus sont endommagés rapidement, expliquant la baisse de la photosynthèse. Cette réduction peut être due à différents facteurs : destruction des chloroplastes, stomates fermés plus longtemps, passage réduit de  $\text{CO}_2$  dans le mésophyle, la lumière n'atteint plus la surface de la feuille couverte de mycélium, la feuille déformée capte mal la source d'énergie.

#### 1.4. Altération de régime de l'eau

Dans les plantes malades, le régime de l'eau peut être perturbé soit au niveau de l'absorption ; les racines sont attaquées et ne fonctionnent plus d'une manière optimale, soit au niveau du transport.

L'occlusion de xylème est due au gel résultant de la dégradation enzymatique des parois cellulaires, soit à la production de polysaccharides extracellulaire ou de glycopeptide par les parasites eux-mêmes.

Le flétrissement peut être aussi provoqué par une modification de la perméabilité des membranes dans le mésophyle et les cellules de garde des stomates sous l'action des toxines.

L'accroissement de la transpiration est attribué à divers facteurs, cuticule percée, dérèglement des stomates, modification de la perméabilité des cellules. Il faut souligner que plusieurs processus physiologiques vitaux pour la plante sont très sensibles au stress du manque d'eau, soit la croissance des cellules, la synthèse des protéines.

#### 1.5. Modification du transport des assimilés :

Comme pour la dégradation des parois cellulaires on retrouve ici une stratégie différente, selon qu'on a affaire à des champignons biotrophes ou nécrotrophes.

Dans les infections de rouille et de mildiou, il y a une rapide conversion des sucres de l'hôte en sucre fongique, comme pour maintenir un gradient entre l'hôte et le parasite. Les concentrations de fructose, glucose et saccharose sont élevées près des pustules de rouille.

La modification dans le transport des photoassimilés est peut être due à un gradient entre le pathogène et les tissus voisins pour les courts distances.

#### 1.5. Régulateurs de croissance

Les modifications de teneur en auxine ont été trouvées dans les tumeurs, galles, hypercroissance au nanisme. Les galles charbonneuses du Maïs présentent une haute teneur en auxine. Or l'*Ustilago zae* produit de l'acide indole-acétique. Le *Gibberella Fujikuroi* provoque l'hypertrophie des cellules du Riz, non pas en excréant une substance de croissance, mais probablement par suite d'une interférence entre des corps issus du métabolisme du Champignon avec la production ou l'inhibition de l'acide indole-acétique dans la plante.

#### 1.6. Influence sur le développement général de la plante :

Les plantes de blé atteintes de piétine échaudage ont une surface foliaire diminuée, beaucoup moins de thalles et de tiges beaucoup plus courtes ; tous ces éléments réunis conduisent à une perte de graines importantes.

Un parasite de feuillage, l'oïdium *Erysiphe graminis* abaisse également le rendement en grain ; la perte est en relation avec la précocité de l'attaque.

La corrélation entre la surface verte des feuilles et le poids des grains n'est bonne que pour l'oïdium. Pour la rouille brune, la relation est plus faible.

Une forte contamination réduit le taux de croissance à 47% de celui d'un arbre sain ; les pertes dépassent celle dues aux feux de forêt, aux insectes et autres parasites toutes réunies.

### 1. Introduction

Les maladies virales constituent chaque année une sérieuse menace grave pesant sur la réussite des plantes cultivées ou spontanées. Chez les plantes, et surtout chez les plantes cultivées, les phytovirus sont responsables de nombreuses maladies, que l'on nomme « **maladies virales ou viroses** ». On connaît aujourd'hui environ 1000 virus qui infectent les plantes. Les virus sont de toutes petites entités biologiques qui parasitent des cellules vivantes.

### 3. Définition des phytovirus:

Les *phytovirus* sont des particules virales qui s'attaquent aux organismes végétaux. Sont des macromolécules infectieuses parasites obligatoires des cellules vivantes des espèces végétales. Ces virus sont porteuses d'information génétique, principalement multipliées par les cellules végétales infectées, en provoquant généralement des perturbations physiologiques, métaboliques et génétiques menant par conséquent à l'apparition des symptômes très variés touchant une partie ou l'intégrité de la plante.

### 4. Caractères généraux des phytovirus

1. Les particules virales **présentent une structure particulière** qui l'oppose aux êtres vivants.
2. Les phytovirus sont caractérisés par une architecture géométrique très simple : en comparant avec les cellules végétales.
3. Le support de l'information génétique des particules virales sont soit des DNA ou des RNA : le génome d'un virus est constitué principalement possède **un seul type d'acide nucléique** qui peut être soit de l'ADN, soit de l'ARN.
4. Les particules virales se **reproduisent exclusivement à partir de son matériel génétique par réplication de son génome en utilisant les cellules hôtes**.
5. Les particules virales sont des parasites obligatoires : les particules virales n'ont pas de métabolisme, donc elles sont inertes. Elles sont douées d'un **parasitisme intracellulaire obligatoire** et elles ne peuvent se reproduire qu'au sein d'une cellule hôte vivante.

### 5. Anatomie des phytovirus

Toute la particule virale est constituée d'au moins **deux éléments constants et obligatoires** :

- 1- La **capside**, est une coque protéique qui entoure le génome et est capable d'assurer sa protection et sa survie dans le milieu extérieur.
- 2- Le **génome**, qui de nature nucléotidique et composé d'acide nucléique (ADN ou ARN).

Les particules virales sont douées aussi des éléments facultatifs ou accessoires nommées l'enveloppe.

### 5.3. L'enveloppe :

La plupart des virus des végétaux sont des virus nus, c'est-à-dire non enveloppés à l'exception des *Rhabdovirus* et des *Tospovirus* qui possèdent une enveloppe lipoprotéique, l'existence même de cette couche lipidique rend les virus enveloppés plus sensibles à la chaleur, à l'acidité et aux solvants.

### 6. Morphologie des phytovirus

Les phytovirus se présentent sous différentes formes et tailles. Les particules virales présentent des formes de bâtonnet rigide ou des formes filamenteuses flexueuses, avec des longueurs généralement variables entre 50 à 2500 nm selon le type de virus. Autrement, présentent des formes sphériques, isométriques, globuleuses ou polyédriques avec des diamètres des particules qui varient entre 25 à 70 nm selon le virus.

### 7. Composition et structure des phytovirus

Chaque phytovirus comprend au moins un acide nucléique et une protéine. Certains virus sont constitués de plusieurs tailles de l'acide nucléique et la protéine, et certains d'entre eux contiennent des enzymes ou des lipides

membranaires. En effet, l'acide nucléique représente entre 5 à 40% du virus, bien que les protéines constituant les 60 à 95% restants. Les proportions les plus faibles d'acide nucléique se trouvent chez les virus allongés, contrairement aux virus sphériques qui contiennent les proportions les plus élevées d'acide nucléique.

La masse totale des nucléoprotéines des différents phytovirus est fortement variable entre 4.6 et 73 million daltons. Cependant, pour la plupart des virus le poids de l'acide nucléique, il ne varie qu'entre 1 et 3 millions ( $1 \text{ à } 3 \times 10^6$ ) daltons par particule virale, bien que certains ont jusqu'à  $6 \times 10^6$  daltons et le composant 12 l'acide nucléique du virus de la tumeur de la plaie est d'environ  $16 \times 10^6$  daltons.

### 8. Systématique des virus

Il a été mis en évidence, à partir de 1971, l'existence d'agents infectieux, décrits surtout chez les végétaux, limités à un ARN de très petite taille que l'on a appelés **viroïdes**. Il a été proposé de diviser les virus en deux sous-groupes : **les virus conventionnels ou Euvirus et Les virus et agents non conventionnels ou viroïdes**.

Concernant leur nomenclature, le nom de l'espèce pour les phytovirus est généralement composé du nom de l'hôte à partir duquel le premier membre a été décrit, du type de symptômes qu'il induit, suivi parfois de l'origine géographique de sa détection, puis du terme 'virus' (exemples : Barley yellow dwarf virus (BYDV), Tomato leaf curl New Delhi virus (ToLCNDV)). Concernant le nom du genre il est composé des premières lettres des mots qui désignent l'espèce représentative auquel on ajoute le suffixe 'virus' (par exemple le genre Mastrevirus provient de la contraction de Maize streak virus (MSV)). Les familles et les ordres sont nommés avec le suffixe 'viridae' et 'virales', respectivement.

### 8.1. Les critères de classification d'un virus :

La nomenclature actuelle et le schéma de classification des virus des plantes, avec l'espèce type et les moyens de transmission des chaque genre de virus, sont les suivants. Tous les virus quelle que soit la nature de leur hôte ; peuvent être classés selon trois critères :

1. La nature de leur génome, qui peut être de l'ADN ou de l'ARN ; mono ou bicaténaire
2. La symétrie de la capsid qui peut être icosaédrique (sphérique) ou hélicoïdale (en bâtonnet)
3. La présence ou l'absence d'enveloppe lipidique, les virus sera dit respectivement « enveloppé » ou « nu »

### 9. L'infection de la cellule végétale et synthèse des protéines virales

Pour illustrer le processus de la multiplication virale, le virus va reconvertir une partie des moyens de production de la cellule (la synthèse des protéines et des acides nucléiques) pour sa propre multiplication à l'infini. Cette prise de pouvoir ne peut réussir qu'avec une certaine maîtrise de l'information, en glissant dans le flot général (le système de synthèse protéique et de réplication) une information nouvelle (le message génétique viral) qui va réorienter l'économie (le métabolisme cellulaire) en conséquence. Donc, la cellule végétale devient un hôte forcé pour le virus envahisseur ; elle va fabriquer les dispositifs (par exemple la réplicase) qui vont multiplier l'information subversive en échappant à son contrôle.

### 10. Physiopathologie des phytovirus

Les phytovirus ne contiennent ni enzymes, ni toxines, ni d'autres substances pathogènes et pourtant causer une variété de symptômes sur l'hôte. La présence d'un virus même en grande quantité n'est pas suffisant pour produire une maladie chez une espèce végétale, alors sont des porteuses asymptomatiques. Les maladies virales des plantes ne sont pas donc dues principalement à l'épuisement des nutriments qui ont été détournés vers la synthèse du virus lui-même, mais sont plutôt dues à des effets

plus indirects sur le métabolisme de l'hôte. Ces effets se manifestent probablement grâce à la synthèse induite par le virus de nouvelles protéines par l'hôte, dont certains sont biologiquement actifs substances (enzymes, etc.) et peuvent interférer avec le métabolisme normal de l'hôte.

**Tableau 1.** Système universel de classification des virus sur la base de l'organisation génomique et de la stratégie de répllication (selon la classification de Baltimore)

Groupe	Classification	Famille	Genre	Virus type
Groupe I	virus à génome d'ADN bicatinaire	Caulimoviridae	Badnavirus Caulimovirus	Virus de la mosaïque de comméline (comYMV) Virus de la mosaïque de chou-fleur (caMV)
Groupe II	virus à génome d'ADN monocatinaire	Gemviridae	Bigomovirus Curtovirus	Virus de la mosaïque dorée d'haricot (BGMV) Virus de l'enroulement apical de la betterave (BCTV)
Groupe III	virus à génome d'ARN bicatinaire	Partitiviridae	Alphacryptovirus Reoviridae Phytoreovirus	Virus de trèfle blanc (WCCV) Virus de rabougrissement de riz (RRSV) Virus de tumeurs des blessures (WTV)
Groupe IV	virus à génome d'ARN monocatinaire de type messenger (ARN <sup>+</sup> )	Luteoviridae Sequiviridae	Enamovirus Luteovirus Polerovirus Sequivirus Waikavirus	Virus de la mosaïque étiologie de pois (PEMV) Virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BaYDV) Virus de l'enroulement de la pomme de terre (PLVR) Virus des taches jaune du panais (PYFS) Virus sphérique de tungro du riz (RTSV)
Groupe V	virus à génome d'ARN monocatinaire de type antimessenger (ARN <sup>-</sup> )	Banyaviridae Rhabdoviridae	Tospovirus Cytorhabdovirus Neucleorhabdovirus	Virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV) Virus de la jaunisse nécrotique de la laitue (LNYV) Virus de la jaunisse nanisante de la pomme de terre (PYDV)
Groupe VI	virus à génome d'ARN monocatinaire répliquant par transcription inverse via de l'ADN bicatinaire			

## 11. Symptômes et dégâts provoqués par les virus :

La multiplication des particules virales généralisée à l'ensemble de la plante provoque des perturbations métaboliques conduisant à l'expression de symptômes variés. Ces symptômes peuvent varier selon le virus, la variété ou l'espèce atteinte, l'environnement et l'état physiologique dans lequel se trouvent les plantes.

En effet, sur les feuilles, les symptômes apparaissent généralement au site d'inoculation, sous formes de foyers localisés. Chez certains couples plantes-virus, la multiplication et l'extension du virus sont limitées, avec formation de lésions nécrotiques suite à une réaction d'hypersensibilité, tandis que dans d'autres cas, le virus envahit l'ensemble des tissus de la plante hôte en induisant des infections systémiques.

Ces phytovirus provoquent en fait des symptômes de mosaïque sur les feuilles, c'est-à-dire une alternance de zones de coloration vert foncé et vert pâle due à la répartition anormale des pigments chlorophylliens dans les feuilles. Si les taches sont diffuses, on parle de marbrures. Dans le cas d'une coloration plus intense au niveau des nervures, on parle de mosaïque de nervure et si la coloration est plus claire on parle d'un éclaircissement des nervures.

De plus, les virus sont responsables de jaunissement des feuilles. Ce dernier, caractérise les virus localisés au niveau vasculaire et s'accompagne d'un épaississement et souvent un enroulement des feuilles.

En plus des symptômes de mosaïque et de jaunissement des feuilles (figure 5), les virus peuvent être la cause de plusieurs anomalies de croissance. En fait, le virus utilise le métabolisme de la plante pour se multiplier, ce qui entraîne un ralentissement de la croissance révélée par des feuilles plus petites et des malformations sur feuilles et sur fruits comme un rabougrissement, des boursoufflures, des cloques, des crispations, des excroissances, et un filiformisme des feuilles. Les phytovirus peuvent infecter toutes parties d'une plante ; les symptômes sont très variables, parfois invisibles à l'œil nu, ce qui complique l'identification de la maladie. Les plus caractéristiques sont :

## 12. Modes de dissémination des virus :

### 12.1. La transmission verticale :

Correspond à la transmission du virus à la descendance d'une plante infectée. Elle est très fréquente (et en fait presque systématique) chez les plantes à multiplication végétative. Tous les organes de multiplication bouturent, greffons, tubercules, bulbes prélevés sur une plante mère virosée seront infectés car les virus provoquent des maladies généralisées.

### 12.2. La transmission horizontale :

Permet aux virus de passer d'une plante à une autre et fait intervenir des intermédiaires qui sont appelés les vecteurs de virus. Il y a plusieurs modalités de transmission selon les couples vecteurs / virus. On distinguera les virus **non-circulants** des virus **circulants** dans le vecteur.

**12.2.1. Les virus non-circulants :** restent localisés au niveau des pièces buccales du vecteur. Leur durée de rétention dans le vecteur peut-être plus ou moins longue

- Pour les virus non persistants la durée de rétention est très brève dans le vecteur (de l'ordre de quelques secondes). Après acquisition par le vecteur, le virus doit être ré-inoculé très rapidement pour pouvoir se propager.
- Pour les virus semi-persistants la durée de rétention est plus longue (quelques heures). Le temps séparant l'acquisition du virus de sa ré-inoculation sera alors d'autant plus long.

**12.2.2. Les virus circulants, également qualifiés de virus persistants**

- Sont internalisés dans le vecteur après ingestion (et de ce fait ne se perdent pas au cours des mues). Ils sont localisés dans l'hémolymphe du vecteur.
- On distingue ensuite les virus capables de se multiplier à l'intérieur du vecteur (virus circulants et multipliant) des virus qui ne se multiplient pas à l'intérieur du vecteur (virus circulants non multipliant).

Dans le premier cas, le vecteur apparaît être un hôte à part entière du virus, alors que dans le deuxième cas, le vecteur n'est qu'un véhicule permettant au virus d'aller d'une plante à l'autre.

**2. Définition :**

Les bactéries sont des organismes procaryotes sans noyau différencié (chromosome nu), sans mitochondries, avec un génome habituellement circulaire formé d'une DNA double hélice codant le plus souvent pour 1000 à 4000 gènes. On distingue les bactéries sensu stricto pourvus d'une paroi et les mollicutes (phytoplasmes ou spiroplasmes) qui sont dépourvus. Les eucaryotes ont un noyau avec une membrane nucléaire, des mitochondries, des organelles intracellulaires (Golgi, réticulum endoplasmique).

**3. Caractéristiques morphologiques des bactéries phytopathogènes**

**3.1. Forme, taille et propriétés tinctoriales des bactéries**

Les bactéries sont vues à la microscopie optique, vivantes à l'État frais (lumière blanche, fond noir, contraste de phase), ou après colorations (Bleu, Gram, Ziehl-Neelsen pour les mycobactéries), et au microscope Électronique de transmission ou de balayage.

Les bactéries sont caractérisées par des tailles moyennes variables entre 0.5 et 2.0 µm de large et entre 2 à 6 µm de long, parfois beaucoup plus (une hématie mesure 8µm de diamètre). Certains bactéries sont sphériques ou ovoïdes (les coques : diplocoques, amas, chainettes) ; alors d'autres ont la forme de bâtonnet droits ou plus au moins incurvées ou spiralés (les vibrions). Une autre forme des bactéries est présente avec des caractéristiques d'un pseudo-mycélium qui forment de longs filaments multinucléés sont les Actinomycètes.

Toutes les bactéries phytopathogènes sont des bacilles caractérisées généralement par des grandeurs de 1 à 2 µm en longueur et de 0.3 à 0.5 µm de largeur, dont la taille est plus inférieure entre 1 à 20 fois que la cellule végétale typique. La seule exception est le groupe des Streptomyces qui sont filamenteuses.

Après croissance sur milieu de culture nutritif, les bactéries donnent en quelques heures ou jours (bactéries à croissance rapide) ou en quelques semaines (bactéries à croissance lente) des colonies visibles à l'œil nu. Ces colonies sont constituées de 1-2 milliards de bactéries et proviennent d'une seule bactérie clones). L'aspect, la pigmentation, la taille, la forme et le temps d'apparition de ces colonies sont des propriétés utilisées pour l'identification des espèces bactériennes.

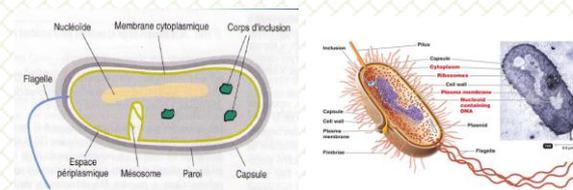
**3.2. Organisation de la cellule bactérienne**

**3.2.1. La paroi**

Les cellules procaryotes sont entourées par une paroi rigide. La paroi des bactéries conditionne la forme des bactéries et constitue une protection très efficace contre un environnement hostile et très changeant (osmolarité, température, radiations ionisantes, sécheresse). En conséquence, c'est la paroi qui confère à la bactérie sa forme caractéristique et qui lui permet de maintenir une pression osmotique inférieure élevée ave environ 20 atmosphère due à la concentration des métabolites. De sa part, la paroi bactérienne est entourée avec un mucus gélatineux nommée la capsule.

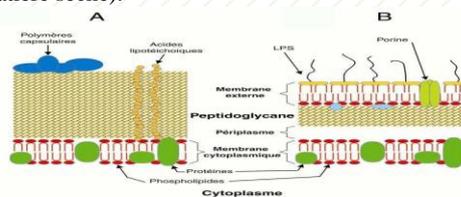
D'après la coloration de Gram, on distingue les bactéries à Gram positif et les bactéries à Gram négatif selon les propriétés tinctoriales. Les Gram + sont décolorés par l'alcool contrairement aux Gram négatif ne le sont pas.

La paroi bactérienne est principalement composée d'un peptidoglycane uniquement retrouvé chez les bactéries et présent dans l'ensemble du monde bactérien (à quelques exceptions, telles que les mycoplasmes ou mollicutes, bactéries sans peptidoglycane). Ce peptidoglycane (mucopéptide or murein) est un polysaccharide constitué d'unités répétitives d'acide N-acétyl-muramique et de N-acétyl-glucosamine, sur lesquelles des chaînes courtes penta-peptidiques (L-alanine, D-alanine, D-glutamic acid et le L-lysine ou l'acide meso-diaminopimelic) sont branchées, formant une structure tridimensionnelle en réseau compact.



**Figure 1.** Morphologie d'une cellule bactérienne gram positif.

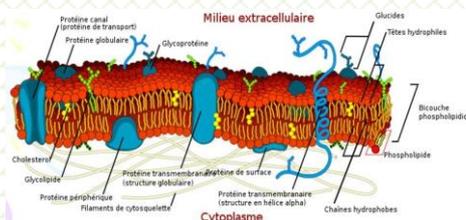
Chez les bactéries à Gram positif, le peptidoglycane est très épais (50% de la matière sèche). En revanche, la paroi des bactéries à Gram négatif, le peptidoglycane est très fin (10% de la matière sèche).



**Figure 1.** Représentation schématique de l'enveloppe cellulaire des bactéries Gram-positives (A) et Gram négatives (B).

**3.3.2. Le cytoplasme des bactéries**

Le cytoplasme bactérien est constitué d'un grand nombre de ribosomes qui présentent le siège de la synthèse des protéines internes de la cellule procaryotique. Ces ribosomes sont de taille plus petite en comparaison avec celles des eucaryotes, dont le taux de sédimentation est de 70S avec deux sous unités (30 et 50 S). La matrice cytoplasmique renferme aussi des inclusions chargées avec des substances de réserves de type organique carbonées (glycogène) ou inorganique (le spolyphosphates, à-hydroxybutyrates). Cette matrice englobe pareillement des protéines cytoplasmiques telles que les enzymes métaboliques, protéines chaperons et protéines de structures.



**Figure 3.** Représentation schématique d'une membrane cytoplasmique d'une cellule bactérienne.

Le cytoplasme est délimité par une membrane cytoplasmique constituée, comme celle des eucaryotes, d'une bicouche lipidique avec des protéines transmembranaires ou exposées : des perméases pour les substrats nutritionnels, des enzymes de synthèse du peptidoglycane (Penicillin-Binding Proteins PBPs), des enzymes respiratoires deshydrogénases, cytochromes). La membrane cytoplasmique contient environ 75% de protéines, 20 à 30% de lipides et environ 2 % de glucides.

**3.3.3. Le génome bactériens**

Le noyau des bactéries est constitué d'un seul chromosome habituellement circulaire dépourvus d'une membrane nucléaire qui bigne dans la matrice cytoplasmique. La taille du génome bactérien est extrêmement variable, de 600 kb (Mycoplasme genitalium) et 8000 kb Streptomyces), en moyenne 3000-4000 kb (>3000 gènes), parfois associé à des plasmides qui sont des petits chromosomes circulaires à réplication autonome (10-200 kb).

**3.6. Les appendices des bactéries**

**3.6.1. Les pili**

Les fimbriae et les pili sont des structures en forme de cheveux attachées aux cellules bactériennes comme des appendices. Les Fimbriae sont des structures courantes chez les bactéries phytopathogènes.

### 3.6.2. Les Flagelles

La plupart des bactéries phytopathogènes détiennent un ou plusieurs flagelles insérés sur les deux extrémités (flagelles polaires) ou sur toute la surface de la bactérie (flagelles péritriches). Le flagelle peut permettre un certain mouvement de la bactérie. Ce sont des filaments de plusieurs µm constitués d'une seule protéine, la flagelline, permettant le mouvement des bactéries (1 à 30 flagelles par bactérie, à localisation polaire ou péritriche).

### 4. Classification des bactéries

#### 4.1. Classification phénotypique

Pour classer les bactéries, on peut utiliser des caractères morphologiques :

- ✚ La forme et la taille de la cellule
- ✚ Le mode de groupement,
- ✚ La présence de flagelles et cils.
- ✚ La nature de la paroi (gram + ou -).
- ✚ Présence d'endospore
- ✚ Inclusions cellulaire

L'utilité de ce mode de classification est assez réduite car les critères ne sont pas suffisamment précis pour discerner les différentes espèces. Pour affiner la détermination des bactéries on utilise également leurs propriétés physiologiques : par exemple leur faculté à utiliser ou synthétiser certaines molécules. Cela implique de cultiver les bactéries étudiées dans des milieux artificiels, ce qui n'est pas toujours possible.

#### 4.2. Caractéristique physiologiques

- ✚ Source de carbone et d'azote utilisables
- ✚ Constituant de la paroi cellulaire
- ✚ Optimum et gamme de température de croissance
- ✚ Mobilité
- ✚ Production des pigments
- ✚ Tolérance osmotique
- ✚ Optimum et gamme de pH de croissance
- ✚ Métabolites secondaires
- ✚ Relation avec l'oxygène
- ✚ Spectre de sensibilité aux antibiotiques

#### 4.3. Classification intra-spécifique notion de Pathovars

Les espèces de bactéries phytopathogènes sont sous-divisées en pathovar (abréviation pv). Le pathovar est l'entité montrant une spécificité parasitaire vis-à-vis d'une espèce particulière). L'espèce *Xanthomonas translucens*, par exemple, présente de très nombreux pathovars qui s'attaquent aux céréales et graminées.

- Xanthomonas translucens pv undulosa
- Xanthomonas translucens pv cerealis
- Xanthomonas translucens pv graminis

### 5. Les principaux groupes des bactéries phytopathogènes

#### 5.1. Agrobacterium

Les bactéries du genre *Agrobacterium* (Conn, 1942) sont des espèces naturellement telluriques, plus particulièrement retrouvées dans les parties rhizosphériques (sol parcouru par des racines de plantes). Le genre *Agrobacterium* appartient à la famille des *Rhizobiaceae* dans la classe des alpha-protéobactéries. La famille *Rhizobiaceae* est capable d'induire la formation de nodosités permettant la fixation de l'azote atmosphérique chez ces plantes.

#### 5.2. Clavibacter (Corynebacterium)

Sur le plan morphologique, ce genre est caractérisé comme étant des bacilles à Gram-positif, droits ou légèrement incurvés avec des renflements (poire ou massue) et quelquefois, des formes ramifiées. Les cellules bactériennes de ce groupe sont de taille variable entre 0,5 et 0,9 et entre 1,5 et 4 micromètres. Les bactéries sont généralement immobiles, mais certaines espèces sont mobiles au moyen d'un ou deux flagelles polaires.

#### 5.3. Erwinia

Elles se présentent sous la forme de bâtonnets droits, 0,5–1,0 par 1,0–3,0 micromètres et sont mobiles grâce à la présence de flagelles disposés tout autour de la cellule bactérienne (péritriches). Elles sont capables de vivre dans un milieu aérobie ou anaérobie (anaérobies facultatifs) en présence d'eau libre, et se propagent rapidement. Le genre *Erwinia* appartient à la famille des Entérobactéries qui comprend plusieurs espèces phytopathogènes comme *E. amylovora*, *E. pyrifoliae*, *E. mallozivora*, *E. papayae*, *E. psidii*, *E. rhapontici*, ou épiphytes comme *E. billingiae*, *E. toletana*, *E. tracheaphila*, *E. aphidicola*, *E. persicina*, et *E. tasmaniensis* (dont le génome est séquencé).

#### 5.4. Le genre Pseudomonas

Le genre *Pseudomonas* constitue l'un des 8 genres bactériens phytopathogènes. Ce genre bactérien compte aujourd'hui de nombreuses espèces qui colonisent le sol, la rhizosphère, la Phyllosphère. Les *Pseudomonas* sont des bâtonnets droites à courbés, de taille variable entre 0,5 à 1 et entre 1,5 à 4 micromètres. Elles sont mobiles au moyen d'un ou nombreux flagelles polaires.

#### 5.5. Xanthomonas

Les espèces appartenant au genre *Xanthomonas* sont des bâtonnets droits, de taille variable entre 0,4 et 1,0 et entre 1,2 et 3 micromètres. Elles sont mobiles par le moyen d'un flagelle polaire unique, formant des colonies lisses et mucoïdes. Ces espèces produisent un exopolysaccharide particulier (xanthane) à l'origine de la consistance visqueuse des colonies. Les *Xanthomonas* appartiennent au phylum des Proteobacteria, classe des Gammaproteobacteria, ordre des Xanthomonadales et à la famille des Xanthomonadaceae. Depuis la première description d'une infection à *Xanthomonas* en 1883 par Wakker (Vauterin *et al.*, 1993), la classification du genre *Xanthomonas* ne cesse d'évoluer en suivant les tendances de la taxonomie bactérienne.

#### 5.6. Streptomyces

Les Streptomyces sont bactéries filamenteuses encore répertoriées comme eubactéries mycéliennes. Ces bactéries sont de forme d'hyphes minces et ramifiées sans parois transversales, mesurant de 0,5–2 micromètres de diamètre. Les *Streptomyces* sont des GRAM+ immobiles, aérobies strictes, chimio-hétérotrophes qui ont la particularité d'être sporulantes, à maturité le mycélium aérien forme des chaînes de trois à de nombreuses spores. Sur les milieux nutritifs, les colonies sont petites (1 à 10 millimètres de diamètre) d'abord avec une surface lisse mais plus tard avec une trame mycélienne aérienne qui peuvent apparaître granuleux, poudreux ou veloutés. Quelques souches de Streptomyces produisent une grande variété de pigments qui colorent le mycélium et le substrat ; ils produisent également un ou plusieurs antibiotiques actifs contre les bactéries, les champignons, les algues, les virus, les protozoaires, ou des tissus tumoraux. Toutes les espèces sont des habitants du sol. Ils sont gram positifs.

#### 5.7. Xylella

Les cellules bactériennes sont principalement des bâtonnets simples et droits, mesurant de 0,3 à 1 – 4 micromètres, produisant de longs brins filamenteux sous certaines conditions culturelles. Elles sont gram négatifs, non mobiles, aflagellé, strictement aérobie et non pigmenté. Lors de cultures sur milieu solide, les colonies sont petites, avec marges lisses ou finement ondulées. Sur le plan nutritionnel, *Xylella* nécessite des milieux spécialisés ; leur habitat est le xylème du tissu végétal. *Xylella fastidiosa* est la seule espèce du genre *Xylella*, et cinq sous-espèces sont décrites : *fastidiosa*, *sandyi*, *multiplex*, *pauca*, *tashke*.

#### 5.8. Ralstonia

Le genre *Ralstonia* est membre des β-Proteobactéries et a été longtemps classifié parmi le genre *Pseudomonas*. Ce groupe est majoritairement ressemble au membre de groupe *Pseudomonas* et la seule différence que ses cellules ne produisent pas de pigments fluorescentes.

## Chapitre I. Les champignons phytopathogènes

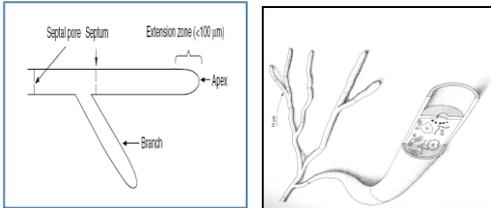
### Introduction

Les champignons **sont des végétaux car ils possèdent une paroi cellulaire et leur cytoplasme renferme des vacuoles turgescentes**. Cependant, une partie seulement des champignons, les **Eumycètes** ou **Eumycotina** sont **pourvus en permanence d'une paroi cellulaire distincte**. Les autres pendant une partie, généralement brève de leur cycle de développement, se présentent sous l'aspect d'une **cellule nue, flagellé Zoïde** ou d'une **cellule nue amiboïde, Phycomycètes** ou **Phycomycotina**. Certains organismes, rangés ici dans les champignons les **Myxomycètes** ou **Myxomycotina**, sont constitués durant une partie de leur cycle d'un **plasmode plurinucléé nu** ou d'un **ensemble de cellules amiboïdes interconnectées** (pseudoplasmode). Ce plasmode ou pseudoplasmode étant, en particulier, capable de phagocytose, on a tendu aussi considérer les myxomycètes comme des sortes d'intermédiaires entre les champignons et les animaux.

Les champignons sont des **Thallophytes** car leur appareil végétatif, ou thalle, ne comporte pas d'appareil conducteur différencié ; ce n'est donc pas un **cormus**, contrairement à celui des Cormophytes. Enfin sont des thallophytes non chlorophylliens ; dépourvus de chloroplaste ; ce qui les distingue des **Algues**.

### 1. L'appareil végétatif :

L'appareil végétatif des champignons est généralement constitué par un **mycélium** : l'ensemble des filaments cylindriques "ou **hyphes**" ramifiés à croissance apical, linéaire, et dont le diamètre, très variable selon les espèces, peut aller de 1-2  $\mu\text{m}$  jusqu'à 100  $\mu\text{m}$ . Le mycélium est dit **septé** lorsque des cloisons transversales s'y forment. En réalité, celles-ci sont toujours incomplètes, ou moins dans les parties actives de mycélium où elles restent percées d'un pore central dont la structure de détail est plus ou moins complexe. Quand le mycélium est septé, il est donc en apparence subdivisé en éléments uni ou plurinucléés.



Au contraire, les champignons à thalle dépourvu de cloisons, ou "**Siphomycètes**", sont souvent qualifiés de "champignons Inférieurs" ; leurs fructifications d'ordinaire, ne peuvent être observées qu'au microscope. Les **Siphomycètes** qui présentent donc une structure siphonnée ont un appareil végétatif formé d'une série de tuyaux ou siphons, plurinucléés.

### 2. cytologie de thalle Organisation cellulaire des champignons)

La paroi des champignons est généralement stratifiée est formée d'au moins deux couches. La paroi renferme 80 à 90 % de

#### 1. La reproduction végétative :

Elle est très importante chez les champignons où elle assure le plus souvent une multiplication propre à assurer la propagation de l'espèce. Elle s'effectue par une fragmentation de thalle ou par sporulation.

#### 2. La reproduction sexuée :

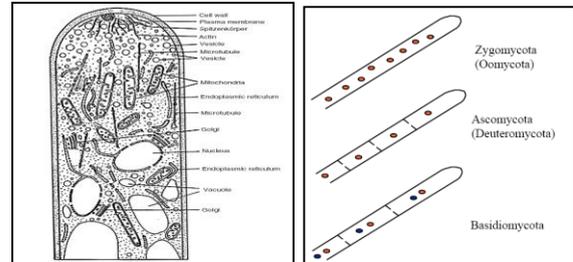
Le cycle de la reproduction sexuée des champignons comporte une plasmogamie accompagnée d'une caryogamie et suivie d'une méiose. Les cellules dont les cytoplasmes et les noyaux pourront se fusionner sont des gamètes, ou des cellules sexuelles, normalement engendrées par des organes spécialisés à cet effet : les organes sexuels.

Il n'y pas nécessairement compatibilité entre les deux sexes porté par un même thalle ou entre n'importe quel thalle male et n'importe quel thalle femelle (homo ou hétérothallisme).

#### a. Les organes sexuels et la gamie

polysaccharides associés à des protéines enzymatiques ou non, des lipides, des dérivées d'acides nucléiques, des polyuronides.

Les cellules de champignons possèdent généralement les caractéristiques générales des eucaryotes. Le réticulum endoplasmique est abondant chez les champignons, surtout dans les parties jeunes de thalle. L'appareil de Golgi n'a été bien observé que chez certains Phycomycètes, semble difficile à caractériser chez les Eumycètes où l'on rencontre cependant fréquemment des empilements de saccules réticulaires dont la signification reste ambiguë.



Le plasmalemmes a une structure trilaminaire qui diffère un peu de celle de RE car les deux lamelles bordantes ne présentent pas la même coloration. Des vacuoles colorables au rouge neutre ou bleu de crésyl sont aisément mises en évidence chez les champignons. Le cytoplasme des champignons contient aussi des multiples types de vésicules subglobuleuses de très faible diamètre perceptible seulement au microscope électronique. Le cytoplasme des champignons contient aussi des ribosomes. Ils sont rarement associés aux membranes du RE.

Les différentes classes des champignons montrent une variabilité au niveau de mode de distribution de nucléoles dans les hyphes : quelques champignons sont équipés par des nucléoles haploïdes ; bien qu'il existe quelque exception diploïde. Quand les noyaux sont identiques, le thalle est **homocaryotique**. Une mutation affecte un ou plusieurs noyaux, ou l'apport d'un ou plusieurs noyaux étrangers par anastomose de filaments mycéliens, peut transformer un élément homocaryotique en un élément **heterocaryotique**.

### 3. Croissance du thalle

La croissance apicale des filaments est très polarisée puisque le filament s'allonge de façon linéaire. La paroi joue probablement un rôle fondamental dans ce mode de croissance en s'organisant en un tube dans lequel le cytoplasme se trouve en quelque sorte maintenu.

Les conditions du milieu influent sur la croissance de mycélium. Celle-ci peut en général s'effectuer entre 0°C et 35°C, la température optimale étant souvent un peu supérieure à 20°C; on connaît souvent de nombreuses espèces, soit thermophiles, soit psychrophiles, dont l'optimum est plus élevé ou plus faible.

### 4. la reproduction des champignons phytopathogènes

Les organes sexuels des champignons se forment en générale sur des thalles haploïdes. Mais dans certains cas (perenosporales, sapolégnales) ils peuvent apparaître sur des thalles diploïdes, la méiose prélude la formation des gamètes.

Les gamètes mâles et femelles peuvent s'échapper du gamétocyste générateur. Ce sont des zoïdes (isogamie de certains chytridiales, et de certains cas des myxomycètes) ou bien légèrement différents (**anisogamie** des blastocladiales). Le rapprochement sexuel ou gamie se fait alors par copulation de deux zoïdes : il y a **zoïdogamie**.

Il est fréquent que la régression de la sexualité soit encore plus importante et que ni le gamète mâle ni le gamète femelle ne soient libérés de leurs cystes générateurs ; ce sont alors les gamétocystes eux-mêmes qui se fusionnent (cystogamie).

Les gamètes mâles perdent alors toute individualité. Mais les gamètes femelle peuvent encore être différenciés sous

formes des cellules globuleuses à l'intérieur du gamétocyste femelle ou oogone

Chez les Mucorales, ni les gamètes femelles ni les gamètes mâles ne sont individualisés. Deux gamétocystes plurinucléés de mêmes tailles un peu différents copulent et fusionnent leurs noyaux. Chez certains Ascomycètes où il y a fusion d'une anthéridie et d'un ascogone, les noyaux mâles transitent alors par le trichogyne (trichogamie).

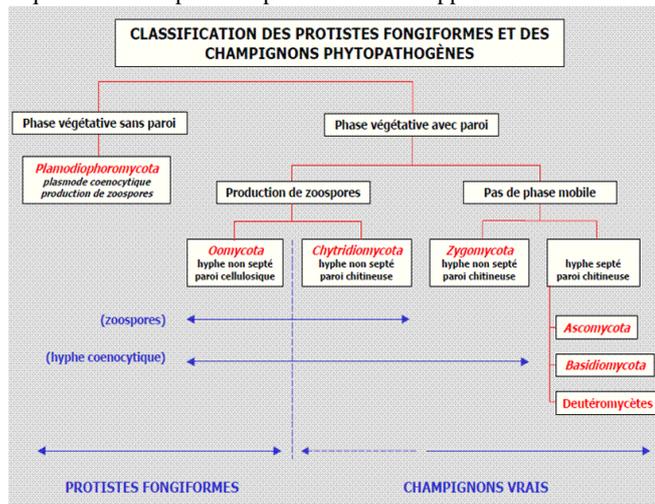
## b. Le zygote :

Le zygote se forme à la suite de la gamie, quelles que soient les modalités de celle-ci. Il est généralement constitué par le gamète femelle à la suite de la gamie. Mais dans le cas des Mucorales et de quelques rares Ascomycètes le zygote est formé

La systématique est la branche de la biologie qui traite de la classification et du nom scientifique des organismes. Le principe central de cette discipline est de regrouper les espèces qui partagent certaines similitudes anatomiques ou développementales, et qui proviennent d'une même lignée évolutive.

Les classifications de type phénétique (fondées sur la similitude des organismes pour un maximum des critères) et de type cladistique ou phylogénique peuvent aboutir à des regroupements différents. Le phénomène de convergence morphologique entre champignons morphologiquement très éloignés est fréquent.

La systématique des champignons est basée principalement sur des critères morphologiques. En pratique, la procédure la plus utilisée est la croissance d'isolats sur un milieu de culture approprié, ce qui permet de reconnaître les traits caractéristiques de ces isolats qui sont génétiquement stables et en général peu influencés par les changements environnementaux. Cependant, dans certains cas, ces critères sont délicats à utiliser et requièrent une expérience particulièrement approfondie.



## 5.1. Les méthodes d'identification et de classification des champignons

### 5.1.1. Classification basée sur les critères morphologique :

#### 5.1.2. Critères d'identification macroscopique

L'aspect des colonies représente un critère d'identification. Les champignons filamenteux forment des colonies duveteuses, laineuses, cotonneuses, veloutées, poudreuses ou granuleuses ; parfois certaines colonies peuvent avoir une apparence glabre (l'absence ou pauvreté du mycélium aérien).

**Le relief des colonies :** il peut être plat ou plissé et la consistance des colonies peut être variable (molle, friable, élastique ou dure).

**La taille des colonies :** Elle peut être très variable en fonction des genres fongiques : petites colonies (*Cladosporium*) ou au contraire, colonies étendues, envahissantes (*Mucor*, *Rhizopus*).

**La couleur des colonies** est un élément très important d'identification ; les couleurs les plus fréquentes sont le blanc, le

par la fusion des deux ampoules copulatrices et non pas par l'une d'entre elles modifiée par le transfert du contenu de l'autre ; le zygote est alors appelé zygospore.

La formation de zygote résulte donc au moins d'une plasmogamie (fusion de cytoplasmes mâle et femelle) mais n'implique pas nécessairement une caryogamie immédiate.

## c. de zygote à la méiose

Les caractéristique de la partie du cycle de développement des champignons qui sépare la formation du zygote de la méiose dépendent pour une part de la biologie du zygote et aussi de la durée de l'intervalle qui sépare la plasmogamie de la caryogamie et celle-ci de la méiose.

### 5. Classification des champignons phytopathogènes

crème, le jaune, l'orange, le rouge allant jusqu'au violet ou le bleue, le vert, le brun allant jusqu'au noir. Les pigments peuvent être localisés au niveau du mycélium (*Aspergillus*, *Penicillium*) ou diffuser dans le milieu de culture (*Fusarium*).

**Les structures de fructification :** la présence ou l'absence, au centre de la colonie, des structures de fructification sexuée (cléistothèces) ou asexuée (pycnides) est aussi un élément important de diagnose (Botton *et al.*, 1990).

#### 5.1.1.2. Critères d'identification microscopique

L'examen microscopique d'une colonie fongique se fait après réalisation d'un étalement entre lame et lamelle et coloration de la préparation au Bleu Cotton. Généralement, un examen à l'objectif est suffisant pour mettre en évidence la plupart des éléments importants de diagnose (Cahagnier et Richard-Mollard, 1998).

#### a. Le thalle :

Tous les champignons possèdent un appareil végétatif constitué de filaments (hyphes) qui, ensemble, forment le thalle filamenteux ou le mycélium ; le thalle peut être siphonné ou septé :

- **Le thalle siphonné**, constitué d'éléments tubulaires peu ou pas ramifié, de diamètre large et irrégulier (5-15 µm), non cloisonné est caractéristique des *Zygomycètes* ;

- **Le thalle septé** ou cloisonné, constitué de filaments de diamètre étroit (2-5 µm) et régulier, divisé par des cloisons en articles uni ou pluricellulaires est caractéristique des *Ascomycètes*, *Basidiomycètes* et *Deutéromycètes* (Badillet *et al.*, 1987).

#### b. Les spores

Les spores qui sont le produit de la reproduction asexuée peuvent être endogènes ou exogènes :

- **Les spores endogènes** (endospores) sont produites à l'intérieur d'un sac fermé (sporange), porté par un filament spécialisé (sporangiophore). Ces spores, que l'on observe par exemple chez les *Mucorales*, sont libérées par le déchirement de la paroi de sporange à maturité.

- **Les spores exogènes** (conidies), retrouvées chez les *Ascomycètes*, *Basidiomycètes* et *Deutéromycètes*, sont formées par bourgeonnement à partir d'une cellule spécialisée (cellule conidiogène).

L'examen des spores et de leur organisation est une étape importante de l'identification fongique (Campbell *et al.*, 1996).

#### Aspect des spores

D'après la forme et les modalités de septation, on distingue 5 groupes de spores

- 1) *les amérospores* : spores unicellulaires de petite taille (*Penicillium*, *Aspergillus*) ;
- 2) *les didymospores* : spores bicellulaires (*Trichothecium*) ;
- 3) *les phragmospores* : spores pluricellulaires à cloisons transversales (*Curvularia*) ;
- 4) *les dictyospores* : spores pluricellulaires à cloisons transversales et longitudinales (*Alternaria*) ;
- 5) *les scolécospores* : spores étroites, effilées, souvent incurvées et cloisonnées transversalement (*Fusarium*).

## 5.2. Méthodes moléculaires

Cette partie donne un aperçu des méthodes moléculaires utilisées en taxonomie fongique. Cependant, il est impossible de discuter de la taxonomie fongique sans citer les techniques

### 6. 1. La classe des Plasmodiophoromycètes

La classe des plasmodiophoromycètes contient une seule famille (Plasmodiophoraceae) comportant des **pathogènes** obligatoires de plantes supérieures. La reproduction sexuée des plasmodiophoromycètes résulte de la fusion de deux gamètes flagellés, morphologiquement semblables, ou procède de la fusion des protoplastes de deux thalles adjacents. Il y a généralement une phase mobile, sous forme de zoospores se déplaçant dans la phase aqueuse des sols et une forme de conservation, assurée par spores durables formées dans les tissus de l'hôte et capables de se maintenir dans les sols pendant de nombreuses années. Lors de la levée de dormance, ces spores de résistance émettent des zoospores qui nagent dans la phase aqueuse du sol et infectent les poils radiculaires de végétaux sensibles en y produisant des plasmodes.

Parmi les *Plasmodiophoraceae*, trois genres parasites des plantes supérieures présentent une importance économique ; les genres *Plasmodiophora*, *Polymyxa* et *Spongospora*. Outre leurs effets pathogènes directs sur les plantes parasitées. Les *Plasmodiophoraceae* peuvent être également transmettre des virus parasites des plantes (*Polymyxa betae* vecteur de virus de la rhizomanie de la betterave ; *Polymyxa graminis*, vecteur de virus de la mosaïque jaune de l'orge).

### 2. La classe des Oomycètes

Les oomycètes sont des organismes fongiformes. Ces agents sont caractérisés par un thalle filamenteux coenocytique, constitué d'une masse plus ou moins dense de filaments ramifiés non cloisonnés. Les Oomycota se différencient des champignons vrais par la composition leur paroi.

La reproduction sexuée s'effectue par hétérogamétangie avec production d'oospores. L'appareil reproducteur asexué est constitué de conidiophores plus ou moins différenciés qui portent des sporanges. Des zoospores biflagellées produites par des sporanges résultant de la reproduction asexuée de ces champignons.

Les oomycètes contiennent la classe unique des oomycètes dans laquelle on trouve les Saproblégniales et les Péronosporales. Ces derniers, sont terrestres ; beaucoup de ces espèces sont hydrophiles et produisent des zoospores mobiles en phase aqueuse.

1. Les Saproblégniales sont principalement aquatiques, saprophytes ou parasites des poissons ou d'écrevisses.
2. Les Péronosporales sont terrestres ; beaucoup d'espèces sont hydrophiles et possèdent la faculté de produire des Zoospores nagent en phase aqueuse. La classification des péronosporales est basée sur le degré de différenciation des conidiophores (reproduction asexuée) et sur le nombre de conidies portées à l'extrémité des conidiophores ou de leurs ramifications.

La différenciation de plus en plus poussée des conidiophores. L'ordre des Péronosporales comprend quatre familles importantes

-  les *Pythiaceae*.
-  *Phytophthora*.
-  *Péronosporaceae*.
-  *Albuginaceae*.

### 3. La classe des zygomycètes

#### Ordre des Mucorales :

Les mucorales sont essentiellement des saprophytes qui se développent sur milieux riches en sucres et pauvres en composés azotés. On le rencontre sur les fruits et sur les excréments des herbivores. Certaines espèces du genre *Mucor* sont utilisées pour la production d'alcool

E riz. On observe le plus souvent chez les mucorales, un hétérothalisme bipolaire : le mycélium végétatif est haploïde et lorsque deux souches compatibles entrent en contact, une production hormonale induit la formation des gamétophores. L'hormone + est synthétisée uniquement en présence de la souche

moléculaires car celles-ci ont connu un progrès important et ont suscité un intérêt énorme grâce à l'émergence de la technique de réaction de polymérisation en chaîne (PCR).

### 6. maladies des plantes causées par les champignons

– et vice versa. La méiose suit immédiatement la fusion des noyaux dans la zygospore.

La reproduction asexuée des Mucorales est assurée par des conidiophores globuleux, réunis en bouquet. Les spores peuvent être dispersées par le vent ou demeurer agglomérées au sein d'une masse mucilagineuse.

### 4. La classe des ascomycètes

Les Ascomycètes ont typiquement des hyphes cloisonnés et peuvent produire des spores sexuées, ou sexuées et asexuées. Le stade sexué d'un Ascomycète est appelé téléomorphe, alors que le stade asexué est appelé **anamorphe**. Il peut exister plus d'un stade anamorphe chez un champignon, mais seulement un **téléomorphe**. Pour les champignons imparfaits, seuls les stades asexués sont connus.

Ce sont des champignons à mycélium cloisonné dont les spores se forment à la suite d'un processus sexuel dans des asques, généralement entremêlés de filaments stériles. L'ensemble des asques et des **paraphyses** constitue l'**hyménium**.

Dans certain cas, l'**hyménium** est indéfini et porte des asques libres (**protoascomycètes**). Le plus souvent l'hyménium est nettement délimité (**Eusascomycètes**) et est continu dans des organes (**ascocarpes**), ouverts (apothécies ou pézizes) entièrement clos (**cléistothèces**), ou fermés avec un ostiole de sortie (**périthèce**). Les ascomycètes sont identifiés sur base des caractéristiques des ascocarpes, des asques et des **ascospores** qu'ils contiennent.

### La classe des basidiomycètes

Les basidiomycètes sont caractérisés par la production des spores monocaryotiques haploïdes appelées basidiospores à l'extérieur des sporocystes appelés basides. Lors de la reproduction sexuée la germination des basidiospores donnent des spermaties et/ou des monocaryotiques et haploïdes (haplophases) qui s'ils sont compatibles, peuvent fusionner leurs cytoplasmes (plasmogamie) en formant des dicaryons (dicaryophase). Lors de la différenciation des basides, les deux noyaux haploïdes des dicaryons fusionnent (caryogamie). La phase diploïde est très courte, le nouveau diploïde entrant immédiatement en méiose, avec production de quatre basidiospores haploïdes par baside. Les basides sont cloisonnées ou non cloisonnées. Le cloisonnement interne des basides (transversal ou longitudinal), ainsi que leur disposition ou non en hyménium, sont des caractères taxonomiques chez les basidiomycètes

### La classe des Deutéromycètes

Les deutéromycètes, encore appelés champignons imparfaits sont caractérisés par un mycélium septé et par l'absence de reproduction sexuée. La classification des deutéromycètes repose sur deux caractéristiques principales : d'une part la nature de la fructification asexuée ou le mode de groupement des spores et d'autre part la couleur, la structure et la conformation de celles-ci.

Les conidies de ces champignons se forment dans les organes spécifiques (pycnides ou acervules) ou prenant naissance sur des coussinets sporifères à la surface des tissus de l'hôte. On distingue deux groupes selon que les spores sont hyalines ou colorées. La forme des spores représente également un caractère spécifique : beaucoup entre elles sont globuleuse ou ovoïdes, d'autre ont une forme allongée ou arquée. L'absence des cloisons (spores unicellulaires) est considéré pour des spores arrivées à maturité.