

CHAPITRE II

Microorganismes phytopathogènes

La pathologie végétale (phytopathologie) est la science qui étudie les maladies des plantes. L'organisme phytopathogène (du grec phytos, végétal et pathos, maladie), lors d'une partie ou de tout son cycle de vie, se développe dans la plante au détriment de celle-ci, en provoquant une maladie.

La maladie se manifeste par des symptômes visibles sur les parties infectées de la plante. Les modifications affectant les feuilles, peuvent survenir sous forme de chlorose (perte de chlorophylle, pâleur de la feuille), ou albinisme (absence de pigmentation) ou encore de brunissement des racines. L'altération des organes peut prendre la forme de nécrose (mort cellulaire), de flétrissement ou de pourriture. des modifications anatomiques touchant les rameaux et les tiges comme les chancres ou encore affectant les feuilles, les fleurs, la croissance (nanisme ou gigantisme).

A l'intérieur de la pathologie, on distingue souvent l'étiologie, qui étudie les causes des maladies, et l'épidémiologie, qui traite de leur développement.

Les maladies des plantes sont dues à :

- des organismes pathogènes (champignons, bactéries, virus, nématodes)
- des conditions environnementales qui ne sont pas favorables pour la plante (manque des substances nutritives, l'inondation, trop de soleil, etc.), elles sont responsables des maladies physiologiques.

1. Champignons phytopathogènes

1.1. Caractères généraux

- Les champignons sont des eucaryotes, leur cellules sont filamenteuses et sont arrangées dans une structure appelée le hyphes, et plusieurs hyphes forment un assemblage qui s'appelle le mycélium ;
- 10000 espèces de champignons phytopathogènes sont connues ;
- se reproduisent et se multiplient par des spores de nature diverse, issues d'une reproduction asexuée (multiplication végétative) ou sexuée. Les spores, sont disséminées par le vent et par la pluie ;
- sont non chlorophylliens, sont aérobies et ont besoin d'eau.
- sont hétérotrophes, se nourrissent de composés organiques et absorbent, se nourrissant par absorption ;
- sont des Thallophytes, développent un appareil végétatif ou thalle, ne porte ni feuilles, ni racines, ni fleurs, et ne comporte pas de vaisseaux ligneux. Un thalle est constitué de mycélium.
- Ils ont une paroi cellulaire chitineuse, ce qui les rapproche plus des animaux que des végétaux.

1.2. Mécanismes d'actions

Les stratégies utilisées par les champignons pour infecter les plantes sont variables :

- Pour bénéficier des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance, les champignons se heurtent à des barrières physiques efficaces de la plante : la cuticule foliaire, l'écorce des tiges et des racines ou des parois cellulaires.
- pour coloniser et détruire la plante, les champignons déploient des armes chimiques très variées parmi lesquelles les enzymes, les toxines, les hormones et les polysaccharides. Ces principaux facteurs de pathogénèse varient cependant d'un champignon à l'autre et d'une maladie à l'autre.

a) Structures d'infection

Le mycélium et les spores des champignons sont impliqués dans la conservation et la propagation de l'espèce et dans l'infection des plantes.

- le mycélium se propage à la surface de l'hôte et pénètre dans les tissus par les stomates ou les lenticelles.

-Contamination par la spore : son adhérence à la surface de la plante et sa germination mène à la formation d'un tube germinatif qui va différencier un appressorium (Figure 1), structure spécialisée dans l'adhésion du mycélium à la surface de l'organe infecté et à la colonisation des cellules de l'hôte. L'appressorium génère un hyphes d'infection qui traverse la cuticule en exerçant une pression et pénètre sous l'épiderme pour envahir les parenchymes, en fonction des espèces, il reste extracellulaire ou bien envahit les cellules. On distingue :

- les champignons nécrotrophes : tuent leur hôte et se nourrissent des matières mortes, ils sont appelés «saprophytes».
- Les champignons biotrophes : exploitent la cellule végétale sans la tuer, le mycélium intercellulaire adhère à la paroi de la cellule végétale et différencie un haustorium (suçoir) intracellulaire dont la fonction est de détourner les réserves au profit du champignon (Figure 1). Ces champignons ont un spectre d'hôte étroit parfois une seule espèce, ex: rouilles fongiques.

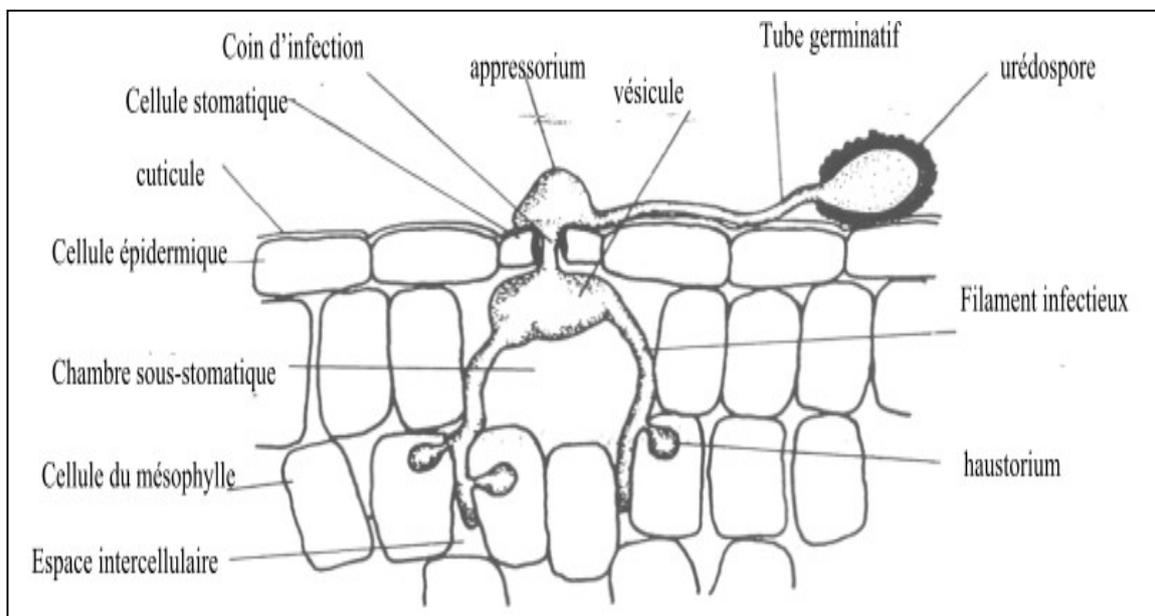


Figure 1 : Structures infectieuses d'un champignon

b) Enzymes de dégradation des parois

Un champignon pathogène doit franchir les barrières naturelles de la plante hôte tels que :

- la cutine : polymère de lipide cellules épidermiques aériennes,
- la subérine : substance cireuse présente au niveau de la tige ou des racines,
- la cellulose : principal constituant de la paroi des cellules végétales.

Les parois des cellules végétales sont riches en cellulose, hémicellulose, pectines, protéines et lignines. La dégradation de ces substances implique des enzymes fongiques spécifiques (Tableau 1). Certains champignons parasites des plantes ligneuses possèdent une gamme d'enzymes très complète pour dégrader les lignines du bois. La pourriture représente le stade final de digestion de ces parois ; elle peut être blanche, brune, sèche, molle, etc. D'autres enzymes peuvent être impliquées dans la dégradation des systèmes membranaires comme les phospholipases. Les amylases dégradent l'amidon dont le produit final, le glucose est directement assimilé par le champignon.

Tableau 1 : Enzymes fongiques impliqués dans la dégradation des parois végétales

Constituant cellulaire	Enzyme	Fonction
Cellulose	Cellulases et β glucosidase Endo et exoglucanase	Hydrolase
Hémicellulose	Hémicellulase, xylanase, arabinase	Hydrolase
Pectine	Pectine lyase	Hydrolase
	Pectine méthyl-esterase	Hydrolase ester
	polygalacturonase	Hydrolase
Lignine	Ligninase, laccase, lignin-peroxydase	Oxydation
Cutine	Cutinase	Hydrolase
Subérine	Oxydase et lipase	Oxydation, Hydrolase
Protéine	Protéase, protéinase	Hydrolase

c) Toxines, facteurs prépondérants du développement des maladies

Les toxines agissent sur les constituants cellulaires causant des désordres irréversibles aux cellules infectées tels que : les modifications de la perméabilité membranaire, inhibition de l'activité de certaines enzymes, l'altération des facteurs de croissance.

- **toxines non spécifiques** : ont un spectre d'action très large. C'est le cas de la tentoxine sécrétée par *Alternaria alternata* est impliqué dans le blocage de la phosphorylation de l'ADP en ATP dans les chloroplastes, ce qui affecte la synthèse de la chlorophylle en induisant la chlorose des tissus.

- **Toxines spécifiques** : affectent spécifiquement les cultivars sensibles d'une espèce végétale vis-à-vis du champignon pathogène correspondant.

2. Bactéries phytopathogènes

2.1. Caractères généraux

- Les bactéries phytopathogènes sont souvent gram négatif (*Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, etc.) ;
- seule la forme en bâtonnet intéresse les phytopathogènes ;
- leur nombre est faible par rapport aux nombreuses bactéries saprophytes et aux bactéries trouvées chez les animaux ;
- le génome est porté par un chromosome bactérien et par des plasmides, qui peuvent porter les gènes impliqués dans l'interaction du pathogène et de la plante hôte (exple : *Agrobacterium*, *Pseudomonas*).

Les symptômes provoqués par les bactéries phytopathogènes sont variés. Les plus importants sont :

- des taches huileuses sur le limbe foliaire (griaise du haricot provient de la *Pseudomonas Phaseolicola*, feu sauvage du tabac).ou sur des tiges (jambe noire de la pomme de terre) ;

- des infections vasculaires : les bactéries envahissent les vaisseaux et provoquent un flétrissement (flétrissement de la tomate, feu bactérien sur poirier) ;
- des tumeurs : principalement sur racines (galle du collet du rosier, framboisier, vigne, etc).
-

2.2. Principaux genres de bactéries phytopathogènes

La première subdivision taxonomique au sein des bactéries repose sur la composition de la paroi mise en évidence par la technique de la coloration de Gram. Les gènes qui codent pour l'ARN ribosomique jouent un rôle particulièrement important dans l'établissement des classifications des genres et des espèces bactériennes.

a) Bactéries Gram⁻ : Proteobactérie

➤ Section des α -Proteobactérie

- *Agrobacterium* : mis au contact d'une blessure, la bactérie peut provoquer chez quasiment toutes les dicotylédones, des galles (encore appelées tumeurs) ou quelquefois la prolifération anarchique de racines (ex. *Agrobacterium tumefaciens*).

Ce groupe contient également le genre *rhizobium* qui vit en symbiose avec les racines de légumineuses.

➤ Section des β -Burkholderia

- *Burkholderia* On retrouve le genre *Burkholdéria* qui provoque des flétrissements, des pourritures ou des nécroses.

- *Ralstonia* responsable de maladies vasculaires en région tropicale.

➤ Section des γ -Proteobactéria

- *Pseudomonaset Xanthomonas* : Les genres *Xanthomonas* et *Pseudomonas* se retrouvent partout et comportent plus d'une centaine de pathovars, qui s'attaquent aux céréales et graminées.

- *Erwinia* : ce genre est responsable d'importantes maladies de plantes, par exemple *Erwinia amylovora* est responsable de nécrose sur les arbres fruitiers (poirier, pommier...).

- *Xylella fastidiosa* : parasite obligatoire des vaisseaux du xylème.

➤ Section des ϵ -Proteobactéria : on retrouve de nombreuses espèces vivant dans les vaisseaux du phloème.

b) Bactéries Gram⁺

La valeur du pourcentage des bases C+G est fixe au sein d'une espèce. Le séquençage L'ADNr permet ainsi d'établir les liens de parenté entre chaque groupe taxonomique.

➤ Contenu C+G < 50%

- Section des *Clostridia* : des bactéries pectinolytiques appartenant au genre *Clostridium* (bâtonnets, anaérobies strictes, formant des spores) sont parfois associées à des symptômes de pourriture molle chez les végétaux placés en conditions d'anaérobiose.

- Section des Mollicutes : contient les phytoplasmes et spiroplasmes qui sont des bactéries sans paroi. Ces bactéries se font souvent transportées par des insectes vecteurs pour coloniser les vaisseaux conducteurs dans lesquels elles vivent.

- Section des *Bacilli* : les bactéries du genre *Bacillus* sont principalement saprophytes mais 3 espèces sont pathogènes, *B. megaterium* infecte le blé, *B. Circulans* infecte le palmier dattier et *B. polymyxa* infecte la tomate.

➤ Contenu C+G > 50% : on retrouve les bactéries corynéformes, qui sont actuellement divisées en 4 genres principaux : *Arthrobacter*, *Clavibacter*, *Rhodococcus* et *Streptomyces*. Les espèces les plus dommageables sont *clavibacter michiganenese subsp sepedonicum* provoquant la maladie de la nécrose annulaire de la pomme de terre, tandis que *C. michiganese subsp michiganense* cause le flétrissement de

la tomate. Ce groupe contient également le genre *Streptomyces*, procaryote possédant la structure d'un pseudo mycélium (forme proche de celui des champignons).

2.3. Modes d'actions et cycle parasitaire

On distingue :

- parasites facultatifs : possèdent une phase saprophyte (dans la rhizosphère ou phyllosphère) pendant une partie de leur cycle biologique, l'autre partie est parasitaire
- parasites obligatoires : ont une activité exclusivement parasitaire.

Le déroulement de l'épidémie exige l'enchaînement de plusieurs événements qui constituent le cycle infectieux de base : phase de conservation de l'inoculum, phase de d'infection et phase de dispersion.

a) Conservation et dispersion

- l'environnement aérien constitue un milieu important pour la survie et la dispersion des bactéries. Les bactéries parasites sont souvent naturellement présentes sur la surface des organes aériens des plantes, on dit qu'elles vivent en épiphyte. Cette phase épiphyte est favorisée par un degré d'humidité important. A cet égard, la présence des exopolysaccharides (capsule) joue un rôle important dans la survie des bactéries épiphytes en les protégeant à la fois de la dessiccation et des UV. L'eau de pluie en surface d'une feuille constitue un dispersant efficace, tant pour une même plante que pour le passage de plante à plante.
- le sol constitue un milieu de survie de nombreuses bactéries phytopathogènes. Le chimiotactisme des bactéries et leur capacité à se multiplier dans la rhizosphère sont influencé par les exsudats racinaires. Certaines bactéries colonisent les racines préférentiellement au niveau des zones d'élongation et d'émergences des racines secondaires, deux sites où les éléments nutritifs sont particulièrement abondants.
- Certaines bactéries sont capables de former des structures de protection : les spores, qui sont capables de résister à des températures élevées, aux rayons UV et à la dessiccation. Placées en conditions favorables, elles «germent » pour redevenir des cellules actives.
- Les phytoplasmes et spiroplasmes qui sont des bactéries parasites obligatoires des tissus conducteurs des végétaux, ils ne peuvent pas vivre de façon saprophyte. Entre deux cultures, ces agents se conservent dans les plantes pérennes ou dans les insectes vecteurs. Le groupe des phytoplasmes donnent par exemple des jaunissements, des flétrissements.

b) Phase d'infection et différents stratégies parasitaires

L'infection se fait le plus souvent de façon aléatoire (aérosols, vent, outils contaminés, eau d'arrosage chargée de germes, résidus de plantes infectées,...) par les ouvertures naturelles, stomates, lenticelles, ou des blessures. Les plaies peuvent être causées de plusieurs façons, notamment par des insectes phytophages. Une fois à l'intérieur de la plante, les bactéries utilisent différentes stratégies pour assurer leur croissance en phase parasitaire. Les mécanismes actifs de l'infection et de l'invasion sont au nombre de trois.

- le comportement nécrogène : certaines bactéries sécrètent des toxines qui provoquent des nécroses au niveau des feuilles. Exemple : des bactéries nécrogènes, genre *Xanthomonas*, *Ralstonia* et *Erwinia amylovora*.
- le pouvoir pathogène des bactéries dites « macergènes » : est lié principalement à la synthèse d'enzymes spécifiques dégradant les parois cellulaires végétales tels que les pectates lyases et les polygalacturonases. Ces bactéries sont responsables de pourritures molles, ex. *Erwinia chrysanthemi*.
- les bactéries oncogènes ou biotrophes : l'espèce type est *Agrobacterium tumefaciens*, responsable de la galle du collet chez les dicotylédones. Cette bactérie dispose d'un système moléculaire lui permettant de transférer un grand fragment d'ADN (appelé T-DNA, pour *transfert-DNA*) contenant plusieurs gènes présent sur l'un de ses plasmides (appelé plasmide Ti, pour *tumor-inducing*) vers l'ADN génomique de la plante.

3. Virus phytopathogènes

3.1. Caractères généraux

- Les virus sont constitués soit de l'ARN, soit de l'ADN monocaténaire ou bicaténaire, circulaire ou linéaire, entouré d'une capsidie protéique ;
- la plus part des virus végétaux sont des virus à ARN ;
- dans la cellule hôte, le virus perd sa capsidie et libère son acide nucléique ;
- Plus de 2000 maladies connues chez les plantes sont provoquées par plus de 600 types de virus identifiés ;
- La transmission des virus entre les plantes malades et saines implique le plus souvent des insectes vecteurs.

Les symptômes engendrés par une infection virale sont nombreux : nanisme, chloroses, nécroses, jaunisses, mosaïques, striures, rayures, Exemples de maladies : Mosaïque du tabac, du concombre, Sharka (pêchers, pruniers, abricotier, etc.).

3.2. Cycle cellulaire du virus dans la plante

Contrairement aux virus animaux, les virus végétaux sont incapables de traverser la paroi cellulaire. Leur pénétration se fait par les blessures ou par l'intermédiaire des vecteurs comme les insectes (cicadelles, aphides ou mouches blanches) pourvus de pièces buccales capables de percer et de sucer. Les principales phases du cycle viral sont la décapsidation, la traduction du génome, la réplication, l'encapsidation et le mouvement.

a) La décapsidation : une fois à l'intérieur d'une cellule hôte, le virus perd son enveloppe et son acide nucléique est libéré.

b) la traduction du génome : les virus utilisent la machinerie traductionnelle de la cellule hôte pour synthétiser leur protéines virales. L'ARN des virus contient une partie des déterminants génétiques nécessaires à sa multiplication, codant ainsi les ARN polymérase, les protéines de capsidie et de mouvement, des protéines impliquées dans le clivage de l'acide nucléique et la transmission du virus par son vecteur, et d'autres protéines de fonctions encore inconnues.

c) la réplication ou multiplication virale : lors de cette phase, il y a réplication du génome, expression du génome sous forme d'ARNm (transcription) et traduction des ARNm en protéines par la machinerie cellulaire. Selon les types de virus et la nature de leur génome, le mécanisme de la multiplication virale peut être très différent. Pendant ce cycle, il est impossible d'isoler une particule virale.

d) l'encapsidation (phase de maturation) : après la synthèse des protéines et la réplication du génome les deux composantes vont s'assembler et former de nouvelles particules virales.

3.3. Mouvement du virus dans la plante

On distingue deux stades dans le déplacement de nombreux virus au sein de la plante : de cellule à cellule, ou à courte distance, entre les cellules parenchymateuses et de déplacement à longue distance dans les cellules conductrices.

- le déplacement de virus de cellule à cellule passent par des plasmodesmes, ce déplacement est facilité par des protéines codées par les virus, ces protéines augmentent la limite de la taille d'exclusion (ces protéines sont nécessaires au mouvement en modifiant les plasmodesmes). Ex: la protéine de mouvement (MP) du virus de la mosaïque du tabac (TMV). Le déplacement de cellule à cellule par les plasmodesmes est un processus lent. Dans une feuille par exemple, le virus se déplace d'environ 1mm/jour.

- les cellules conductrices, essentiellement les tubes criblés du phloème sont le siège du mouvement à longue distance des virus. L'implication de la capsidie protéique (CP) dans le mouvement à longue distance concerne plusieurs genres viraux. Chez le TMV, la CP et les protéines de réplication, en association avec les flux des métabolites carbonés, dirigent les virus vers les zones d'élongation tissulaire. Dans ce cas le déplacement est rapide (cm/hr), le virus envahit la plante vers les tissus en croissance, même sens que les produits de la photosynthèse.

Remarque :

Les viroïdes : sont des agents pathogènes composés d'un acide nucléique de type ARN qui se réplique mais ne code aucune protéine. Ils n'ont été observés jusqu'à présent que dans le monde végétal.