

Contenu de la matière

Chapitre 1. ----- Caractérisation

Chapitre 2. ----- Entomologie parasitaire des systèmes forestiers

Chapitre 3. ----- Phytopathologie

Chapitre 4. ----- Préservation

1. Définition, historique et Objectifs de la phytopathologie

La phytopathologie est l'étude des maladies des plantes causées par des virus, des bactéries, des phytoplasmes et des champignons

La phytopathologie 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.

Phytopathologistes étudient :

- la biologie des plantes et des agents pathogènes des plantes,
- leurs interactions dans les environnements où les plantes sont cultivées,
- les moyens de contrôler ou de réduire les maladies des plantes (sur le terrain et après la récolte.)
- **ET** travailler avec les agriculteurs pour réduire la perte de récolte dues aux agents pathogènes.

Etiologie: définition et causes des maladies infectieuses et non infectieuses.

Les maladies des plantes sont dues à :

(1) **des organismes pathogènes** (surtout : champignons, virus, nématodes, bactéries)

(2) **les maladies physiologiques:** conditions environnementaux qui ne sont pas favorable pour la plante (manque des nutriments, Inondation, ensoleillement)

2. phytopathologie dans le processus de production, et l'importance des maladies des plantes dans l'agriculture

- Ravageurs et maladies représentent de grandes pertes de récoltes à travers le monde.
- Les mauvaises herbes, les insectes ravageurs et les maladies des plantes représentent **chacune** un moyenne d'environ **15%** de la perte de la récolte chaque année.
- dans les pays tropicaux, les maladies des plantes causent des pertes post-récolte des fruits et légumes.
- Les maladies des plantes peuvent être...
 - maladies désastreuses, e.g. mildiou des pommes de terre, fusariose de bananier ;
 - maladies limitants du rendement, e.g. pourriture des racines ;
 - cultures de mauvaise qualité, qui ne peuvent être facilement remarqués

3. Le concept de maladie des plantes : Quelles sont les fonctions d'une plante saine?

Tous les organismes vivants ont certaines fonctions biologiques nécessaires à la santé. Pour les plantes, ces fonctions biologiques comprennent:

- 1) Absorption d'eau et éléments minérales par les racines.
- 2) Transport d'eau et éléments minérales dans la plante.
- 3) La photosynthèse.
- 4) Transport des produits de la photosynthèse (sucres) tout au long de la plante.
- 5) Métabolisme et croissance.
- 6) Stockage de la nourriture.
- 7) Reproduction.

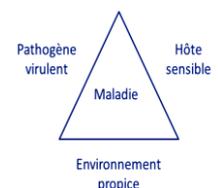
agents pathogènes interfèrent avec un ou plusieurs de ces fonctions biologiques.

4. Classification des maladies

Les maladies des plantes sont causées par des **organismes pathogènes**, ou les **maladies physiologiques**.

Le « **triangle de la maladie** »

- penser à la maladie comme une *interaction* avec trois pièces nécessaires:
 - 1) doit y avoir *un hôte qui est susceptible (prédisposé)* à devenir malade. e.g. champignons attaquent les jeunes racines et plants → les plus âgées ne sont pas susceptibles à la maladie.
 - 2) doit y avoir *un agent pathogène*, que nous appelons «*l'agent causal*», capable d'attaquer la plante.
 - 3) l'interaction entre l'agent causal et la plante doit se produire dans *un environnement qui est favorable* (propice). e.g. certains agents pathogènes dans le sol attaque quand il y'a beaucoup d'eau dans le sol, tandis que d'autres sont plus actifs dans le sol sec.



N.B :

- Nous pouvons illustrons l'importance de ces **trois facteurs** avec un modèle appelé la «**triangle de la maladie**».
- Le triangle de la maladie fournit également un moyen de penser à lutter contre les maladies des plantes.
- De nombreux champignons attaquent les feuilles des plantes nécessitant une pellicule d'eau sur la surface.

Signification d'une maladie chez une plante

- L'état de souffrance que subisse la plante suite à l'infection par un **agent pathogène** engendre un **déséquilibre dans les actions métaboliques des organes végétatifs**.
- Ceci, nous permet **de définir** la maladie des plantes comme étant un **déséquilibre phénologique** accompagné par **l'apparition de symptômes spécifiques**.

Agents pathogènes : tout organisme vivant jouissant de la faculté de produire l'infection par une **phase ou toutes les phases de son développement** chez les plantes hôtes.

Les maladies des plantes résultent souvent de **l'interaction de trois facteurs essentiels**, qui sont :

- Un **agent causal** de la maladie vivant : organisme pathogène.
- Une plante **hôte sensible** : hôte susceptible.
- Des conditions de **l'environnement favorables**.

Les plantes hôtes doivent être prédisposées à accepter l'agent parasite et subissent les conséquences de l'infection à travers :

1. La **concurrence** et la **compétition** avec la plante hôte suite à la consommation des contenus cellulaires.
2. Le **déséquilibre des activités métaboliques** des cellules de l'hôte à travers la production des toxines, d'enzymes et substances inhibitrices de la croissance.
3. L'empêchement de la circulation des éléments nutritifs et de l'eau dans les vaisseaux conducteurs.

Classification des maladies des plantes : Généralement les maladies des plantes sont classées comme suit :

- A - Classification **selon les symptômes** produits par les agents parasitaires, *e.g.* : pourriture des racines, chancre, flétrissement, gale, brûlure, mosaïque, ...etc.
- B - Classification **selon l'organe végétal attaqué**, exemple : maladies des racines, des tiges, des feuilles, des fruits, ...etc.
- C - Classification **selon les cultures**, exemples : maladies des céréales, des arbres fruitiers, des légumes secs, ...etc.
- D - Classification **selon la nature biologique de l'agent pathogène**. C'est la classification la plus suivie. Elle s'intéresse à l'identification de l'agent causal, l'étude du cycle de la maladie et les conditions de l'environnement favorables.

1. Maladies infectieuses (biotiques) . Causées par :	2. Maladies non infectieuses (abiotiques) . Causées par :
<ul style="list-style-type: none"> - des champignons. - des procaryotes (bactérie et phytoplasmes). - des plantes supérieures parasites. - des virus et viroïdes. - des nématodes. - des protozoaires. 	<ul style="list-style-type: none"> - température trop basse ou trop haute. - manque ou excès d'humidité. - manque ou excès de lumière. - manque d'oxygène. - pollution atmosphérique. - déficience nutritionnelle. - toxicité minérale. - acidité ou alcalinité du sol. - toxicité de pesticide. - mauvaise pratique culturale.

Les agents pathogènes

- Identifier le pathogène responsable
- Connaître : **son écologie son cycle de développement ses modes de dissémination et de maintien dans l'envi.**
- Il faut cependant garder à l'esprit que plusieurs pathogènes peuvent infecter une plante.

Agents subcellulaires :

0. Prions : ils n'ont pas encore été isolés chez les végétaux.

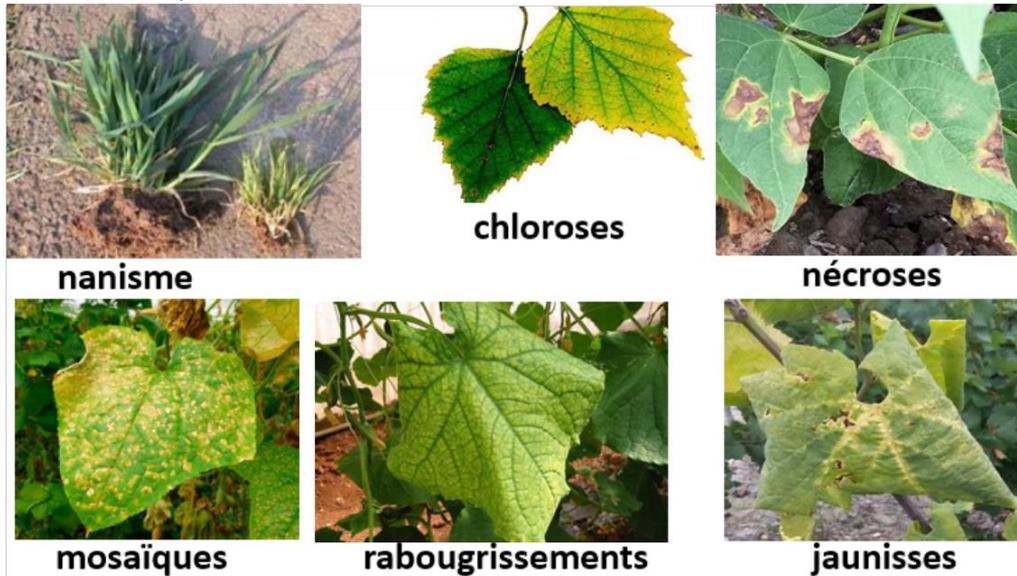
1. **Viroïdes** (~15sp). parasites intracellulaires stricts constitués d'ARN mono caténaire circulaire de 250 à 375 nts sans capacité codante sans propriété antigénique.

- Leur réplication et multiplication dépendent de la machinerie cellulaire de l'hôte.
- Les viroïdes induisent des nanismes des déformations des dépérissements.
- Leur **identification n'est possible** que par **hybridation moléculaire**.
- Leur transmission est essentiellement mécanique et certains insectes peuvent éventuellement servir de vecteur sans spécificité. Exemple de maladie : Tubercules en fuseau de la pomme de terre (*Potato spindle tuberviroid* PSTV)
- Leur mode d'action est encore inconnu. On suppose qu'ils provoquent des interférences sur le métabolisme des ARN cellulaires.

2. **Virus** (plus de 500 sp). Ce sont des parasites intracellulaires stricts.

- Leur acide nucléique peut être du DNA (minorité) ou du RNA mono ou bi caténaire circulaire ou linéaire de polarité positive ou négative.
- Le génome peut être divisé et permet l'expression de protéines non structurales pour la réplication virale et le mouvement de cellule à cellule et de protéines structurales (capside). La taille des génomes varie de 1500 à 15-20000 nts avec une capacité codante de 4 à 10 gènes.
- Leurs modes d'action sont souvent peu connus.

- Les infections virales provoquent de nombreux types de symptômes (nanisme chloroses nécroses mosaïques rabougrissements jaunisses...).
- Des tests sérologiques et moléculaires est souvent nécessaire pour compléter les identifications biologiques sur plantes indicatrices.
- La transmission des virus se fait par contact physique (greffe blessure) ou par des vecteurs (insectes champignons nématodes) selon un mode persistant ou non avec une grande spécificité. Exemple de maladie : Mosaïque du tabac, sharka).



Agents cellulaires :

3. Bactéries (~ 200 espèces) et Phytoplasmes.

- A. **Bactéries** : Procaryotes de 0.8 à 2 µm.
- Génome 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).
 - 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)
 - synthèse d'antibiotiques
 - synthèse d'hormones
 - synthèse des régulateurs de croissance (*Agrobacterium*, *Corynebacterium*)
 - enzymes lytiques (pectate lyase et méthylestérases d'*Erwinia carotovora*)
 - transfert d'ADN dans la cellule végétale (*Agrobacterium*).
 - Les infections bactériennes provoquent des symptômes variés (dépérissements pourritures tumeurs nécroses chancres flétrissements)
 - leur identification repose sur :
 - l'isolement et l'observation en microscopie (morphologie Gram présence de flagelles ...)
 - les tests biochimiques sérologiques et moléculaires (hybridation PCR ...).
 - Certaines bactéries vivent en symbiose avec les plantes en permettant la fixation de l'azote au niveau de nodules racinaires ou aériens (*Rhizobium* p. et *Bradyrhizobium* p.)
 - La transmission et la conservation des bactéries se fait par :
 - les débris et les organes végétaux morts et souillés.
 - Les pratiques culturales (taillages récoltes irrigation...)
 - les échanges internationaux (semences et organes de propagation végétative)
 - les insectes les nématodes la pluie et le vent sont autant de sources possibles.
 - Six genres bactériens sont principalement impliqués dans les maladies de plantes :
 - ***Agrobacterium*** : galle du collet (crown gall) (*A. tumefaciens*) chevelu racinaire (hairy root) (*A. rhizogene*).
 - ***Erwinia*** : feu bactérien des pomoïdes (*E. amylovora*) flétrissement des cucurbitacées (*E. tracheiphila*) jambe noire de la pomme de terre (*E. carotovora* subsp. *atroseptica*)
 - ***Pseudomonas*** : nécroses sur arbres fruitiers (*Burkholderia*, *Comamonas*, *P. Ralstonia*, *P. syringae*).

- *Xanthomonas* : nécrose bactérienne de la vigne (*X. ampelina*) pourriture noire du chou ou chancre des agrumes (*X. campe tri*).
- *Streptomyces* : galle commune de la pomme de terre (*S. cabies*)
- *Corynebacterium* : (*Clavibacter*, *Corynebacterium*, *Curtobacterium*, *Rhodococcus*) croissance anormale (*C. fascians*)

B. Phytoplasmes (Mollicutes) : Procaryotes strictement endophytes (liber).

- 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 (650K à 10⁶ pb).
- Il en existe **quatre types** :
 - les **phytoplasmes** ou **mycoplasma-like organisms (MLO)** non cultivables pour l'instant.
 - les **spiroplasmes** (*S. citris*) cultivable.
 - deux types de **Rickettsia-like organism (RLO)** spécifiques du **xylème** ou du **phloème**.
- Nanisme, balais de sorcières proliférations jaunisse : les symptômes provoqués étaient souvent attribués à des infections virales avant l'identification des mollicutes.
- La transmission des mollicutes se fait par greffes ou par des insectes vecteurs (Cicadelles) qui se nourrissent de la sève du liber.
- Exemple de maladie : entêtement des agrumes dépérissement du poirier prolifération de la pomme de terre flavescence de la vigne.

4. Champignons (~ 8000 espèces). Eucaryotes présentant une très grande variété taxonomique du fait de l'organisation complexe de l'appareil végétatif et de leur mode de reproduction.

- Une classification simplifiée (ordre familles et genres) peut être réalisée comme suit :
 - ❖ **Mastigomycetes** (zoospores uni ou bi flagellées thalle non cloisonnée).
 - ✓ 1) Thalle de type plasmode : Myxomycetes (plasmode libre) plasmodiophoromycetes (plasmode endocellulaire).
 - ✓ 2) Absence de plasmode : Thalle non cloisonnée : Chytridiomycetes (Zoïdes uni flagellées) Oomycètes (Zoïdes bi flagellées) *Phytophthora infestans*.
 - ❖ **Astigomycetes** (jamais de zoospores).
 - ✓ 1) Thalle en forme de filaments non cloisonnés reproduction sexuée par conjugaison de deux gametange semblables aboutissant à la formation d'une zygospore. Zygomycetes.
 - ✓ 2) Filaments généralement cloisonnés : Basidiomycetes (*Ustilago tritici*, *Puccinia graminis*) Ascomycetes (*Claviceps purpurea*), Adelomycetes (*Fusarium oxysporum*), Champignons stériles (*Mycelia sterilia*)...
 - ❖ **Mastigomycetes** (zoospores uni ou bi flagellées thalle non cloisonnée).
 - ✓ Thalle de type plasmode : (plasmode libre) Vs (plasmode endocellulaire).
 - ✓ Absence de plasmode : Thalle non cloisonnée : (Zoïdes uni flagellées) Oomycètes (Zoïdes bi flagellées).
 - ❖ **Astigomycetes** (jamais de zoospores).
 - ✓ Thalle en forme de filaments non cloisonnés reproduction sexuée ► Zygomycetes.
 - ✓ Filaments généralement cloisonnés : Basidiomycetes, Ascomycetes, Adelomycetes (*Fusarium oxysporum*), Champignons stériles...
- Les champignons se nourrissent de la matière organique à leur disposition et sont hétérotrophes vis à vis du carbone.
- Leur écologie est complexe et très variée :
 - **saprophytes** : décomposition de la matière organique.
 - **symbiotique** : mycorhiziens ou lichens.
 - **parasitique** : biotrophe ou nécrotrophe.
- La majorité des champignons se reproduisent de manière sexuée et asexuée.
 - Les **spores** produites en très grande quantité et issues de la **reproduction asexuée** assurent la **dissémination spatiale** de l'espèce.
 - La **reproduction sexuée** lorsqu'elle est observée assure un **brassage génétique** fondamental dans :
 - ✓ les processus d'adaptation
 - ✓ contournement de traitements antifongiques
 - ✓ de gènes de résistance de plantes protégeant momentanément les végétaux.
- Un cycle de multiplication fongique : pénétration, infection, dissémination, peut s'étendre sur quelques semaines une saison culturale ou plusieurs années.
- Les symptômes observés sont multiples variés et atteignent tous les organes du végétal: pourritures, nécroses des (fleurs, fruits, tiges, feuilles); chancres sur les tissus de protection; dépérissements, flétrissements des vaisseaux du bois.
- Les champignons sont à eux seuls responsables de 70% des pathologies végétales.
- Maladie importante :
 - Ergot de seigle (*Claviceps purpurea*),
 - mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*),

- Rouilles (*Puccinia*)
- charbon (*Ustilago*),
- Oïdium (*Erysiphe*) des céréales,
- tavelure (*Venturia*) des arbres fruitiers.

5. Protozoaires (~ quelques dizaines).

Quelques protozoaires phytopathogènes qui appartiennent au genre *Phytophthora* et provoquent des maladies en zone tropicales (flétrissement léthal du cocotier nécrose du phloème du caféier...)

6. Nématodes (~ 500 espèces).

- Eucaryotes pluricellulaires à reproduction sexuée ou parthénogénétique vivant dans le sol ou dans l'eau. En conditions optimales leur cycle dure environ 3 semaines.
- Leur sécrétions salivaires sont responsables de nécroses déformations tumeurs.
- Combinés à d'autres pathogènes (*Fusarium*, *Verticillium*) ils constituent un complexe parasitaire. Les nématodes sont également vecteurs de néovirus (*Xiphinema index* et *X. italiae* sont vecteurs du court noue de la vigne).
- La lutte contre les nématodes est délicate à mettre en œuvre (chaleur, agents chimiques hautement toxiques, rotations).

7. Phanérogames (~ 2500 espèces).

- Ce sont des mauvaises herbes parasitant d'autres plantes (**gui, cuscute, striga** ...).
- En plus du parasitisme il faut tenir compte des possibles compétitions que peuvent exercer les phanérogames sur les plantes cultivées.
- De plus ces parasites peuvent constituer un réservoir de pathogènes

Diagnostic, détection et identification des maladies

1. Diagnostic :

- Indispensable à la mise en œuvre de moyens de lutte appropriés contre la maladie.
- Pour cela il est nécessaire de recueillir différents types d'informations :

a. Les symptômes :

- ✓ leur nature (altérations de **couleur** de **morphologie** de la **croissance** du **métabolisme**)
- ✓ leur localisation
 - altération uniforme de la plante entière : problème racinaire ou tige
 - altération orientée : pollution portée par vents dominants projection de sels)
 - atteinte localisée des vaisseaux.

► Il faut garder à l'esprit que des symptômes visibles en un endroit de la plante peuvent avoir pour cause primaire un autre organe de la plante.

b. L'observation de la parcelle :

- Son exposition (vent, pluie, soleil),
- l'état sanitaire des parcelles voisines
- l'état sanitaire de plantes indicatrices ou accumulatrices (rosiers plantés en tête de rangée dans les vignobles alsaciens car plus sensibles à l'oïdium)
- la proximité d'activités humaines polluantes
- la distribution spatiale et la progression de la maladie (une limitation dans l'espace indique l'accumulation de substances toxiques un mauvais drainage une mauvaise qualité du sol ; la disposition des plantes malades en rangées parallèles indique une contamination par les outils alors qu'une répartition en taches aléatoires indique un mode de propagation biologique aphides nématodes...).

c. L'histoire de la parcelle :

- anciennes salines ou champs d'épandage
- conditions météorologiques; existence de rotation de cultures (sensibilité des espèces, exigences différentes en nutriments)
- traitements effectués (insecticides ; fongicides ; engrais ; irrigation...)
- origine des semences des plants ou des greffons.

Les symptômes peuvent être caractéristiques : plante connue comme hôte du pathogène soupçonné ; conditions climatiques et période propices : l'identification est aisée c'est le cas des rouilles ; Oïdium ; charbons...

Les symptômes peuvent prêter à confusion : agents provoquant des symptômes semblables agent provoquant des symptômes variés selon l'environnement... actions simultanées ou successives d'agents abiotiques et pathogènes.

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 doivent répondre aux règles proposées par Robert Koch en 1881:

- I. Le **micro-organisme** doit être associé à la maladie chez **tous les individus** atteints.

- II. Le **micro-organisme** doit avoir été isolé d'individus malades et multiplié en culture pure (virus et viroïdes qq. Bactéries et champignons parasites obligatoires peuvent être multipliés sur leur hôtes).
- III. La **maladie** doit avoir été reproduite par **inoculation** du parasite multiplié «**in vitro**» (possibilité de recourir à des méthodes indirectes comme : les greffes ; les insectes vecteurs...).
- IV. Le **micro-organisme** doit être ré isolé d'individus malades après inoculation.

2. Détection et identification des pathogènes :

2.1 méthode de détection et applications : La méthode de détection doit répondre à différents critères ► moins chère ► possible ► rapide ► simple ► sans risque de mise en œuvre précise sensible ► fiable.

✚ Différentes techniques de détection sont disponibles :

- l'observation à l'œil nu, à la loupe binoculaire, au microscope optique ou électronique.
- L'isolement et mise en culture,
- l'analyse des isoenzymes (cas des champignons pathogènes),
- l'indexage (transmission à des plantes indicatrices utilisé pour le diagnostic des maladies virales)
- les tests sérologiques (ELISA immunoprécipitation double diffusion ...)
- l'analyse des acides nucléiques (PCR hybridation *in situ* RFLP RAPD...).

✚ Les applications sont multiples :

- diagnostic de maladies
- vérification de l'état sanitaire de matériel végétal
 - ✓ certification des semences,
 - ✓ réalisation d'expertises,
 - ✓ suivi de traitements phytosanitaires,
 - ✓ éradication systématique des plantes atteintes par la maladie,
- surveillance d'évolution de souches virulentes de pathogènes.

2.2 Relation hôte - pathogène :

Le processus d'infection d'une plante par un pathogène débute en général par des échanges de signaux moléculaires.

L'acétosyringone larguée par la plante active les gènes tumorigènes d'*Agrobacterium tumefaciens* situé dans un proche voisinage.

Dès contact, l'entrée se fait par :

- ✓ des **ouvertures naturelles** (stomates, lenticelles ...),
- ✓ des **blessures** (poils cassés, dégâts du gel...)
- ✓ **attaque de la couche protectrice** (cutinases et pectinases, injection par vecteur).
- ✓ peut se faire également au niveau des **fleurs** (*Erwinia amylovora*).

- Des échanges moléculaires s'opèrent également lors de cette contamination pénétration.
- Le pathogène se multiplie ou non après une phase de latence la colonisation se poursuit et des symptômes apparaissent.

Deux types de relation peuvent s'établir :

- **BIOTROPHE** (le parasite exploite la cellule végétale sans la tuer) ou
- **NECROTROPHE** (destruction de la cellule végétale).

Avant l'établissement de la relation parasitaire le « dialogue » moléculaire qui s'engage entre parasite et plante aboutit à deux situations :

- **Réaction compatible :** le pathogène l'emporte se multiplie de façon active et colonise l'hôte qui développe des symptômes plus ou moins prononcés en fonction de l'agressivité du parasite et de la résistance de la plante.
- **Réaction incompatible :** les réactions de défense de la plante sont efficaces et stoppent assez rapidement la multiplication du parasite. Trois types de résistances sont caractérisés :
 - * **La résistance non-hôte :** incompatibilité d'espèce des deux parties.
 - * **La résistance générale (horizontale) :** polygénique partielle, conduit à une compatibilité plus ou moins marquée.
 - * **La résistance spécifique (verticale) :** souvent monogénique ; elle entre dans le cadre du modèle **gène à gène**.

Lors de la relation parasitaire, le pathogène peut produire :

- des cutinases, pectinases cellulases, qui attaquent les **protections cellulaires**
- des phytotoxines qui peuvent être responsables de perturbations fonctionnelles voire de la mort cellulaire.
- Des composés acidifiants peuvent être produits et favoriser le développement de pathogène (acide oxalique par *Sclerotinia clerotinium*).
- La plante présente des réactions variées selon son état réceptif ou non réceptif.
- Elle peut synthétiser des composés phénoliques antibactériens et antifongiques (cas de l'acide chlorogénique, de la pomme mûre).
- La plante présente des réactions variées selon son état **réceptif** ou **non réceptif**.
- Elle peut synthétiser **des composés phénoliques** antibactériens et antifongiques (cas de l'acide chlorogénique, de la pomme mûre).

- En contact avec un parasite, les plantes produisent des molécules de défense comme les phytoalexines, des protéines antivirales et des PR protéines (Pathogenesis Related protein : certaines sont des chitinases, glucanases inhibiteurs de protéases...).
- Pour restreindre la progression du pathogène la plante peut mettre en place des barrières de lignine et de callose et/ou établir une relation hypersensible en provoquant une nécrose des cellules infectées et des cellules adjacentes dans le cas de relation **gène à gène** (modèle **éliciteur-récepteur**).

2.3 - Relation entre la plante et l'agent infectieux

L'agent pathogène a besoin d'un végétal sensible et des conditions environnementales favorables pour que l'infection se réalise et les symptômes apparaissent.

Ce microorganisme qui vit au dépend de la plante y puise son alimentation, se multiplie à l'intérieur, s'appelle **parasite**, et se caractérise par :

- 1- La faculté de **pénétrer** à l'intérieur de l'hôte directement ou avec un intermédiaire
- 2- La faculté de se **multiplier**
- 3- La faculté de se **disséminer**
- 4- La faculté de **résister** aux conditions défavorables.
- 5- La faculté de **s'adapter** à ces conditions.

Parasitisme ► relation biologique entre le pathogène et l'hôte végétal. Le pathogène puise son alimentation nécessaire à partir de la plante parasitée. Il s'ensuit des effets sur la quantité d'énergie dont la plante a besoin pour accomplir ses activités physiologiques et métaboliques. Le résultat est un affaiblissement de la croissance normale et l'apparition de la maladie qui évolue et se développe ; dans ce cas la relation devient négative pour la plante hôte..

Les microorganismes sont classés soit en:

- **Parasites obligatoires** : ils ont besoin des tissus végétaux pour survivre et gardent la plante infectée vivante aussi longtemps que possible;
 - **Parasites facultatifs** : vivre aussi bien sur les plantes vivantes que sur les tissus morts
 - **Saprophytes** : qui vivent uniquement sur les tissus morts.
- ❖ **l'infection** ► évolution de la relation entre le **pathogène** et l'**hôte**.
 - ❖ **Indemne, exempt ou immune** ► L'hôte qui ne peut être attaqué,
 - ❖ **Résistant, tolérant** ► l'hôte chez lequel l'infection se développe lentement ou le cycle biologique est incomplet.
 - ❖ **Sensible** ► Si la maladie se devient favorable à l'hôte donc la plante est susceptible à l'infection.

2.4 - Les phases de développement de la maladie :

Série de faits qui arrivent successivement l'un après l'autre et qui aboutissent à la fin au développement de la **maladie** et l'apparition des **symptômes** ► **cycle de la maladie**

Le cycle de la maladie comprend les étapes essentielles suivantes :

🌈 **L'inoculation :**

C'est le premier contact entre l'agent pathogène (► **inoculum**) et la plante hôte.

Inoculum ► pathogène complet ou une partie de ses organes de fructification).

Cas des champignons : l'inoculum est constitué de mycélium, spores ou de **sclérotés** (masses mycéliennes).

Cas des bactéries, virus, viroïdes, phytoplasmes : la particule complète du microorganisme.

Il existe plusieurs types d'inoculum, les plus importants :

A - Inoculum primaire : conserve sa vitalité pendant l'hiver et dès le démarrage de la végétation au printemps, il provoque l'infection, il en résulte **l'infection primaire**.

B- Inoculum secondaire : résultant de l'infection de l'infection primaire, ► **infection II**.

🌈 **La pénétration** : On distingue trois types de pénétration.

a - Pénétration directe de la surface d'un végétal : C'est la voie la plus utilisée par les champignons, en formant des petits filaments (**hyphes**) ou à travers un organe de fixation appelé **l'appressorium** (soit par une pression mécanique, soit par la sécrétion d'enzymes).

b - Pénétration à travers les blessures :

- Plusieurs agents phytopathogènes qui ne peuvent pas pénétrer exploitent donc, les blessures de la surface des plantes (les facteurs de l'environnement, les vents forts, rayons du soleil, vents de sable, le gel, les incendies et les opérations culturales et provoquées également par des organismes prédateurs).
- Si les bactéries exploitent les blessures pour pénétrer, les virus, les viroïdes et les phytoplasmes, sont généralement transmis par des vecteurs biologiques comme les insectes et les nématodes ou transmis par les outils agricoles.

c - Pénétration à travers les ouvertures naturelles : Tous les types d'ouvertures naturelles qui comprennent les stomates aquifères, les ouvertures aromatiques et les lenticelles constituent des points d'entrée et le démarrage d'une infection parasitaire.

🌈 **L'infection :**

- La fixation et l'installation de l'agent pathogène dans les cellules de l'hôte et la satisfaction de ses besoins alimentaire pour qu'il survive et subsiste, et évolue à l'intérieur. Se traduit par: développement, multiplication, dissémination à tous les organes de la plante infectée, et l'apparition des symptômes sur le plan interne et externe.
- **période d'incubation (=latence)** ► L'intervalle de temps compris entre l'inoculation et l'apparition des premiers symptômes .
- si les conditions nécessaires sont réunies, l'infection passe par deux phases :
 - a - l'invasion ou l'envahissement :**
 - passage de l'agent pathogène des cellules et des tissus infectés lors de l'infection primaire vers d'autres cellules et des tissus avoisinants dans la même plante hôte.
 - Agents phytopathogènes :
 - ✓ situés à l'extérieur de la plante mais émettent des **organes de succion (haustoria)** à l'intérieur des cellules de la cuticule, dans ce cas sont dits **extracellulaires**.
 - ✓ situés à l'intérieur des cellules et dans ce cas on les appelle les **intracellulaires**, ou sont localisés entre les cellules dans les espaces intercellulaires et portent le nom d'**intercellulaires**.
 - ✓ Certains n'infectent qu'un tissu bien particulier à savoir le tissu conducteur et dans ce cas on ils induisent le **flétrissement vasculaire**,
 - ✓ alors que les bactéries, les phytoplasmes et les virus, se déplacent entre une cellule et une autre à travers les canaux intercellulaires appelés : **plasmodesmes**.
 - b - Multiplication de l'agent pathogène :**
 - Les champignons pathogènes des plantes forment :
 - Soit un **mycélium** à l'intérieur des cellules / à l'extérieur, l'exemple des *oidiums*.
 - Soit des **spores** dans la partie infectée et se libèrent à l'extérieur dans l'air, comme ils peuvent formés des spores uniquement à l'intérieur des cellules infectées ne se libèrent à l'extérieur qu'à la mort de la plante hôte (*e.g. Verticillium*).
 - Bactéries (rickettsies et phytoplasmes) se multiplient par division binaire à l'intérieur des cellules et libérées à l'extérieur de la plante qu'une fois meurt et le développement se fait exclusivement au niveau des tissus conducteurs.
 - Virus et viroïdes, leur multiplication par réplication de l'acide nucléique dans la cellule, la synthèse des protéines nécessaires à la formation de la particule virale.
- ✚ **Dissémination de la maladie :**
- le déplacement de l'agent pathogène ou une partie des ses formes de reproduction de la source d'infection vers d'autres hôtes sains ou vers d'autres régions.
- On distingue plusieurs voies de dissémination, les plus importantes sont **l'eau**, les **vents**, les **insectes** et autres **animaux** et **l'homme**.
 - A - Dissémination par les vents :**
Agents pathogènes qui vivent à l'extérieur (spores, graines des plantes contaminées) se déplacent par les vents à différents endroits et germent pour donner de nouveaux foyers.
 - B- Dissémination par l'eau :** Les gouttelettes d'eau de pluie et d'irrigation, accrochent les spores fongiques et les bactéries et les transmettent. Même offre à certains pathogènes **l'humidité** qui permette la germination lors du déplacement, ce qui accélère l'infection.
 - C - Dissémination à travers l'homme et les animaux domestiques de la ferme :**
L'agriculteur lors de ces visites, les outils agricoles utilisées, plantation infectées, animaux domestiques de ferme (exo/endozoochorie) permettent le déplacement des agents pathogènes.
 - D - Dissémination biologique :** Vecteur (insectes, nématodes, champignons). *e.g. :*
Phytoplasmes par des insectes de types *ciccadelles* à l'aide de leur stylet.
nématodes également véhiculent un grand nombre de virus (*Nepovirus*).
- ✚ **Dormance ou hibernation du pathogène :**
 - les conditions de l'envt deviennent défavorables, la plante arrive à la fin de son cycle végétatif, les agents pathogènes passent par une période de dormance à travers plusieurs manières sous forme de particules complètes pour les virus, bactéries, et phytoplasmes ou sous forme de mycélium ou conidies pour les champignons.
 - Dans le reste des plantes mortes, dans les produits finis (tubercules, rhizomes, graines, etc.)
 - Dans les sols contaminés par diverses formes de résistance (Sclérotés, Chlamydo-spores, rhizomorphes).
 - A l'intérieur des plantes pérennes (arbres fruitiers, forestiers, ...etc.).
 - A l'intérieur des plantes hôtes secondaires (pérennes ou annuelles).
 - A l'intérieur de vecteurs biologiques.

Quand les conditions de l'envt deviennent favorables, l'agent reprend son activité et renouvelle l'infection.

3. Les symptômes des maladies des plantes :

- Le moment où apparaissent les symptômes est souvent considéré comme le début de la maladie, alors qu'il s'agit en réalité de l'extériorisation d'un processus dont l'origine est évidemment antérieure.
- La maladie commence dès que la première cellule réagit, mais ne se manifeste que lorsque les réactions deviennent perceptibles extérieurement.
- Les symptômes peuvent être localisés ; généralisés ou systémiques (système conducteur).

Les symptômes comportent essentiellement des :

1. **changements de couleur** : Chlorose ; Albinisme ; Mosaïque ; Hyperchlorophyllose Anthocyanose ; Mélanose.
2. **altérations d'organes** : Nécroses ; Perforation ; Flétrissement ; Pourritures ; Taches subéreuses.
3. **modifications anatomiques** : Anomalies des rameaux et des tiges ► (Fasciation ; Balais de sorcière ; Chancres : Bois souple)/Anomalies des feuilles ► (Polyphyllie : Frisolée ; Énations)/ Anomalies des fleurs : (Virescence & Chloranthie (=Phyllodie)/ Anomalies de croissance ► (Nanisme et atrophie & Gigantisme et hypertrophie
4. **productions anormales de substances** : Exsudation ; Gommose ;
5. **altérations divers du métabolisme** : Altération de la photosynthèse ; Altérations de la respiration ; Altération du métabolisme minéral ;
6. **Anomalies internes** : Symptômes macroscopiques & Symptômes microscopiques : Thylose ; Callose ; Inclusions dans les cellules ;
7. **Excroissance pathologiques** : Tumeurs ; Galles ; Gales ;

Les méthodes de lutte :

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** de **multilignées** ou la **succession dans le temps** de variétés de sensibilités différentes.
 - 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.
1. **Règlements phytosanitaires**; Visent à :
 - ✓ surveiller l'état des cultures
 - ✓ empêcher l'introduction dans une zone donnée de nouveaux pathogènes
 - ✓ délivrer des certificats pour l'exportation de produits de plants de semences

Au niveau international, la première convention date de 1951 ► puceron (*Phylloxera vitifoli*) ► **destruction de la quasi-totalité du vignoble français**.

Services de protection des Vx ► mesures à empêcher l'introduction de nouveaux pathogènes :

- interdiction de certaines exportations
- mise en quarantaine ou désinfection préalable
- surveiller l'état phytosanitaire du territoire
- informer des risques de maladies
- prendre des mesures pour éradiquer ou limiter une maladie
- délivrer des certificats phytosanitaires en particulier pour l'exportation.

2. Lutte par les pratiques culturales;

Les mesures sanitaires permettent donc de

- réduire **l'inoculum primaire** & la propagation par l'utilisation de semences saines.
- passage ordonné des machines agricoles (terres saines puis infectées nettoyage et désinfection des outils).
- Traitement par le feu ► **Mais** ► sol biologiquement vide sensible aux contaminations.
- Les rotations de cultures dans le temps et dans l'espace ► effet bénéfique sur l'état phytosanitaire des cultures.
- Absence de hôte ► parasites non persistants ► éliminés (*Fusarium*, *Sclerotinia* ...).
- Les cultures en mélange (multilignées) peuvent réduire la sévérité des maladies.
- Des plantes pièges peuvent servir à confiner et ralentir les pathogènes.
- Déséquilibre d'engrais ► fragilise et rend les plantes sensibles aux pathogènes.

- Engrais verts ou calciques ► bénéfiques pour les cultures ► croissance des saprophytes du sol ► entrent en compétition avec les pathogènes ► Comme ils peu favoriser la croissance du pathogène ► dissémination.
- L'irrigation augmente la vigueur des plantes **mais** favorise aussi le développement des maladies (microclimat humide) le drainage limite les risques d'hypoxie des racines.
- Mécanisation est dangereuse ► provoque des lésions ► l'entrée de pathogènes.
- Planification (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.

3. Lutte génétique;

Résistance :	Pathogène + Env propice Mais la plante peu ou pas malade
tolérance :	La plante supporte la présence du pathogène sans effet sur sa c ⁷ et son dévelopmt
résistance totale (absolue) :	Aptitude d'un génotype de l'hôte à empêcher le dvlpt du pathogène.
résistance partielle :	Limite l'incidence physiologique ► limite leur: (dvlpt ; effet sur son métabolisme)
résistance monogénique :	Résistance gouvernée par un ou qlq gènes (=gènes majeurs).
résistance polygénique :	Résistance gouvernée par nombreux gènes (=gènes mineurs)
hypersensibilité :	Sensibilité excessive ► cell affectées meurent rapid ► bloquent l'avancé du pathogène.
relation compatible :	Multiplication active du pathogène + colonisation. Pathogène virulent et l'hôte sensible.
relation incompatible :	Arrêt précoce de la c ⁷ et de la colon.. ► pathogène virulent ou non... hôte résistant
résistance verticale :	Résistance des <i>variétés</i> d'hôte dépend de la <i>souche</i> du parasite. Soit 0 soit 100% de résistance totale de <i>var</i> .. ► résistance spécifique, mono ou oligogénique, biotype avirulent déclenche le gène d'hypersensibilité chez l'hôte ► manipulable pour l'amélioration des plantes ► <i>new cultivar</i> .
résistance horizontale :	Résistance des <i>variétés</i> d'hôte ne dépend pas de la <i>souche</i> du parasite. Non spécifique. pas de sélection de gène. R polygénique ► durable. Et intervient au ≠ts niveau de cycle parasitaire (infection, latence, sporulation...)

- Basée sur la culture de variétés **résistantes** ou **tolérantes** au pathogène considéré.
- L'efficacité de la **résistance spécifique ou verticale** ► peut être contournée par le pathogène par mutation en particulier lors de cultures successives et prolongées.
- La résistance **générale ou horizontale (polygénique)** stable difficile à sélectionner) n'est pas totale mais elle ralentit la progression de la maladie quelque soit la souche de pathogène avec une spécificité plus ou moins grande.

4. Lutte chimique;

- Elle est entrée en action il y a cent ans lors de l'utilisation de la bouillie bordelaise (Milliardet 1885). à base de sulfate de cuivre et de chaux.
- Le plus gros marché est celui des herbicides.
- Les produits les plus utilisés sont les **fongicides** (*non systémiques* de contact ou *systèmeiques* pénétrants), les **insecticides**; **nématicides** qui permettent également une lutte antivirale par élimination du **vecteur**.
- L'utilisation des antibiotiques est interdite, seule quelques composés cupriques sont autorisés.

5. Lutte biologique;

- 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 (souches hypo ou avirulentes) ► compétition avec le pathogène pour l'invasion de l'hôte ou déclenchent son mécanisme de résistance créant une prémunition.
- L'antagonisme des *Trichoderma* (champignons du sol) contre d'autres champignons peut être utilisé au niveau de lésions pour éviter les invasions ultérieures (Fusarium Pythium Rhizoctonia...),
- La flore saprophyte de certaines terres rends les sols «résistants» ou «suppresseurs» et ne permet pas au pathogène de s'exprimer.
- ► Ce type de résistance semble pouvoir se transférer à d'autres sols par incorporation.

6. Lutte physique ;

- La chimiothérapie ne permet pas de lutter contre les virus et la lutte antivirale repose donc sur l'attaque des vecteurs lorsqu'ils existent.
- Une culture par propagation surveillée permet d'obtenir des plants indemnes de virus, mollicutes ou bactéries.
- 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.

Maladies en pépinières

