

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Mustapha Stamboli Mascara
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie



Polycopié de Cours

Principes de phytopathologie

Présenté par : Dr. Merzoug Aoumria

Année universitaire

2015/ 2016

PRÉFACE

Ce polycopié est le support de cours destinés à des étudiants de licences et de masters LMD, Conforme aux programmes du LMD.

Ce fascicule s'adresse particulièrement aux étudiants de la troisième année protection des végétaux (PV) et aussi de la troisième année production végétale (TPV), comme il peut être consulté par les étudiants de deuxième année de l'université dans le domaine des Sciences de la nature et de la vie dont les filières Agronomie et biologie.

Ce polycopié est un support complémentaire assez intéressant pour les étudiants de masters protection, production des végétaux et protection de l'environnement.

Il est conçu de façon à aplanir au mieux les difficultés inhérentes au discours scientifique tout en conservant la rigueur nécessaire. Le cours qui présente les principales notions à comprendre et à connaître est accompagné d'illustrations et d'observations saisie de données réels pris directes du terrain afin d'assimiler immédiatement les notions traitées.

- **Le premier chapitre** est consacré aux concepts généraux relatifs à la phytopathologie et décrits les différentes facettes des pertes occasionnés par les maladies de plantes et méthodes de luttés. En plus des rappels nécessaires des objectifs de la phytopathologie, les principales définitions ont été établis. Cette partie introduit des définitions claires et des notations appropriées.
- **Le deuxième chapitre** est consacré aux champignons phytophogenes. Elle décrit les grands groupes de champignons responsables de maladies de plantes, la spécificité de leur biologie et de leur relation avec la plante hôte et en décrivant les principales maladies affectant les principales cultures dans nos régions.
- **Le troisième chapitre** traite les principaux groupes de procaryotes phytophogenes. En premier des notions sur la taxonomie, sur les caractéristiques et le mode d'action de ces agent pathogènes suivie par l'étude d'un cas assez particulier *Agrobacterium tumefasiens*.
- **Le quatrième chapitre** est relatif aux phytovirus. Il présente les caractères généraux des virus, les principaux groupes, les symptômes engendrés par les virus chez les végétaux et les moyens de luttés utilisés terminé par l'étude d'un cas (Maladie du virus Y de la pomme de terre *PVY*).

PLAN DU COURS

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1. LES MALADIES ET LES ACCIDENTS CHEZ LES PLANTES.....	1
I-1.Définition	1
I-2.Les objectifs de la pathologie végétale	1
I-3.Historique de la phytopathologie	2
I-4. MALADIE DE PLANTE	2
I-4-1.L'étiologie	2
I-4-2.Les dégâts et les pertes	3
I-4-3.Conséquences des maladies sur les cultures.....	4
I-4-4.Divers facteurs qui ont contribué à croire l'importance des méfaits des maladies et ravageurs des cultures :....	4
I-5. Notions fondamentales de la phytopathologie.....	5
I-5-1.Pathogène et Parasite	5
I-5-2.Associations entre organismes	5
I-5-3.Degré de parasitismes	6
I-6.Diagnostic des maladies des plantes.....	6
I-7.Stades de développement d'une maladie.....	7
I-7-1.Les principaux événements intervenant dans une maladie	7
I-8.Notions d'épidémiologie	8
I-8-1.Le cycle de base d'une épidémie :	8
I-8-2.Origine des épidémies	9
I-9.Symptomatologie	9
I-9-1.Quelques définitions	9
I-9-2.Principaux Symptômes	10
I-9-2-1.Modifications de couleur	10
I-9-2-2.Altérations d'organes	11
I-9-2-3.Modifications anatomiques des rameaux et des tiges.....	12
I-9-2-4.Anomalies internes.....	12
I-9-2-5. Modification au niveau des feuilles.....	13
I-9-2-6. Modifications touchant les fleurs.....	13
I-9-2-7. Anomalies de croissance	13
I-9-2-8. Excroissances pathologiques.....	13
I-10.PRINCIPES DE LUTTE CONTRE LES MALADIES DES CULTURES	15
I-11.LES METHODES DE LUTTE	15
I-11-1.Règlements phytosanitaires	15
I-11-2.Lutte par les pratiques culturales :	15
I-11-3Lutte génétique	16
I-11-4.Lutte chimique.....	16
I-11-5.Lutte biologique.....	16
I-11-6.Lutte physique	16

CHAPITRE II. LES CHAMPIGNONS PHYTOPATHOGENES 17

II-1.Caractères généraux des champignons 17

- II-1-1.Les différents systèmes de classification 17
- II-1-2.définition et terminologie des principaux taxons 17
- II-1-3.Les principaux groupes de champignons phytopathogènes 18
- II-1-4.Caractères morphologiques des champignons 19
- II-1-5.La reproduction chez les champignons 20
 - II-1-5-1.La reproduction asexuée des champignons 21
 - II-1-5-2. La reproduction sexuée des champignons 22
 - II-1-5-3.Compatibilité sexuée: 23
 - II-1-5-4.Les spores sexuées des champignons 23
 - II-1-5-5.Appareils sporifères des champignons 25
 - II-1-5-6.Appareils sporifères d'origine asexués 25

II-2.principaux groupes de champignons phytopathogènes 27

- II-2-1.Règne des Protozoa 27
 - II-2-1-1.Plasmodiophoromycota 27
- II-2-2.Règne des Chromista 28
 - II-2-2-1.Phylum : Oomycota= œuf fongique 28
 - II-2-2-2.Principales maladies provoquées par les Oomycètes 32
- II-2-3.Règne des Fungi= Mycota 35
 - II-2-3-1.Phylum :Chytridiomycota 35
 - II-2-3-2.Phylum : Zygomycota 36
 - II-2-3-3. Phylum :Ascomycota 37
 - II-2-3-3-1.Principales maladies provoqués par les Ascomycètes 44
 - II-2-3-4. Phylum : Basidiomycota 46
 - II-2-3-4-1.Principales maladies provoquées par les Basidiomycètes 50
 - II-2-3-5.Pseudo division :Deuteromycota 53

CHAPITRE III- LES PROCARYOTES PHYTOPATHOGENES 63

III-1.Introduction 63

III-2.Principaux groupes de procaryotes phytopathogènes 64

- III-2-1.Classification de la deuxième édition du Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 64

III-3. Caractéristiques des procaryotes phytopathogènes 65

- III-3-1.Morphologie des procaryotes phytopathogènes 65
- III-3-2.Symptomatologie des affections produites par les procaryotes phytopathogènes 67

III-4.Mode d'action des procaryotes phytopathogènes 68

- III-4-1.Pénétration et localisation dans la plante 68
- III-4-2.Réaction d'hypersensibilité (Mort cellulaire programmé ou apoptose) 68
- III-4-3. Conservation et propagation procaryotes phytopathogènes 69
- III-4-4. Dissémination des procaryotes phytopathogènes 70

III-5.Lutte contre les maladies bactériennes des plantes 70

III-6. ETUDE DE CAS : La Galle du collet (The Crown Gall Bacterium) 72

CHAPITRE IV. LES VIRUS PHYTOPATHOGENES	74
IV-1.Introduction	74
IV-2.caractéristiques des virus des végétaux	74
IV-2-1.Taille et structure des virus	75
IV-2-2.Eléments de classification des virus	77
IV-3.Mouvement du virus dans la plante	78
IV-4. Symptômes engendrés par les virus chez les végétaux	80
IV-2-4-1.Les différents types de symptômes	80
IV-5.La lutte contre les virus phytopathogènes	80
IV-6. Etude de cas : Maladie du virus Y de la pomme de terre PVY	81
Références bibliographique.....	83

INTRODUCTION

LA PHYTOPATHOLOGIE = PATHOLOGIE DES PLANTES = PATHOLOGIE VEGETALE

Est aux plantes ce que la médecine est à l'homme et la médecine vétérinaire aux animaux. Chacune de ces disciplines étudie **les causes**, les **mécanismes** et le **contrôle** des maladies affectant les organismes auxquelles elles se rapportent.

La phytopathologie se définit comme étant **l'étude des micro-organismes et des facteurs environnementaux qui induisent des maladies** chez les plantes, des **mécanismes** par lesquels ces différents éléments agissent et des méthodes de **prévention ou de contrôle** des maladies.

CHAPITRE 1. LES MALADIES ET LES ACCIDENTS CHEZ LES PLANTES

I-1.Définition

La phytopathologie(en anglais: *Phytopathology*, *Plant pathology* ou *Plant disease*) : Science qui traite des maladies des plantes.

Du grec phyto=plante

Pathos= maladies

Logos=étude

Etude des altérations d'ordre morphologique ou physiologique provoquées soit par un déséquilibre d'ordre nutritionnel, soit par la présence d'un parasite induisant un état maladif.

I-2.Les objectifs de la pathologie végétale

- Etude des désordres
- Détermination des causes
- Mise au point de lutte

Donc un pathologiste doit aborder les points suivants :

1. Caractéristiques de la maladie
2. Etudier le syndrome de la maladie
3. Etudier les pathogènes : - biologie, génétique, variabilité
 - mode de propagation
 - mode de conservation
- 4.évolution de la maladie
5. moyen de luttés

I-3. Historique de la phytopathologie

La phytopathologie a « commencé » dès les origines de l'agriculture, il y a environ 9000 ans, où la protection des cultures (écosystèmes artificiels) contre les mauvaises herbes, ravageurs et maladies était essentielle pour la survie des individus.

Les maladies furent très longtemps attribuées à des origines divines

- Manifestations divine ou diabolique
 - Robigus (Romains)
 - Moyen-âge (Feu de St Antoine dû à la contamination de la farine par l'ergot du seigle).
 - une divinité destinée à protéger le blé contre la rouille (un champignon pathogène)

- **1807** : Prévost (France) établit que la carie des céréales est due à «un microbe» démontre que le champignon *Tilletia caries* est à l'origine de la carie du blé et préconise le traitement des semences par le sulfate de cuivre
- **1845** : Le mildiou de la pomme de terre (un autre « microbe ») est introduit en Europe...
- **1860**, les travaux de Pasteur rejettent l'existence de génération spontanée et marquent le début de grandes avancées dans la description de cycles biologiques des champignons grâce aux cultures expérimentales
- **1878**, Prillieux et Burril montrent l'existence de bactéries phytopathogènes.
- **1935** : Stanley (USA) démontre que les virus sont des macromolécules infectieuses.
- **1960** : Découverte des premiers fongicides systémiques (capables de pénétrer dans les tissus de la plante)
- **1960** : Découverte des premiers fongicides systémiques (capables de pénétrer dans les tissus de la plante)
- **1970** : Découverte des viroïdes et des phytoplasmes.
- **1974** : *Agrobacterium tumefaciens*, une bactérie pathogène du sol, insère une partie de son génome dans celui des cellules tumorales chez les plantes.

I-4. MALADIE DE PLANTE

Une maladie de plante peut-être définie par une succession de réponses invisibles et visibles des cellules et des tissus d'une plante, suite à l'attaque d'un micro-organisme ou à la modification d'un facteur environnemental qui provoquent des bouleversements de forme, de fonction ou d'intégrité de la plante. Ces réponses peuvent induire une altération partielle voire la mort de la plante ou de certaines de ses parties.

I-4-1. L'étiologie

L'étiologie est la discipline qui étudie les causes des maladies

Deux grands types de maladies (et de causes de celles-ci) chez les plantes :

Maladies parasitaires

Maladies non parasitaires =maladies physiologiques

A- Les maladies parasitaires

Ce sont les maladies causées par l'action d'agents pathogènes (virus, phytoplasmes, bactéries, champignons, etc.)

Ces parasites sont généralement **infectieux** (ils envahissent l'hôte et s'y multiplient) et **contagieux** (ils se transmettent d'une plante infectée à une plante saine).

Agents pathogènes responsables des maladies parasitaires (=diseases):

- Les virus et viroïdes
- Les procaryotes (phytoplasmes et bactéries)
- Les protozoaires
- Les champignons
- Les phanérogames parasites

A- Maladies non parasitaires

L'étiologie des maladies non parasitaires, elles résultent d'une inadéquation des conditions écologiques *sensu lato*.

Quelques sont les causes des maladies non parasitaires ?

Il peut s'agir de problèmes liés aux conditions climatiques, aux phénomènes de pollution ou à des problèmes nutritifs.

- Des carences – excès nutritives : Azote, soufre, phosphore..
- Le climat: Froid, chaud, sécheresse, excès de précipitation, grêle, foudre, vent, neige
- La pollution: Déséquilibres, carences, excès, pH, salinité Atmosphérique (SO₂) sols, eaux nitrate, pesticides), poussières industrielles
- La toxicité des pesticides : (herbicides)

I-4-2.Les dégâts et les pertes

Comment quantifier les pertes et les dégâts dus aux maladies ?

Symptômes ?

Dégâts ?

Pertes ?

Données requises pour l'évaluation quantitative des pertes

- Estimation des superficies touchées par un agent pathogène
- Estimation de l'intensité ou de la fréquence de l'infestation
- Évaluations sur plusieurs années pour éliminer les fluctuations annuelles.

I-4-3. Conséquences des maladies sur les cultures

Les enquêtes menées par la FAO en 1965 et 1988-1990 à l'échelle mondiale pour l'estimation des pertes dues aux maladies, animaux, plantes parasites et ravageurs :

- en absence de tout moyen de lutte est estimé entre 50-80% de la production potentielle.
- avec moyen de lutte est estimé à 40% de la production potentielle pour les pays industrialisés et supérieur à 50%.

Exemples de pertes

- **1845** : Le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) est introduit en Europe (Irlande) provoqué la destruction complète de la production (famine).
- **1935** : USA la rouille des céréales (*Puccinia graminis*) provoqué la destruction de la moitié de la production de blé (25 millions de qx).
- **Bayoud** (*Fusarium oxysporum*) fait disparaître progressivement les palmiers dattiers dans le nord-ouest Algérien.
- **2006-2007** : Le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) fait disparaître la production dans le nord et le nord-ouest Algérien.
- **2010** : Le Feu bactérien des arbres fruitier (*Erwinia amylovora*) a contaminé plus de 20 millions d'arbres fruitiers à l'instar du pommier, du poirier, du néflier et du cognassier au niveau des régions du centre et 7 millions d'arbres dans les Hauts-Plateaux en Algérie recensés en 2011.

I-4-4. Divers facteurs qui ont contribué à croître l'importance des méfaits des maladies et ravageurs des cultures :

- La monoculture sur de vastes surfaces
- L'usage de variétés améliorées
- Culture de nombreux végétaux hors de leur zone d'origine (biotope)
- Les échanges internationaux favorisent la dissémination mondiale des maladies
- L'usage des pesticides répété.

I-5. Notions fondamentales de la phytopathologie

I-5-1. Pathogène et Parasite

- **Parasite** : tous être qui vie au dépend des plantes cultivées, en prélevant sa nourriture soit sur la plante même soit sur le sol qui le porte. Croit au dépend d'un être vivant = Hôte. –Si l'organisme parasite provoque des maladies, il devient un Pathogène.
- **Pathogène** (du grec « naissance de la douleur ») est un agent extérieur au corps (hôte) qui entraîne une maladie.
- **Saprophyte** : organisme se nourrissant au dépend de végétaux cellulaire (de matière organique non vivante).

I-5-2. Associations entre organismes

- ❖ **Neutralisme**: parasite et hôte sont indépendants et n'ont aucune influence l'un envers l'autre
- ❖ **Compétition**: parasite et hôte agissent défavorablement l'un envers l'autre, il y a compétition au niveau de l'habitat, de la nourriture, ...
- ❖ **Symbiose** : La **symbiose** est une association intime et durable entre deux organismes hétérospécifiques (espèces différentes), parfois plus.

Différentes catégories de symbioses

- Obligatoires: parasitisme, commensalisme.
- Non-obligatoire: mutualisme, coopération.
- ❖ **Mutualisme** : parasite et hôte vivent en association durable sinon constante, nécessaire et bénéfique aux deux
- ❖ **Commensalisme** : Le parasite se nourrit de matières organiques produites par l'hôte sans dommage pour ce dernier. Lorsque les matières organiques proviennent de matières en décomposition, cela est dû saprophytisme
- ❖ **Coopération**: Les deux espèces peuvent vivre indépendamment l'une de l'autre, mais tire profit de l'association. Dans ce cas, chaque espèce est à la fois parasite et hôte
- ❖ **Phorésie** : l'hôte transporte le parasite dans un milieu favorable au développement de ce dernier. Il s'agit d'une association libre (les sources de nourriture de l'un et l'autre partenaire étant indépendantes) et non-destructrice (le transport en question n'occasionne pas de dommages physiologiques particuliers)
- ❖ **Inquilinisme** : le parasite trouve auprès de son hôte un habitat, un refuge et une protection sans en tirer de nourriture (parasitisme spatial et non physiologique).

I-5-3.Degré de parasitismes

- **Parasite non Pathogène** : l'association est bénéfique Pour les deux. Le cas des nodosités des légumineuses (bactéries : *Rhizobium*), mycorhize (champignons).
- **Pathogène non Parasite** : agit à distance de l'hôte, sans obtenir des éléments nutritifs. Exemple des champignons qui agissent par des toxines et les champignons épiphytes qui vivent sur le miellat exsudé par un certains pucerons et cochenilles (fumagine sur les agrumes).
- **Parasitisme obligatoire** : Organisme incapable de vivre et de se développer sur milieu artificiel vivant seulement dans les cellules vivantes. exp. Oïdium, Mildiou (champignons), virus et viroïdes.
- **Parasitisme facultatif** : Organisme capable de vivre et de se développer sur milieu artificiel .il y a deux phases :

Phases parasitaire et phase saprophytique.exp. Fonte de semis (*Pythium sp.*).

- **Saprophyte facultatif** : la phase saprophytique est facultative exp. Tavelures sur les arbres fruitiers (*Venturia*).
- **saprophyte obligatoire** : Organisme vivant sur de la matière organique en décomposition exp. Champignons à carpophore.

I-6.Diagnostic des maladies des plantes

Il se fait en 2 étapes :

1- analyse des symptômes : hypothèses sur l'agent causal.

2-valider les hypothèses : identification par les analyses de laboratoire

Le diagnostic implique alors un prélèvement d'échantillons à différents stades de la maladie (si possible une plante entière ou partie de plante au front de progression des symptômes pour exclure les saprophytes). La détection et l'identification doit répondre aux règles proposées par Robert Koch en 1881, elle se fait en 4 étapes :

1. Observation macroscopique et microscopique de la maladie Le micro-organisme doit être associé à la maladie chez tous les individus atteints.
2. Si c'est un parasite obligatoire, il faut l'inoculer sur une plante sensible. Si un parasite facultatif il faut l'isoler sur milieu de culture artificiel (virus et viroïdes, qq. bactéries et champignons, parasites obligatoires peuvent être multipliés sur leur hôtes).
3. L'inoculer sur une autre plante saine pour produire les mêmes symptômes que la plante malade « *in vitro* » (possibilité de recourir à des méthodes indirectes comme les greffes, les insectes vecteurs, ...).
4. Ré isolement de l'agent pathogène initial responsable des symptômes (maladie) à partir des plantes infectés expérimentalement.

Si aucun pathogène n'est identifiable, il faut envisager le cas d'une maladie d'origine abiotique souvent difficile à préciser

I-7. Stades de développement d'une maladie

C'est la succession d'événements distincts qui conduit d'une part au développement de la maladie (cycle de la maladie) et de l'autre à la perpétuation du pathogène (cycle du pathogène).

Cycle de la maladie et le cycle du pathogène = cycle pathologique de la maladie

I-7-1. Les principaux événements intervenant dans une maladie

1. Inoculation : c'est la mise en contact de l'agent infectant ou inoculant avec la plante hôte sensible.

- **Inoculant primaire :** provoque les premiers symptômes
- **Inoculant secondaire :** permet la propagation et l'extension de la maladie dans la culture ou la région.

- **Les étapes de l'inoculation :**

1. libération des spores
2. dissémination des spores
3. aboutissement des spores sur la plante
4. germination des spores c'est l'étape la plus importante, elle est liée aux conditions du milieu (T°, H%).

2- Pénétration

a-Pénétration directe ou active : elle peut être mécanique dans la plus part des cas ou facilitée par des enzymes (chez les champignons il y a formation d'un hyphes de pénétration = **appressorium**).

b-Pénétration indirecte ou passive : se fait par les ouvertures naturelles, les blessures ou les vecteurs.

3- Infection : C'est le processus pour lequel le pathogène établit le contact avec la cellule et les tissus sensibles des plantes de l'hôte (tirer les éléments nutritifs). il y a apparition de symptômes.

4-Période d'incubation : C'est l'intervalle entre l'infection et l'apparition des symptômes. Cette période est **variable, elle est de 6 jours pour le Mildiou et de 12 mois pour charbon nu ou la carie des céréales**. elle est aussi en fonction d'un nombre de paramètres (sensibilité de la plante, conditions du milieu soient favorables...).

Elle se déroule en 2 étapes : 1-L' invasion des tissus

2- La croissance et la reproduction

5-Dissémination : Elle comporte plusieurs phases : la libération, le transport (par le vent, la pluie , les insectes, les semences, outils de travail...).

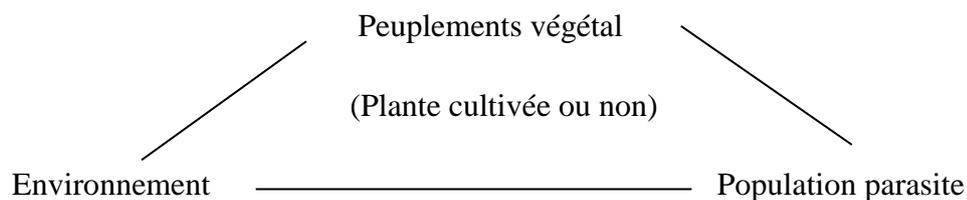
6-Conservation : Permet à l'agent pathogène de se conserver pendant des périodes allant d'un cycle végétatif à un autre et jusqu'à plusieurs années. Elle se fait par des organes de résistances comme des sclérotas, des chlamydospores.. chez les champignons, pour les virus peuvent se conserver uniquement dans les tissu vivants, certains peuvent se conserver dans les outils de travail contaminés.

I-8. Notions d'épidémiologie

L'épidémiologie se définit comme l'étude du **développement des maladies** au sein des populations contaminées ou susceptibles de le devenir. Le suivi se fait en fonction du **temps**, de l'**espace** et des **cultures**. La connaissance de l'**évolution de la maladie** permet de prendre des mesures efficaces dans la lutte contre le pathogène.

Une épidémie est caractérisée par une **très forte expansion de l'agent pathogène au sein d'une population sensible**. Cette expansion implique une **infection par un inoculum primaire**, sa multiplication au cours de la maladie et la dissémination de l'inoculum nouvellement constitué.

Une maladie est déterminée par l'interaction tripartite entre :



I-8-1. Le cycle de base d'une épidémie :

Inoculum primaire -> pollution -> infection -> symptômes -> libération du pathogène (inoculum secondaire) -> contagion

1)-L'inoculum peut provenir d'une dissémination du pathogène d'une autre région où il était présent à l'état **endémique**, conservé dans des débris végétaux ou sur des hôtes secondaires.

L'inoculum : Élément(s) vivant(s) du parasite capable(s) de contaminer une plante-hôte. L'inoculum primaire est responsable de la pollution de l'hôte et permet à la maladie d'exister. L'inoculum secondaire apparaît sur la population-hôte déjà contaminée et permet la dissémination de la maladie.

2)-La maladie se développe sur les plantes contaminées par l'inoculum primaire avec ou sans phase de latence qui précède l'apparition des premiers symptômes.

3)- l'agent pathogène se développe aux dépens de son hôte, il y a **parasitisme : infection**

4)-La phase contagieuse du cycle débute lorsque le pathogène est libéré (ou transmis), ce qui permet sa dissémination dans le temps et l'espace: C'est l'**inoculum secondaire**.

Propagation : Elle respecte le cycle de base d'une épidémie. Sa vitesse est dépendante de la vitesse de multiplication du pathogène qui dépend elle-même de : la présence de réservoirs d'inoculum, sources de foyers primaires, la durée du cycle de base de l'épidémie (qui dépend de la durée du cycle du pathogène et détermine le nombre de cycles possibles par saison), les conditions climatiques (chaleur, humidité, ...), l'usage ou non de pesticides (et leur efficacité), l'état des plantes hôtes (carences, blessures, état parfait,..., leurs caractéristiques génétiques responsables de résistances et tolérances).

I-8-2.Origine des épidémies

Le développement des maladies résulte de l'interaction entre les populations de parasites et les populations de plantes lorsque les plantes et les conditions de l'environnement permettent le développement du pathogène. On retrouve une situation d'équilibre dans les écosystèmes naturels : l'expansion du pathogène est quasiment nulle, la fréquence des maladies faible, les plantes autochtones ayant acquis une certaine tolérance ou résistance limitant la progression du pathogène.

C'est une endémie qui joue un rôle clé dans la conservation des pathogènes et leur diversification en pathotypes. Lors d'une épidémie, l'équilibre naturel est rompu : la population du pathogène augmente brutalement, et la maladie se développe au sein d'une population de plante. Les ruptures d'équilibre peuvent avoir comme origine :

- (1) une introduction d'un pathotype dans une région où les plantes ne possèdent pas de mécanismes de résistance,
- (2) l'apparition par mutation d'un nouveau pathotype ayant une virulence accrue,
- (3) la culture intensive d'un cultivar sensible à un pathogène (écosystèmes artificiels : systèmes culturels modernes).

I-9.Symptomatologie

I-9-1.Quelques définitions

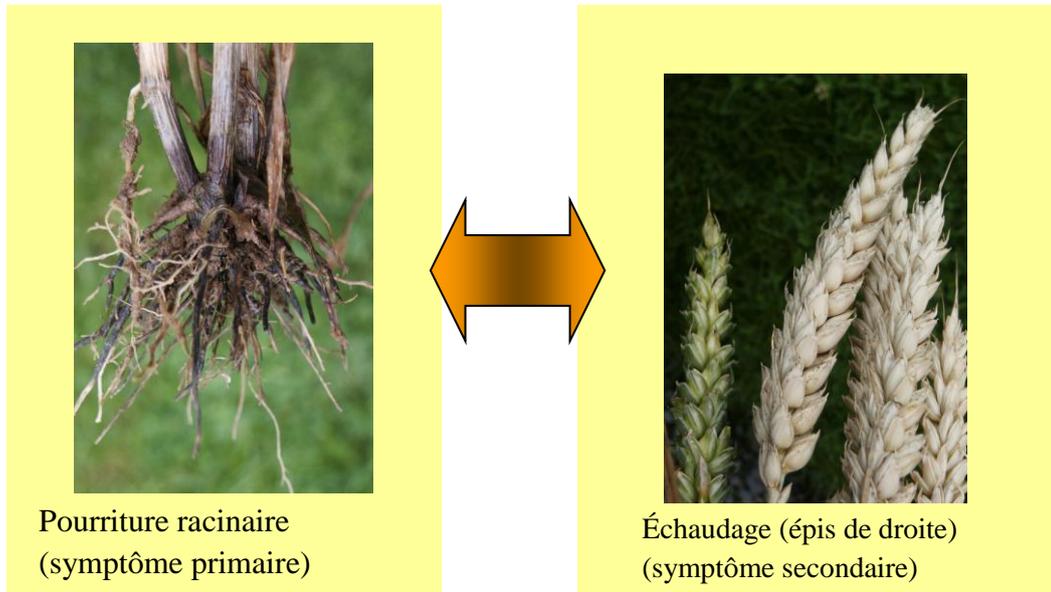
- **Temps d'incubation** :
 - période qui sépare le moment de l'infection de la plante de l'expression des symptômes
- **Symptôme primaire** :
 - symptôme directement responsable de l'anomalie observée (également appelé symptôme-cause).
- **Symptôme secondaire** :
 - symptôme qui est la conséquence du symptôme primaire (symptôme-conséquence).

Exemple : Piétin échaudage chez le blé

Symptôme primaire: nécrose racinaire entraînant le flétrissement d'une plante ou l'échaudage de l'épi.

Symptôme secondaire : flétrissement et échaudage dus aux nécroses racinaires.

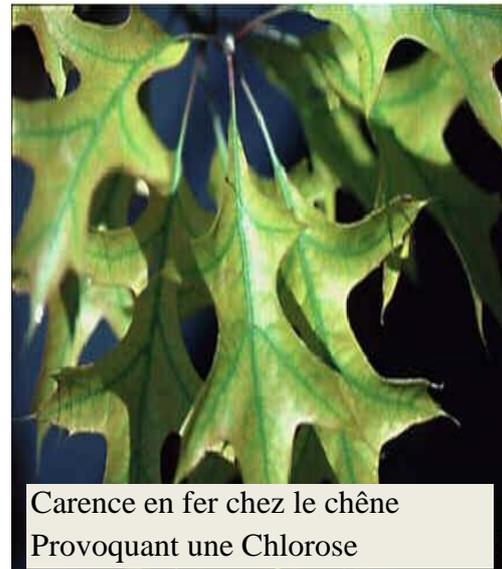
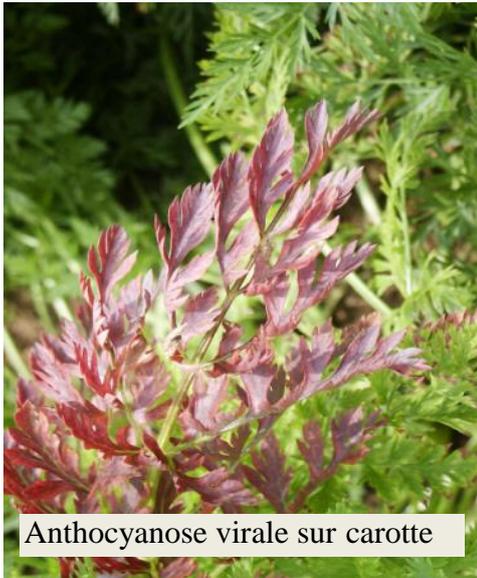
Piétin échaudage du blé



I-9-2.Principaux Symptômes

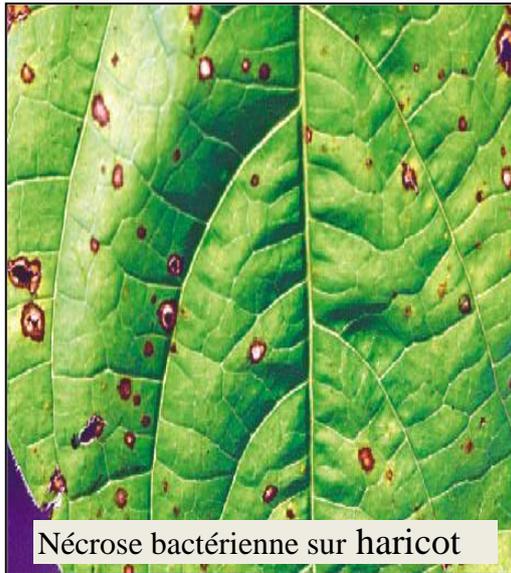
I-9-2-1.Modifications de couleur

- **Anthocyanose** : excès de pigments rouge violacé
- **Chlorose** : pâleur de la coloration du feuillage pouvant aboutir à une jaunisse.
- **Mélanose** : production de substances foncées (**mélanine**).
- **Mosaïque** : alternance de zones de coloration vert pâle ou vert foncé et de zones chlorotiques ou jaunâtres.



I-9-2-2. Altérations d'organes

- **Nécrose** : altération résultant de la mort des cellules
- **Pourriture** : altération résultant d'une décomposition des tissus
- **Flétrissement** : perte de turgescence



I-9-2-3. Modifications anatomiques des rameaux et des tiges

- **Balai de sorcière** : prolifération abondante des ramifications d'une tige
- **Chancre** : altération localisée de l'écorce

I-9-2-4. Anomalies internes

- **Dépôts anormaux : callose**
- **Thyllose** : expansion vésiculeuse se formant dans le xylème à partir de cellules

I-9-2-5. Modification au niveau des feuilles

- **Frisolée** : boursouffure et gaufrage du limbe foliaire.

I-9-2-6. Modifications touchant les fleurs

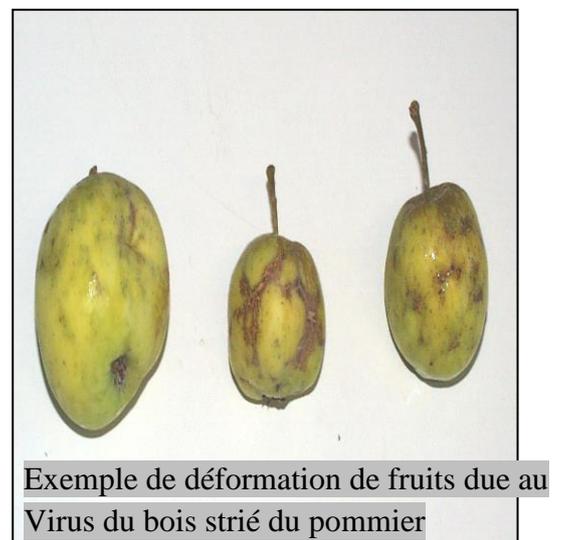
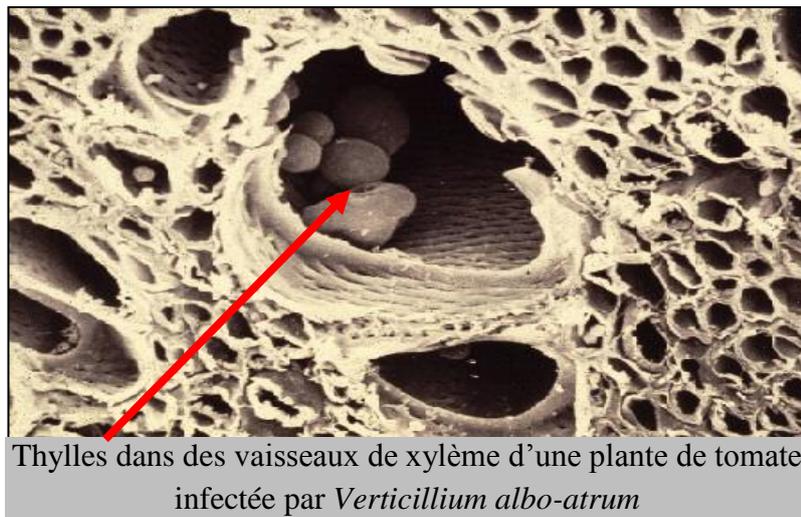
- **Virescence** : pièces florales restant vertes
- **Chloranthie** : transformation de verticilles floraux en organes foliacés.

I-9-2-7. Anomalies de croissance

- **Nanisme et atrophie** : réduction de la taille de la plante ou de ses organes
- **Déformations d'organes**

I-9-2-8. Excroissances pathologiques

- **Gale** : altération superficielle de l'épiderme de la plante
- **Galle** : excroissance dues aux insectes, bactéries et champignons
- **Tumeur** : prolifération anarchique des tissus suite à une modification génétique des cellules végétales.



I-10. PRINCIPES DE LUTTE CONTRE LES MALADIES DES CULTURES

La lutte contre les maladies de plantes est fondée sur la connaissance des partenaires, de leurs interactions, et du cycle du pathogène. Différents principes sont à respecter :

- l'utilisation d'organes de propagation et de semences sains,
- la culture sur substrat sain en environnement sain,
- la diminution des chances de conservation du pathogène dans l'environnement et de ses capacités de multiplication
- la diminution des risques de transport des organes de dissémination,
- la culture de variétés résistantes ou tolérantes,
- des conditions culturales et écologiques défavorables aux pathogènes et favorables à l'expression des gènes de résistance,
- la protection des cultures par traitements adéquats et modérés.

Principes auxquels s'ajoutent un ensemble de règles visant à diminuer les risques de dispersion, d'utiliser de **bonnes méthodes culturales, génétiques, chimiques et biologiques de protection des cultures**.

I-11. LES METHODES DE LUTTE

I-11-1. Règlements phytosanitaires

Ils visent à surveiller l'état des cultures, empêcher l'introduction, dans une zone donnée, de nouveaux pathogènes, et délivrer des certificats pour l'exportation de produits, de plants, de semences ...

I-11-2. Lutte par les pratiques culturales :

Les mesures sanitaires permettent donc de réduire l'inoculum primaire et la propagation du pathogène, par

- l'utilisation de semences saines,
- le passage ordonné des machines agricoles: nettoyage et désinfection des outils.
- Les rotations de cultures dans le temps et dans l'espace peut avoir un effet bénéfique sur l'état phytosanitaire des cultures. Les parasites non persistants dans les sols en absence de leur hôtes sont facilement éliminés (*Fusarium*, *Sclerotinia* ...),
- Les cultures en mélange (multi lignées), peuvent réduire la sévérité des maladies. Des plantes pièges peuvent servir à confiner et ralentir les pathogènes,
- L'utilisation d'engrais minéraux a des effets variés sur les maladies, un excès d'azote, une nutrition minérale déséquilibrée fragilise les plantes et les rend plus sensibles aux pathogènes,
- L'irrigation augmente la vigueur des plantes mais favorise aussi le développement des maladies (microclimat humide),

- La planification des semis et des plantations influent sur le développement des maladies : il faut semer en évitant que la période de sensibilité de la plante coïncide avec l'arrivée massive du pathogène.

I-11-3 Lutte génétique

Elle est basée sur la culture de variétés résistantes ou tolérantes au pathogène considéré.

I-11-4. Lutte chimique

Elle est entrée en action il y a cent ans, lors de l'utilisation de la bouillie bordelaise (Milliardet, 1885). Pour lutter contre les pathogènes de plantes, les produits les plus utilisés sont les fongicides, les insecticides.

I-11-5. Lutte biologique

Elle repose sur l'utilisation de nombreux antagonismes existants entre les êtres vivants. Son utilisation se répand de plus en plus. La protection croisée est basée sur l'utilisation de souches peu ou non pathogènes exemple des *Trichoderma* (champignons du sol) contre d'autres champignons peut être utilisé au niveau de lésions pour éviter les invasions ultérieures (*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, ...),

I-11-6. Lutte physique

La thermothérapie, la culture de méristèmes et d'embryons permettent de régénérer des plantes saines.

L'ensemble de ces moyens de lutte sont combinés pour obtenir de meilleurs résultats = lutte intégrée

CHAPITRE II. LES CHAMPIGNONS PHYTOPATHOGENES

II-1.Caractères généraux des champignons

II-1-1.Les différents systèmes de classification

Evolution de la classification au cours du temps :

Haeckel (1894) Trois règnes	Whittaker (1969) Cinq règnes	Woese (1977) Six règnes	Woese (1990) Trois domaines
Protiste	Bactérie	Eubactérie	Eubactérie
		Archaeobactérie	Archaeobactérie
Végétal	Protiste	Protiste	Eucaryotes
	Végétal	Végétal	
	Champignons	Champignons	
Animal	Animal	Animal	

D'après Lepoivre, 2003

II-1-2.définition et terminologie des principaux taxons.

Les organismes désignés sous le nom de “ champignons ” forment un groupe très hétérogène dont la caractéristique essentielle commune est la nutrition **hétérotrophe par absorption**.

- **Eucaryotes** : ils peuvent être multi nucléé (homo ou hétérocaryotique) ou uni nucléé.
- **Thallophytes** : organisme ne possédant pas de racine, ni de tiges, ni de feuille,
- **Hétérotrophes** : incapables d'utiliser l'énergie solaire, ils utilisent de nombreuses molécules carbonées fabriquées par d'autres êtres vivants. **Non photosynthétique**.
- **Leur paroi** contient de la chitine et des polysaccharides (glucane).
- **Ils se reproduisent et se multiplient** par l'intermédiaire de spores de natures diverses, issues d'une reproduction asexuée ou sexuée.

= Les Eumycota

II-1-2-1.Rappel de taxonomie :

Pour qu'un organisme soit formellement reconnu par les taxonomistes il doit être nommé selon des règles internationales précises : c'est à dire un nom générique (nom de genre avec majuscule) suivi d'un nom d'**espèce** (l'ensemble forme ce que l'on appelle le **nom binomial** d'un organisme).

Un **genre** peut contenir plusieurs espèces. Les genres sont regroupés en **familles**, les familles en **ordres**, les ordres en **classes**, et les classes **embranchements**. Un **règne** regroupe plusieurs embranchements.

II-1-3. Les principaux groupes de champignons phytopathogènes

II-1-3-1. Classification et nomenclature



Règne fongique : =

EUMYCOTA

Division (phylum, embranchement) :

- **mycota**

Classe :

- **mycètes**

Ordre :

- **ales**

Famille :

- **aceae**

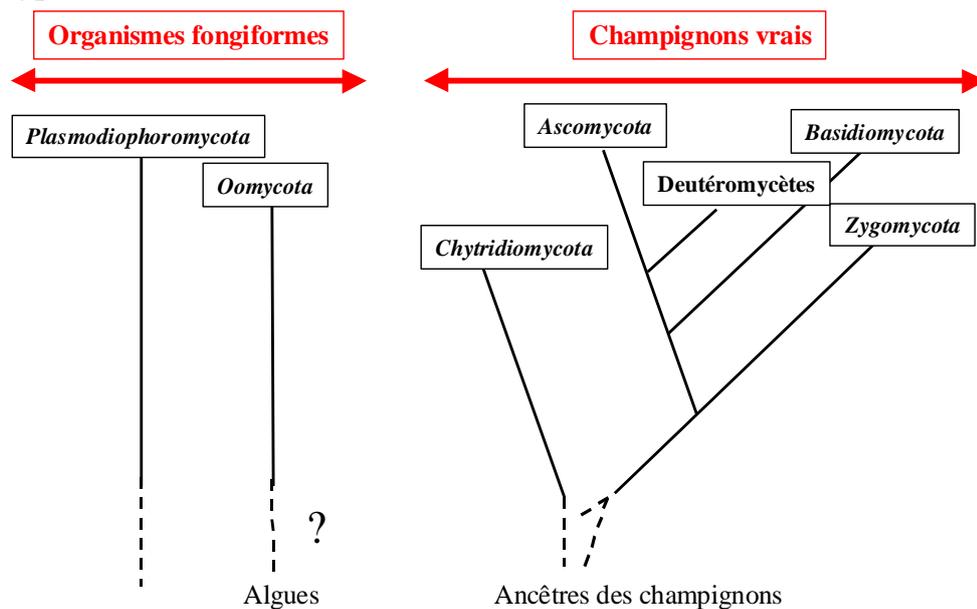
Genre :

Espèce :

Sous-espèce :

Forme spéciale :

Race (biotype) :



II-1-4. Caractères morphologiques des champignons

II-1-5-1. Appareil végétatif ou thalle

Le corps végétatif du champignon s'appelle **thalle**, qui peut être unicellulaire constituée d'une seule cellule végétative, puis à maturité se transforme en une ou plusieurs organes reproductifs.

- Type de thalle

Thalle peut être unicellulaire : le thalle est formé d'une seule cellule le cas des levures ou pluricellulaires, plasmodique ou filamenteux.

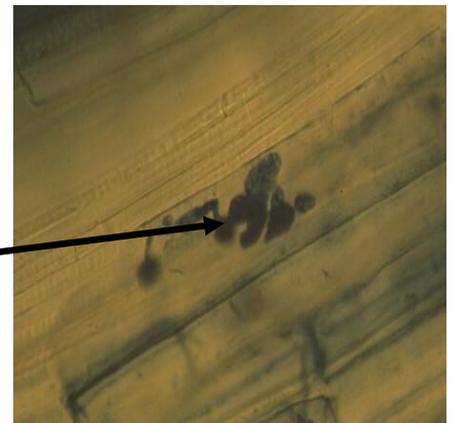
- **Thalle plasmodique** : masse protoplasmique (Un plasmode est une masse de cytoplasme dans laquelle le noyau s'est divisé un grand nombre de fois sans qu'il y ait eu de cloisonnement par des membranes plasmiques.

Chez les *Plasmodiophoromycota*, l'appareil végétatif

(le thalle) est constitué d'un plasmode.

Le plasmode est une cellule amiboïde polynuclée.

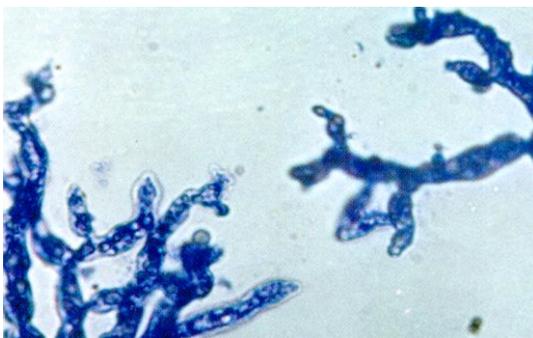
Plasmode de *Polymyxa graminis* dans une radicelle d'orge



- **Thalle filamenteux** : Chez tous les autres groupes, le thalle, est filamenteux formé de filaments tubulaires cylindriques ramifiés ou non.

- les filaments peuvent être cloisonnés (septes) = **hyphes** possédant des hyphes régulièrement septés et percés par une pore centrale, pouvant être simple, exemple : Ascomycota ou complexe le cas des Basidiomycota .

- non cloisonnés (**dit coenocytiques**) = **appelés siphons**. Possédant un cytoplasme continu renferme plusieurs noyaux. Les cloisons transversales apparaissent uniquement pour délimiter les organes de reproduction. exp. Oomycota, Zygomycota.



Filaments non cloisonnés



Filaments cloisonnés = appelés hyphes

- Structure mycélienne végétative

L'ensemble des hyphes forme le **mycélium**. Il montre des différenciations considérable concernant sa fixation, sa pénétration et sa survie durant son développement à partir d'une spore ou d'un fragment du mycélium.

- Anastomose** : former par la fusion de ramification d'un même hyphe ou d'hyphe différent pour former un réseau.
- Appressorium** : organe de fixation et de pénétration donne naissance à un fin filament ou hyphe de pénétration ou d'infection.
- Haustorium= suçoirs** : organe qui sert à puiser les éléments nutritifs des cellules de l'hôte.
- Le mycélium peut subir des modifications et développe des structures végétatives plus ou moins agrée en Stromes compacts comme les **rhizomorphes** et les **sclérotés** qui constituent deux types de stromes ayant une signification phytopathologique comme **organes de conservation**

Rhizomorphes : cordons ramifiés subcorticaux ou souterrains qui permettent à certains champignons de coloniser un biotope à partir d'une base alimentaire éloignée.

Sclérotés sont des stromes globuleuses de 0,5-10 μ formés par des pelotonnements du mycélium.



Rhizomorphes



Sclérotés

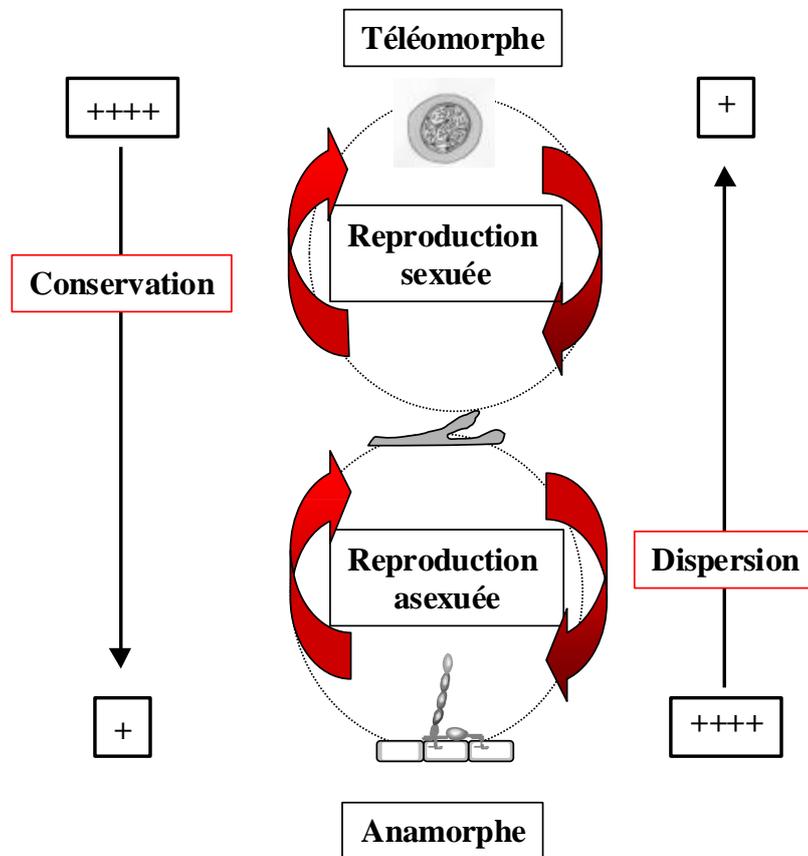
II-1-5.La reproduction chez les champignons

Deux modes de reproduction des champignons

Elle est dit **conforme** lorsque les descendants ont un patrimoine génétique identique aux parents ou **non conforme** lorsqu' il y a recombinaison génétique.

La plupart des champignons possèdent deux modalités de reproduction :

- 1- la reproduction asexuée (dite **imparfaite** ” ou **végétative**, caractéristique de l’anamorphe).
- 2- la reproduction sexuée (dite “ **parfaite** ”, caractéristique du téléomorphe).



➤ **Stade parfait et stade imparfait** : Une espèce déterminée peut présenter au cours de son cycle biologique soit :

Des fructifications sexuées et asexuées exp. Oïdiums.

Des fructifications sexuées uniquement exp. *Taphrina*.

Des fructifications asexuées uniquement exp. Deutéromycètes.

Pas de fructification. Dans ce cas le champignon se multiplie par des sclérotés ou des fragmentations du mycélium. Exp. *Sclerotinia*, *Rhizoctonia*.

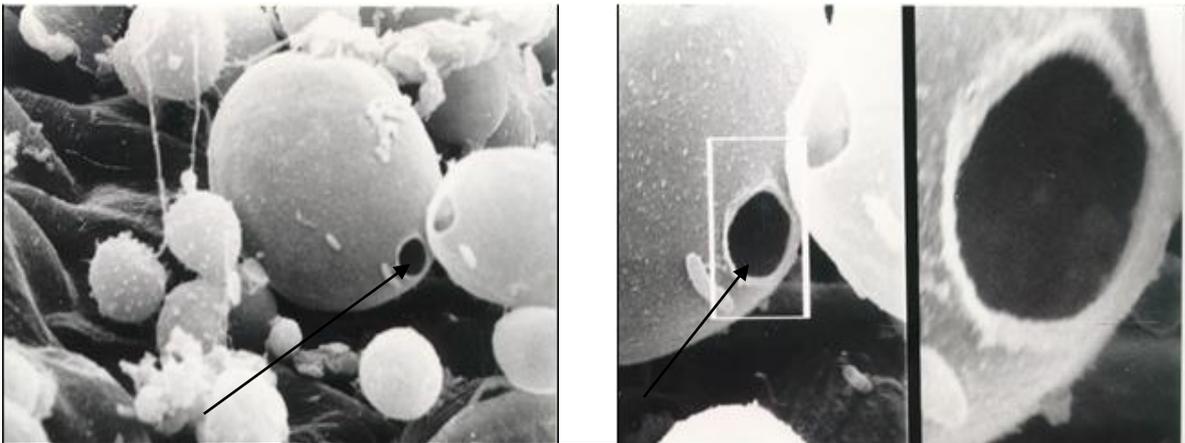
II-1-5-1. La reproduction asexuée des champignons

C'est une forme importante chez les champignons ou elle assure la propagation de l'espèce.

- Les spores produites par reproduction asexuée sont appelées « **conidies** » qui peuvent être endogènes ou exogènes produites sur des hyphes spécialisés.

- Peut s'effectuer aussi par fragmentation du mycélium en donnant des formes particulières de reproduction asexuée :

- **Chlamydozoospores** (forme de résistance apparaissant sous forme d'articles terminaux ou intercalaires)
- **Zoospores**: certains groupes de champignons produisent des spores végétatives nues, mobiles dans l'eau grâce à un ou deux flagelles (zoospores) qui se forment à l'intérieur de sporanges portés par un sporangiophore.
- **Arthrospore** : se fait par fragmentation de l'hyphe végétatif avec délimitation des cellules.
- **Blastospores** : les spores se forment par bourgeonnement exp. Levures.



Opercule de sortie des zoospores sur un sporange de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre.



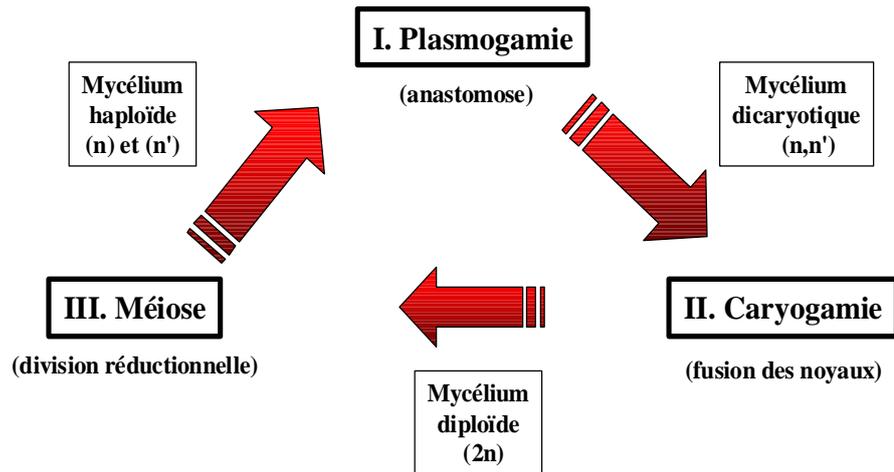
Zoospores de *Phytophthora sp.*

II-1-5-2. La reproduction sexuée des champignons

- Le cycle de reproduction sexuée des champignons

Il comporte une étape de plasmogamie, suivie d'une caryogamie et d'une méiose.

- **Plasmogamie** : fusion de 2 protoplasmes aboutissant à la formation de cellules binucléées les paires formées sont dites dicaryon.
- **Caryogamie** : fusion de 2 noyaux donnant naissance à un noyau diploïde.
- **Méiose**: division réductionnelle produisant 4 noyaux aploïdes.



II-1-5-3. Compatibilité sexuée:

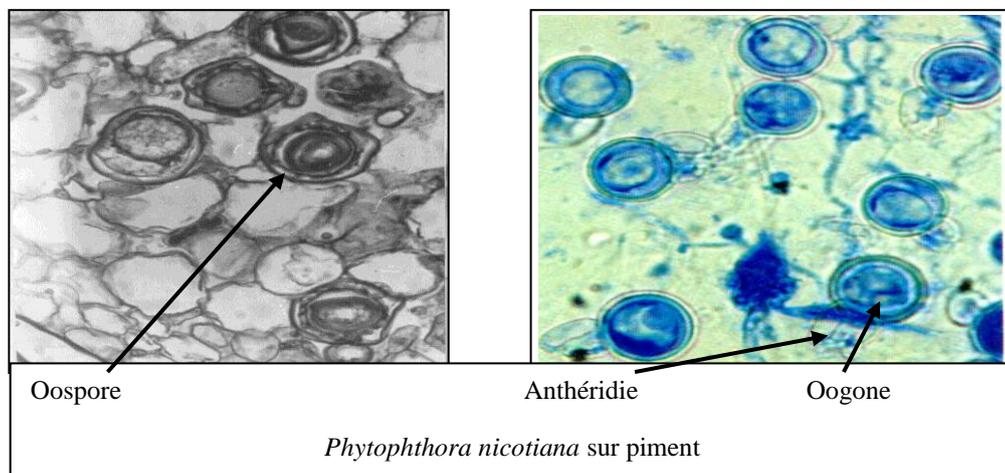
- **Les champignons homothalliques** : chaque thalle du champignon est autofertile pouvant se reproduire sexuellement par lui-même sans le recours à d'autres thalles.
- **Les champignons heterothalliques** : chaque thalle du champignon est autostérile exige le recours à un thalle génétiquement différent pour se reproduire sexuellement.

II-1-5-4. Les spores sexuées des champignons

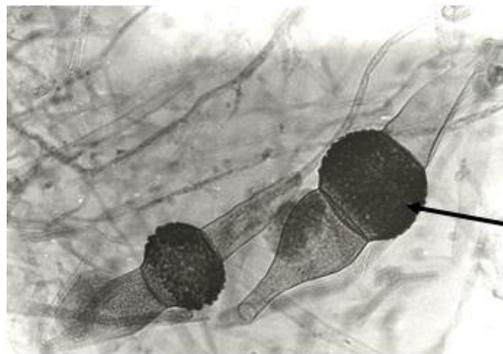
Les spores sexuées sont au nombre de quatre :

- Oospore (*Oomycota*)
- Zygosporé (*Zygomycota*)
- Ascospore (*Ascomycota*)
- Basidiospore (*Basidiomycota*)

- ❖ **Oospore** : L'oospore résulte de l'union de deux gamétanges (contenant des gamètes) morphologiquement distincts (hétérogamétangie), l'anthéridie et l'oogone. Caractérisant les *Oomycota*.

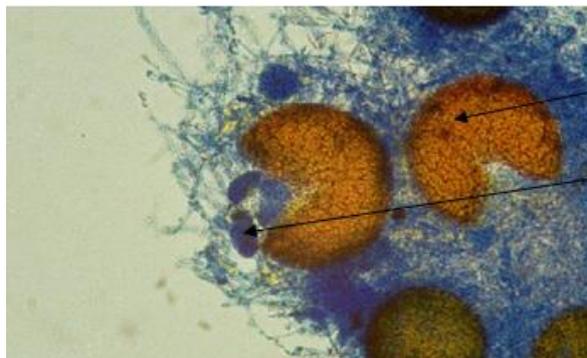


- ❖ **Zygospor** : La zygospor résulte de l'union de deux gamétanges (conjugaison gamétangiale) morphologiquement identiques (iso gamétangie) formés sur des filaments parentaux de polarité – et + (phénomène d' hétérothallisme). Caractérisant les **zygomycota**.



Zygospor de *Rhizopus sp.*

- ❖ **Ascospore** : L'ascospore est une endospore haploïde caractéristique du phylum des **Ascomycota**, prenant naissance typiquement, au nombre de huit, dans un asque, formé au sein d'une fructification ascogène (ascocarpe).cette fructification est le résultat de la fécondation d'un ascogone par une anthéridie (heterogamétangie).

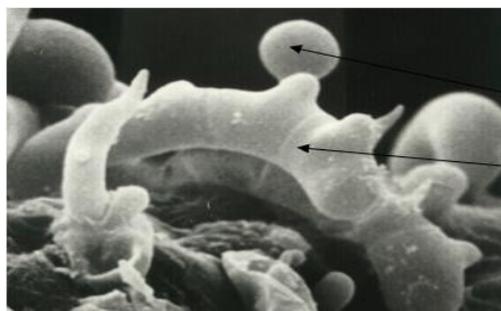


Ascocarpe

Asques

Asques produites dans une fructification d

- ❖ **Basidiospor** : La basidiospor est une spore exogène qui naît sur une baside, laquelle produit typiquement une tétrade de basidiospor haploïdes. Basides et basidiospor sont caractéristiques du phylum des **Basidiomycota** dont la reproduction sexuée se fait par la fusion d'une spermatie avec un hyphe réceptif.



Basidiospor

Baside

Basidiospor se formant sur une baside.

II-1-5-5.Appareils sporifères des champignons

1) Appareils sporifères d'origine sexués

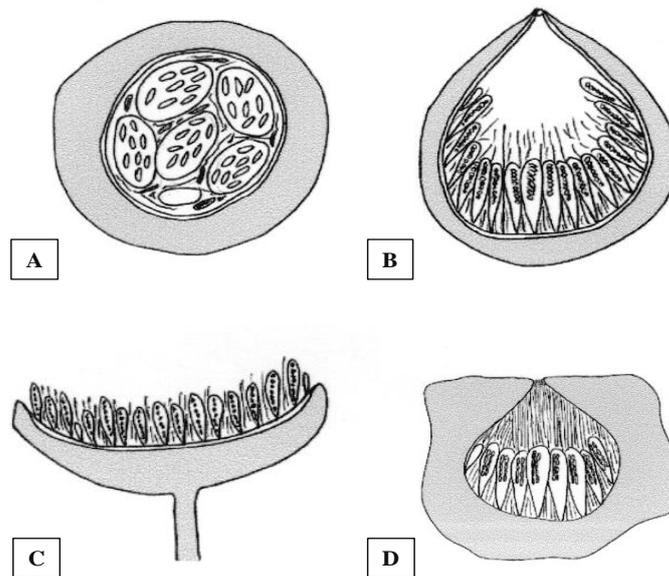
- Le stroma est tapissé par une couche fertile appelée Hyménium est constituée par des asques ou des basides, selon la morphologie des stromas on distingue : Chez les Ascomycota : Appareils fructifères (ou ascocarpe) donnant naissance aux asques suivants :

A. Cléistothèce: ascocarpe complètement fermé.

B. Périthèce : ascocarpe possédant un ostiole.

C. Pézize =apothécie : ascocarpe étalé sous forme de disque ou de coupe complètement ouvert.

D. Pseudothèce : ascocarpe porte des asques dans des locules (multiloculaire).



- Chez les basidiomycota : Appareils fructifères : basidoicarpe (ou baside) n'existe que chez certains basidiomycotina

exp. Le carpophore chez les champignons supérieurs.

II-1-5-6.Appareils sporifères d'origine asexués

Ils peuvent être constitués :

- De filaments simples ou ramifier former de conidiophore ou sporangiophore portant respectivement des conidies ou des sporanges.
- Filaments agrégés en stroma qui portent des conidiophores selon la morphologie du stroma, on distingue :

A -Pycnide : conceptacle plus ou moins sphérique et ouvert par un ostiole.

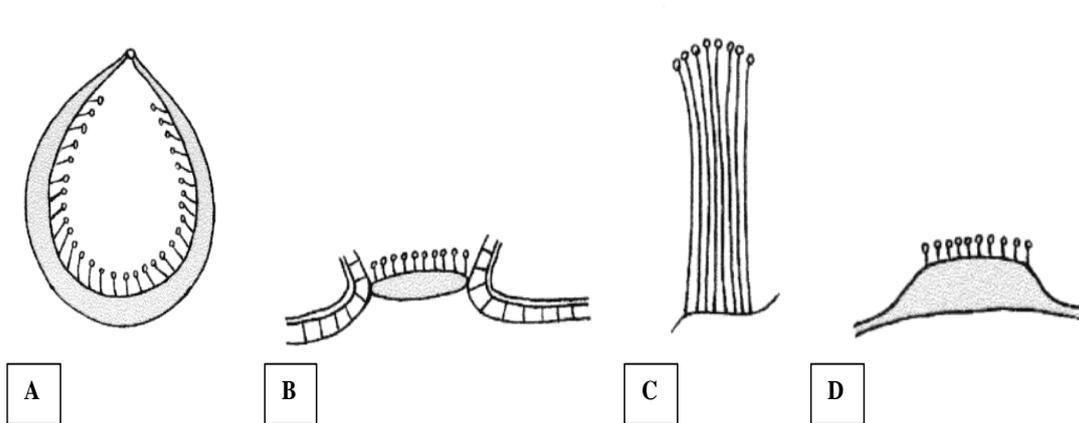
B -Acervule: fructifications recouverts par les tissus de l'hôte, d'abord close puis libre par suite à l'éclatement des tissus de l'hôte qui le couvre.

C - Corémie : fructifications composées de conidiophores dressés et agglomérés.

D – Sporodochie : fructifications composées de conidiophores courts et agglomérés.

Organes de fructification asexuée

Principaux organes de fructification au sein desquels les conidies sont produites chez les Deutéromycètes

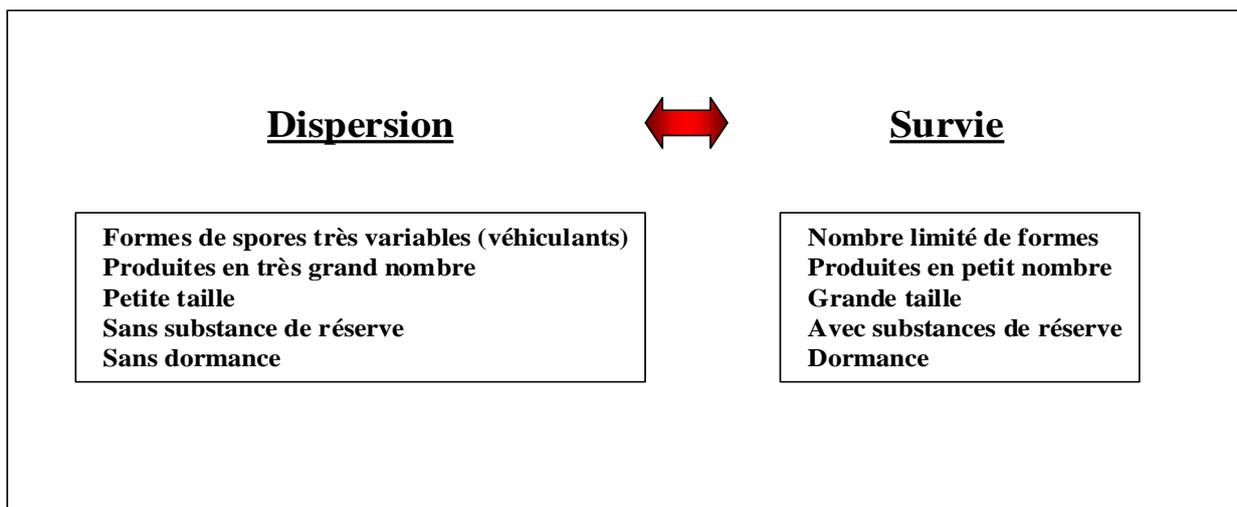


A : pycnide, B : acervule C : corémie (ou stilbum) D : sporodochium

➤ **Caractéristiques des formes de reproductions sexuée et asexuée en relation avec la conservation et la dissémination des champignons.**

Spores d'origine asexuée

Spores d'origine sexuée



II-2.principaux groupes de champignons phytopathogènes

Les champignons phytopathogènes sont classés dans 3 règnes (Agrios, 2005):

I- Protozoa (fongiformes)

II- Chromista (fongiformes)

III- Fungi (champignons vrais)

I-Règne desProtozoa

Division 1 :Plasmodiophoromycota

Division 2 : Myxomycota

II-Règne des Chromista

Division 2 :Oomycota

III- Règne des Fungi= Mycota

Division 1 : Chytridiomycota

Division 2 : Zygomycota

Division 3 :Ascomycota

Division 4 :Basidiomycota

Pseudo division :Deuteromycota

II-2-1.Règne des Protozoa

II-2-1-1.Plasmodiophoromycota

II-2-1-1-1.Classe : Plasmodiophoromycètes

- Champignons dont le thalle est constitué d'un plasmode non cloisonné (coenocytique) contenant plusieurs noyaux.
- **La reproduction sexuée** se par la fusion de 2 gamètes flagellés morphologiquement semblables. le cycle biologique produit 2 plasmodes : **plasmode primaire (sporogène)** évolue en **zoosporanges** et un **plasmode secondaire** (kystogène) produisant des spores durables (se maintiennent dans le sol plusieurs années).
- Les spores de conservation émettent des **zoospores biflagellées** qui nagent dans la phase aqueuse du sol et infectent les poils radiculaires des végétaux sensibles en produisant des plasmodes.
- Comporte des parasites obligatoires des plantes supérieures. Parasites d'organes souterrains et de tiges, chez les quelles produisent des hypertrophie des hyperplasies.

Trois genres présentent une importance économique

1- Genre : Plasmodiophora

Esp. *Plasmodiophora brassicae* : l'hernie des crucifères

2- Genre : Polymyxa

Esp. *Polymyxa betae* : vecteur du virus de la rhizomanie de la betterave

Esp. *Polymyxa graminis* : vecteur du virus de la mosaïque de l'orge (cycle du parasite)

3- Genre : Spongospora :

Esp. *Spongospora subterranea*: agent de la gale poudreuse des Solanacées.

II-2-2.Règne des Chromista

- Composés d'espèces uni ou pluricellulaires, à mycélium non cloisonné, autre fois ces organismes étaient classés parmi les « champignons inférieurs » le phylum le plus important en phytopathologie est :

II-2-2-1.Phylum : Oomycota= œuf fongique

Plus de 500 espèces sont inclus, des agents de pourritures et de mildiou.se sont des organismes fongiformes à thalle filamenteux coenocytique.

II-2-2-1-1.Classe : Oomycètes

- **Ordre : Péronosporales**
- **Ordre : Saprolegniales**

A. Ordre : Péronosporales

Les thalles sont non cloisonnés, les hyphes sont intercellulaire, certaines espèces forment des suçoirs.

- **Reproduction sexuée** : s'effectue par **hétérogamétangie** avec production **d'oospores**
- **Reproduction asexuée** : l'appareil est constitué par un conidiophore +ou- différenciés qui porte des sporanges, comportant des zoospores biflagellées. En absence d'eau liquide le sporange se comporte comme une conidie et germe directement en produisant un hyphe coenocytique. L'ordre comporte 3 familles qui sont classés selon leur degré de différenciation des conidiophores et sur le nombre de conidies portées à son extrémité ou de leurs ramifications. Les Péronosporales sont responsables des :

1)-Famille : Albuginaceae (Rouilles blanches)

2)-Famille : Pythiaceae (Fontes de semis et les pourritures radiculaires)

3)-Famille : Peronosporaecae (Mildious)

1)-Famille : Albuginaceae

Ce sont des parasites obligatoires à mycélium intercellulaires, ils produisent des conidies en chainettes à l'extrémité de conidiophores densément réunies en masse subépidermique.

Espèce : *Albugo candida* provoque la maladie la rouilles blanches des Crucifères et de certains Composées.

2)-Famille : Pythiaceae

Caractérisés par des sporanges qui se forment sur des hyphes végétatifs à croissance indéterminé des sporangiophores non différencié du mycélium. Comporte 2 genres importants :

Genre : Pythium

Vivent en saprophytes dans les eaux et les sols, se comportent en parasites de semis ou de jeunes plantules .les conidies germent et produisent une vésicule (sporange) ou se différencies des zoospores flagellées qui nagent, après avoir perdu leur flagelles, ils germent pour donner un nouveau mycélium.

Espèce : *Pythium debaryanum* et *P. ultimum* provoque les fontes de semis et manques à la levée chez les plantes herbacées et les arbres fruitiers.

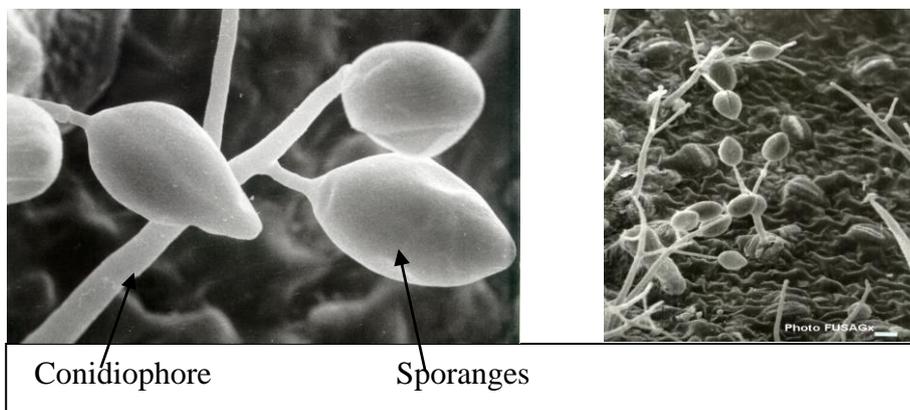
Espèce : *Pythium gramicola* pourriture racinaire des céréales.

Genre : Phytophthora

La reproduction asexuée est assurée par des sporanges qui sont produits à l'extrémité du conidiophore peu différencier sortant par les stomates des feuilles infectées. En présence d'eau liquide sur les feuilles, ils libèrent de zoospores biflagellées qui vont nager avant de s'enkyster à la surface des feuilles et de former tube germinatif qui pénètre à travers la cuticule ; les sporanges peuvent également germer en tant que conidies en formant directement un mycélium. Le champignon hiverne sous forme de mycélium dans les tubercules infectés ou d'oospores (forme de résistance).Il existe plusieurs espèces provoquant des pourritures des bases des tiges et au niveau des bourgeons et des fruits, provoque aussi des mildious sur feuilles, tiges herbacées et fruits. Certaines espèces sont spécifique et d'autres sont polyphages et ont une large gamme d'hôte.

Espèce : *Phytophthora parasitica* agent de fonte de semis, plus particulièrement les plantules du Tabac.

Espèce : *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la Pomme de terre et de la Tomate.



3)-Famille : Peronosporaecae

Ils sont responsables de divers mildious .ce sont des parasites obligatoires dont le mycélium se développe entre les cellules des tissus infectés, dont les quelles il forme des suçoirs.

L'appareil reproducteur asexué est constitué de conidiophores, sortant des stomates se ramifiant en dichotomie en arborescences, chaque ramification porte un seul sporange ou conidie. La différenciation des conidiophores s'accompagne d'une spécialisation parasitaire (espèce). Les sporanges sont disséminés par la pluie et le vent .ils germent comme des zoospores mobiles (cas des *Plasmopara*) ou comme une conidie en un filament (*Bremia*, *Peronospora*, *Sclerospora*).

La conservation des **Peronosporaceae** s'effectue par persistance du mycélium dans les organes vivaces (tubercule, boutures...) de l'hôte, soit par les oospores d'origine sexué.

1)- Genre : *Bremia*

Les ramifications des conidiophores sont dichotomiques à terminaison en poire porte de 2 à 7 stérigmates.

Espèce : *Bremia lactucae* mildiou des Composées

2)- Genre : *Perenospora*

Comporte des conidiophores terminés par des stérigmates longues et effiles groupés en 2.

Espèce : *Perenospora pisi* : mildiou du petit Pois.

Espèce : *Perenospora trifolium* : mildiou des trèfles et la luzerne.

Espèce : *Perenospora vicia* : mildiou de la lentille et du petit Pois.

3)- Genre : *Sclerospora*

Le conidiophores se ramifie 2 à 3 fois chaque ramification se termine par 2 stérigmates courts qui portent des sporanges.

Espèce : *Sclerospora macrospora* : mildiou des Céréales et des Graminées spontanés.

Espèce : *Sclerospora graminicola* : mildiou du Sorgho et du Mais

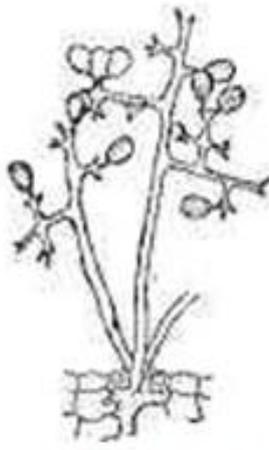
4)- Genre : *Plasmopara*

Les ramifications des conidiophores forment un angle droit qui se termine par 2 ou 3 stérigmates.

Espèce : *Plasmopara viticola* : mildiou de la vigne.



Bremia



Plasmopara



Sclerospora



Peronospora



Pseudoperonospora

Principaux genres de Peronosporaceae

II-2-2-2.Principales maladies provoquées par les Oomycètes

❖ Mildiou de la Pomme de terre

Agent pathogène : *Phytophthora infestans*

Description La maladie

La maladie apparaît dans la parcelle en foyers isolés à partir desquels elle peut se généraliser rapidement et aboutir à une destruction totale de la végétation en quelques jours.

Larges plages brunes auréolées à marges vert pâle à la face supérieure des feuilles se desséchant en leur centre et correspondant à un duvet blanc à la face inférieure. Taches brunes sur pétioles et tiges à différents niveaux qui peuvent évoluer vers la destruction des jeunes plants ou la cassure des tiges adultes.

Les tubercules mildiousés présentent des taches brunes au niveau de l'épiderme tandis que la chair est infiltrée de zones marbrées de couleur rouille à texture fibreuse ou granuleuse qui donne un aspect de pourriture sèche. Cependant des contaminations secondaires par des champignons ou des bactéries peuvent entraîner ultérieurement, en conditions de stockage, des pourritures humides.

Biologie

Le champignon se conserve sous forme d'oospores dans le sol à partir de tubercules de Pomme de terre malades, qui en germant, donnent naissance à des pousses contaminées. Les sporanges (conidies), qui se forment alors sous les feuilles, sont disséminés par le vent par fois sur de longues distances contaminant les cultures de Solanacées. (Voir cycle).

Epidémiologie

Une succession de périodes humides et assez chaudes, à caractère orageux, favorise le développement et la propagation de la maladie.

Les pluies, une humidité relative supérieure à 90 p. cent et des températures comprises entre 10 et 25 C. favorisent l'évolution de la maladie.

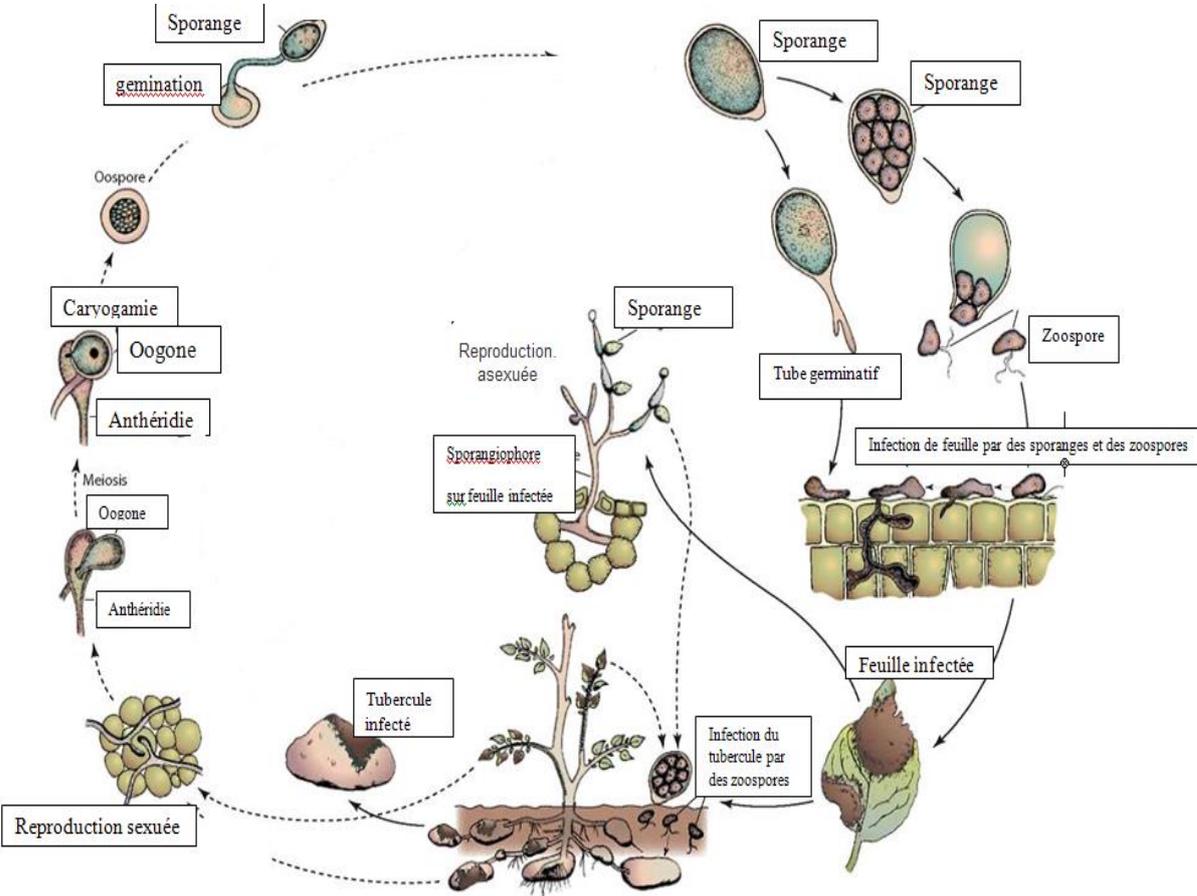
Le champignon est détruit par une sécheresse persistante et des températures avoisinant 30 C.

Lutte

- Détruire les débris végétaux et les repousses, sources de foyers primaires.
- Eviter la proximité des cultures de Pommes de terre.
- effectuer des traitements préventifs dès que la maladie est signalée dans la région.
- Défaner en fin de végétation en maintenant la protection fongicide jusqu'à la destruction complète des fanes.
- Eliminer les tubercules malades à l'entreposage.



Dégât provoqué par le mildiou de la pomme de terre dans la région de Mascara en 2010



Cycle biologique du mildiou de la Pomme de terre et de la Tomate par *Phytophthora infestans*.

Agrios, 2005

❖ Mildiou de la Vigne

Agent pathogène : *Plasmopara viticola*

Présent partout dans le monde où la vigne est cultivée et où les conditions climatiques sont favorables.

Identification

Le Mildiou est observable à l'œil nu sur les différents organes de la vigne, principalement les plus tendres, sous forme d'un feutrage blanc. Le champignon ne peut être isolé et cultivé sur milieu artificiel (parasite obligatoire).

Description

Sur la face inférieure des feuilles, se développent des taches translucides jaune pâle qui se couvrent d'un feutrage (spores) et se nécrosent par la suite. Les jeunes pousses se déforment, brunissent et meurent. Le pédoncule des grappes se courbe, entraînant la mort des bouquets floraux. Lors de contaminations tardives, les raisins deviennent grisâtre et se recouvrent d'un feutrage, ou lorsqu'ils sont déjà développés ils prennent une coloration verdâtre à brunâtre.

Biologie

Le champignon hiverne sous forme de fructifications sexuées (oospores), forme de résistance. Les oospores sont formées à l'intérieur des tissus et se retrouvent dans les débris de culture à l'automne.

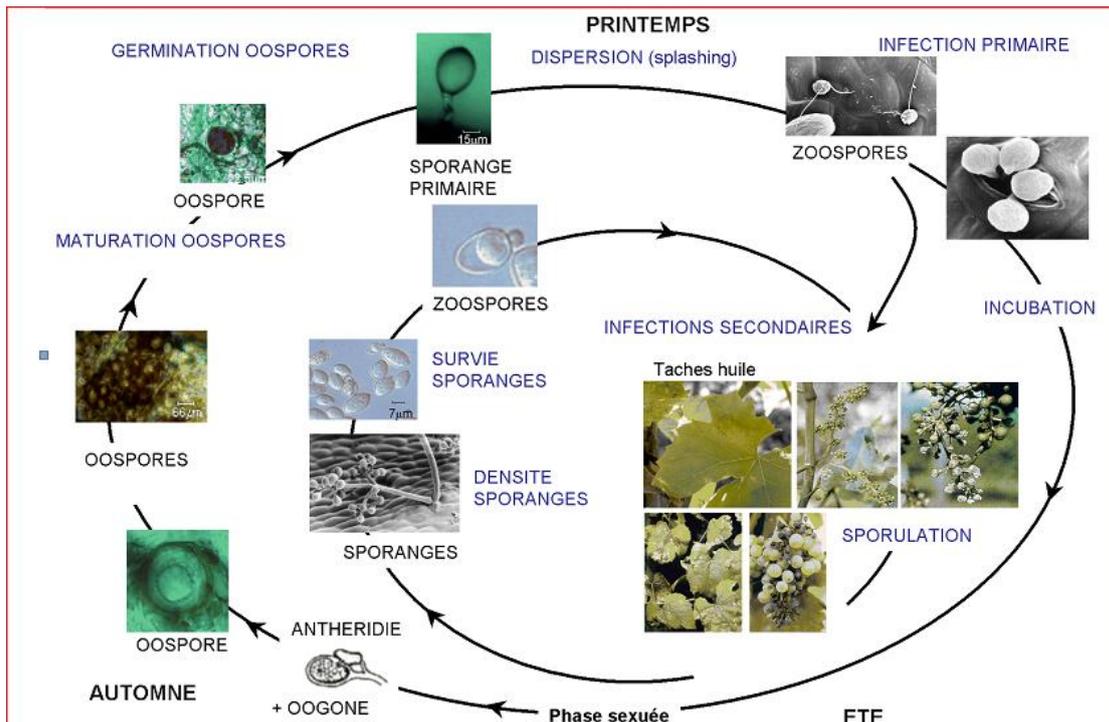
La contamination résulte de la germination d'une oospore qui donne naissance à un sporange. Celui-ci libère des zoospores, source de contamination primaire. Sur ces foyers, des fructifications asexuées se forment et seront source de contaminations secondaires. (Voir cycle).

Epidémiologie

Les conditions favorables à l'établissement de cette maladie sont des températures comprises entre 15 et 20 C. avec des précipitations d'au moins 10 mm. Les oospores sont transportées par les gouttes de pluie sur les feuilles et les organes verts et germent dans un film d'eau à leur surface.

Moyens de luttés

- Application de traitements chimiques préventifs.
- Il existe aussi des fongicides systémiques.



Cycle biologique du Mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola*) selon Agrios, 2005

II-2-3. Règne des Fungi = Mycota

II-2-3-1. Phylum : Chytridiomycota

II-2-3-1-1. Classe : Chytridiomycètes

Constituent un phylum avec une seule classe. Il s'agit d'organismes souvent aquatiques, mais ils se rencontrent également dans les sols. Ils sont saprophytes ou parasites ; leur thalle est formé de filaments ramifiés, mais peut se réduire à une structure unicellulaire. Ce sont les seuls champignons vrais qui produisent des spores mobiles : zoospores monoflagellées.

Il existe 2 genres réunissant des parasites de plantes et jouent un rôle de vecteurs de virus.

1)- Genre : *Olpidium*

Espèce : *Olpidium brassicae*

Parasite des racines de crucifères, légumières et graminées fourragères.

2)- Genre : *Synchytrium*

Espèce : *Synchytrium endobioticum* la gale noire ou la Gale verruqueuse de la pomme de terre.

II-2-3-2. Phylum : Zygomycota

Possèdent un mycélium coenocytique. **La reproduction asexuée** est caractérisée par l'absence de spores mobiles et la présence de sporangiospores qui sont réunies dans des sporanges globuleux ; peuvent être dispersées par le vent.

La reproduction sexuée se fait par isogametangie, Caractérisée par la production de **zygospores**.

Il comporte 2 classes dont l'une est celle des **Zygomycètes**

Trois ordres présentent un intérêt agronomique :

- **Les Mucorales** (saprophytes se développant sur des milieux riches en sucres)
- **Les Entomophthorales** (parasites d'insectes)
- **Les Glomales** (espèces mycorrhiziennes)

Ordre : Mucorale

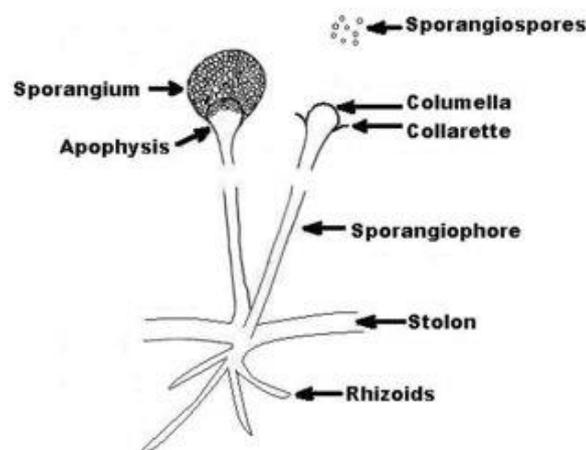
Espèces : Mucor sp.

Certaines espèces de Mucor sont utilisées pour la production de l'alcool de riz.

Espèces : Rhizopus nigricans = Rhizopus stolonifer

Agent de pourriture humide chez les fruits et légumes

La maladie se manifeste durant le stockage des produits agricoles, elle apparaît sous forme de feutrage léger qui produit de petites têtes globuleuses (sporangies) incolores puis devient noire. Le champignon secrète des enzymes pectinolytiques qui dégradent la lamelle moyenne de la paroi avant que le mycélium se développe entre les cellules et provoque des pourritures molles au niveau des zones infectées.



Dessin Schématique de *Rhizopus nigricans*

II-2-3-3. Phylum :Ascomycota

Possèdent un mycélium cloisonné, les hyphes sont à paroi chitineuse, comporte plus de 2000 genres et 15000 espèces. Caractérisé par la formation des **asques** qui contiennent des spores sexuées appelées **ascospores**.

1)-Reproduction asexuée : se fait par des arthrospores ou par des chlamydoconidies et par des conidies qui peuvent naître sur le mycélium même soit également sur des filaments mycéliens spécialisés = conidiophores ou indirectement sur ou dans des fructifications asexuées de divers types : acervule, pycnide, sporodochie, coremie.

2)-Reproduction sexuée : la production d'asque est précédée par la fusion du cytoplasme (plasmogamie) de l'anthéridie et de l'ascogone (caryogamie), suivie d'une très courte phase diploïde avant l'entrée en méiose qui conduit à la formation des ascospores au nombre de huit, dans un asque, formé au sein d'une fructification ascogène (ascocarpe).

3)- Classification des Ascomycota

Les Ascomycotina sont identifiés sur la base des caractéristiques des ascocarpes, des asques et des ascospores qu'ils les contiennent :

- absence ou présence de l'ascocarpe ;
- la forme et l'organisation de l'ascocarpe ;
- caractères morphologiques de l'asque.

Principaux taxons et caractéristiques des Ascomycota phytopathogènes (Lepoivre, 2003)

Taxons	Caractéristiques
• <u>Archiascomycètes</u>	- Asques non agrégés dans un ascocarpe.
Ordre : Saccharomycétales	- Asques nus, thalle unicellulaire (levuriformes).
Ordre : <u>Taphrinales</u>	- Asques nus sur les tissus de l'hôte
Ordre : Erysiphales (plectomyces)	- Asques agrégés, contenus dans un cléistothèce
• <u>Pyrénomycètes</u>	- Asques agrégés, contenus dans un périthèce
Ordre : Hypocreales	- périthèce de couleur vive
Ordre : Diaporthales	- périthèce de couleur foncée
Ordre : Ophiostomales	
Ordre : Phyllachorales	
• <u>Loculoascomycètes</u>	- Asques agrégés, contenus dans des

Cavités (locules) au sein d'un **stroma**

Ordre : **Dothidéales**

Ordre : **Pléosporales**

- **Discomycètes** - Asques agrégés dans une **apothécie**

Ordre : **Hélotiales**

Les principales maladies provoquées par les **Ascomycota**

II-2-3-3-1. Classe : **Archiascomycètes**

1)-Ordre : **Saccharomycétales**

Constituent les vrais levures, présentent un intérêt en industrie agro-alimentaire par leur pouvoir de fermentation.

Espèce : *Saccharomyces cerevisiae* Levure de bière et de boulangé

2)-Ordre : **Taphrinales**

Champignons dépourvus d'ascocarpe, dont les asques sont nus et disposés en une couche régulière en surface des organes parasités. Les asques sont cylindriques et renferment au départ 8 ascospores qui peuvent se multiplier par la suite par bourgeonnement. cet ordre comporte une seule famille *Taphrinaceae* avec un seul genre *Taphrina*.

Genre : *Taphrina*

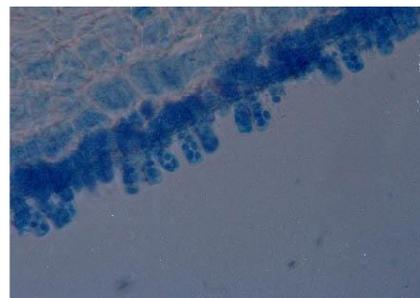
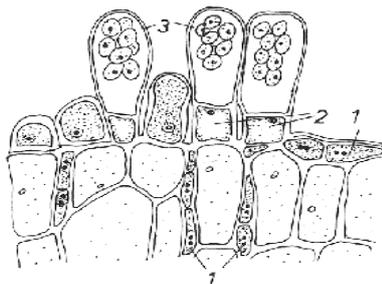
Compte plus de 100 espèces de parasites importants des cultures. se sont des parasites internes de l'appareil aérien et des fruits de plantes supérieures, provoquant des déformations résultant d'hyperplasies et d'hypertrophies cellulaires.

Espèce: *Taphrina pruni* provoque la maladie de pochette des fruits du Prunier.

Espèce: *Taphrina cerasi* agent de balais de sorcière des rameaux du cerisier.

Espèce: *Taphrina populina* agent de la cloque du peuplier.

Espèce: *Taphrina deformans* agent de la cloque du pêcher et de l'amandier



Cloque du pêcher: coupe à travers la face supérieure d'une feuille de pêcher cloquée:

1. Mycélium dicaryotique entre les cellules de l'hôte
2. Cellules basales, 3. Asques et ascospores.



Cloque du pêcher causé par

Taphrina deformans



Pochettes du prunier causées par

Taphrina pruni

3)- **Ordre : Erysiphales (plectomyctes)**

Comporte une seule famille **Erysiphaceae**, provoque des maladies dit **Oïdiums= blanc** qui affectent pratiquement toutes les espèces végétale (polyphages). Ce sont des parasites obligatoires qui se développent essentiellement sur les feuilles, les jeunes pousses, les boutons floraux et les fruits.

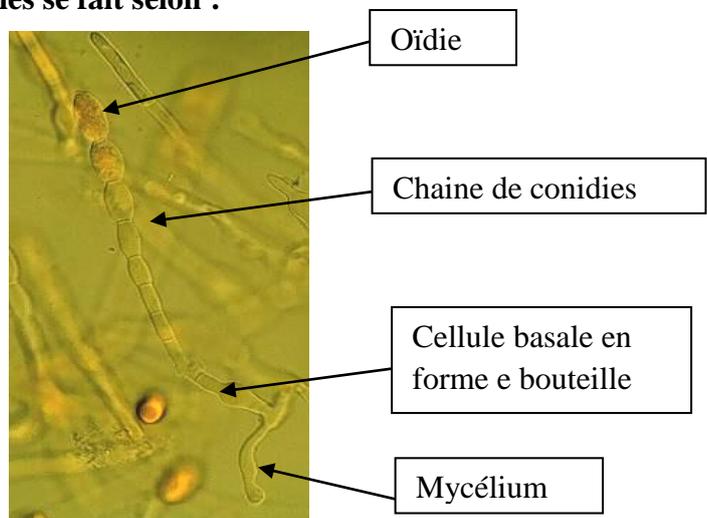
Les hyphes forment un feutrage blanchâtre et cotonneux à la surface de l'hôte et émettent des suçoirs dans les cellules épidermiques. Le mycélium est **ectophyte**.

Reproduction asexuée : se fait par des spores formées en chainettes au sommet de courts filaments dressés sur le mycélium. Les conidies se produit en abondance et sont disséminés par le vent.

Reproduction sexuée: se réalise par heterogamétangie (la fécondation d'un ascogone par une anthéridie), production d'ascospore (endospore, haploïde), au nombre de huit, prenant naissance dans un asque complètement fermé = **cleistothéce**.

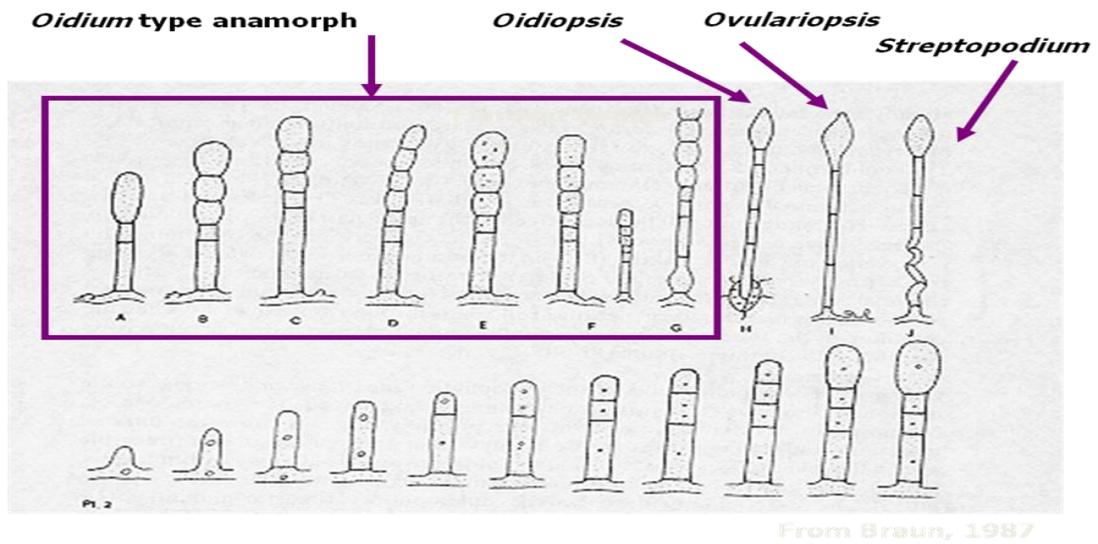
Les critères de différentiation des Erysiphales se fait selon :

- forme conidienne
- morphologie du cleistothéce
- nombre d'asque dans le cleistothéce



Selon la forme conidienne les principales sont :

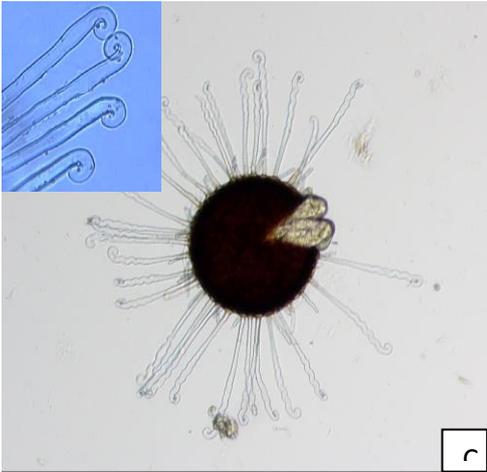
- 1)- oidium 2)- ovulariopsis 3)- oidiopsis



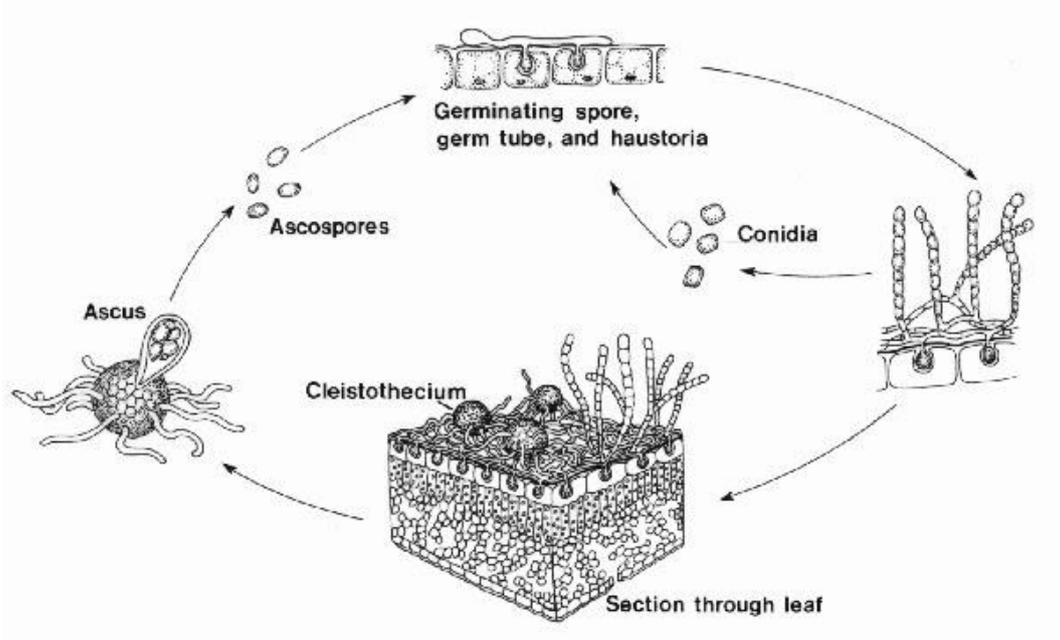
D'après, Braum ,1987

Les genres se différencient selon le nombre d'asque dans le cleistothéce et leur ornementation avec des fulcres de formes très variées.

Forme du cleistothéce	Un seul asque	Plusieurs asques	Forme conidienne
Simple, fluxieux	Sphaerotheca	Erysiphe Leviellula	Oïdium Oidiopsis
Ramifié, dichotomique	Podosphaera	Microsphaera	Oïdium
Courbé en crosse à l'extrémité		Uncinula	Oïdium
Raide en aiguille		Phyllactinia	Ovulariopsis



A- Podosphaera , B- Erysiphe C-Uncinula, D-Phyllactinia



Cycle biologique des oïdiums (Agrios, 2005).

Les principales espèces sont :

Sphaerotheca panosa : oïdium du rosier, pécher

Podosphaera leucotricha : oïdium du poirier

Erysiphe graminis : oïdium des céréales

Erysiphe polygoni : oïdium des légumineuses

Leviellula taurica : oïdium de l'artichaut et des Solanacées

Uncinula necator : oïdium de la vigne

II-2-3-3-2. Classe : Pyrénomycètes (Asques agrégés, contenus dans un périthèce).

Ordre : Hypocreales

Famille : Clavicipitaceae

Espèce : *Claviceps purpurea*

Claviceps purpurea peut parasiter diverses espèces de céréales et de graminées et le seigle est très sensible. Ce champignon cause une maladie qui attaque seulement les parties florales de la plante hôte. Les plantes touchées produisent des sclérotés (ergots) qui remplacent complètement le grain dans les épis. Les ergots tombent souvent sur le sol avant la récolte. Ils sont parfois récoltés et semés de nouveau avec les semences ou consommés directement par le bétail. Les ergots contiennent des substances toxiques, principalement des alcaloïdes, qui sont toxiques par ingestion pour l'homme et les animaux. Ils ont également une valeur médicale. Le grain des céréales doit respecter les normes sanitaires officielles relatives aux contaminations par l'ergot.

Lorsque les ergots tombent sur le sol, ils restent dans cet état jusqu'à l'année suivante. Ils sont alors susceptibles de germer, au moment de la floraison, s'ils sont à la surface du sol ou à proximité et le champignon produit alors de nombreux périthèces et ascospores. La dissémination des ascospores vers les fleurs adjacentes se fait par les insectes, les éclaboussures ou le vent.



Ergot à la place de la graine

II-2-3-3-3. Classe : Loculoascomycètes

Asques agrégés, contenus dans des Cavités au sein d'un **stroma**

1)- Ordre : Dothidéales

Genre : Mycosphaerella

Espèce : *Mycosphaerella graminicola* = Septoriose

Septoria tritici est le stade asexué

Espèce : *Mycosphaerella pinodes*

Ascochyta pinodes est le stade asexué

Provoque la maladie de l'Anthracnose chez le Pois

Espèce : *Mycosphaerella populicola* =Tache des feuilles à *Mycosphaerella populicola* (Leafspot).

Septoria populicola est le stade asexué (anamorphe).

Formation de taches circulaires noires sur les deux côtés des feuilles.

2)- Ordre : Pléosporales

Genre : Venturia

Espèce : *Venturia pirina* provoque la maladie de la Tavelure du poirier.

Espèce : *Venturia inaequalis* provoque la maladie de la Tavelure du Pommier

II-2-3-3-4. Classe : Discomycètes

Asques agrégés dans une apothécie.

Ordre :Hélotiales

Famille : Sclerotiniaceae

Genre : Sclerotinia

Certaines des espèces du genre sont à l'origine de la pourriture blanche. Le *Sclerotinia* est un champignon se conservant plusieurs années dans le sol sous forme de **sclérotés**. Il est particulièrement virulent sur salades, mais il est également inféodé à de nombreuses autres espèces maraîchères. Il est favorisé par de nombreux facteurs : salinité et teneur élevée en azote du sol, cultures intensives et rotations limitées, stress climatiques (périodes de gel, notamment à la reprise : jeunes plants non endurcis), irrigations excessives.

Espèces : *Sclerotinia sclerotiorum* y: provoque la maladie de la pourriture blanche du colza

Espèces : *Sclerotinia fluckeliana* le stade asexué est *Botrytis cinerea*

Espèces : *Sclerotinia laxa* le stade asexué est *Monilia laxa*

II-2-3-3-1.Principales maladies provoqués par les Ascomycètes

❖ Oïdium de la vigne : *Uncinula necator*

Toujours présent lorsque les conditions de température sont favorables et qu'il n'y a pas de pluie.

Identification : Oïdium est visible à l'œil nu sous forme d'un feutrage blanc-grisâtre pulvérulent, pouvant couvrir l'intégralité des feuilles, des jeunes pousses et des grappes. Le champignon ne peut être cultivé sur milieu artificiel (Oïdium parasite obligatoire).

Description : Des taches brunes couvertes d'un feutrage blanc-grisâtre peuvent causer des déformations des plus jeunes pousses et des taches jaune-brunâtre à aspect fibreux sur les plus précoces.

La face inférieure des feuilles présentent des taches brun clair sur les nervures provoquant des déformations en forme de vague et un aspect craquelé. Présence de feutrage sur les deux faces foliaires Ainsi que sur les baies. Conduit à la mort et chute de fleurs et de jeunes baies, éclatement des plus mûres (la sensibilité des baies décroît lorsque le taux de sucres atteint 12 à 15 p. cent).

Biologie : Le champignon se conserve l'hiver sous forme de cléistothèces ainsi que sous forme de mycélium dormant dans les écailles de bourgeons. Les contaminations ont lieu à partir de ce mycélium mais aussi des ascospores formées dans les cléistothèces. Il en résulte un mycélium aérien pénétrant les cellules épidermiques de l'hôte à l'aide de suçoirs. Des conidies sont formées extérieurement et sont à l'origine des contaminations secondaires. En automne, les cléistothèces se forment sur le mycélium qui couvre les feuilles et les extrémités immatures des pousses.

Epidémiologie : La gamme optimale de températures favorisant l'installation de ce parasite se situe entre 25 et 28°C. Cette installation se réalise après l'éclatement des bourgeons et en absence d'eau. Les ascospores sont disséminées sur de faibles distances (la zone de dissémination est limitée). Les conidies sont transportées par le vent et germent sur les tissus verts et sains en absence d'un film d'eau (pluies ou condensations).

Traitement : Traiter préventivement et curativement selon les indications des Services d'Alertes locaux.

❖ La septoriose des céréales

Espèce : *Mycosphaerella graminicola*

Septoria tritici est le stade asexué

Description : A tous les stades de développement, on peut distinguer sur les feuilles des lésions de couleur vert clair au début, jaunâtre à brun-rouge par la suite,. Elles sont limitées par les nervures et s'élargissent rapidement en longues taches marron clair d'environ 1 cm. Les lésions sont souvent mouchetées, par la formation de nombreuses pycnides de couleur sombre. Celles-ci sont disposées en rang le long des nervures. Le tissu foliaire jaunit et dépérit en commençant par l'extrémité du limbe.

Une attaque de l'épi est rare, mais l'ampleur des dégâts sur feuilles peut provoquer une perte allant jusqu'à 20% de la récolte.

Biologie : La conservation du champignon a lieu dans les résidus de cultures restés sur la surface du sol. Sous l'action de la lumière du jour, le champignon pénètre dans le tissu foliaire par les stomates.. Les pycnides de couleur allant du jaune au marron foncé, sont profondément installées dans les tissus attaqués et contiennent les pycnidiospores. La dissémination des spores sur les populations a lieu, comme pour *Septoria nodorum* , par l'intermédiaire des pluies.

Epidémiologie : Un taux élevé d'humidité relative est continuellement nécessaire pour provoquer la sporulation du champignon. La quantité d'inoculum sur les débris végétaux contribue à l'importance de l'attaque de la culture suivante. Pour réaliser la contamination, une durée minimale d'humidité de 15 heures sur les feuilles et une température supérieure à 12 C. sont nécessaires. Pour la formation de pycniospores, leur sortie des pycnides, la dissémination, le développement de l'infection et l'extension des lésions.

Moyens de luttés

- Enfouir les restes de chaumes.
- Supprimer les repousses de Céréales surtout entre deux cultures.
- Utiliser des semences saines de variétés tolérantes.
- Pratiquer une bonne rotation des cultures.
- Fertiliser correctement les sols.
- Renoncer aux réducteurs de chaumes.
- Traiter avec des fongicides appropriés.

❖ Maladie de la Tavelure du Pommier

Espèce : *Venturia inaequalis*

Description : Dès leur apparition au printemps, les feuilles sont maculées de taches arrondies, légèrement décolorées, vert olivâtre, qui deviennent rapidement brun olivâtre et souvent se rejoignent. Elles sont nombreuses, surtout à la face supérieure. Les parties atteintes peuvent se dessécher.

Les fruits présentent des taches brun olivâtre provoquant un arrêt de croissance de l'épiderme qui peut se crevasser. Ils peuvent aussi être déformés et ne plus grossir, devenant non commercialisables. Les rameaux portent de petites pustules arrondies autour desquelles l'écorce est soulevée et se détache en écailles, abritant des coussinets conidifères brun olivâtre.

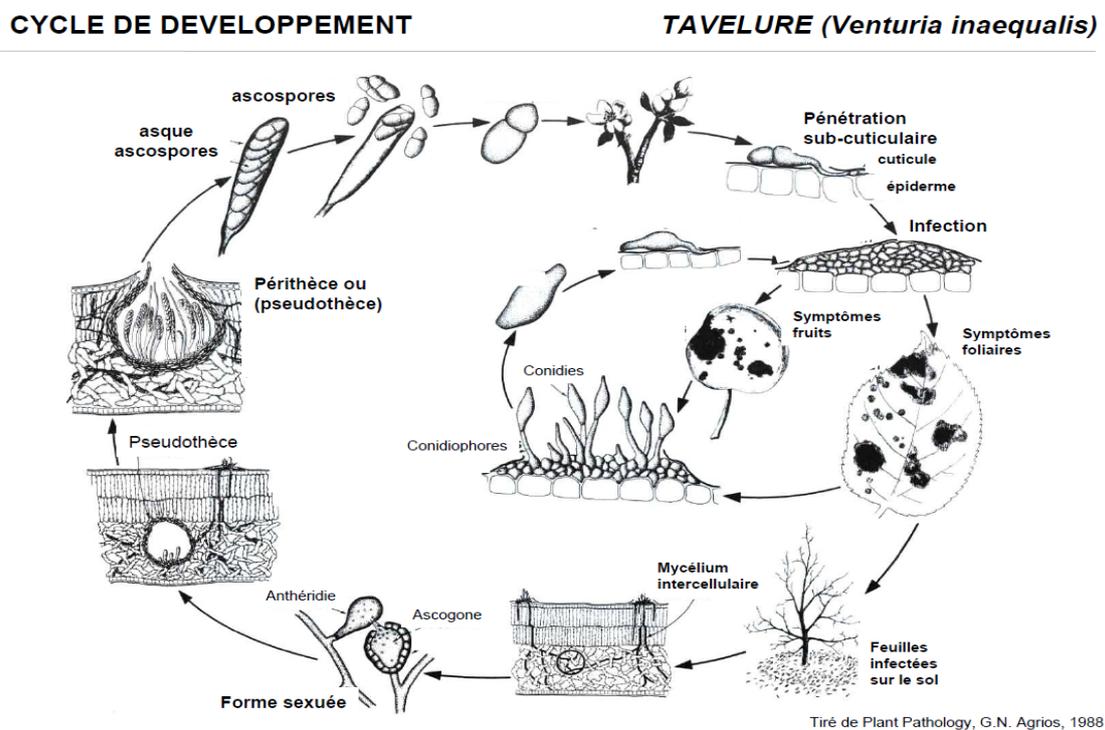
Biologie : Le champignon se conserve en hiver sous forme de périthèces dans les feuilles mortes ou dans le bois des plantes infectées. Au printemps, les périthèces sont mûrs et les ascospores sont disséminées dans des éclaboussures de pluies sur les organes verts de l'arbre. Les premiers coussinets

conidifères (taches vert olivâtre) apparaissent 20 jours plus tard constituant les premiers foyers disponibles pour de nouvelles contaminations. (Contamination secondaire).

Epidémiologie : Les ascospores ont besoin d'eau liquide pour germer. Les pluies permettent la dissémination des deux types de spores. Une pluie n'est contaminatrice que si elle est associée à une température favorable comprise entre 7 et 25 C.

Moyens de luttés

- Réduire le réservoir d'inoculum par un travail du sol permettant une meilleure destruction des feuilles.
- Désinfection des arbres par des fongicides à base de cuivre.



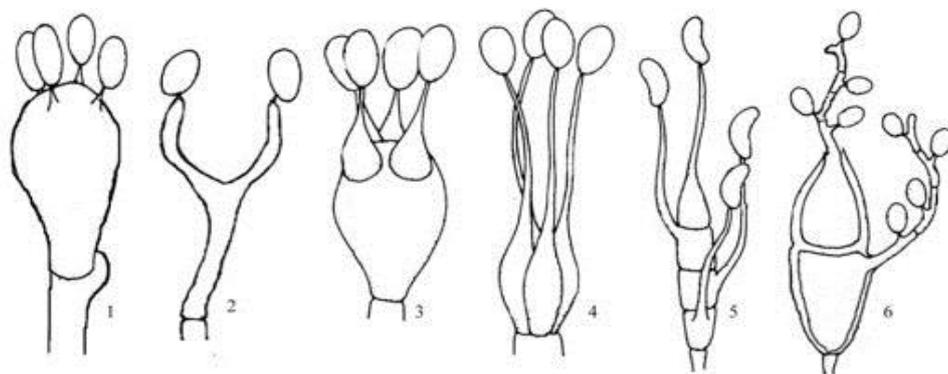
II-2-3-4. Phylum : Basidiomycota

Les basidiomycota sont caractérisés par la production par la production de spores monocaryotiques haploïdes appelées basidiospores, à l'extérieur de sponocystes appelés basides. Lors de la reproduction sexuée la reproduction de basidiospores donnent des spermaties et / ou des filaments monocaryotiques et haploïdes (haplophase) qui s'il sont compatibles peuvent fusionner leur cytoplasme (plasmogamie) en formant des dicaryons (Dicaryophase). Lors des différenciations des basides. Les deux noyaux haploïdes des dicaryons fusionnent (caryogamies). La phase diploïde est très courte, le noyau diplôïde 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 *Basidiomycota*.

Le tableau ci-dessous présente la classification des *Basidiomycota* qui contiennent trois classes : Les Urédinomyètes , les Ustilaginomyètes et les Hyménomycètes

Classification générale des principaux taxons au sein des *Basidiomycota*.

Caractéristiques	Taxons
<ul style="list-style-type: none"> Absence de basidiocarpe, basides cloisonnées issues des télisporés Basidiospores portées par des stérigmates 	Classe des Urédinomyètes (ou Télíomyètes) Ordre des Urédinales
<ul style="list-style-type: none"> Absence de basidiocarpe, basides (cloisonnées ou non) issues des télisporés ou (ustilosporés) Basides non cloisonnées Basides cloisonnées (basidiospores sessiles) 	Classe des Ustilaginomyètes Ordre des Exobasidiales Ordre des Ustilaginales
<ul style="list-style-type: none"> Présence de basidiocarpe, basides cloisonnées (absence de stade télisporé). Carpophore en forme de chapeau porté par un pied. Carpophore à croissance non limitée 	Classe des hyménomycètes (basidiomyètes vrais) Ordre des Agaricales Ordre des Aphylliphorales



Différents types de basides

II-2-3-4-1. Classe : Urédinomycetes

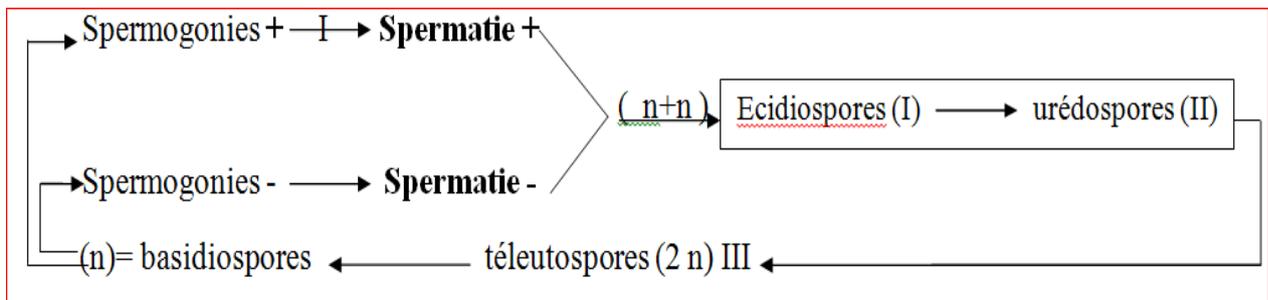
1) Ordre : Urédinales

Les Urédinales sont des parasites responsables des rouilles qui affectent un grand nombre de plantes cultivées, très graves provoquant des maladies épidémiques dévastatrices. Les agents en cause attaquent principalement les feuilles et les tiges où ils produisent des pustules (sores) qui déchirent l'épiderme à maturité. Ce sont des parasites obligatoires dont le mycélium est endophyte intercellulaire, enfonçant des suçoirs dans les cellules de l'hôte.

Cycle des Urédinales

Les rouilles ont généralement un cycle biologique complexe, comportant dans sa forme la plus complète 5 stades sporogènes différents, alternant sur 2 hôtes distincts (**rouilles dioïques**).

Il existe des rouilles qui accomplissent l'entièreté de leur cycle sur un même hôte (**rouilles autoïques**) et chez lesquelles certains stades sporogènes n'existent pas.



Ecidiospores : (n+n) unicellulaires, disposées en chaînes : **Stade I**. dissémination à petites distance.

Spermaties : (ecidiospores) (n) : contenues dans de petites conceptacles provenant de la croissance des basidiospores : stade I ou 0.

Urédospores (n+n) unicellulaires, spores légères, disséminées à de tres grandes distances par le vent. Stade II.

Téléutospores : (2n) uni ou pluricellulaires, pédicellées ou non, disséminées à de petite distance. Stade III.

Biologie particulière de la rouille

1- **cycle complexe** : passant par 3 stades

Déroulement du cycle sur un ou plusieurs hôtes :

1 seul hôte = rouille autoïque exp. *Uromyces fabae* sur fève

Plusieurs hôtes= heteroïque exp. *Puccinia graminis*

Stade I sur Berbérís et stade II et III sur blé. Le changement d'hôte se fait toujours après le stade I (établissement de la dicariophase).

2- **Cycle incomplet** : dans le quel manque un ou deux stades.

- Cycle complet : (rouilles macrocycliques) Stade I - II - III

- Cycle incomplet : (rouilles micro cycliques) Stade I- II, I- III

Stade II- III, I, II, III

Classification des Urédinales

Se fait selon la morphologie des téléospores :

- téléospores pédicellées : *Pucciniacaes* (*Puccinia*, *Uromyces*, *phragmidium*)

- téléospores sessiles : *melampsoracaes*.

- téléospores formées dans une fructification : *Endophyllacaes*.

1)-Le mycélium dicaryotique produit les écidies (dicaryons) qui infecteront le blé.

2)- Un mycélium haploïde infecte l'hôte écidien chez lequel se forment des spermogonies contenant les et des hyphes réceptives. Les spermaties réalisent, avec les hyphes réceptifs, une plasmogamie.

3)- La téliospore (ou probaside) germe pour donner la baside qui donnera à son tour les basidiospores qui infecteront l'hôte 1 (*Berberis*).

4)- Sur le blé se forment les qui contamineront à nouveau le blé. Lorsque la végétation arrive à son terme, des téliospores résistantes à l'hiver se forment dans les mêmes pustules.

II-2-3-4-2. Classe : Ustilaginomycetes

Ordre : Ustilaginales

Les ustilaginales regroupent un ensemble de champignons provoquant des maladies des céréales connues sous le nom de charbon ou caries avec production de masses caractéristique de téliospores noires dans les organes floraux.

Genre : *Ustilago*

Espèce : *Ustilago nuda* le charbon nu de l'orge

Espèce : *Ustilago segetum* var. *tritici*

Espèce : *Ustilago hordei* la maladie du charbon couvert de l'Orge.

2)- *Tilletia*

Provoque les maladies des caries des graines des graminées

Espèce : *Tilletia caries* (ou *T. tritici*) la carie du blé

Espèce : *Tilletia foetida* (ou *T. laevis*) espèce de la zone méditerranéenne

II-2-3-4-1. Principales maladies provoquées par les Basidiomycètes

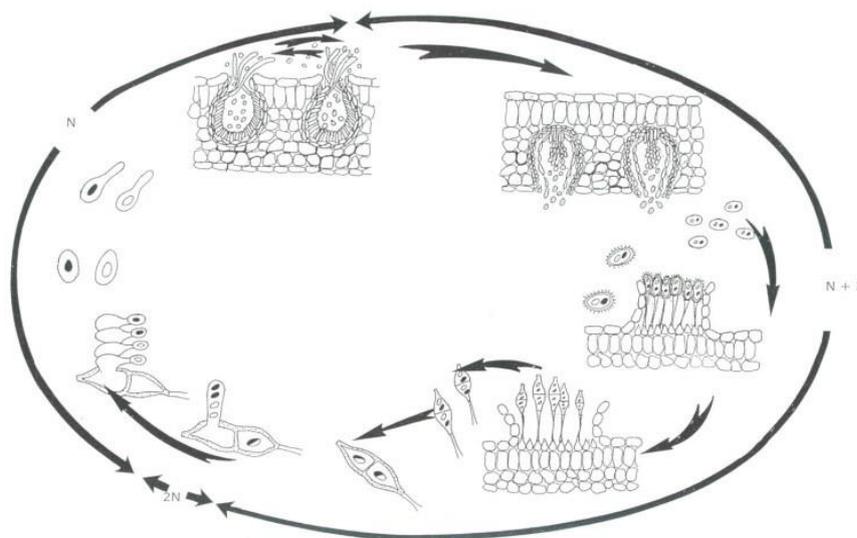
❖ Maladie de la rouille noire des céréales.

Agent pathogène : *Puccinia graminis*

Description : Sur feuilles, tiges et gaines, pustules allongées, linéaires brunes ou noires, pulvérulentes, bordées par l'épiderme éclaté. Elles sont disposées en stries parallèles aux nervures principalement sur gaine. Les glumes peuvent également porter des pustules. Les attaques tardives (début de l'été) limitent les dégâts. On observe des échaudages et chute de rendement.

Biologie : La conservation du champignon sur les pailles à l'automne : des pustules très allongées noires font éclater l'épiderme des tiges et libèrent des téléutospores. Au printemps ces téléutospores germent pour donner des basidiospores. Les basidiospores ne germent que sur l'Épine-vinette. A la face inférieure des feuilles de l'Épine-vinette apparaissent des pustules jaunes : les écidies qui libèrent les écidiospores. Les écidiospores contaminent les feuilles de céréales et sont à l'origine de la formation des urédospores. En conditions favorables, de nombreuses générations d'urédospores se succèdent. Juste avant la récolte les téléutospores apparaissent à la place des urédospores.

Epidémiologie : Les basidiospores, les écidiospores, les urédospores sont disséminées par le vent. Dans les régions à hivers doux, l'hôte écidien n'est pas obligatoire. Le champignon se reproduit alors continuellement par des urédospores. (Voir cycle).



Le cycle des rouilles dioïques (*Puccinia graminis*, la rouille noire des céréales).

Moyens de lutttes

Utiliser des variétés résistantes à la race la plus dangereuse de la région considérée.



Symptôme sur feuille



Teleutospores

❖ Maladie du Charbon nu du Blé et de l'Orge

Espèce : *Ustilago nuda*

Espèce : *Ustilago segetum* var. *tritici*

Charbon du Blé et de l'Orge : présent dans le monde entier. Cependant il se trouve surtout sous les climats humides et tempérés. L'attaque de la semence peut être démontrée (en laboratoire spécialisé) par la coloration du mycélium dans l'embryon.

Les plantules attaquées sont entièrement transformées en une masse noire, poudreuse constituant de téléutospores, ils germent sur le stigmate des fleurs (infection florale).

Description : Les plantules attaquées ont une croissance affectée, le taux de levée est réduit, le système racinaire est moins développé, le manque de résistance face au froid est accru. Le tallage est en retard, les plantes attaquées n'atteignent pas la taille normale, la longueur du rachis est réduite. La plupart du temps, la taille du grain provenant de semences attaquées est petite. Toutes les pièces florales, y compris les glumes, deviennent brun-noirâtre. Au début, elles sont recouvertes d'une enveloppe gris-blanchâtre. Celle-ci se déchire ensuite et libère une masse de téléutospore (spores foncées). Après la dispersion des spores, les rachis apparaissent dépouillés, légèrement noircis. Ceux-ci restent dans une position verticale rigide et dépassent, à leur maturité, les épis sains inclinés. L'attaque peut apparaître avant l'épiaison sous forme d'une coloration jaune de la feuille supérieure. Les pertes de récolte sont estimées à 2 % mais peuvent atteindre, dans des cas isolés, 20 à 50 %.

Biologie

Sur les épis attaqués, se forment un grand nombre de spores sphériques brunâtres couvertes de chlamydospores. Pendant la période de floraison, les chlamydospores sont libérées par les mouvements de l'air et atteignent les épis. Normalement, seules les spores du charbon qui atteignent les fleurs ouvertes parviennent à se développer. Elles germent et un mycélium ramifié et infectieux se développe. Les hyphes colonisent le péricarpe de l'ovaire et les différentes parties de l'embryon. Ce processus dure de 18 à 33 jours. Quand le grain mûrit, le mycélium intracellulaire entre dans un stade de repos. Il peut se conserver plusieurs années dans le grain. Avec la germination du grain, l'agent pathogène est activé. Il progresse dans des ramifications latérales et dans l'ébauche de l'épi, pendant

l'élongation. Dans l'ébauche florale, se forment des hyphes fortement ramifiées et grossies, qui deviennent les spores du charbon.

Epidémiologie : La température optimale pour la germination des spores se situe entre 18 et 20 C. pour l'Orge, et 20 à 26 C. pour le Blé. La température minimale de germination de spores est de 5 C pour les deux cultures et le maximum de 30 C. pour l'orge et 35-37 C. pour le blé.

Un temps humide pendant la floraison augmente le risque de contamination. Le moment le plus propice à la contamination se situe entre le 2ème et le 5ème jour de la floraison.

Plus le foyer de l'épidémie est proche, plus le risque de contamination est élevé : dans le sens du vent, elle se propage jusqu'à 150 m, dans le sens contraire jusqu'à 60 m. L'inoculum peut subsister dans un champ pendant 3 à 4 semaines; l'émission des spores dure de 10 à 12 jours et correspond, en règle générale, à la période de floraison.

Moyens de lutttes

- Cultiver des variétés résistantes.
- Utiliser des semences saines.
- Pratiquer des semis tardifs en automne ou précoces au printemps, pour décaler le stade de floraison
- Traiter à l'aide de fongicides systémiques.
- trempage des semences dans de l'eau chaude.

❖ La carie du Blé

Espèce : *Tilletia caries* (ou *T. tritici*)

Espèce : *Tilletia foetida* (ou *T. laevis*) espèce de la zone méditerranéenne

Symptômes des épis : Au début les glumes restent plaquées sur le rachis et l'épi paraît plus plat. Progressivement les glumes se redressent et s'écartent pour donner un aspect ébouriffé. Les épis atteints sont souvent plus courts que les sains. La coloration verte devient plus prononcée à la base des glumes et sur le rachis

La forme des grains : Tout au long de leur croissance, les grains vont s'arrondir et devenir plus globuleux que les grains sains. En fait, l'intérieur des grains est remplacé par la poudre des spores et ils deviennent très fragiles et très friables à la récolte. Une simple pression les écrase et libère les spores au vent qui vont contaminer les autres grains

La taille des grains : Arrondis et globuleux, ils sont en général plus épais et plus courts. La couleur des grains prennent progressivement une teinte olivâtre puis évoluent vers une couleur plus sombre et L'odeur des grains sont bourrés de spores qui produisent des substances volatiles : les triméthylamines qui ont une odeur prononcée de poisson avarié. En fonction de l'humidité ambiante et la durée de

conservation des grains. Développement et conservation se fait par les semences et par le sol. Le parasite systémique (interne) croît en suivant l'épi, la maladie est invisible.

Après épiaison, invasion des grains : Peu après la floraison, le mycélium envahi le futur grain et y produit ses spores (téliosporés) à la place du germe et de l'amande. Seuls restent les enveloppes du grain jusqu'à la récolte. Les grains cariés éclatent et sont détruits à la récolte. Une partie des spores seront retenues par les grains sains (boutés) et ils seront conservés au sec jusqu'au semis. Une partie des spores tombera au sol et polluera la couche superficielle.

Les facteurs climatiques favorables:

- T. caries : optimum 11°C (de 2° à 29°), T. foetida : optimum 15° à 20°C
- Les facteurs agronomiques :
- Les dates de semis précoces sont défavorables à la carie à T. caries :
- Travail du sol : Un sol contaminé peut rester infectieux près de 10 ans.



Le charbon nu de l'orge



Le charbon couvert de l'orge



la carie du blé

II-2-3-5.Pseudo division :Deuteromycota

Chez beaucoup d'Ascomycetes et parfois quelques Basidiomycetes, l'évolution a réduit l'importance du stade sexué qui est devenu rare ou inexistant. L'absence de ce stade peut dépendre des conditions du milieu (substrat nutritif) ou des facteurs génétiques aboutissant à l'avortement des périthèces. Ces champignons ont une très grande importance économique en raison de leur nombre (15000 à 20000 espèces) et de leur diversité.

Les Deutéromycètes = champignons imparfait sont caractérisés par un mycélium septé et par l'absence de reproduction sexuée connue pour un certain nombre d'entre eux. La reproduction asexuée se fait par production de conidies.

Les Deutéromycètes ou Fungi imperfecti sont aujourd'hui considérés comme un ensemble artificiel regroupant les formes asexuées des Dicyariomycota, et ne constituent pas un ensemble phylogénétique.

La subdivision des Deutéromycotina (ou des Deuteromycota) a donc été supprimée de la classification des champignons. Bien qu'artificiel, ce groupe continue souvent à être étudié.

Critères de classification

Il existe plusieurs classifications des Deutéromycètes, toutes sont basées sur l'étude de la production des spores asexuées.

La plus ancienne classification fut développée par l'italien Pier Andrea Saccardo (1845-1920). Sa classification, donnée en 1884 est basée sur le mode de groupement des appareils sporifères. Elle est très souvent reprise dans les classifications plus récentes.

La classification des deutéromycètes se fait d'après la morphologie du champignon

- le mode de groupement des conidiophores, couleur, forme et cloisonnement des conidies produites.
- Regroupement des espèces produisant leurs conidies selon des mécanismes différents. classification dit de Saccardo, 1886.

Actuellement la classification est basée sur l'ontogenèse conidienne, rapport entre conidie et cellule mère, l'évolution de la conidie et du conidiophore

Les deutéromycètes réunissent également des espèces qui ne produisent pas de conidies vraies (mycélium stérile) et se développant par multiplication végétative du thalle (**Agonomycètes**).

Classification des principaux groupes appartenant aux deutéromycètes (système de Saccardo, 1886).

Caractéristiques	Taxons
<p>• Conidiophores libres sur les tissus de l'hôte.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conidiophores isolés - Conidiophores réunis au sein d'une corémie - Conidiophores réunis au sein d'un sporodochium 	<p>Classe : Hyphomycètes Ordre : Moniliales</p> <p>Famille : <i>Moniliaceae</i> <i>Dematiaceae</i> <i>Stilbaceae</i> <i>Tuberculariaceae</i></p>
<p>• Conidiophores groupés dans un conidiome</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conidiophores produits au sein d'une pycnide - Conidiophores produits au sein d'une acervule 	<p>Classe : Coelomycètes</p> <p>Ordre : Sphaeropsidales Ordre : Mélanconiales</p>
<p>• Mycélium stérile</p>	<p>Classe : Agonomycètes</p>

Principaux genres chez les Deutéromycètes

Forme et/ou nombre de cellule(s) par conidie	Moniliales (conidiophores libres)		Mélanconiale (acervules)		Sphaeropsidales (pycnides)	
	Conidies hyalines	Conidies foncées	Conidies hyalines	Conidies foncées	Conidies hyalines	Conidies foncées
Uni cellulaire	<i>Aspergillus</i> <i>Botrytis</i> <i>Fusarium</i> <i>Monilia</i> <i>Oidium</i> <i>Penicillium</i> <i>Trichoderma</i> <i>Verticillium</i>	<i>Chalara</i> <i>Spilocaea</i> <i>Thielaviopsis</i>	<i>Colletotrichum</i> <i>Gloeosporium</i> <i>Sphaceloma</i>	<i>Melanconium</i>	<i>Cytospora</i> <i>Dothichiza</i> <i>Fusicoccum</i> <i>Phoma</i> <i>Phyllosticta</i> <i>Phomopsis</i>	<i>Coniothyrium</i> <i>Sphaeropsis</i>
Bi cellulaire	<i>Rhynchosporium</i> <i>Phaeisariopsis</i>	<i>Cladosporium</i> <i>Spilocea</i>	<i>Marssonina</i>		<i>Ascochyta</i>	<i>Diplodia</i>
Pluricellulaire	<i>Pyricularia</i> <i>Ramularia</i> <i>Fusarium</i>	<i>Dreschlera</i> <i>Curvalaria</i>		<i>Coryneum</i>		
Pluricellulaire filiforme	<i>Cercospora</i>	<i>Cercospora</i>	<i>Cylindrosporium</i>		<i>Septoria</i>	
Pluricellulaire muriforme		<i>Alternaria</i> <i>Stemphyllium</i>				

II-2-3-5-1. Classe : Agonomycètes

Ordre : *Mycelia sterilia* ou *Agonomycetales* : mycélium stérile.

Famille : *Agonomycetaceae*

Ils présentent des cellules ou des organes de résistance solides : chlamydo-spores, sclérotés.

Exemples : *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*

II-2-3-5-2. Classe : Hyphomycètes

Ordre : *Moniliales*

Conidies produites directement sur le mycélium ou sur des conidiophores dispersés ou regroupés.

Famille : *Dematiaceae*

Conidiophores de couleur sombre dispersés sur le substrat.

Exemples : *Alternaria* (*A. Solani*, *A. brassicicola*, ...), *Cladosporium* (*C. herbarum*, ...).

Famille : Moniliaceae (ou Mucedinaceae)

Conidiophores de couleur claire dispersés sur le substrat.

Exemples : *Penicillium*, *Aspergillus*, *Botrytis*

Famille : Tuberculariaceae

Les conidiophores groupés sur un stroma globuleux (**sporodochie**) souvent peu développé en culture.

Exemples : *Fusarium*, *Epicoccum*

II-2-3-5-3. Classe : Coelomycètes

Ordre : Melanconiales

Les conidies produites par des conidiophores groupés sur un stroma mince, inclus dans les tissus de l'hôte (**acervule**).

Famille : Melanconiaceae

Les Mélanconiales donnent des anthracoses. Sur les plantes infectées, les acervules sont limitées par la cuticule et l'épiderme. En boîte de Pétri les acervules n'existent pas mais on peut observer des groupements de conidiophores proches des sporodochies des Hyphales.

Exemples : *Colletotrichum* sp.,

Ordre : Sphaeropsidales

Conidies produite dans une structure bien différenciée la **pycnide**.

Famille: Sphaeroidaceae

Conidiophores groupés dans une pycnide de couleur sombre.

Exemples: *Phyllosticta*, *Phoma*, *Ascochyta*, *Septoria*, *Sphaeropsis*, *Phomopsis*

II-2-3-5-4. Principales maladies provoquées par les deutéromycètes :

1)- Les agents responsables d'attaques sur fruits :

La conservation prolongée des fruits avant leur consommation pose des problèmes phytosanitaires nombreux et spécifiques. Parmi les champignons de post-récolte, on distingue les parasites de blessures *Botrytis cinerea* et *Penicillium* sp. les contamination des fruits par les parasites de blessures peuvent se produire aux vergers, mais proviennent majoritairement d'un inoculum présent dans les locaux et sur le matériel de stockage et dans les salles de conditionnement.

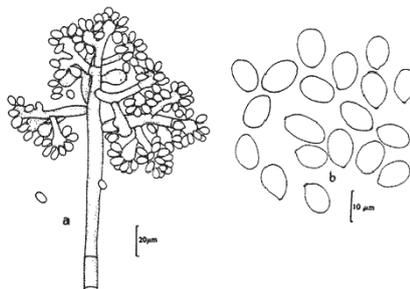
Les parasites latents comme les *Alternaria* sp., les contaminations des fruits se produit au vergés avant la cueillette par des conidies qui proviennent de tissus infectieux sur les arbres fruitiers eux-mêmes(chancres et nécroses sur les rameaux).

Botrytis cinerea est un champignon phytopathogène responsable de la pourriture grise, une maladie cryptogamique qui sévit sur plusieurs cultures d'intérêt agronomique majeur comme la vigne, le tournesol ou la tomate.

Le nom *Botrytis cinerea* désigne la forme asexuée (deutéromycète) du champignon. La forme sexuée (Ascomycète) peut être obtenue en conditions contrôlées en laboratoire mais n'a été que très rarement observée dans la nature : *Botryotinia fuckeliana*.

Les pertes provoquées par ce champignon correspondent à 20 % des récoltes mondiales des cultures concernées et leur coût est estimé à 10-100 milliards d'euros par an. C'est l'un des rares champignons polyphages à avoir plus de 225 plantes hôtes essentiellement dicotylédones, et qui ne présente donc pas a priori de spécificité d'hôte. Bien que la pourriture grise s'attaque préférentiellement aux fruits, tous les organes de la plante y sont potentiellement sensibles, et les symptômes sont variés : flétrissement des fleurs, taches foliaires, pourriture des racines, des tiges, ou des fruits.

B. cinerea est capable de coloniser les végétaux sains (parasitisme), les tissus déjà infectés (opportuniste), ou les tissus morts (saprophytisme). Ce champignon possède donc un caractère polyvalent pour l'hôte, le type d'organe infecté et le type de symptôme. La complexité des processus de pathogénie mis en œuvre chez *B. cinerea* est telle qu'elle recouvre pratiquement toute la palette des événements infectieux décrits chez les champignons parasites de plantes. L'utilisation de fongicides demeure le meilleur moyen de lutte contre ce champignon, mais toutes les molécules utilisées pour lutter contre *B. cinerea* ont malheureusement été contournées par l'apparition de souches résistantes au champ.



Aspect microscopique de *Botrytis cinerea*



Fructification de *B. cinerea* sur un sarment et grappe de vigne

2)- Les agents responsables d'attaques sur feuilles

Les champignons attaquant le feuillage des plantes par des conidies produit sur des conidiophores libres comme les genres (*Cercospora*, *Cladosporium*, *Helminthosporium*) dans des acervules (*Colletotrichum*) ou dans des pycnides (*Ascochyta*, *Septoria*).des générations de conidies successives se forment sur les lésions et sont dispersées par le vent, l' eau, les insectes, les outils. Lorsque le parasite est transmis par la graine (*Ascochyta pisi*, *Ascochyta rabiei* , *Ascochyta fabae* , *Ascochyta phaseoli*), des fontes de semis peuvent être observées.

Noms communs : Anthracnose, Ascochytose

Taxonomie : *Ascochyta sp* appartient à la subdivision des *Deuteromycotina*, à la classe *Coelomycetes*, à l'ordre des *Sphaeropsidales* et à la famille des *Spheropsidaceae* (Agrios ,2005).

Symptômes

C'est surtout la présence de taches foliaires qui caractérise cette maladie. Les macules foliaires, de taille variable, sont brun clair, circulaires, bordées d'un liseré brun avec présence au centre de petites ponctuations (pycnides) souvent disposées en cercles concentriques. Les taches peuvent s'agrandir en présence d'eau libre. Il peut y avoir des taches sur les tiges au-dessus du premier nœud ; dans ce cas elles sont ovalisées.

Des semences peuvent se révéler attaquées même en l'absence de symptôme sur gousses.

Biologie : *Ascochyta sp.* est transmise par la semence infectée aux premières écailles (petites feuilles) lors de la germination dans le sol. Par la suite, le champignon ne dispose que de pycniospores pour se disséminer dans la végétation.

Epidémiologie : L'infection est généralisée sur toute la hauteur des plantes si les conditions climatiques ont été régulièrement pluvieuses et les foyers se propagent de proche en proche par l'intermédiaire des éclaboussures chargées de pycniospores lors des pluies.

Traitement

- Semences saines ou traitées.
- Utiliser des variétés tolérantes.

3)- Les agents responsables des maladies vasculaires

Les maladies vasculaires sont très répandues ; elles provoquent généralement un flétrissement des organes ou entraînant un dépérissement progressif conduisant à la mort des plantes. Des coupes transversales dans les rameaux révèlent fréquemment des brunissements des vaisseaux résultant de l'activité des champignons.

Plusieurs espèces sont responsables de maladies vasculaires parmi lesquelles :

Fusarium oxysporum, *Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahliae* sont des agents qui se conservent dans le sol respectivement sous forme de chlamydospores et de microsclérotés. Ils infectent

les racines qu'ils pénètrent directement ou par les blessures. Ces maladies sont très répandues dans le monde. Elles sont dommageables, en cultures protégées, pour de nombreuses cultures maraichères ainsi pour les cultures en plein champ (Palmier, coton, arbres forestiers). Les flétrissements fusariens sont destructifs dans les environnements chauds.

❖ **Maladie du bayouth**

Noms communs: bayouth disease, fusarium wilt (anglais)

Maladie du bayouth (français)

Taxonomie : la Classe des *Deuteromycotina*, Sous Classe *Hyphomycètidae*, l'Ordre des *Moniliales* à la famille de *Tuberculariacées* et au Genre des *Fusarium* (Agrios, 2005).

Fusarium oxysporum f.sp. *albedinis*

Plantes hôtes

La plante-hôte principale est le palmier-dattier; tous les cultivars nord-africains de qualité sont sensibles (Mejhoul, Deglet Nour, Bou Feggous, etc.). Certains cultivars ont une bonne résistance (Bou Sthammi noir, Bou Sthammi blanc, Tadment, Iklane, Sair Laylet, Bou Feggous ou Moussa au Maroc et Takerboucht en Algérie).

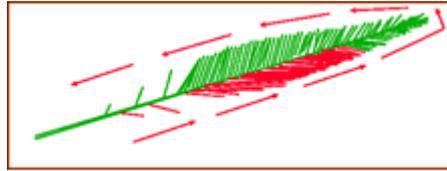
Détection et identification

Symptômes externes : Le bayouth attaque aussi bien les palmiers jeunes qu'adultes, de même que leurs rejets basaux. Les premiers symptômes externes de la maladie, font leur apparition sur une ou plusieurs feuilles de la couronne moyenne. Les feuilles affectées prennent une teinte plombée (gris cendré) et ensuite se fanent d'une façon particulière: les pennes situées d'un côté de la feuille commencent à blanchir, et la maladie progresse de la base vers l'apex. Quand tout ce côté a été affecté, le flétrissement commence de l'autre côté, en sens inverse cette fois-ci, de l'extrémité de la feuille vers sa base, jusqu'à la mort de la feuille.

Au cours de ce processus de décoloration et dépérissement des pennes, une coloration brune qui se manifeste dans le sens de la longueur, sur le côté dorsal du rachis, avance de la base vers l'apex de la fronde: elle correspond au passage du mycélium dans les faisceaux vasculaires du rachis. Ensuite, la feuille va prendre une forme arquée, similaire à une feuille humide. Ce processus peut durer de quelques jours à plusieurs semaines. Les mêmes symptômes peuvent ensuite apparaître sur des feuilles adjacentes ou opposées. Dans tous les cas, la maladie avance toujours vers le cœur de l'arbre. L'arbre meurt quand le mycélium atteint le bourgeon terminal. Finalement, les rejets à la base de l'arbre sont attaqués.

Les symptômes se développent parfois de façon différente. La coloration brune apparaît au milieu du rachis, côté dorsal, et progresse vers le haut jusqu'à ce que le rachis devienne si étroit que tous les tissus sont affectés, ce qui provoque le dépérissement de l'apex. Le flétrissement et la mort des pennes se poursuivent ensuite vers le bas jusqu'à la mort des feuilles. Les symptômes précoces peuvent aussi

être différents, on détecte parfois un jaunissement généralisé avant l'apparition des symptômes typiques, surtout en hiver et en automne.



Le palmier peut mourir 6 mois à 2 ans après l'apparition des premiers symptômes, en fonction du cultivar et des conditions de plantation.

On n'a jamais signalé de symptômes sur pédoncules, fleurs ou fruits.

Symptômes internes : Si on déracine un palmier malade, on ne voit qu'un petit nombre de racines malades, de couleur rougeâtres, Les frondes qui manifestent des symptômes externes ont une couleur brun rougeâtre et des faisceaux vasculaires très colorés quand on les coupe. Il y a donc continuité des symptômes vasculaires qui existent depuis les racines jusqu'aux feuilles apicales du palmier.

Morphologie : Le pathogène peut être isolé à partir de palmier (tissus internes décolorés) ou de porteurs sains sur un milieu PDA, ou à partir de la terre sur milieu sélectif. Les cultures fraîchement isolées sont rose saumon. Les microconidies sont sphériques ou allongées, légèrement courbées, unicellulaires généralement, hyalines, 3-15 x 3-5 μm ; elles sont produites par des microphialides, enflées à la base et pointues à l'extrémité; les macroconidies falciformes, souvent triseptées, 20-35 x 3-5 μm ; les chlamydospores intercalaires ou terminales, sphériques, isolées ou en groupes de 2-3; les sclérotés rares, bleu sombre à noir, 1-2 mm de diamètre, soit distribués sur la surface mycélienne, soit groupés.

Biologie : *F. oxysporum* f.sp. *albedinis* persiste pendant l'hiver sous la forme de chlamydospores dans les tissus de palmiers malades (racines, rachis, etc.). La désintégration de ces tissus permet la libération des chlamydospores dans le sol où elles demeurent à l'état dormant. Il peut aussi survivre dans les porteurs sains tels que le henné, la luzerne ou le trèfle.

Ce champignon est très inégalement réparti dans le sol, on le trouve entre 0 et 30 cm de la surface du sol, mais parfois jusqu'à 1 m Les chlamydospores sont peu nombreuses et peuvent demeurer dans le sol pendant plus de 8 ans, même si les palmiers sont morts. Les chlamydospores germent dès que les conditions sont favorables et pénètrent dans les tissus vasculaires des racines, à partir desquels le mycélium atteint la tige. La mort de l'arbre intervient quand le champignon atteint avec ses toxines le bourgeon terminal.

En général, les conditions favorables à une croissance rapide du palmier-dattier favorisent aussi le développement de la maladie. La température de croissance optimale du pathogène est entre 21 et 27,5°C.

Moyens de déplacement et de dispersion

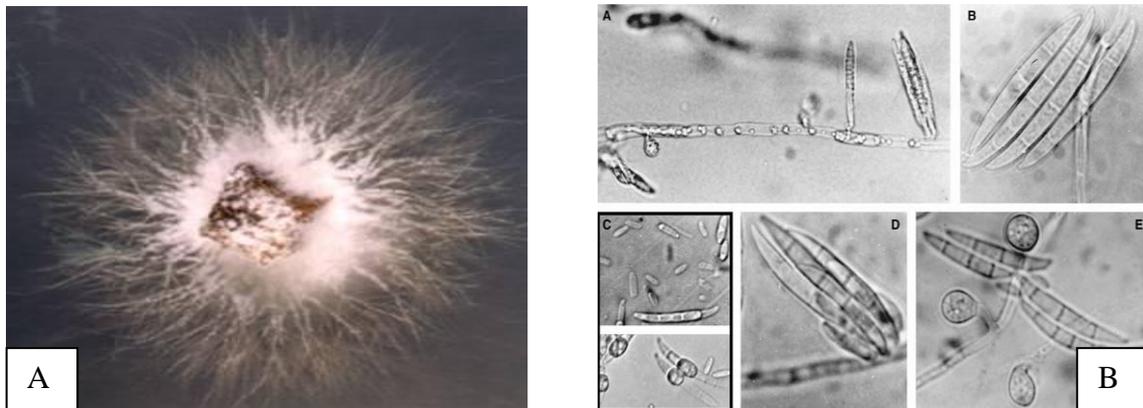
F. oxysporum f.sp. *albedinis* peut se disséminer par des **rejets, terre** ou **porteurs sains contaminés** provenant de zones infectées, par **du tissu** de dattier infecté, morceaux de **rachis infectés** en particulier, et par l'eau d'irrigation passant par des palmeraies infectées. Semences et fruits ne le disséminent pas.

Dans une palmeraie, la maladie se dissémine par **contact entre racines saines et malades**. L'étendue de cette dispersion dépend des pratiques culturales (fertilisation, irrigation copieuse, etc.) et des conditions climatiques (température).

Lutte

La lutte contre le bayoudh repose sur des mesures de quarantaine strictes.

- La désinfection du sol est très coûteuse et difficile.
- La lutte chimique n'est envisageable que si on découvre précocement le point de départ d'une nouvelle infection dans une région saine. Dans ce cas, on peut traiter le sol avec du bromure de méthyle.
- Des résultats prometteurs ont été obtenus par la sélection de cultivars de haute qualité, résistants parmi les populations naturelles de palmiers-dattiers ou par la multiplication de ces mêmes cultivars, un programme est effectué à Adrar depuis 1981.
- L'Algérie et le Maroc ont mis en place des quarantaines internes sur toutes les oasis infestées pour empêcher le mouvement de rejets des zones infestées vers les zones saines.
- L'OEPP/EPPO (1990) recommande aux pays phoenicicoles d'interdire l'importation du matériel végétal suivant en provenance de pays où le bayoudh est présent:
 - 1) tout matériel végétal de palmier-dattier: rejets, feuilles, artisanat, etc. (mais pas les fruits);
 - 2) terre et végétaux destinés à la plantation (avec racines, boutures) accompagnés de terre;
 - 3) végétaux destinés à la plantation de *Lawsonia inermis* (excepté les semences).



A- Le champignon se développant à partir des vaisseaux conducteurs d'un morceau de rachis

B- Aspect microscopique de *Fusarium oxysporum*



A- Aspect mouillé du palmier

B- Une moitié de la palme est sèche alors que l'autre moitié est encore verte

CHAPITRE III- LES PROCARYOTES PHYTOPATHOGENES

III-1.Introduction

Les Bactéries (~ 200 espèces) et Mollicutes sont des procaryotes.

- Bactéries phytopathogènes, sont des Procaryotes de 0,8 à 2 µm dont le génome est porté par un chromosome bactérien appelé nucléoïde (~ 106 pb, circulaire) et par des plasmides (ADN circulaire, n x 106 pb) pouvant être transmis horizontalement entre individus d'espèces identiques ou non (transmission de gènes de résistance). Les plasmides portent parfois les gènes impliqués dans l'interaction du pathogène et de la plante (*Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*). Les mécanismes de pathogénèse sont très variés : synthèse de toxines (certaines Corynébactéries), d'antibiotiques, hormones et régulateurs de croissance (*Agrobacterium*, *Corynebacterium*), enzymes lytiques (pectate lyase et méthylestérases d'*Erwinia carotovora*), transfert d'ADN dans la cellule végétale (*Agrobacterium*).

Les bactéries peuvent être en forme de bâtonnet, sphérique, spirale, ou filamenteuses. Certaines bactéries peuvent se déplacer dans des milieux liquides au moyen de flagelles, tandis que d'autres ne possèdent pas de flagelles. Les bactéries filamenteuses (*Streptomyces*) peuvent produire des spores, appelées conidies, à l'extrémité du filament. D'autres bactéries, cependant, ne produisent pas de spores.

La plupart des bactéries se reproduisent par simple fission. Les bactéries se multiplient avec une rapidité étonnante, et leur importance en tant que pathogènes provient principalement du fait qu'ils peuvent produire un nombre considérable de cellules dans un court laps de temps. Les maladies bactériennes des plantes sont présentes dans les environnements humides ou chauds, et ils affectent toutes les familles de plantes. Elles sont particulièrement fréquentes et sévères dans les régions tropicales humides, mais dans des conditions environnementales favorables, ils peuvent être extrêmement destructeurs.

Les infections bactériennes provoquent des symptômes variés (déperissements, pourritures, tumeurs, nécroses, chancres, flétrissements). Certaines bactéries vivent en symbiose avec les plantes en permettant la fixation de l'azote au niveau de nodules racinaires ou aériens (*Rhizobium sp. et Bradyrhizobium sp.*). L'identification repose sur l'isolement et l'observation en microscopie (morphologie, Gram, présence de flagelles, ...), les tests biochimiques, sérologiques et moléculaires (hybridation, PCR,...).

La plupart des bactéries pathogènes des plantes sont des saprophytes facultatives et peuvent être cultivées artificiellement sur des milieux nutritifs; Cependant, les bactéries fastidieuses vasculaires (FVB) spécifiques du xylème ou du phloème sont difficiles à cultiver dans les milieux cultures artificiels.

- Mollicutes sont des procaryotes strictement endophytes (liber). Il s'agit de bactéries ayant subi une évolution régressive à partir de bactéries à Gram positif ayant perdu la capacité de former une paroi par réduction du génome (0,65 à 1.106 pb). Il en existe deux types :

- les phytoplasmes ou mycoplasma-like organisms (MLO) non cultivables pour l'instant.
- les *spiroplasmes* sont cultivable sur milieux nutritifs spécifiques.

III-2.Principaux groupes de procaryotes phytopathogènes

III-2-1.Classification de la deuxième édition du Bergey's Manual of Systematic Bacteriology

Même s'il n'existe pas de taxonomie officielle des procaryotes, il existe une classification utilisée par la majorité des bactériologistes. La classification qui fait habituellement référence est celle du "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology". Cette classification a pour but de refléter la phylogénie des procaryotes.

Regne: Procaryotae

Les bactéries possédantes la membrane cytoplasmique et la paroi cellulaire.

Division: Gracilicutes: bactéries Gram négative

Classe: Proteobacteria : la plupart sont unicellulaire

Famille: Enterobacteriaceae

Genre:1-*Erwinia*, causant le feu bactérien de poirier et de pommier, le flétrissement *Stewartii* du Maïs et la pourriture molle de légumes charnus.

2-*Pantoea*, flétrissent du Maïs.

Famille: Pseudomonadaceae

Genre: 1- *Acidovorax*, provoquant des taches foliaires du maïs, des orchidées et la pastèque.

2-*Pseudomonas*, causant de nombreuses taches foliaires, des brûlures, des flétrissements vasculaires, pourritures molles, des chancres et des excroissances.

3- *Ralstonia*, provoquant le flétrissement des cultures de solanacées.

4- *Rhizobacter*, provoquant la galle bactérienne de la carotte

5- *Rhizomonas*, provoquant la pourriture des racines liégeuses de laitue.

6- *Xanthomonas*, causant de nombreuses taches foliaires, les taches de fruits et les brûlures des plantes annuelles et vivaces, flétrissements vasculaires et le chancre des Agrumes.

7- *Xylophilus*, Provoquant la nécrose bactérienne et le chancre de la vigne.

Famille: Rhizobiaceae

Genre: 1- *Agrobacterium*, induit la maladie de la galle du collet (crown gall disease).

2- *Rhizobium*, cause la formation de nodules racinaires chez les légumineuses.

Famille: inconnu

1- *Xylella*, se trouvent au niveau du xylème qui provoque des maladies de brûlure des feuilles et dépérissement des arbres et de la vigne et isoler dernièrement sur l'olivier.

2- *Candidatus liberobacter*, habitant le phloème et causent la maladie greening des agrumes.

Division: Firmicutes : Bactéries Gram positive

Classe: Firmibacteria : la plupart se sont des bactéries unicellulaires

Genre: 1- *Bacillus*, provoquant la pourriture des tubercules, des graines et des semis et la rayure blanche du blé.

2-*Clostridium*, provoquant la pourriture des tubercules de Pomme de terre stockées.

Classe: Thallobacteria: bactéries filamenteuses.

1-*Streptomyces*, provoquant la gale commune de la Pomme de terre.

Division: Tenericutes

Classe: Mollicutes : organismes dépourvus de la paroi cellulaire.

Famille : Spiroplasmataceae

Genre: *Spiroplasma*, provoquant rabougrissement du Maïs et la maladie du stubborn des Agrumes.

Famille : inconnu

Genre: *Phytoplasma*, causant de nombreuses maladies de jaunisses, de prolifération et de déclin des arbres et de certaines plantes annuelles.

III-3. Caractéristiques des procaryotes phytopathogènes

III-3-1.Morphologie des procaryotes phytopathogènes

Les principales caractéristiques de quelques genres de bactéries pathogènes des plantes sont les suivantes.

➤ **Agrobacterium**

Les bactéries sont en forme de bâtonnet de 0,8 par 1,5 à 3 micromètres. Ils sont mobiles au moyen d'une à quatre flagelles péritriches ; lorsqu'un seul flagelle est présent, il est le plus souvent latérale. Lorsqu' elle croît sur des milieux contenant des glucides, les bactéries produisent des polysaccharides. Les colonies sont non-pigmentées et généralement lisse. Ces bactéries se trouvent au niveau de la rhizosphère et des sols.

➤ **Clavibacter(Corynebacterium)**

Les cellules ont la forme de bacilles droits à légèrement courbées 0,5-0,9 par 1,5 à 4 micromètres. Parfois. Généralement ces bactéries ne sont pas mobiles, mais certaines espèces sont mobiles au moyen d'une ou deux flagelles polaires. Elles sont gram positif.

➤ **Erwinia**

Les bactéries sont des bacilles droits, de 0,5 à 1,0 par 1 - 3 micromètres, elles sont mobiles avec une flagellation péritriches. Erwinia sont les seules bactéries phytopathogènes qui sont anaérobies facultatifs. Certains Erwinia ne produit pas d'enzymes pectiques et causer des maladies nécrotiques ou des flétrissements (du groupe "amylovora"), tandis que d'autres espèces ont une forte activité pectolytique et provoquent des pourritures molles (du groupe "carotovora").

➤ **Pseudomonas**

Pseudomonas sont des bâtonnets courbés de 0,5-1 1,5-4 micromètres. Ils sont mobiles au moyen d'un ou plusieurs flagelles polaires. De nombreuses espèces sont des habitants du sol ou des milieux d'eau douce et marines. La plupart des espèces de Pseudomonas pathogènes infectent les plantes par exemple *P. syringae*, lorsqu'elle est cultivée sur un milieu de faible teneur en fer, produit des pigments fluorescents.

➤ **Ralstonia**

Jusqu'à très récemment classé comme Pseudomonas, avec des caractéristiques semblables avec la différence importante, elles ne produisent pas de pigments fluorescents.

➤ **Xanthomonas**

Les cellules sont des bacilles droits de 0,4 à 1,0 par 1,2 à 3 micromètres, et sont mobiles au moyen d'un flagelle polaire. Croissance sur des milieux d'agar est généralement de couleur jaune, et la plupart sont à croissance lente. Toutes les espèces sont pathogènes des végétaux et ne se trouvent que dans l'association de plantes ou de matières végétales.

➤ **Streptomyces**

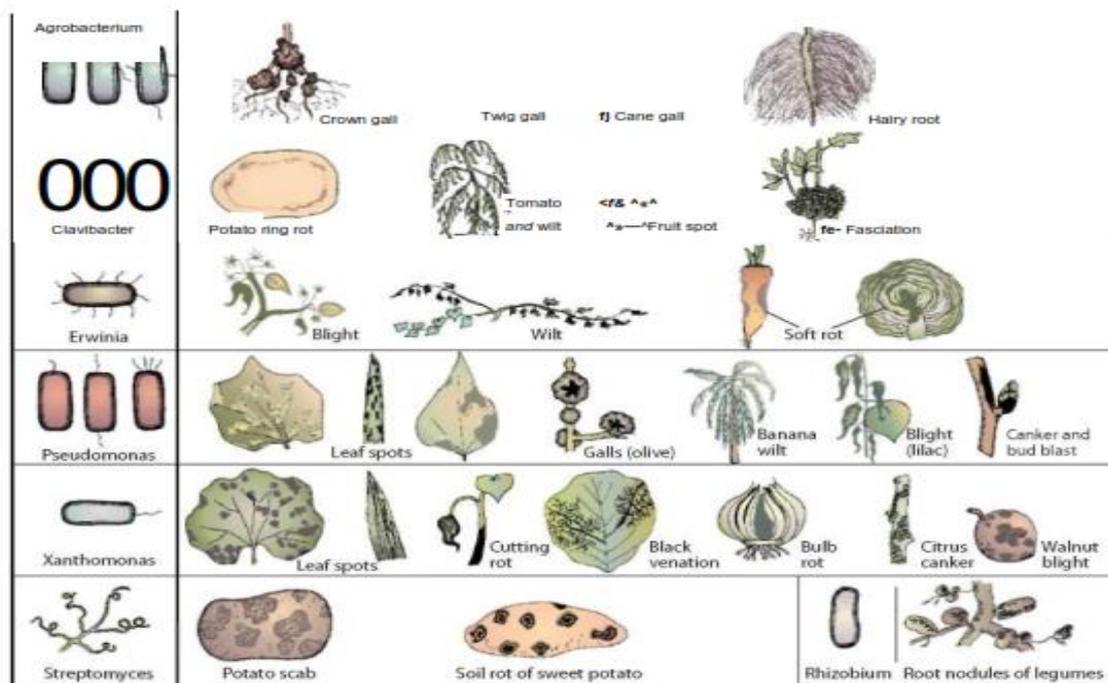
Les bactéries ont la forme de mince, hyphes ramifiés de 0,5 à 2 micromètres de diamètre. A l'échéance, le mycélium aérien forme chaînes de conidies. Elles sont gram positif, sur des milieux nutritifs, les colonies sont petites (1-10 millimètres de diamètre) en premier avec une surface plutôt lisse mais plus tard, se forme un mycélium aérien qui peut apparaître granuleux, poudreux ou veloutée. Les nombreuses espèces et souches de Streptomyces produisent une large variété de pigments qui colorent le mycélium et le substrat; ils produisent aussi un ou plusieurs antibiotiques actifs contre les bactéries, les champignons, les algues, les protozoaires, les virus, ou les tissus tumoraux. Toutes les espèces se trouvent au niveau du sol.

III-3-2.Symptomatologie des affections produites par les procaryotes phytopathogènes

Les bactéries pathogènes des plantes induisent de nombreux types de symptômes sur les plantes qu'ils infectent tout comme les champignons. Ils provoquent des taches foliaires et des fontes de semis, pourritures molles de fruits, de racines et organes en stockage, des flétrissements, des excroissances, des gales et des chancres. Ces différents types de symptôme peuvent être causés par des bactéries pathogènes appartenant à plusieurs genres, et chaque genre peut contenir des agents pathogènes capables de provoquer différents types de maladies.

Une même bactérie peut provoquer des symptômes différents sur différents organes (voir figure).

- 1- 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.
- 2- Les tâches huileuses ou pourriture molle : 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.
- 3- Les galles ou tumeurs : il s'agit d'une prolifération anarchique des cellules de la plante hôte provoquée par les bactéries.
- 4- Les chancres peuvent être dus à plusieurs types de bactéries, dont certains pathovars de *Pseudomonas syringae*.
- 5- 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.



Principaux genres et symptômes provoqués par les bactéries phytopathogènes (Agrios 2005)

III-4.Mode d'action des procaryotes phytopathogènes

Une fois à l'intérieur de la plante, les bactéries croissent rapidement. Elles produisent plusieurs composés : des enzymes protéases (qui hydrolysent les protéines), pectinases (qui hydrolysent la pectine, un composant essentiel de la paroi végétale), les amylases et lipases (qui hydrolysent l'amidon et les lipides).

Le développement de certaines bactéries dans les tissus conducteurs, empêche la circulation normale des sèves provoquant des trachéobactérioses.

D'autres bactéries du genre *Agrobacterium* pratiquent la colonisation génétique provoquant des proliférations cellulaires et des tumeurs chez la plante.

III-4-1.Pénétration et localisation dans la plante

Les bactéries phytopathogènes ne possèdent pas, comme les champignons, d'appendice différencié (appressorium ou haustorium) qui leur permettent de pénétrer activement dans les tissus de la plante. Elles ne semblent pas non plus avoir le potentiel enzymatique suffisant pour traverser les barrières cuticulaires. La pénétration des barrières dans les tissus végétaux est passive. Une voie naturelle (**les stomates, les lenticelles, les hydátodes...**) ou une blessure doit donc leur être offerte pour assurer leur installation intra tissulaire.

Dans les tissus de la plante, les bactéries phytopathogènes se multiplient localement dans **les espaces intercellulaires du mésophylle (apoplaste)**, ou dans les **faisceaux vasculaires (xylème ou phloème)**. Elles y sont confrontées à une panoplie de mécanismes de défense de la plante, souvent efficaces pour enrayer ou stopper la maladie. Les bactéries ont donc développé des stratégies sophistiquées pour manipuler les processus de la cellule végétale à leur profit et induire la maladie.

Les phytoplasmes (bactéries phytopathogènes dépourvues de paroi cellulaire) ainsi que d'autres protéobactéries sont intracellulaires puisqu'ils vivent dans les tubes criblés du phloème. Mais ces procaryotes phytopathogènes sont véhiculés et directement déversés dans ces cellules par leurs insectes vecteurs et leur multiplication est exclusivement limitée au phloème.

III-4-2.Réaction d'hypersensibilité (Mort cellulaire programmé ou apoptose)

La réponse hypersensible (RH, ou HR), est le mécanisme spécifique de réaction des plantes à l'attaque par un agent pathogène. Destinée à prévenir la propagation d'une infection locale, la réponse hypersensible se caractérise par la mort rapide de cellules voisines du point d'infection. Son rôle est de limiter la croissance et la propagation des agents pathogènes dans le reste de la plante

Après moins d'1h de l'infection

1. Formes actives d'oxygène
2. Synthèse d'acide salicylique (SA)

Après 2-4h

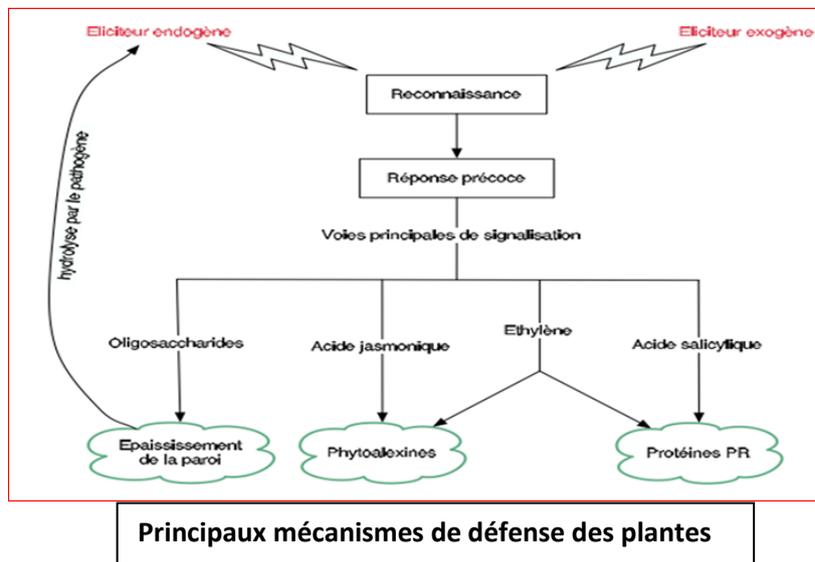
2. Synthèse d'éthylène

et de jasmonate

Après 10h

4. Phytoalexines

5. Transcrits de PR, chitinase, glucanase,..



III-4-3. Conservation et propagation procaryotes phytopathogènes

Les bactéries phytopathogènes possèdent des facultés adaptatives qui leur permettent non seulement d'infecter les plantes hôtes mais aussi de survivre dans l'environnement entre 2 cycles infectieux. Ces propriétés adaptatives reposent sur la perception de signaux spécifiques et sur la mise en place de programmes génétiques finement régulés.

Contrairement à la plupart des champignons phytopathogènes, les bactéries ne possèdent pas de formes de résistance qui permettraient leur conservation et leur dissémination. En revanche, d'autres formes de conservation ont été rapportées :

Semence : Les semences ainsi que le matériel végétal de multiplication constituent la principale source d'inoculum et de diffusion des maladies bactériennes. La capacité de survie des bactéries phytopathogènes sur les semences dépend de l'espèce bactérienne ainsi que de la plante hôte. Les *Xanthomonas*, à titre d'exemple, survivent généralement plus longtemps que les *Pseudomonas*:

- *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* -Plante hôte : Haricot (longévité Max 3ans)
- *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* - Plante hôte : Haricot (longévité max15ans)

Matériel végétal en place : Les bactéries phytopathogènes peuvent hiberner sur le matériel végétal en place surtout au niveau des affections chancreuses des tissus des végétaux ligneux. Ce phénomène est très remarquable dans le cas des arbres fruitiers tels que: *Erwinia amylovora* chez le poirier et le pommier.

Résidus de récolte : La capacité des bactéries phytopathogènes à survivre dans les débris végétaux dépend essentiellement des conditions physico-chimiques, des compétitions et des antagonistes microbiens et des conditions climatiques.

III-4-4. Dissémination des procaryotes phytopathogènes

- **Rôle de l'homme :** L'homme à travers les échanges de semences, de boutures, de greffons, ou de tout autre matériel de multiplication, a été et demeure le vecteur inconscient des maladies bactériennes d'un champ à un autre ou d'une région à une autre.
- **Techniques culturales :** Certaines techniques culturales favorisent la dissémination de la maladie de plante à plante. Certaines ont été citées ci-dessous:
 - Le sectionnement des tubercules de la pomme de terre favorise la transmission de *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus* au moment de la plantation.
 - L'ébourgeonnage des plantes de tomate favorise aussi la dissémination de *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* d'une plante à une autre.
 - Les semoirs, les sérateurs, les lames de faucheuses peuvent notamment assurer la dissémination de nombreuses maladies bactériennes au sein d'une culture attaquée.
- **Facteurs climatiques et atmosphériques :**

Le vent et la pluie sont deux facteurs qui, le plus souvent combinés, assurent la dispersion des bactéries phytopathogènes, en particulier dans les cas d'affections à macules foliaires.

- **Insectes vecteurs et nématodes :** Les insectes, essentiellement les pucerons, ainsi que les nématodes peuvent aussi jouer un rôle important dans la dissémination des maladies bactériennes des plantes.

Ce sont surtout les maladies bactériennes, se manifestant par la production d'exsudations visqueuses au niveau des lésions, qui sont facilement disséminées par les insectes d'une manière générale. C'est le cas de *Pseudomonas solanacearum* chez les solanacées et d'*Erwinia amylovora* chez le poirier et le pommier.

Le rôle des nématodes n'est pas négligeable dans la transmission de certaines bactéries phytopathogènes. Les nématodes endoparasites et ectoparasites favorisent l'extension des maladies bactériennes. C'est le cas, par exemple, du flétrissement bactérien de la culture du tabac dû à *Pseudomonas solanacearum*.

Chez les mollicutes et les bactéries FVB la dissémination se fait essentiellement par les insectes vecteurs.

III-5. Lutte contre les maladies bactériennes des plantes

Les maladies bactériennes des plantes sont généralement très difficiles à contrôler. Souvent, une combinaison de mesures de contrôle est nécessaire pour lutter contre une maladie bactérienne donnée.

L'infestation de champs ou de l'infection des cultures avec des bactéries pathogènes doit être évitée en utilisant uniquement des graines ou des plants sains.

Pratiques culturales : visant à réduire l'inoculum dans un champ en enlevant et en brûlant des plantes ou des branches infectées, et à réduire les bactéries transmises de plante à plante par les outils et les mains après avoir manipulé la décontamination des plantes malades, sont très importants.

La rotation des cultures peut être très efficace avec des bactéries qui ont une gamme d'hôtes limitée, mais il est peu pratique et inefficace avec des bactéries qui peuvent attaquer de nombreux types de plantes cultivées.

L'utilisation de variétés résistantes à certaines maladies bactériennes est l'un des meilleurs moyens d'éviter de lourdes pertes. Divers degrés de résistance peuvent être disponibles dans les variétés d'une espèce de plantes, et de grands efforts sont faits dans les stations de reproduction des cultures pour augmenter la résistance, ou d'introduire de nouveaux types de résistance. Les variétés résistantes, complétées par de bonnes pratiques culturales et les applications chimiques, sont les moyens les plus efficaces de lutte contre les maladies bactériennes, en particulier lorsque les conditions climatiques favorisent le développement de la maladie.

Le sol infesté de bactéries phytopathogènes peut être stérilisé à la vapeur ou de la chaleur électrique et avec des produits chimiques tels que le formaldéhyde, mais cela est possible uniquement dans les serres et dans les petites parcelles.

Les semences infestées superficiellement, peuvent être désinfectées avec l'hypochlorite de sodium ou des solutions de HCl ou par trempage pendant plusieurs jours dans une solution d'acide acétique faible. Lorsque l'agent pathogène est à l'intérieur de l'enveloppe de la graine et l'embryon, ces traitements sont inefficaces. Le traitement des semences avec de l'eau chaude n'est pas envisageable en raison du point thermique relativement élevée de la mort des bactéries, mais le traitement à 52 ° C pendant 20 minutes réduit considérablement le nombre de graines infectées.

L'utilisation de produits chimiques pour contrôler les maladies bactériennes, en général, a beaucoup moins de succès que la lutte chimique contre les maladies fongiques. Des produits chimiques utilisés sous forme de pulvérisations foliaires, des composés de cuivre donnent les meilleurs résultats. Cependant, ils donnent rarement un contrôle satisfaisant de la maladie lorsque les conditions environnementales favorisent le développement et la propagation de l'agent pathogène. La bouillie bordelaise et de l'hydroxyde de cuivre sont utilisés le plus souvent pour le contrôle des taches et des brûlures des feuilles bactériennes. Les souches bactériennes résistantes aux fongicides à base de cuivre sont très fréquentes. Zineb, manèbe, ou mancozeb mélangé avec des composés de cuivre est utilisé en particulier sur des plantes jeunes.

Les antibiotiques ont été utilisés contre certaines maladies bactériennes avec des résultats mitigés. Certains antibiotiques sont absorbés par la plante et sont distribués de manière systémique. Les antibiotiques antibactériens les plus importants dans l'agriculture sont des formulations de streptomycine ou de la streptomycine et l'oxytétracycline. Malheureusement, les races bactériennes résistantes aux antibiotiques se développent peu après l'application généralisée des antibiotiques; d'où leur interdiction en agriculture.

Lutte biologique pratique réussie par traitement des semences ou des plants de pépinière avec des souches antagonistes produisant des bactériocines d'*Agrobacterium*. Les traitements des tubercules, des graines et la pulvérisation des parties aériennes des plantes avec des bactéries antagonistes à l'agent pathogène dans le contrôle de diverses maladies dans des conditions expérimentales ont donné des résultats satisfaisants, mais ont eu moins de succès dans la pratique.

III-6. ETUDE DE CAS : La Galle du collet (*The Crown Gall Bacterium*)

La galle du collet, causée par *Agrobacterium spp.*, est une maladie dont les conséquences économiques sont importantes, surtout en pépinières causant la mévente des plants atteints, mais également au champ dans les zones de cultures d'arbres fruitiers ou hors-sol en serres de production de fleurs coupées ou de concombres où c'est la production elle-même qui est affectée. La maladie de la galle du collet est capable d'attaquer plusieurs espèces végétales appartenant à différentes familles, essentiellement des dicotylédones, avec 1 193 espèces végétales appartenant à 588 genres et 138 familles reportées comme sensibles à cette maladie.

Les plantes d'intérêts pour lesquelles la maladie a été enregistrée sont, entre autres, la vigne, les arbres fruitiers prunoïdées et pommoidées, les cultures ornementales comme le rosier, le chrysanthème, le dahlia et les arbres forestiers comme les peupliers ou le noyer et l'eucalyptus. Au champ, la tumeur du collet cause une perte de rendement due à une baisse de vigueur des plantes atteintes pouvant conduire, dans le cas extrême, à la mort des plantes. La mort est cependant le plus souvent due à l'action d'organismes pathogènes secondaires envahissant les plantes affaiblies.

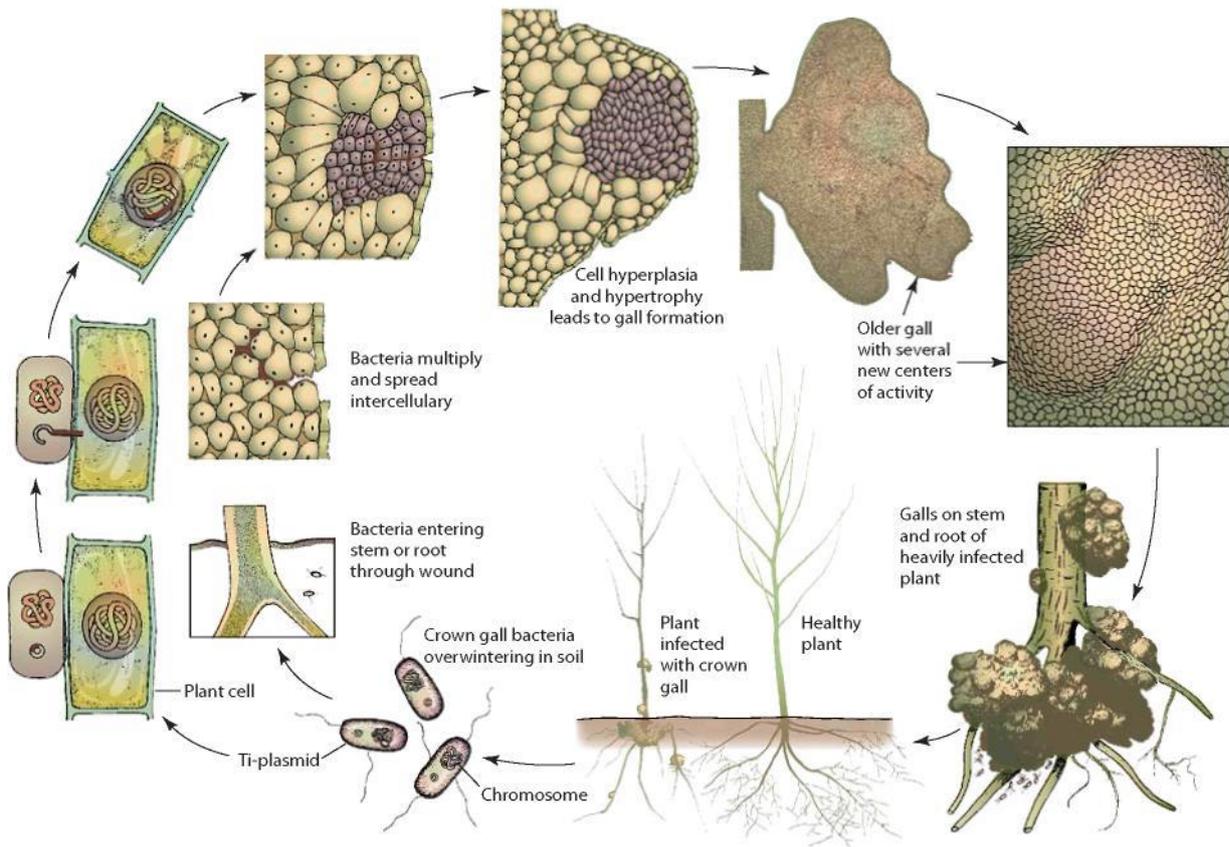
- Le pouvoir pathogène d'*Agrobacterium tumefaciens*

Elle est conférée par la présence d'un mégaplasmide appelé plasmide Ti. Au cours du processus d'infection, une région du plasmide Ti, appelée ADN-T, est transférée de la bactérie au génome de la plante où elle est intégrée. Après intégration, les gènes de l'ADN-T s'expriment dans la plante où ils codent la synthèse incontrôlée des hormones de croissance, auxines et cytokinines, provoquant le développement de tumeurs (i.e. galls) le plus souvent au niveau des racines et du collet.

Le processus tumoral comporte trois étapes. :

- Tout d'abord, les cellules de l'hôte sensible doivent être blessées afin d'exposer des sites spécifiques de la paroi cellulaire à la cellule bactérienne qui seront reconnus par la bactérie.
- La deuxième étape est une phase d'induction des gènes de virulence du plasmide Ti (région *vir*) par des composés émis par les blessures, permettant le transfert de l'ADN-T de la bactérie à la plante via un pili de conjugaison et à son adressage au génome nucléaire où il est intégré. L'incorporation de l'ADN-T transforme alors génétiquement une cellule végétale normale en cellule tumorale.
- La troisième étape est celle de l'expression de l'ADN-T par la cellule végétale qui synthétise de grandes quantités de phytohormones et de composés spécifiques de la galle du collet, les opines, de nature variable selon les types de plasmides Ti. Par la suite, les opines sécrétées par les tumeurs sont consommées par les agrobactéries dont les plasmides Ti portent les gènes de catabolismes appropriés offrant ainsi une niche écologique privilégiée aux agrobactéries

pathogènes. En plus de leur rôle joué en tant que sources de carbone et d'azote pour la bactérie, certaines opines appelées opines de conjugaison, stimulent le transfert conjugatif du plasmide Ti aux agrobactéries de l'environnement qui sont généralement dépourvues de plasmide Ti et donc non pathogènes. A la suite de quoi, ces dernières deviennent elles-mêmes phytopathogènes favorisant la dissémination de la maladie et la persistance des agrobactéries pathogènes dans les sols contaminés.



Cycle biologique d'*Agrobacterium tumefaciens* (Agirose, 2005).

- Moyens de lutte

Le contrôle de la galle du collet commence par une inspection obligatoire du matériel de pépinière et d'un rejet des arbres infectés. Les variétés sensible en pépinière ne doit pas être plantée dans des régions connus pour être infestée par l'agent pathogène. Au lieu de cela, les champs infestés doivent être plantés avec du maïs ou d'autres céréales pendant plusieurs années avant qu'ils sont plantés de pépinière.

Parce que la bactérie pénètre que par des blessures relativement frais, blessures des couronnes et des racines pendant la culture doit être évitée et les insectes des racines dans la pépinière doit être contrôlée afin de réduire incidence de la tumeur du collet.

Excellent contrôle biologique de la tumeur du collet est obtenu par trempage des graines germées ou par trempage des plants de pépinières ou des porte-greffes dans une suspension d'une souche particulière (n°84) d'*Agrobacterium radiobacter*. Cette souche de bactéries est antagoniste à la plupart des souches d'*A. tumefaciens*. Le traitement de semences non germées avec l'antagoniste ou le drenching du sol avec une suspension de la bactérie antagoniste. La bactérie antagoniste s'implante sur la surface des tissus végétaux, où elle produit la bactériocine agrocine 84. Cette bactériocine est inhibitrice pour les souches tumefaciens les plus virulentes.

CHAPITRE IV. LES VIRUS PHYTOPATHOGENES

IV-1.Introduction

Le virus est une nucléoprotéine qui multiplie seulement dans les cellules vivantes et a la capacité de provoquer une maladie.

Les virus des plantes diffèrent grandement de tous les autres agents pathogènes des plantes non seulement en taille et en forme, mais aussi dans la simplicité de leur constitution chimique et la structure physique, les méthodes d'infection, la multiplication, la translocation dans l'hôte, la diffusion et les symptômes qu'ils produisent sur l'hôte.

Les virus ne se divisent pas et ne produisent aucune sorte de structures reproductrices spécialisées telles que les spores. Au lieu de cela, ils se multiplient en induisant des cellules hôtes pour fabriquer d'autres virus. Les virus provoquent des maladies non par la consommation de cellules ou de les tuer avec des toxines, mais en utilisant les substances cellulaires lors de la multiplication, en prenant de l'espace dans les cellules, et de perturber les processus cellulaires.

Près de la moitié de tous les virus connus attaquent et provoquent des maladies chez les plantes. Un virus peut infecter une ou des dizaines de différentes espèces de plantes, et chaque espèce de plante est habituellement attaqué par de nombreux types de virus. Une plante peut parfois être contaminée par plus d'un type de virus en même temps.

IV-2.caractéristiques des virus des végétaux

Origine du mot : Virus => poison en latin Attribuée à Louis Pasteur et son équipe.

En 1953 André LWOFF a énoncé les 4 caractères fondamentaux faisant des virus des entités originales:

- ❖ Un virus ne contient qu'un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN) qui constitue le génome viral.
- ❖ Un virus se reproduit toujours à partir de son matériel génétique et par réplication.
- ❖ Un virus est doué de parasitisme intracellulaire absolu.
- ❖ Un virus a une structure particulière.

- Malgré leurs aspects et structures très rudimentaires, les virus constituent une forme très élaborée de parasitisme.
- En effet, ne possédant aucun système d'énergie et à l'aide de quelques gènes, ils peuvent altérer, modifier et orienter les programmes de fonctions intracellulaires à leur profit pour se répliquer et assurer leur pérennité.

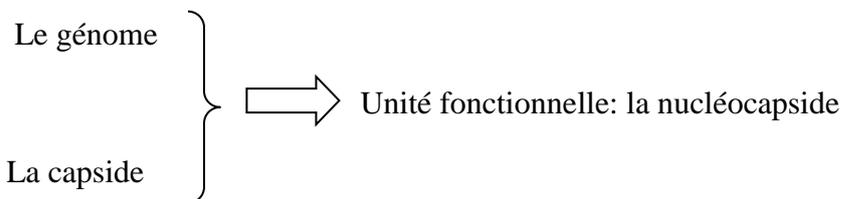
IV-2-1. Taille et structure des virus

- **La taille** des virus a d'abord été estimée par leur coefficient de sédimentation, ensuite leur morphologie a été révélée par le microscope électronique.

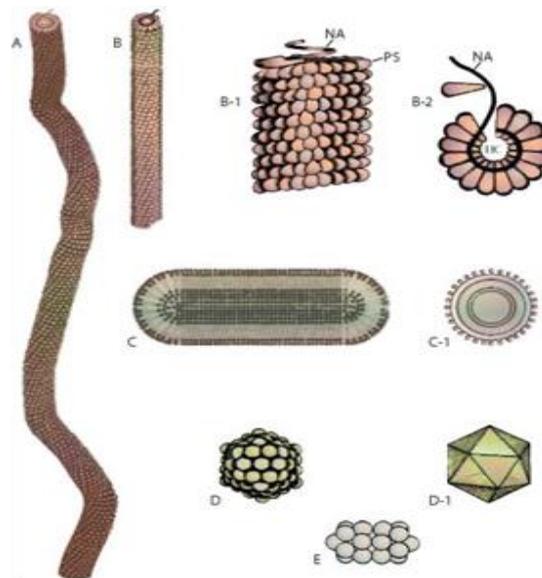
La morphologie du virion et sa taille sont des caractères important pour la taxonomie.

Les virus de plantes ont des tailles allant de 17-20 à 60-80 nm pour les virus para sphériques et de 18x300 à 12x2200 pour les virus à symétrie hélicoïdale.

- **Structure des virus** : Toute particule virale est composée de 2 éléments obligatoires:



Pour certains virus, la nucléocapside est elle aussi entourée d'une structure externe : Enveloppe ou Pepsos.



Les Différentes formes et structures de virus (Agrios, 2005).

1- Le génome viral

La nature du matériel génétique (ADN ou ARN) est exceptionnellement variée chez les virus, ces particules virales utilisent les 4 types possibles d'acide nucléique:

- ADN simple brin (monocaténaire)
- ARN simple brin (monocaténaire)
- ADN double brin (bicaténaire)
- ARN double brin (bicaténaire)

Les 4 types de molécules sont rencontrés chez les virus d'animaux;

- Les virus des végétaux possèdent le plus souvent des génomes en ARN simple brin;
- Les bactériophages contiennent généralement de l'ADN double brin bien qu'ils peuvent contenir de l'ADN ou de l'ARN simple brin.

2- La capsid

De nature protéique protégeant le génome viral, résulte de la polymérisation de sous-unités protéiques identiques codées par le génome, protomères, L'assemblage de ces unités donne des Capsomères et l'organisation des capsomères selon une symétrie, constitue **la capsid**

Rôles:

- Protection du génome viral dans le milieu extracellulaire
- Porte des déterminants viraux qui se lient spécifiquement aux récepteurs cellulaires quand le virus est nu

- la capsid s'organise selon 3 types de symétrie:

a. Capsid à symétrie hélicoïdale

- D'aspect tubulaire, les sous-unités s'assemblent autour de l'acide nucléique, et le ruban enroulé autour d'un axe central constitue un tube plus ou moins rigide. (TMV)
- Nucléocapsid **rigide. Disposition** en hélice des sous-unités autour du génome.

b. Capsides à symétrie icosaédrique

- Il s'agit d'un polyèdre comprenant 12 sommets et 20 faces égales qui sont des triangles équilatéraux entourant une sphère. Un icosaèdre possède 3 axes de symétrie.
- La capsid est formée par l'assemblage d'unités morphologiques: Capsomères.

c. Capsides à symétrie complexe

La capside des virus à symétrie complexe est composée de 2 parties:

- une tête à symétrie polyédrique formée de 152 capsomères contenant un ADN
- une queue à symétrie hélicoïdale reliée à la tête par un collier

3- Queue

Constituée d'une gaine contractile délimitant un canal creux central terminée par une plaque basale porteuse de spicules et de fibres caudales

4- L'enveloppe ou Peplos

C'est une membrane qui entoure certains virus (virus enveloppés). L'enveloppe est constituée d'une bicouche de phospholipides et des glycoprotéines spécifiques qui apparaissent sous forme de spicules. C'est le site d'attachement et la reconnaissance des récepteurs cellulaires.

IV-2-2. Eléments de classification des virus

Quatre critères sont pris en considération (Lwoff Horne et Tournier)

- A. Nature de l'acide nucléique: ADN, plusieurs segments, taille,
 - B. Capside avec (virus enveloppé) ou sans (virus nu) enveloppe
 - C. Symétrie de la capside: hélicoïdale, icosaédrique ou complexe (hexagonale)
 - D. Taille et forme du virus
- Le nombre de capsomères et le diamètre de la particule virale pour les virus à symétrie cubique
 - La longueur et l'épaisseur des nucléocapsides pour les virus à symétrie hélicoïdale

Le mode de classification le plus approprié repose sur les regroupements basés sur l'organisation du génome dans les particules virales (**Classification de Baltimore**)

- GI: Virus à génome d'ADN bicaténaire
- GII: Virus à génome d'ADN monocaténaire
- GIII: Virus à génome d'ARN bicaténaire
- GIV: Virus à génome d'ARN monocaténaire de type messenger
- GV: Virus à génome d'ARN monocaténaire de type antimessenger
- GVI: Virus à génome d'ARN monocaténaire se répliquant par transcription inverse via de l'ADN bicaténaire

- GVII: Virus à génome d'ADN bicaténaire répliquant par transcription inverse via de l'ARN monocaténaire

NB: GI et GVI ne comportent pas de virus de plantes.

- Au sein de ces groupes, les virus sont classés en ordre – famille – genre – espèce.

Un seul ordre pour les virus de plantes

Mononegavirales regroupant

- Paramyxoviridae -Bunyaviridae
- Rhabdoviridae -Orthomyxoviridae
- Filoviridae -Tenuivirus

IV-3.Mouvement du virus dans la plante

L'inoculation mécanique ou l'inoculation mécanique par vecteur biologique d'un virus à une plante sensible est suivie de la multiplication du pathogène dans les premières cellules infectées. Afin de produire une infection systémique, le virus doit pouvoir migrer dans toute la plante, principalement selon 2 modes :

1. de cellule à cellule ou transport à courte distance qui est un mouvement lent ;
2. à longue distance qui comparativement au précédent est un mouvement rapide.

Au cours de l'infection par les virus à «mosaïque», ces 2 types de transport ont lieu. on subdivise ces 2 modes de transport du virus en 4 phases

- 1) migration à courte distance de cellule à cellule dans l'épiderme ou le parenchyme des feuilles inoculées ;
- 2) transfert du génome viral du parenchyme infecté vers les tissus conducteurs. Cette phase correspond à une étape de transition entre le mouvement du virus à courte distance et le mouvement à longue distance ;
- 3) migration du virus à longue distance par les tissus conducteurs ;
- 4) passage du virus des vaisseaux conducteurs aux tissus parenchymateux, mouvement inverse de la phase 2.

On distingue 4 groupes de virus suivant leur mode de translocation dans les plantes :

- A. Le groupe des virus à «mosaïque», le plus important correspond aux virus présents dans l'épiderme, se multipliant dans le mésophylle et migrant ensuite dans le phloème. Leur distribution pourrait s'étendre au xylème. Ces virus se caractérisent par le fait qu'ils peuvent migrer du mésophylle au phloème et vice versa. La migration dans le phloème nécessite au préalable une multiplication du virus dans le mésophylle.

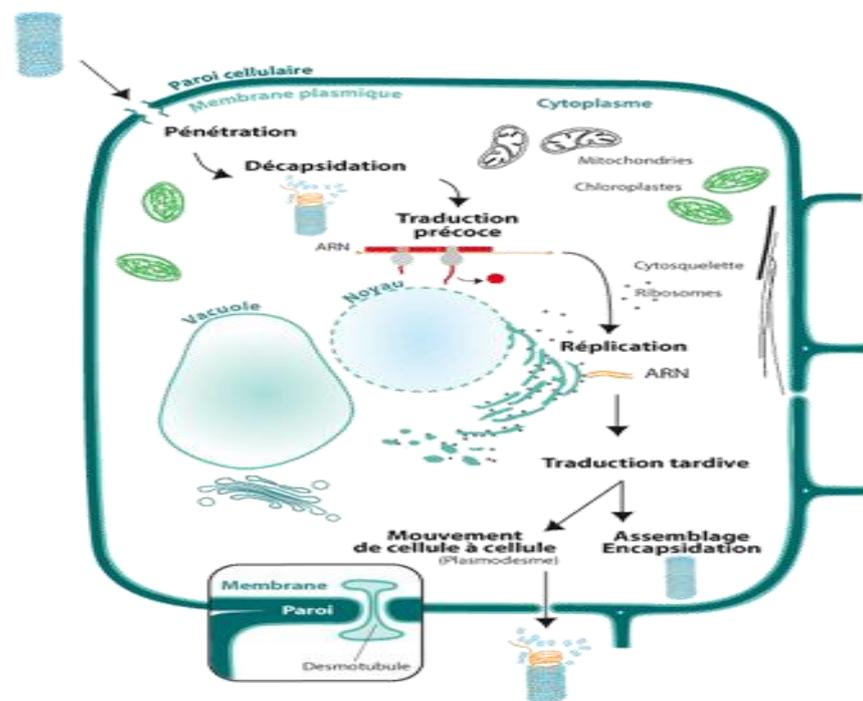
- B. Le groupe du southern bean mosaic virus (SBMV). Ils se distinguent des précédents par le fait qu'ils peuvent passer du xylème au mésophylle.
- C. Le troisième groupe est représenté par le virus de la jaunisse de la betterave (BYV). Ce Closterovirus infecte en premier lieu le phloème puis passe aux cellules du mésophylle. Les virus de ce groupe sont absents du xylème.
- D. le quatrième groupe comprend les virus inféodés au phloème tels que les Luteovirus et certains Geminivirus. Ces virus sont incapables de migrer du phloème au mésophylle.

• **Transmission**

La transmission des phytovirus se fait par l'intermédiaire d'un agent mobile ou « vecteur », qui est nécessaire aussi bien pour traverser la paroi cellulosique des cellules végétales que pour passer d'une plante à l'autre (transmission horizontale). Certaines zoospores de champignons affectant les racines de plantes peuvent servir de transporteurs de virus, mais les principaux vecteurs sont les insectes (pucerons (aphides), mouches blanches, cochenilles...) et les nématodes, qui acquièrent et transportent les virus, parfois pendant plusieurs semaines, en se nourrissant, et qui les retransmettent à de nouvelles plantes. La « transmission verticale » du virus, c'est-à-dire la transmission à la descendance, peut se faire par l'intermédiaire des boutures, des tubercules ou des graines, selon le type de virus. Les phytovirus sont également transmis lors de blessures infligées par les machines agricoles, on parle alors de transmission mécanique.

• **Le cycle viral**

Attachement ⇨ Pénétration ⇨ Décapsidation ⇨ Réplication ⇨ Assemblage et encapsidation
⇨ Migration



Cycle du virus du TMV (Van Regenmortel, 1999).

IV-4. Symptômes engendrés par les virus chez les végétaux

IV-2-4-1. Les différents types de symptômes

Les symptômes provoqués par les virus chez les plantes peuvent varier, selon le virus, la variété ou l'espèce atteinte, l'environnement et l'état physiologique dans lequel se trouvent les plantes.

- De nombreux virus provoquent sur le feuillage des symptômes de **mosaïque**, c'est à dire une coloration irrégulière bien visible au niveau des jeunes feuilles, parfois associée à des déformations (cloques, aspect filiforme ou gaufré, réduction de taille).
- D'autres maladies virales provoquent des **jaunissements du feuillage**, souvent plus marqués sur les feuilles âgées. Caractérisent les infections par des virus localisés dans les tissus vasculaires.
- Enfin certains virus induisent des nécroses plus ou moins généralisées sur les feuilles, les fleurs, les fruits ou les tiges ; ces nécroses entraînent parfois un dépérissement de la plante.

D'une manière générale, les maladies virales réduisent la croissance et donc le potentiel global de production d'une plante, mais dans le cas des fruits et des légumes elles peuvent aussi altérer l'aspect et donc la qualité commerciale de la récolte.

La multiplication des virus s'accompagne de déviations du métabolisme et d'altérations

-Baisse de vigueur des plantes

-Retard de développement.

IV-5. La lutte contre les virus phytopathogènes

Les maladies à virus sont actuellement incurables. De ce fait, les seuls moyens de lutte dont disponibles sont préventifs : utiliser du matériel végétal sain et chercher à éviter qu'une plante ne soit contaminée par un virus. L'effet d'une infection virale sur le rendement d'une plante est généralement d'autant plus grave que l'infection a été précoce.

Toute pratique culturale permettant de retarder le développement des épidémies virales, pourra avoir un effet positif sur le rendement, même si les taux de contaminations, en fin de culture, sont les mêmes.

Les stratégies de lutte contre les virus comportent 3 composantes principales

(1) Utiliser du matériel végétal sain. La première précaution consiste à utiliser des plants et semences garanties sans virus. Des méthodes de laboratoire existent pour 'régénérer' des variétés infectées par des virus : elles associent la thermothérapie (un traitement à la chaleur qui déstabilise les virus) et la culture de méristème qui permet, à partir de ces petits massifs cellulaires indemnes de virus, de régénérer des plantes saines. Une protection soigneuse des pépinières; en utilisant des substrats stériles, des outils désinfectés.

(2) Retarder les épidémies virales en réduisant les sources de virus et l'efficacité des vecteurs. Un désherbage soigneux des abords des parcelles doit être réalisé avant la plantation, pour éliminer les sources de virus et/ou de vecteurs à proximité de la culture. Des pratiques culturales très variées peuvent réduire les populations de vecteur et/ou la fréquence des contacts vecteur/virus/plante. La désinfection des sols, peut limiter les attaques de virus transmis par les champignons du sol ou par les nématodes. Le greffage sur des porte-greffes résistants peut aussi être efficace contre ce type de virus.

Les traitements insecticides n'ont généralement pas d'effet direct sur la transmission par les pucerons des virus 'non-persistant', car les piqûres d'inoculation sont très brèves (quelques secondes) et pas suffisamment longues pour que l'insecticide fasse son effet. Par contre, on observe une certaine efficacité des traitements insecticides lorsque la transmission par insecte est de type persistant, ou lorsque la transmission n'est pas très efficace.

(3) Rendre la plante résistante. On dispose aujourd'hui de trois moyens permettant de rendre les plantes résistantes à une infection virale.

- La prémunition ou protection croisée est l'exploitation d'une propriété particulière aux virus de plantes : lorsqu'une plante est infectée par un virus, elle ne peut pas être infectée par une autre souche du même virus. La prémunition consiste alors à inoculer aux jeunes plantules une souche 'faible' qui provoquera peu de symptômes et pas d'effet sur le rendement. La prémunition a été utilisée avec succès pour lutter contre quelques virus comme le TMV chez la tomate, le PRSV chez le papayer ou le virus de la mosaïque jaune de la courgette
- L'utilisation de variétés résistantes aux virus. La création de variétés résistantes aux virus par la génétique classique est un processus très long. Cette approche est, comme la prémunition, très spécifique à un virus donné. Il faudra donc à terme, créer des variétés possédant des résistances à plusieurs virus à la fois, malheureusement, il n'existe pas de variétés résistantes à tous les virus, les virus peuvent évoluer et contourner les résistances.
- Il existe aujourd'hui un moyen plus rapide pour obtenir des plantes résistantes aux virus grâce au génie génétique. Les biotechnologies permettent de créer des plantes transgéniques qui possèdent des petits fragments du génome d'un virus.

Une lutte efficace contre les virus exige une parfaite connaissance de leur biologie. Cette lutte doit être raisonnée, en déterminant les 'points faibles' du cycle biologique viral, là où l'agriculteur pourra agir, par des interventions culturales ou des choix variétaux judicieux, pour empêcher ou ralentir les épidémies virales.

IV-6. Etude de cas : Maladie du virus Y de la pomme de terre PVY

➤ Caractéristiques du virus Y de la pomme de terre

Le virus PVY, appartient au genre *Potyvirus*, de la famille des *Potyviridae* et de la superfamille des *Picornaviridae*. De forme filamenteuse, il a des dimensions de 730 nm de longueur X 11 nm de diamètre. Il possède une capsid virale formée de l'assemblage de 2000 monomères d'une protéine de capsid, la protéine CP, autour de son ARN.

Les symptômes qu'il cause varient en fonction du cultivar et de la souche virale. Ils peuvent être faibles et discrets la première année, puis augmenter les années suivantes. Les principaux symptômes observés sont des nécroses, des jaunissements, de la sénescence et une mort prématurée.

- Le virus Y est un Potyvirus transmis par de nombreuses espèces de pucerons. C'est un virus de type non-persistant car le puceron ne peut le transmettre que dans un délai de une à deux heures après son acquisition par piqûre d'une plante contaminée.
- L'inoculum initial pour la contamination peut provenir de plantes malades de la parcelle ou du voisinage, de repousses infectées ou d'autres plantes hôtes (tomates, tabac, ...).
- La manifestation des symptômes en végétation dépend de la souche de virus Y (Yo : Y ordinaire ou Yn : nécrotique), de la variété, des conditions climatiques et du type d'infection.
- Dans le cas des souches de type Yo, une contamination de l'année en cours (infection primaire) se manifeste par l'apparition de taches nécrotiques noires, au niveau des nervures, à la face inférieure des feuilles. Les feuilles deviennent cassantes et se dessèchent, en restant attachées à la plante. Elle peut aussi provoquer une mosaïque déformante (frisolée), souvent localisée sur une tige ou partie de plante
- Une contamination de l'année précédente (infection secondaire) produit, en revanche, des symptômes beaucoup plus prononcés et très variables selon les variétés. Ils peuvent être de trois types :

1. **Frisolée** : déformation foliaire avec mosaïque, soit un gaufrage des feuilles accompagné d'un phénomène de brillance et de mosaïque, (Photos)
2. **Bigarrure** : nanisme avec taches nécrotiques importantes sur les nervures foliaires et fortes déformations des plantes (Photos)
3. **Mosaïque** (alternance de zones vert clair et vert foncé) non déformante, plus ou moins prononcée selon la variété et mieux visible par temps couvert. (Photos).



Moyens de lutte

- Utilisation de plants sains résultant de la sélection sanitaire généalogique,
- Production dans un environnement favorable,
- Épuration des plants virosés,
- Défanage avant maturité,

Références bibliographique

- Agrios, G.N. 2005: Plant Pathology, 5 édition. Académie Press, San Diego. 922 pages.
- Astier S., Albouy J., Maury Y., Lecoq H., 2001 : Principes de virologie végétale : génome, pouvoir pathogène, écologie des virus.
- Argano M., 2004 : L'application de méthodes moléculaire à l'écologie microbienne: potentiel pour l'étude de la diversité bactérienne des sols et de la rhizosphère. Bulletin BSA/VBB n0 8. PP: 10-13.
- Barnett, H.L and Hunter, B.H., 1972: Illustrated genera of imperfect fungi (4 th Ed). Macmillan Publishing Company, New York: 218pp
- Biger.J.P, Morand.J.C, Tharand.M, 1987: Pathologie des cultures florales et ornementales .P 149.
- Booth, C., 1971: The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycol. Inst. Kew, Surrey, 237p.
- Booth, C., 1977: *Fusarium*. Laboratory guide to the identification of the major species. Commonwealth Mycol. Inst. Kew, England, 58p.
- Carlile, M.J., Watkinson, S.C. & Gooday, G.W. 2001: The Fungi, 2nd édition. Académie Press, London. 588 pages.
- Cornuet P., 1987 : Eléments de virologie végétale : Edité par Institut National de la Recherche Agronomique,
- George M. G., Julia A. B and Timothy G. L., 2004: Taxonomic Outline of the Prokaryotes. Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology, 2 nd Edition Release 5.0 May 2004: 399 Pages.
- Lepoivre P., 2003 : Phytopathologie Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. ED. De Boeck Université.
- Messaïen C.M., Blanchaed D., Rouxel F., Lafon R., 1991 : Les maladies des plantes maraîchères, INRA éditions, 3^e édition, p. 291-305.
- Rieuf, 1985 : Clé d'identification les champignons rencontrés sur les plantes maraîchères.
- Van Regenmortel MHV. 1999: Virus species. In: Webster R, Granoff AS. Encyclopedia of virology. 2nd Edition. Academic Press,: 1937-43.
- Van Regenmortel MHV, Fauquet CM, and Bishop DHL, 2000: Virus taxonomy: classification and nomenclature of viruses. Seventh ICTV Report. New York, San Diego: Academic Press.
- Sites internet** : - Société Française de Phytopathologie <http://www.sfp-asso.org/>
- Unité de phytopathologie <http://v.www.fymy.ucl.ac.be/>
 - American phytopathological Society <http://www.apsnet.org>
 - <http://www7.inra.fr/hyp3/index.html>