



**HAL**  
open science

## Maladies cryptogamiques des plantes

Sébastien Guyader

► **To cite this version:**

Sébastien Guyader. Maladies cryptogamiques des plantes. Master. Université des Antilles, Campus de Fouillole, Pointe à Pitre, Guadeloupe, France. 2023, pp.58. hal-04161960

**HAL Id: hal-04161960**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04161960>**

Submitted on 13 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Open licence - etalab



# ➤ Maladies cryptogamiques des plantes

23 février 2023 / Master 1 Biologie Santé

Sébastien GUYADER - INRAE - UR Astro - Petit-Bourg - [sebastien.guyader@inrae.fr](mailto:sebastien.guyader@inrae.fr)



# Plan

1. Introduction sur les maladies cryptogamiques
2. Biologie et épidémiologie des champignons phytopathogènes
3. Méthodes de lutte
4. Interactions plante/pathogène
5. Immunité, résistance et sensibilité
6. Perturbations physiologiques et symptômes



# 1. Introduction



**INRAE**

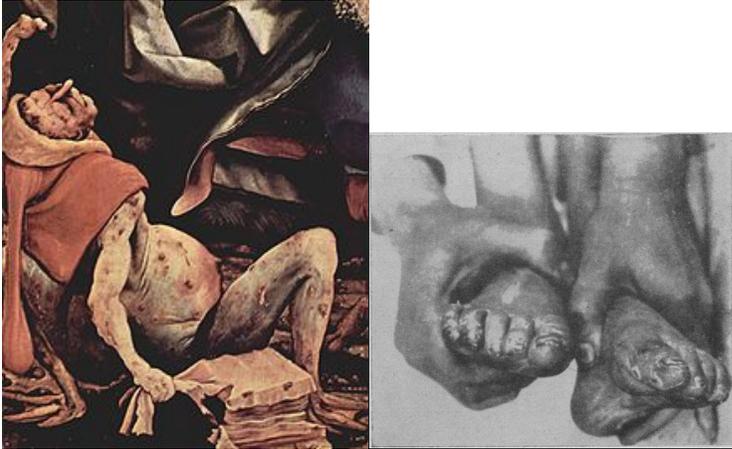
Maladies cryptogamiques des plantes

23 février 2023 / Master 1 Biologie Santé / Sébastien Guyader

# 1.1. Repères historiques

## L'ergot des céréales

- Maladie de l'**ergotisme** : symptômes neurologiques (convulsions), physiques (gangrènes)
- Connue depuis **plus de 2000 ans**, mais épidémies importantes au Moyen Age



- Cause : l'ergot du seigle *Claviceps purpurea*
- Ingestion de farine contaminée par des ergots (sclérotés) entraîne une **intoxication par alcaloïdes**
- La caractérisation de ces alcaloïdes a conduit à la découverte du **LSD**



# 1.1. Repères historiques

## La grande famine en Irlande

- Au XIX<sup>e</sup> siècle, **effondrement de la production** de pomme de terre (1845-1852)
- **1 million de morts** + 1 million d'émigrés vers les USA (chute de plus de 20% de la population)

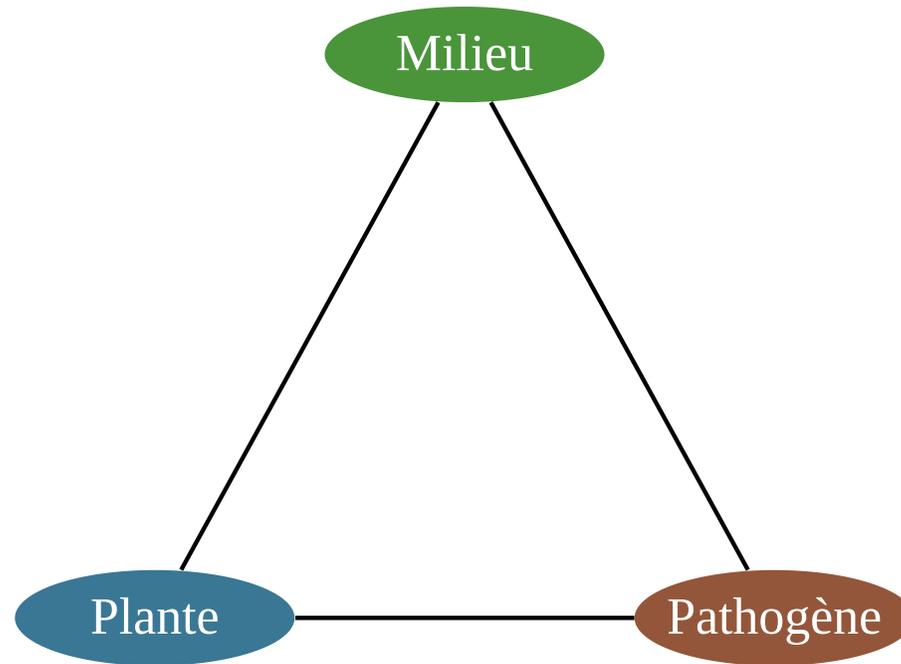


- Cause : le **mildiou de la pomme de terre** *Phytophthora infestans* (oomycète)
- La maladie entraîne une **nécrose** des feuilles et des tubercules



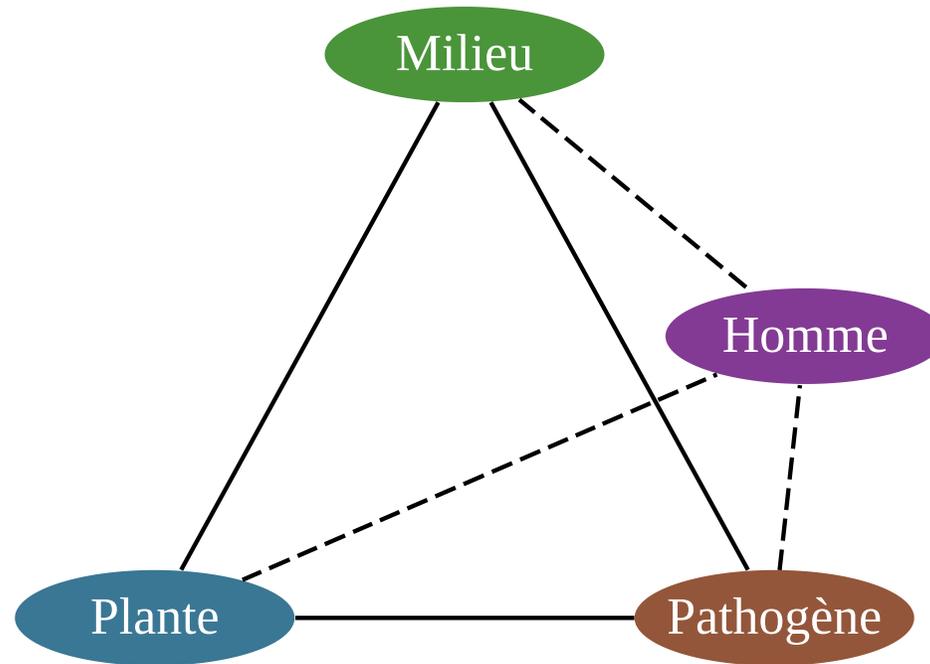
## 1.2. Le "triangle de la maladie"

Maladie = interaction entre 3 éléments fondamentaux



## 1.2. Le "triangle de la maladie"

Maladie = interaction entre 3 éléments fondamentaux



## 2. Biologie et épidémiologie des champignons phytopathogènes



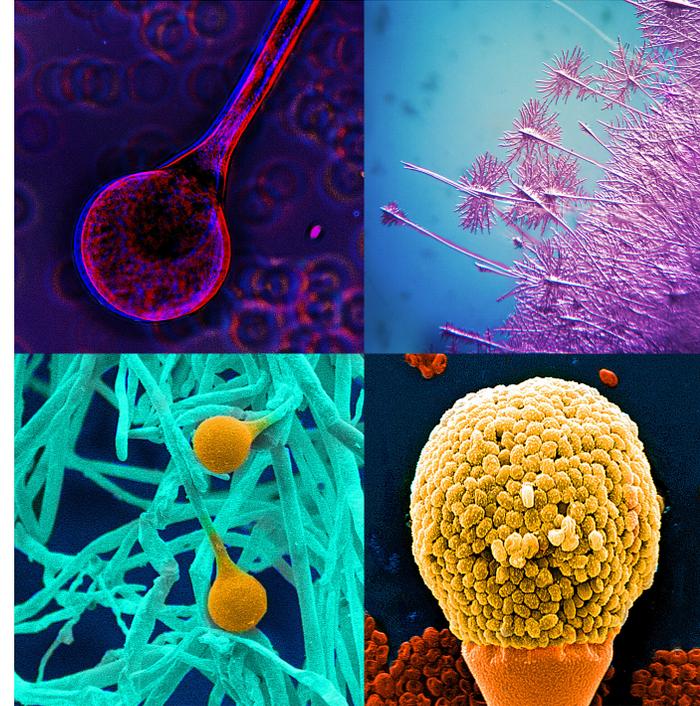
**INRAE**

Maladies cryptogamiques des plantes

23 février 2023 / Master 1 Biologie Santé / Sébastien Guyader

## 2.1. Caractéristiques générales

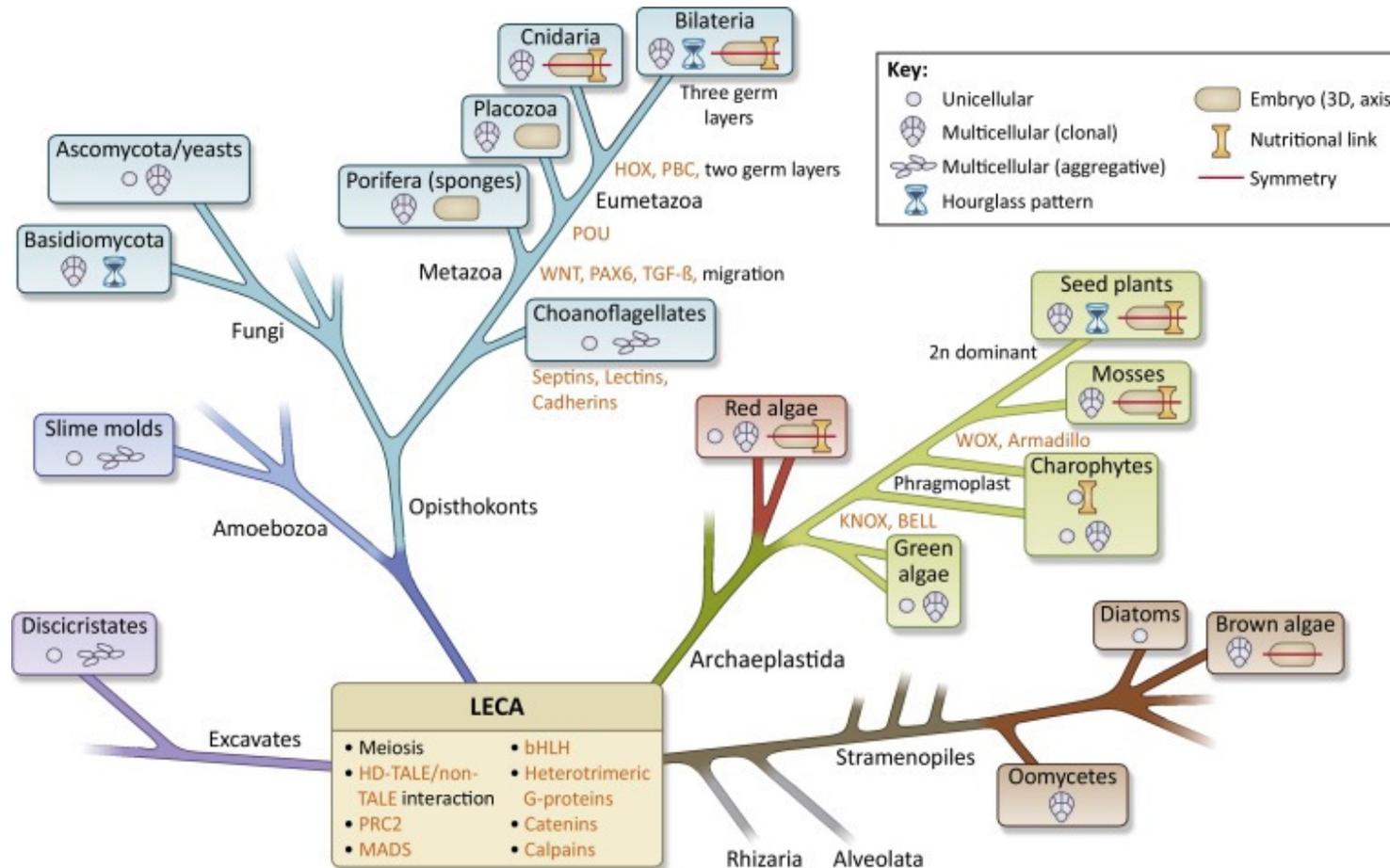
- Groupe très hétérogène
- Plus de 100 000 espèces recensées
- Responsables de 60% des maladies des plantes
- Organismes hétérotrophes (se nourrissent par absorption)
- Grand potentiel d'adaptation aux milieux



## 2.1. Caractéristiques générales

Classification : au sein du "Tree of Life"

LECA = dernier ancêtre commun des eucaryotes



INRAE

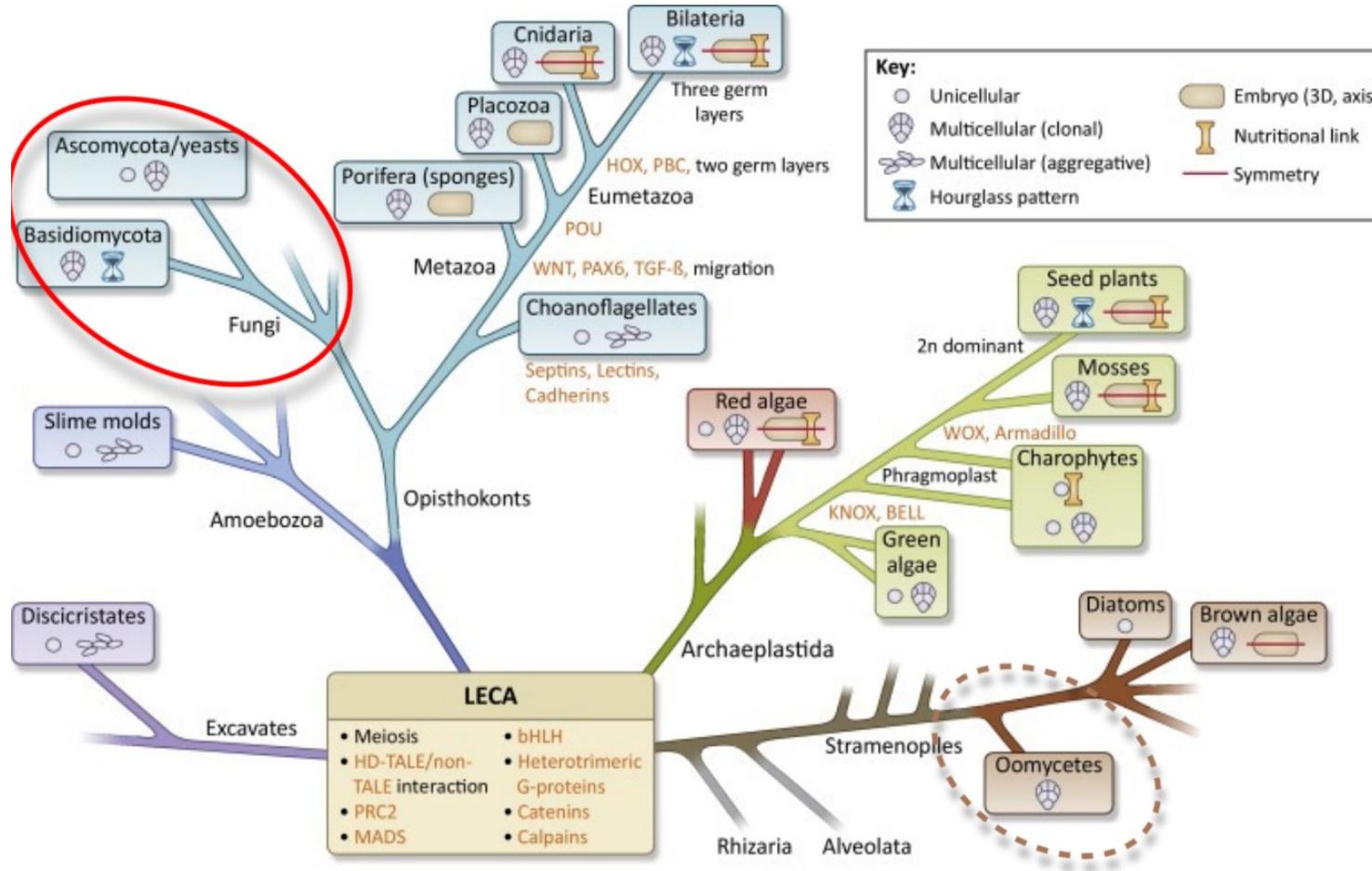
Maladies cryptogamiques des plantes

23 février 2023 / Master 1 Biologie Santé / Sébastien Guyader

## 2.1. Caractéristiques générales

Classification : au sein du "Tree of Life"

LECA = dernier ancêtre commun des eucaryotes



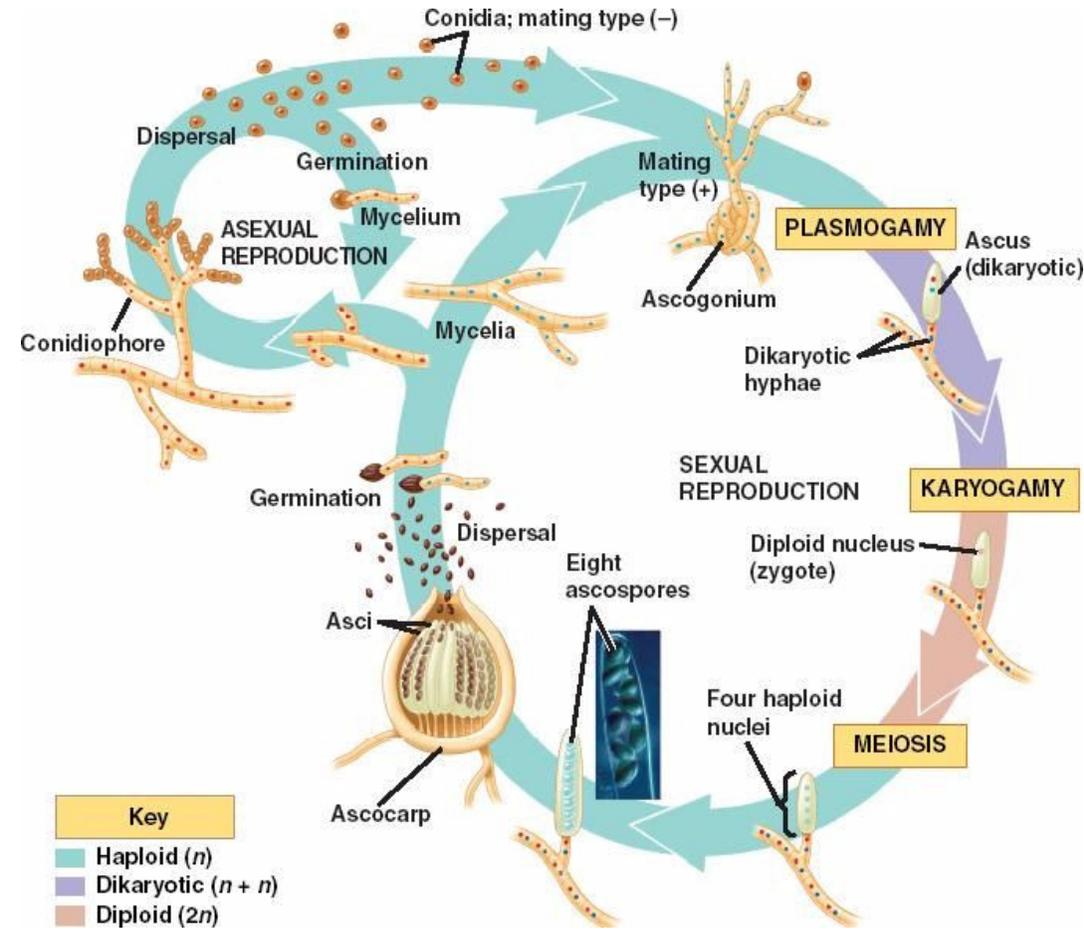
## 2.1. Caractéristiques générales

### Caractéristiques morphologiques

- Thalle filamenteux = **mycélium** (ou unicellulaires comme les levures)
- Filaments = **hyphes**, se nourrissent des nutriments par absorption
- Paroi cellulaire faite de **chitine** + glucanes (sauf oomycètes)
- Les hyphes peuvent être septés, ou non (coenocytiques)
- Certains ont un mode de vie essentiellement sous forme haploïde (ascomycètes), d'autres ont une phase dikaryotique longue (basidiomycètes)

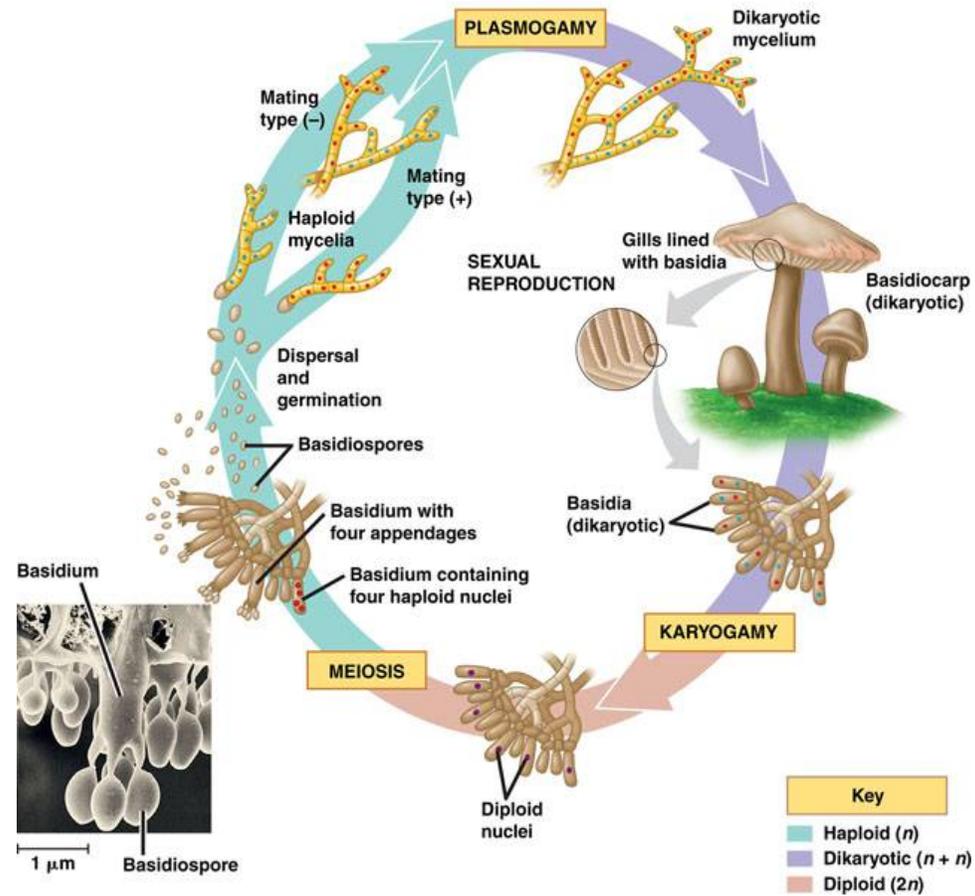
## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des ascomycètes



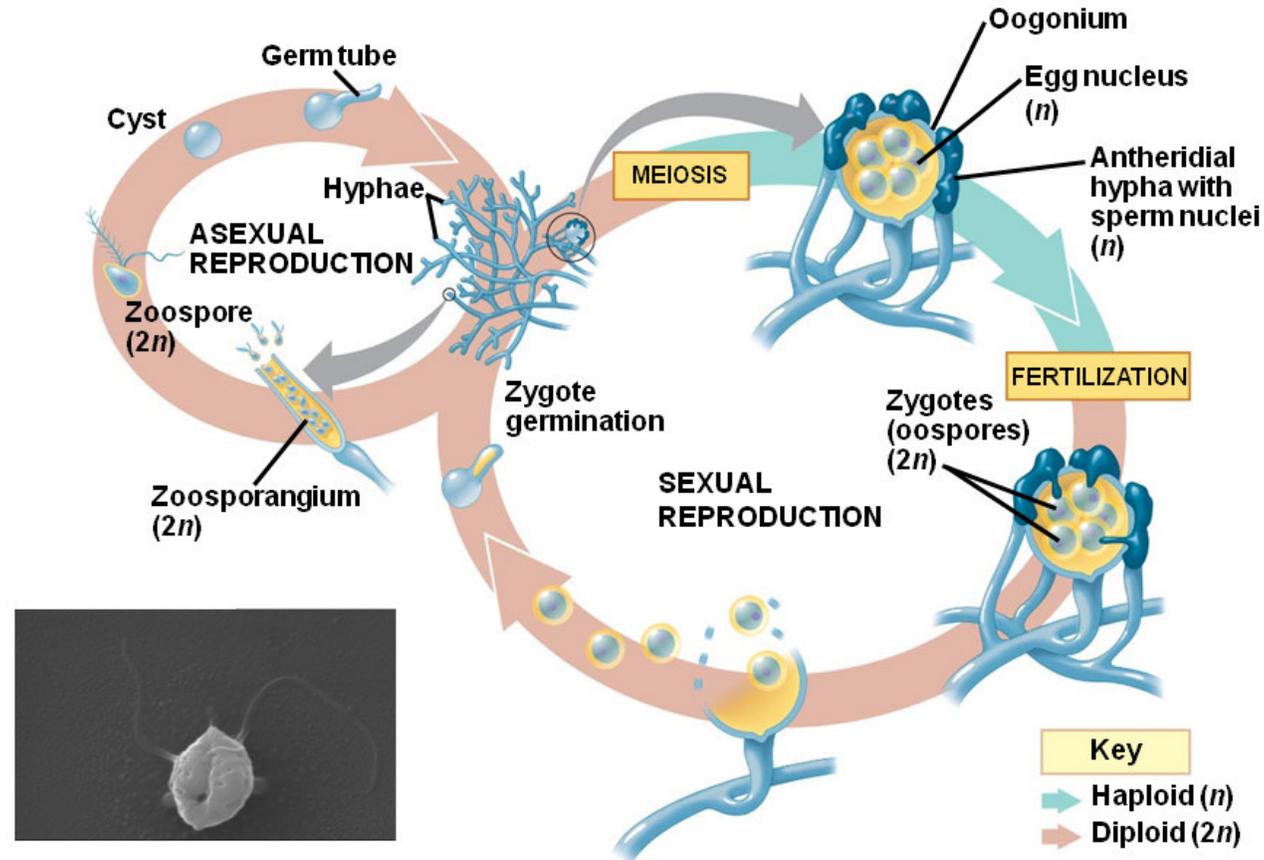
## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des basidiomycètes



## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des oomycètes



## 2.1. Caractéristiques générales

### Reproduction : asexuée et sexuée

- Reproduction **asexuée** :
  - se réalise **pendant tout le cycle** de développement du champignon
  - assure la **multiplication** de la population et la **propagation à courte distance**
  - se réalise soit par fragmentation du thalle, soit par sporulation
- Reproduction **sexuée** :
  - se réalise en général en **fin de cycle de développement du champignon**
  - assure la **survie** et la **conservation**, mais aussi le maintien de la **diversité génétique** du champignon
  - se réalise par fusion de gamètes mâles et femelles

## 2.1. Caractéristiques générales

### Dispersion

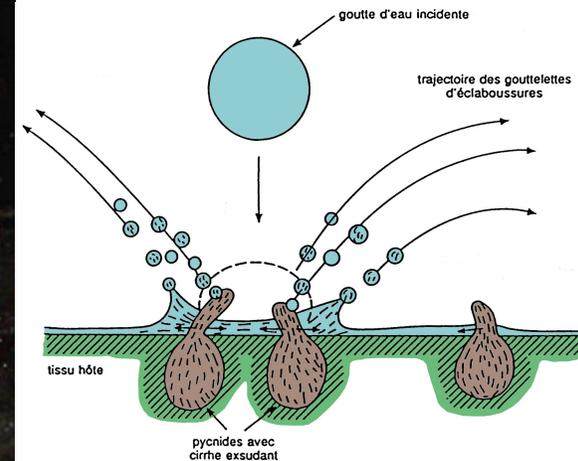
#### 1. Libération

- **active** : l'organe sporifère fournit lui-même l'énergie nécessaire pour la libération des spores
- **passive** : pas de contribution active de l'organe sporifère

#### 2. Transport naturel des spores

- par le **vent**
- par la **pluie**

#### 3. Dépôt des spores



## 2.1. Caractéristiques générales

### Conservation

- Sous la forme de **structures de résistance** (sclérotés, chlamydospores, oospores)
- Sur les débris végétaux
- Dans le sol
- Sur les repousses
- Sur des plantes réservoirs (hôtes alternatifs)

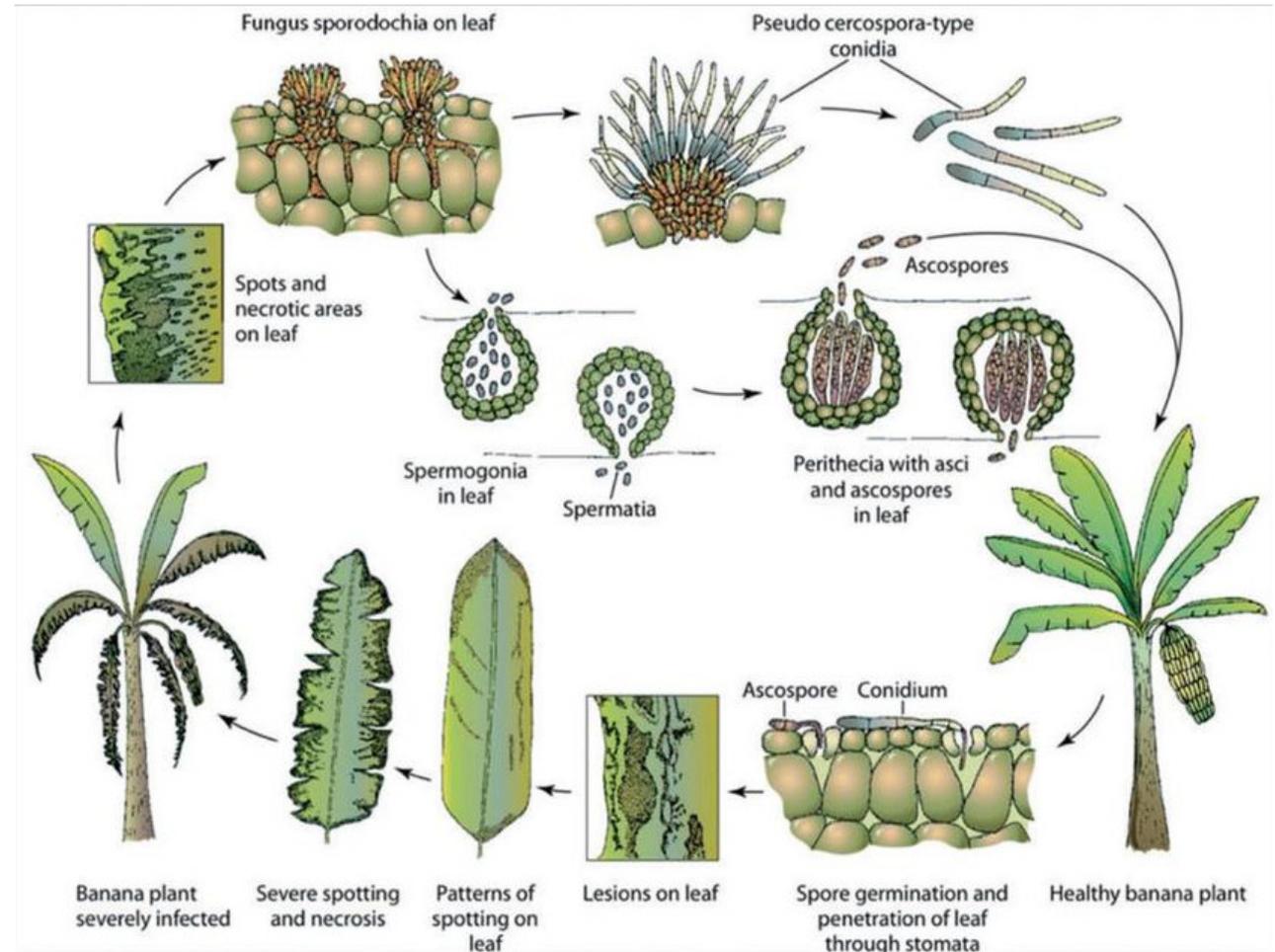


## 2.1. Caractéristiques générales

Exemples :

Cercosporiose noire du bananier  
(*Mycosphaerella fijiensis*)

- ascomycète -

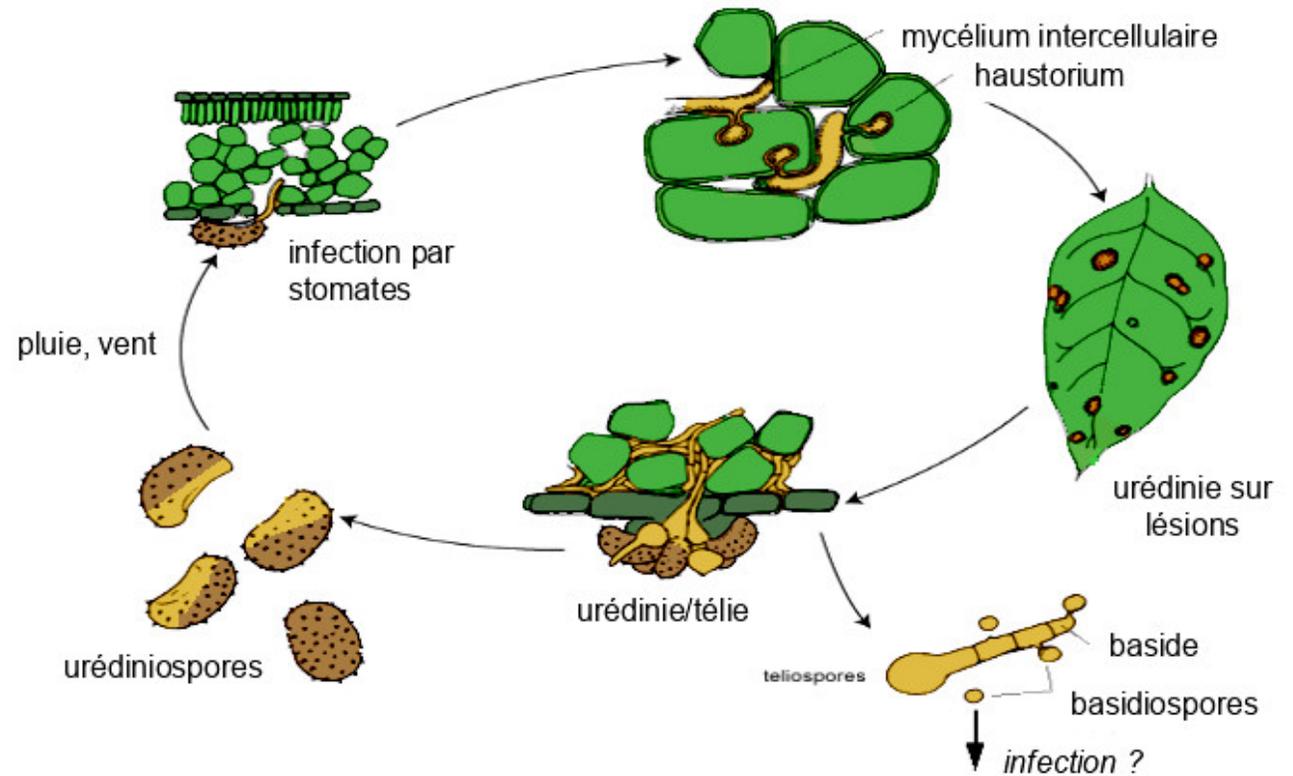


## 2.1. Caractéristiques générales

Exemples :

Rouille du caféier  
(*Hemileia vastatrix*)

- basidiomycète -

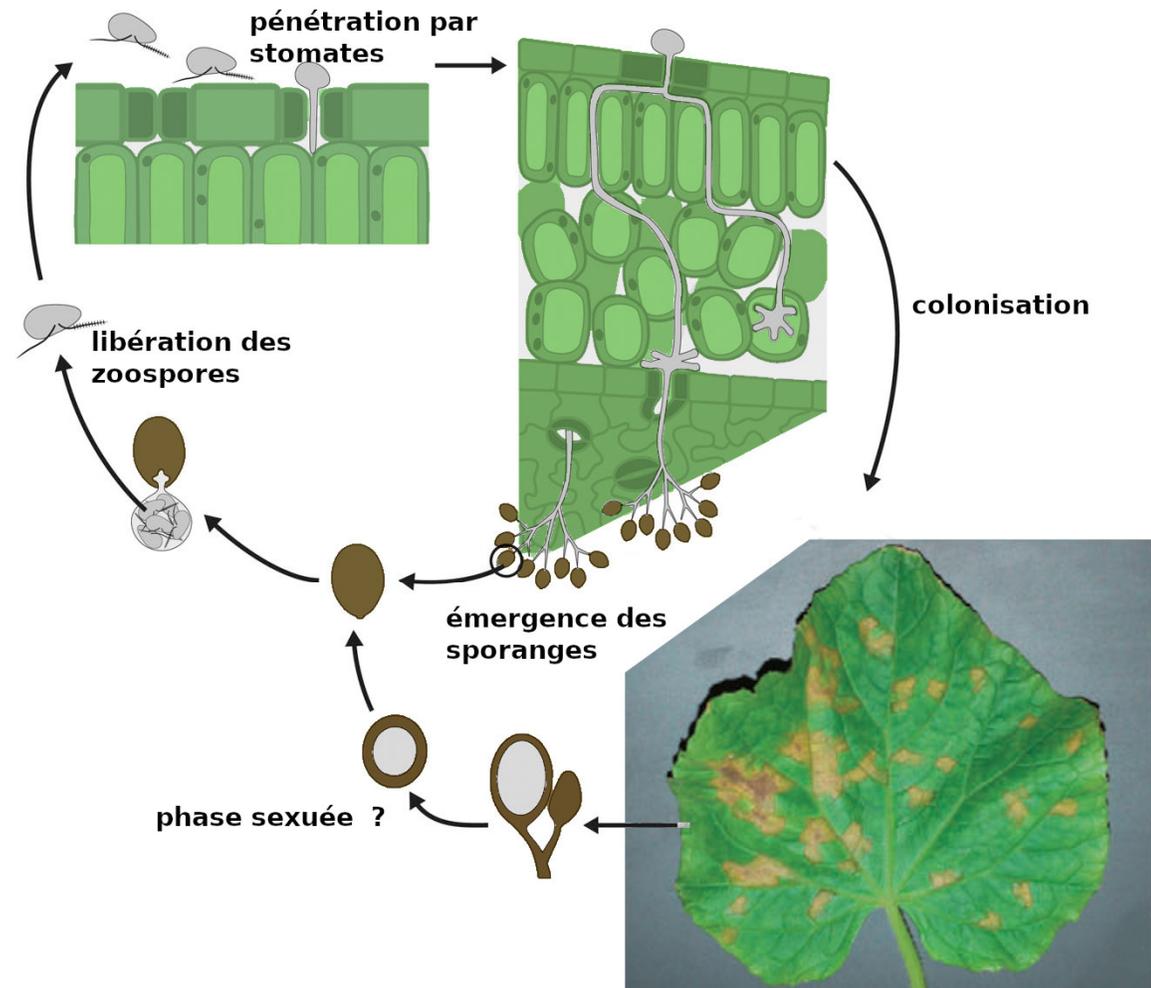


## 2.1. Caractéristiques générales

Exemples :

Mildiou des cucurbitacées  
(*Pseudoperonospora cubensis*)

- oomycète -



## 2.2. Notions d'épidémiologie

**Epidémie = Apparition et propagation** d'une maladie **infectieuse contagieuse** qui frappe en même temps et en un même endroit un **grand nombre** de personnes, d'animaux (épizootie) ou **de plantes** (épiphytie).

- **Trois composantes importantes dans une épidémie :**

1. l'infection primaire
2. la multiplication
3. la dispersion à de nouveaux organes ou hôtes

- **Les objectifs de l'épidémiologie :**

- mesurer le développement d'une maladie
- comprendre les processus
- identifier les pistes de lutte



## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Comment suivre l'évolution d'une épidémie

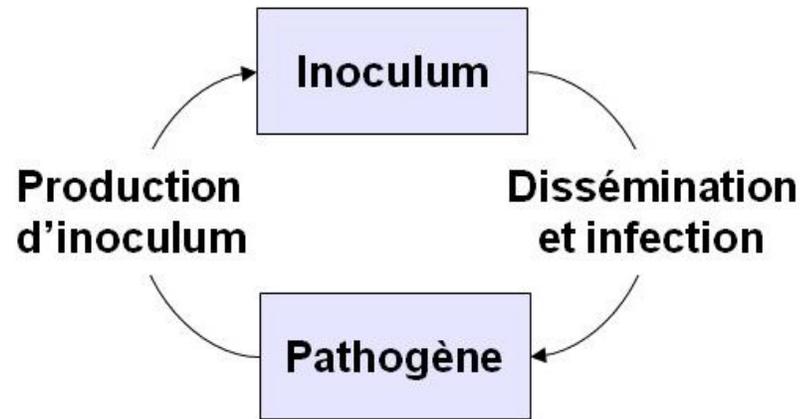
- Pour suivre le développement d'une maladie, il faut d'abord être sûr de son **diagnostic**
- Le diagnostic peut être réalisé par **observation visuelle** et comptage (symptômes, spores, colonies...), par des réactions **immunologiques** (ELISA, flux latéral...) ou des outils **moléculaires** (PCR, PCR-Q, LAMP...)
- **Comptage des lésions difficile à réaliser** : difficulté de compter l'ensemble des lésions, mesures difficiles à réaliser sur le système racinaire pour les maladies telluriques
- **Alternatives** : "remote sensing" basé sur des indices de réflectance des feuilles (analyse d'images), voire sur l'émission de composés volatiles ("nez électroniques")
- **Modélisation** : à partir des données recueillies, on peut construire un *modèle mathématique* pour simuler le développement épidémiologique → outil de *compréhension*, et d' *aide à la décision*



## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Deux types d'épidémies

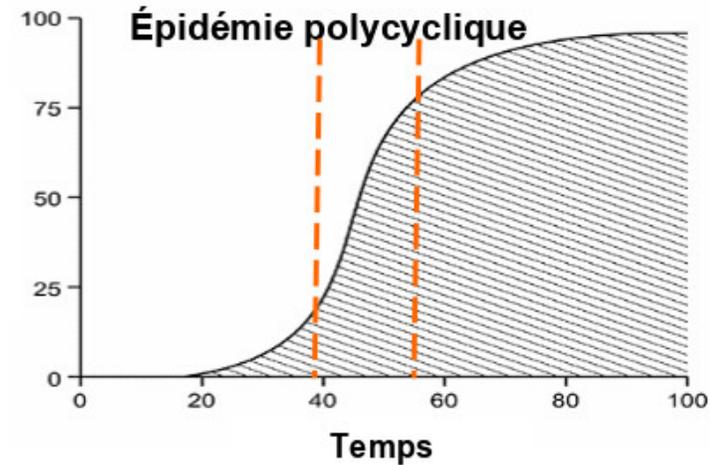
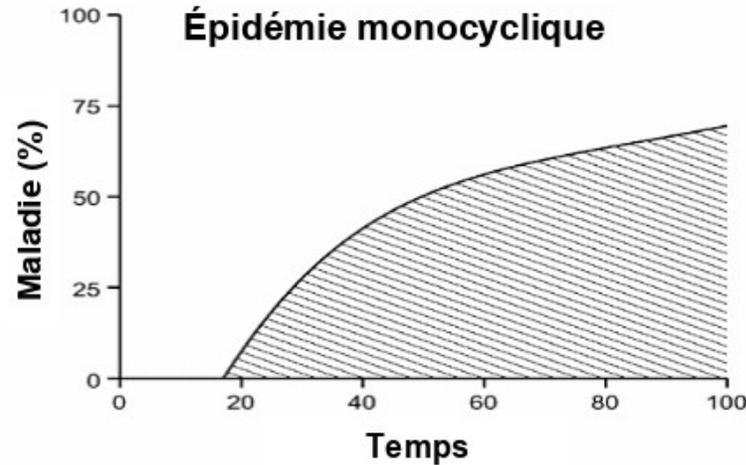
- **Monocyclique** : développement de la maladie correspondant à **une seule période d'infection/dissémination** *par cycle cultural*



- **Polycyclique** : développement de la maladie correspondant à de **multiples cycles d'infection/dissémination** *pendant un même cycle cultural*

## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Deux types d'épidémies



### Facteurs influançant le niveau maximal de maladie atteint en fin de culture :

- quantité d'inoculum primaire disponible
- quantité de tissus ou de plantes sensibles
- environnement (climat, microclimat)

### 3. Méthodes de lutte



# Généralités

## Cinq grands groupes de méthodes de lutte :

- Chimique
- Génétique
- Biocontrôle
- Prophylactique
- Intégrée



## 3.1. Méthode chimique

Méthode de lutte basée sur l'utilisation de produits phytopharmaceutiques issus de la chimie de synthèse.

### Biocides et produits désinfectants/stérilisants

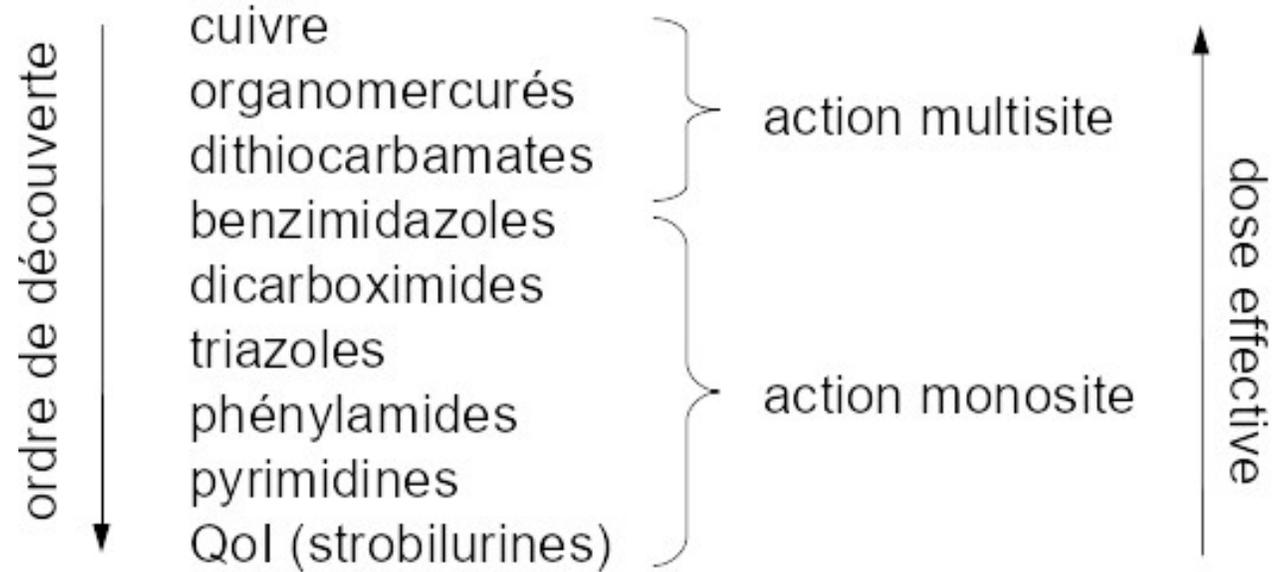
- ex. : bouillie bordelaise, fumigation et désinfection des sols
- peu sélectifs
- moins couramment utilisés

### Fongicides

- plus largement utilisés
- différentes cibles d'action sur le pathogène
- différents modes d'utilisation

### 3.1. Méthode chimique

- Nombreuses familles de fongicides (de nouvelles sont créées encore aujourd'hui)



- Trois catégories selon le mode d'action : de contact, translaminaires (localement systémiques), systémiques
- Deux modes d'utilisation : préventif (souvent), curatif (rarement)

## 3.1. Méthode chimique

- Problèmes liés à la méthode chimique :
  - efficacité liée aux conditions (utiliser des outils d'aide à la décision)
  - apparition de souches résistantes
  - toxicité pour les personnes faisant l'application, et les consommateurs
  - toxicité pour l'environnement (manque de sélectivité)
  - coût
- Indicateur de fréquence de traitement (IFT) annuel pour quelques cultures :
  - maïs : < 3
  - blé : < 2
  - **bananier : > 5**
  - pomme-de-terre : > 12
  - pommier : > 20
  - vigne : > 20



## 3.2. Méthode génétique

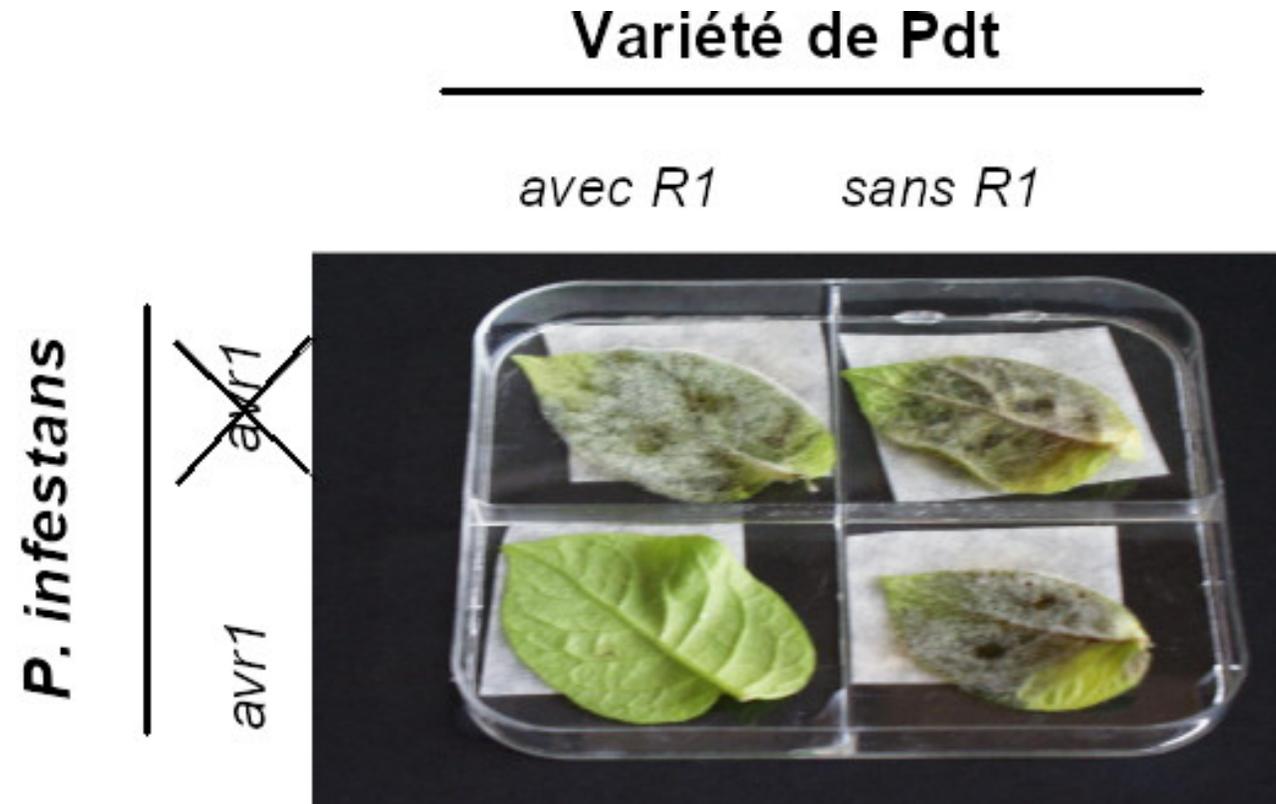
Utilisation de variétés résistantes (naturellement, ou par modification)

- Un ou plusieurs gènes :  
résistances mono-, oligo- ou polygéniques
- Résistances **totales** :  
en général monogéniques, à effet très fort, mais on peut introgresser 2 ou plusieurs gènes dans une même variété (pyramidage)
- Résistances **partielles** ou **quantitatives** :  
souvent oligo- ou polygéniques, avec un effet moins fort



## 3.2. Méthode génétique

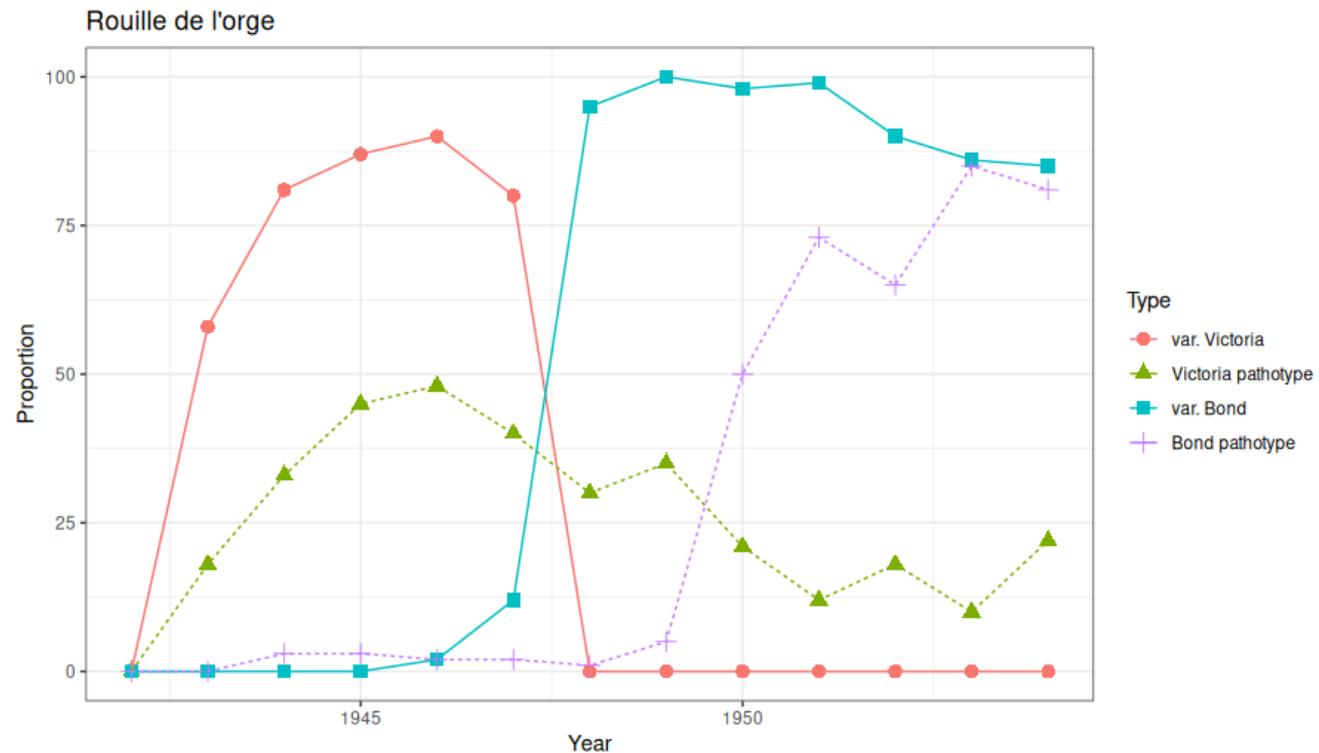
Résistance **monogénique** : gène de type **R**, effet *qualitatif* fort



## 3.2. Méthode génétique

### Problème des résistances "simples" :

- il faut des ressources génétiques et de nombreuses années pour les obtenir
- elles sont plus facilement **contournées** par de nouveaux **pathotypes**



## 3.2. Méthode génétique

Résistance **polygénique** partielle : effet *quantitatif*



Lignées recombinantes de maïs issues d'un même croisement

### 3.3. Biocontrôle

"L'ensemble des méthodes de *protection des végétaux* qui utilisent des **mécanismes naturels**. Il vise à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel"

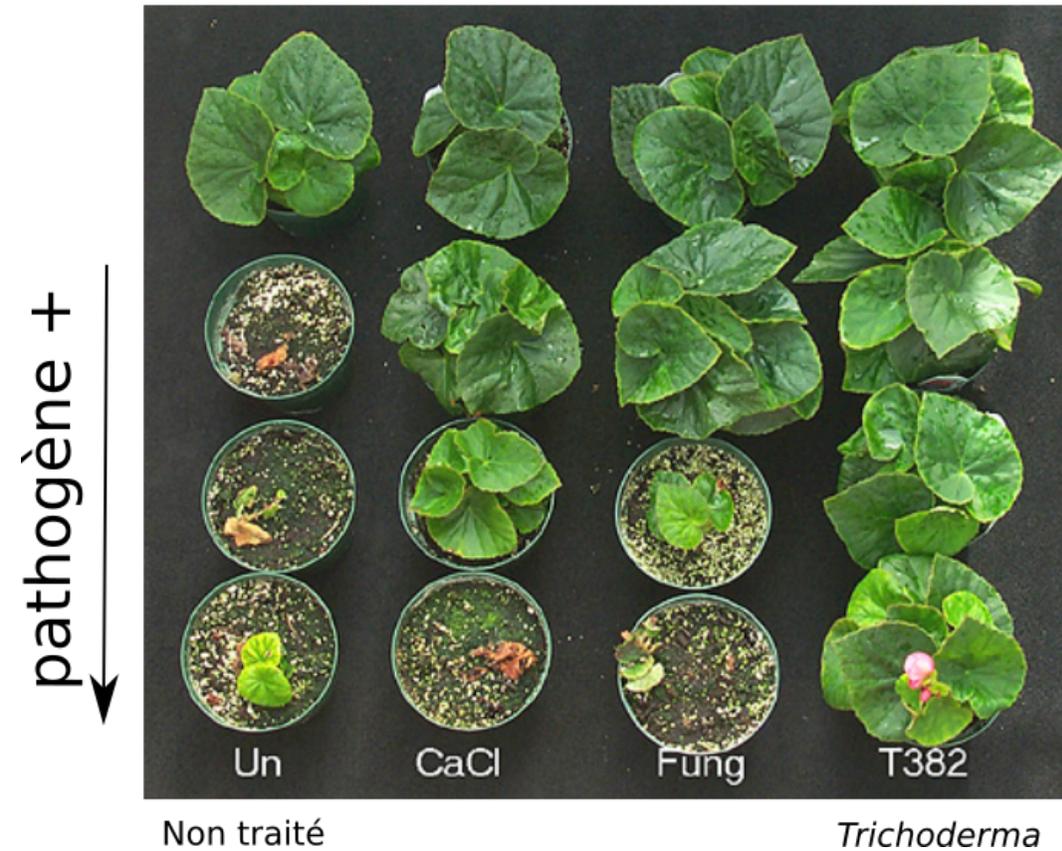
Ces agents sont habituellement classés en 2 grandes catégories :

- les **macro-organismes** invertébrés (*pas contre les champignons*)
- les **produits phytopharmaceutiques** de biocontrôle :
  - des médiateurs chimiques tels que les phéromones, les substances allélochimiques (allomones et kairomones) et les phytohéromones (*pas contre les champignons*)
  - des substances naturelles d'origine animale, végétale ou minérale (**PNPP** : préparations naturelles non préoccupantes)
  - des micro-organismes



### 3.3. Biocontrôle

## Begonia / *Botrytis cinerea*



## 3.4. Méthodes prophylactiques / préventives

Ensemble des **techniques culturales** visant à **éviter ou réduire les risques** d'infection (efficaces particulièrement pour les maladies à faible dispersion)

Possibilités variées, en fonction des pathosystèmes :

- éviter un sol infecté (rotation)
- utilisation d'une plante assainissante en interculture (allélopathie)
- désinfecter le sol (solarisation)
- partir de matériel sain pour plantation (semences certifiées...)
- éliminer hôtes réservoirs à proximité
- planter loin d'une culture infectée la saison précédente
- éliminer les résidus infectieux
- jouer sur les conditions méso/microclimatiques
- décaler la culture pour désynchroniser stades sensibles / conditions favorables à la maladie
- détruire les tissus/plantes infectés en cours de culture
- éviter dispersion d'inoculum par les intervenants
- outils d'aide à la décision
- ...



### 3.5. Protection intégrée

Prise en considération attentive de **toutes les méthodes** de protection des plantes disponibles et, par conséquent, intégration des mesures appropriées qui découragent le développement des populations d'organismes nuisibles et maintiennent le recours aux produits phytopharmaceutiques et à d'autres types d'interventions **à des niveaux justifiés** des points de vue économique et environnemental, et **réduisent ou limitent au maximum les risques** pour la santé humaine et l'environnement.



## 3.5. Protection intégrée

Protéger une culture, c'est (mais pas uniquement) :

- réduire la quantité d'ennemis des cultures qui l'attaquent
- réduire la vitesse d'une épidémie causée par un bioagresseur donné
- réduire, cycle après cycle, la taille des populations d'un groupe de bioagresseurs, (ce n'est pas annihiler l'ensemble des bioagresseurs qui affectent une culture)

Objectif ultime : réduire les pertes de récoltes (nuisibilité)

- comment qualifier une perte de récolte, s'agit-il uniquement de pertes en biomasse récoltée ?
- jusqu'à quel niveau cette perte est-elle tolérable ?



## 3.5. Protection intégrée

### Importance de définir des seuils

- **Seuil de nuisibilité "biologique" :**  
Niveau d'intensité de la maladie à partir de laquelle une diminution des potentialités de la plante cultivée est observée
- **Seuil de nuisibilité économique :**  
Niveau d'intensité de maladie justifiant la mise en œuvre de moyens de lutte, lorsque la perte économique est supérieure au coût de contrôle pouvant l'éviter

Dépend de la balance coûts de la lutte / revenus de la culture

### ► Utilisation de modèles de nuisibilité et d'économie



## 4. Interactions plante/pathogène



## 4.1. Interactions plantes/microbes

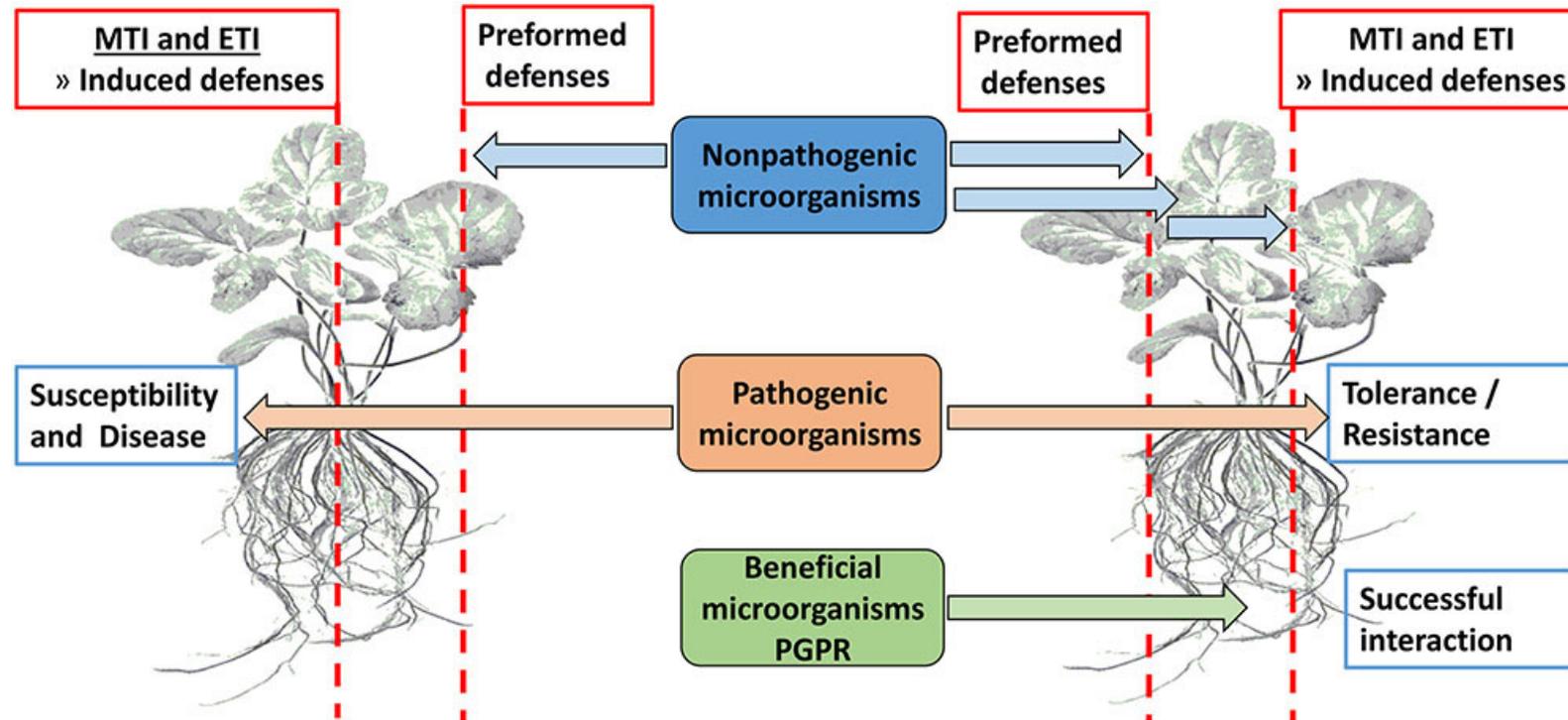
### ▶ Deux grands types d'interaction plante/microbe :

- Interaction compatible : *maladie*

- progression de l'infection
- dommages sur la plante

- Interaction incompatible : *immunité*

- immunité basale **MTI / PTI**
- immunité indirecte **ETI**



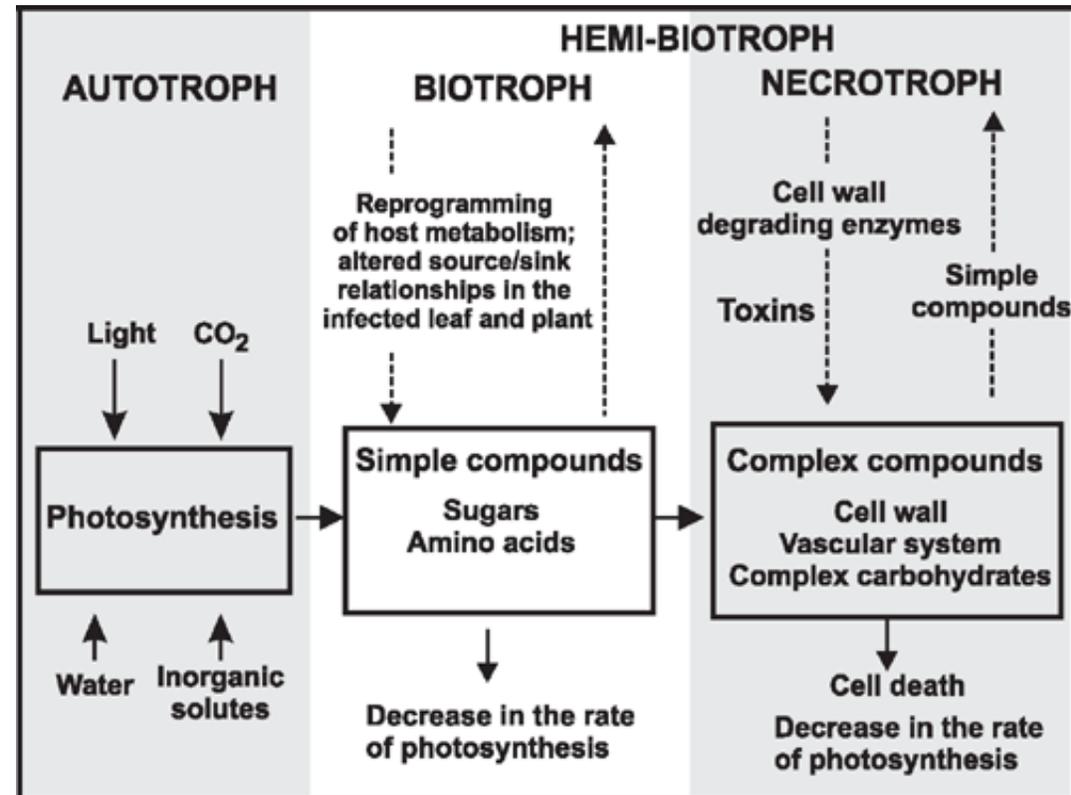
## 4.2. Relations trophiques plantes / champignons phytopathogènes

► Types de relations trophiques / modes de vie des champignons :

Types	Définition
<b>Biotrophes</b>	Dépendent des tissus vivants de leur hôte pour leur croissance
<b>Nécrotrophes</b>	Envahissent des tissus en produisant des facteurs cytolytiques pour utiliser les tissus dégradés
<b>Hémibiotrophes</b>	Cycle en 2 phases : d'abord biotrophes, puis nécrotrophes

## 4.2. Relations trophiques plantes / Champignons phytopathogènes

► Types de relations trophiques / modes de vie des champignons :



## 5. Immunité, résistance et sensibilité



# 5.1. Mécanismes de reconnaissance de l'agression

## 5.1.1. Réponse immunitaire **basale** : PTI (PAMP-triggered immunity)

PAMP : "pathogen-associated molecular pattern"

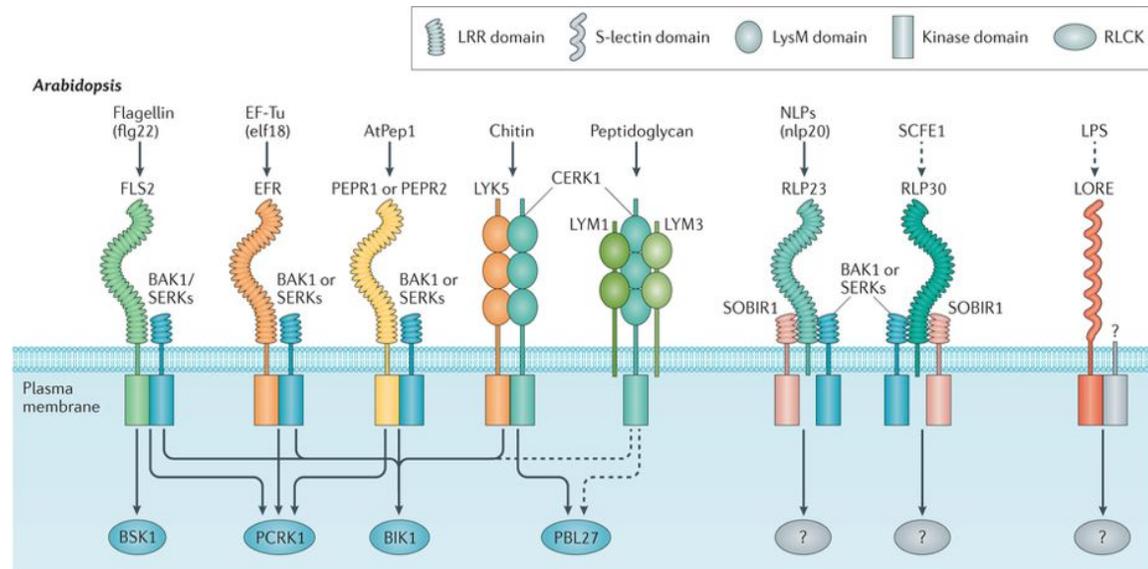
(MAMP : microbe-associated molecular pattern → induisent la **MTI**)

Ce sont des molécules constituant des microbes (chitine, LPS...), dont certains motifs sont reconnus par des **PRR**

PRR : "Pattern recognition receptor", récepteurs transmembranaires de l'hôte

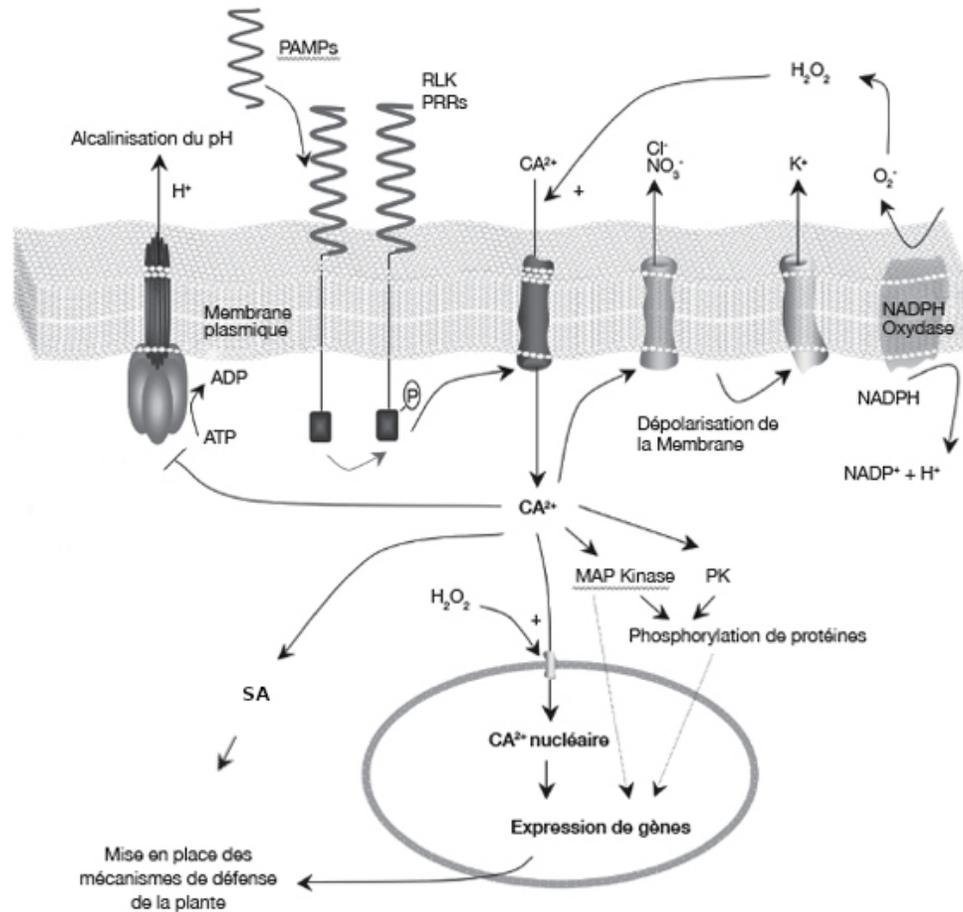
**domaine extracellulaire** : interaction récepteur/ligand, souvent via un domaine LRR ("leucine rich repeat")

**domaine intracellulaire** : interaction avec kinases, cascade de phosphorylations → signal



# 5.1. Mécanismes de reconnaissance de l'agression

## 5.1.1. Réponse immunitaire **basale** : PTI (PAMP-triggered immunity)



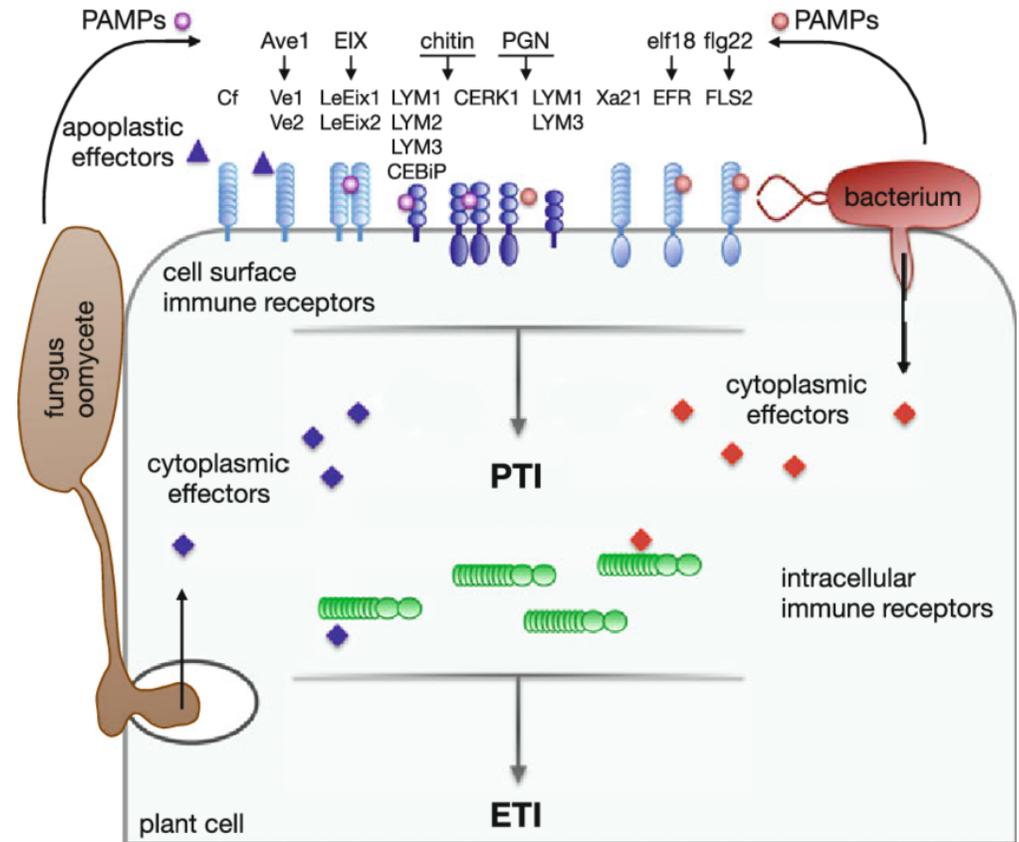
1. fixation **PAMP/PPR**
2. activation des **kinases**
3. influx de **Ca<sup>2+</sup>**
4. burst **oxydatif** (activité antimicrobienne et signal d'activation)
5. induction expression des gènes impliqués dans la **défense** (protéines PR = "Pathogenesis related")
6. augmentation synthèse **SA** (=salicylic acid) dans les cas des biotrophes, ou **JA/ET** (=jasmonic acid et ethylene) dans le cas des nécrotrophes ou de blessures
7. transmission **systemique** du signal par SA et JA/ET

► défense au niveau local et prémunition à l'échelle de la plante : **SAR**="systemic acquired resistance"

## 5.1. Mécanismes de reconnaissance de l'agression

### 5.1.2. Réponse immunitaire **indirecte** : ETI (effector-triggered immunity)

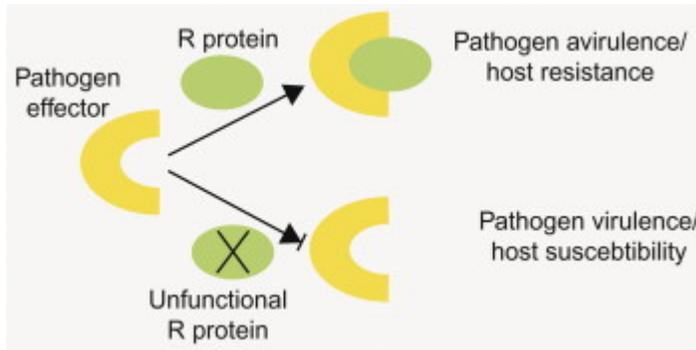
- Les pathogènes peuvent "injecter" des **éliciteurs**
- Il y a une **reconnaissance éliciteur/récepteur**, qui induit une réponse de la plante
- Récepteurs **cytosoliques** sont souvent de type **NB-LRR** (nucleotide binding - leucine rich repeat)
- On parle de protéines **R** ("résistance") pour le récepteur, et de facteur **avr** ("avirulence") pour l'éliciteur
- La réponse ETI est en général **+ rapide et + intense** que la PTI
- Une spécificité est la **réaction hypersensible** (HR) : mort cellulaire programmée pour endiguer l'infection (biotrophes)
- Toutefois, ETI et PTI partagent largement les mêmes voies de signalisation et d'activation



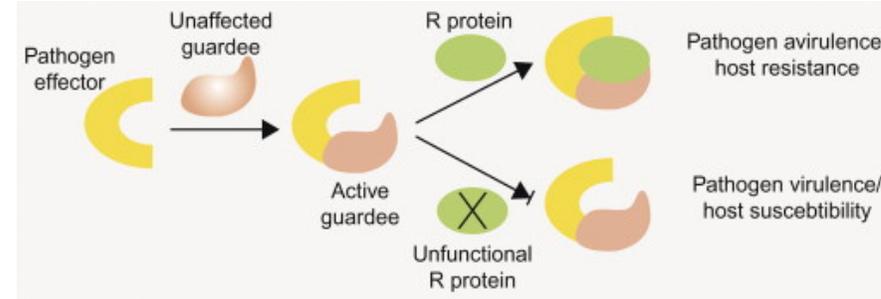
# 5.1. Mécanismes de reconnaissance de l'agression

## 5.1.2. Réponse immunitaire **indirecte** : ETI (effector-triggered immunity)

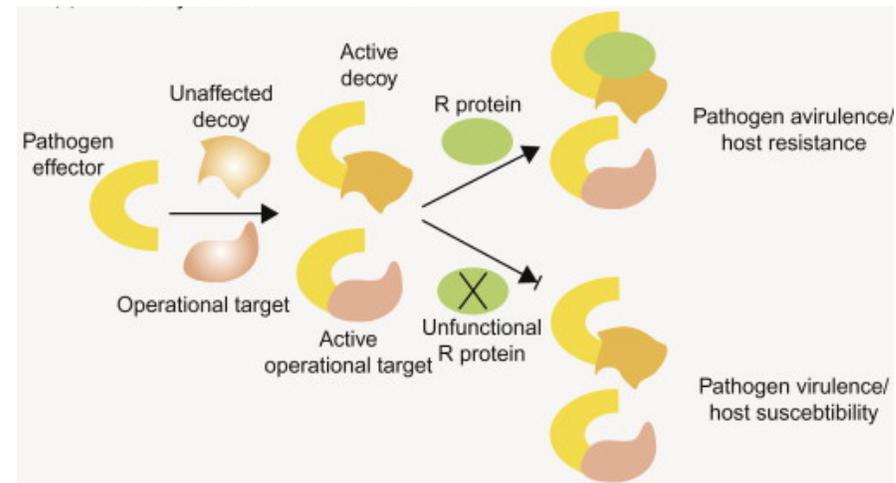
Modèle "direct" gène-pour-gène :



Modèle "gardien" :

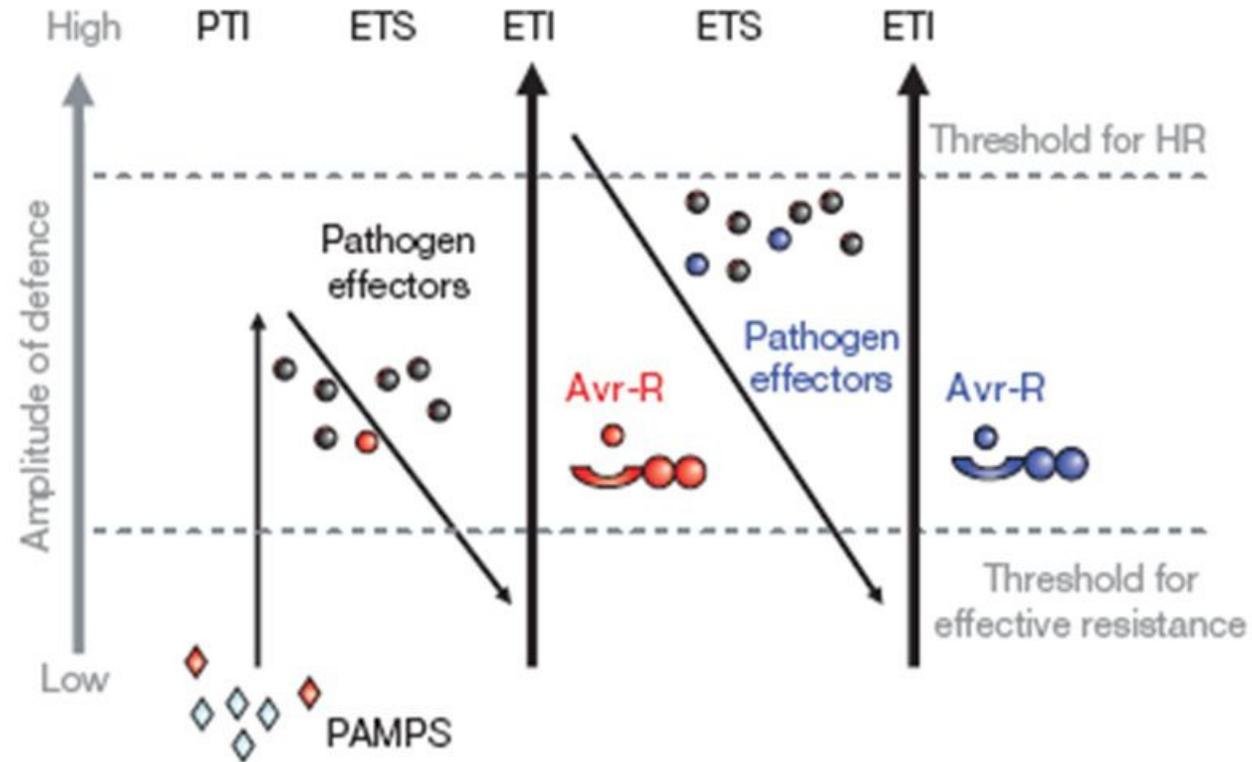


Modèle "leurre" :



## 5.2. Attaque / contre-attaque

### ► Schéma synthétique en "zigzag"



## 6. Perturbations physiologiques et symptômes



# 6.1. Différents types de symptômes

## ► Exemples de symptômes :

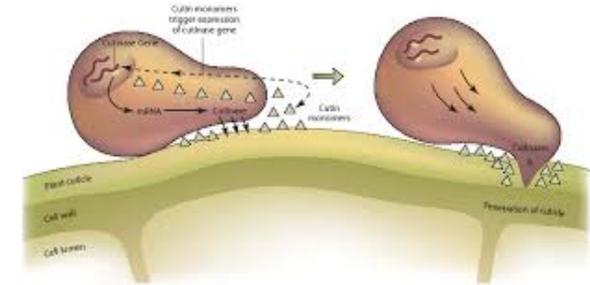
- Modification de couleur :  
*anthacyanose, chlorose, mélanose*
  - .Altération des organes :  
*nécrose, pourriture, flétrissement*
  - Modification des fleurs
  - Anomalies de croissance :  
*nanisme, déformation organes*
  - Anomalies internes :  
*callose, thyllose, gomme,...*
  - .Excroissances pathologiques :  
*mycocécidies (galles = développement tumoral)*



## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur la membrane plasmique :

- L'émission de toxines et/ou d'enzymes (pectinases, phospholipases) modifie la **perméabilité membranaire** :
  - dégradation de la lignine, cellulose, hémicellulose
  - inhibition de la fonction de protéines de surface
  - modification de l'activité ATPase et des canaux ioniques
  - action aussi sur les membranes des organites (chloroplastes, mitochondries)
  - accumulation de formes actives d'oxygène
- Impact sur :
  - la régulation des **échanges ioniques**
  - le **transfert des assimilats** (produits de la photosynthèse) par la cellule
  - **ouverture des stomates** (fuite accélérée de l'eau intercellulaire)
  - la **transduction du signal** d'activation des gènes de défense

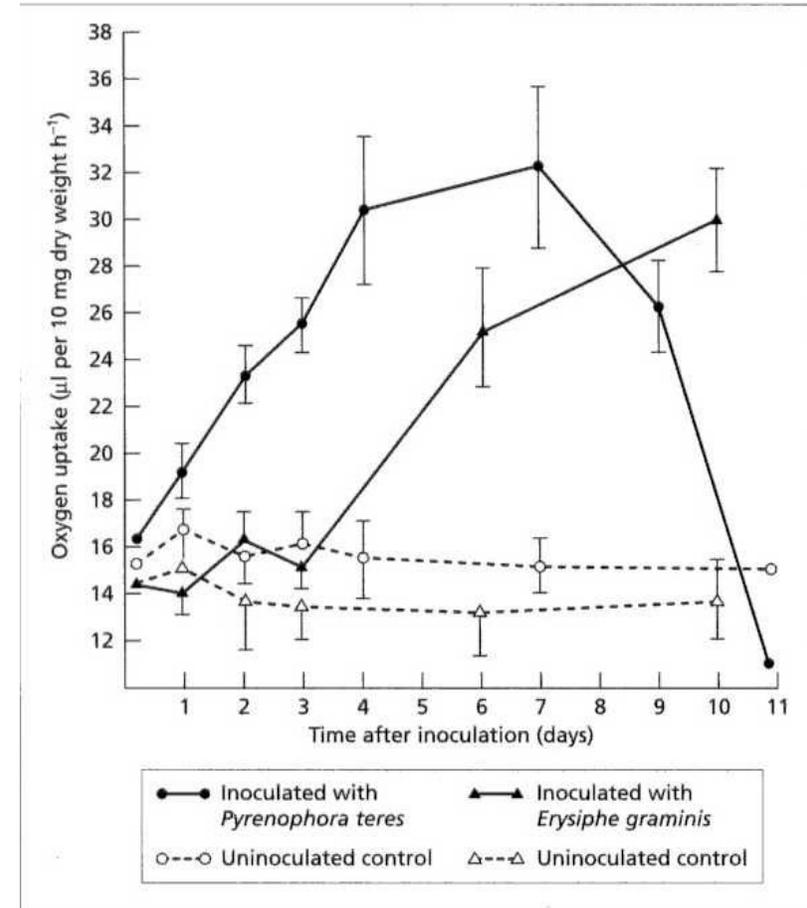


## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur la respiration :

#### *Augmentation générale de la respiration*

- **Décomposition des tissus** (par les nécrotrophes) : augmentation liée à l'induction des mécanismes de défense, puis chute liée à la mort des tissus
- **Détournement du métabolisme** des cellules (par les biotrophes) : augmentation liée à la création d'un nouveau puits pour la plante
- **Activation** de certaines voies métaboliques

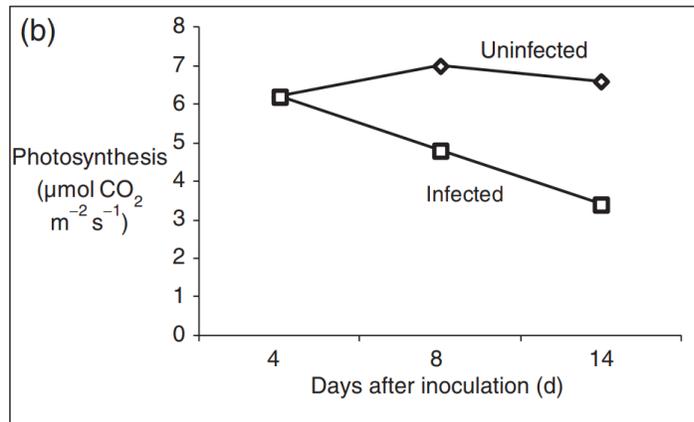


## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur la photosynthèse :

#### *Facteurs physiques*

- Modification de la **géométrie des feuilles** (moindre interception du rayonnement)
- Perte de **surface foliaire** efficace (nécrose, pourriture, chlorose...)

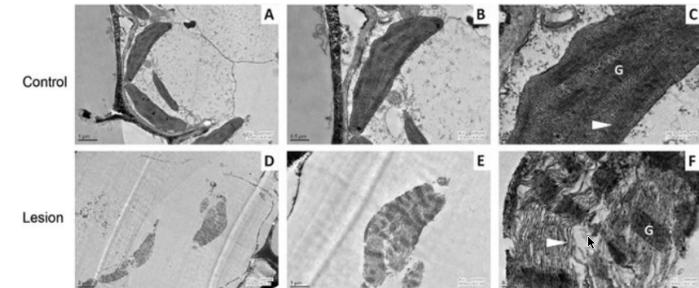
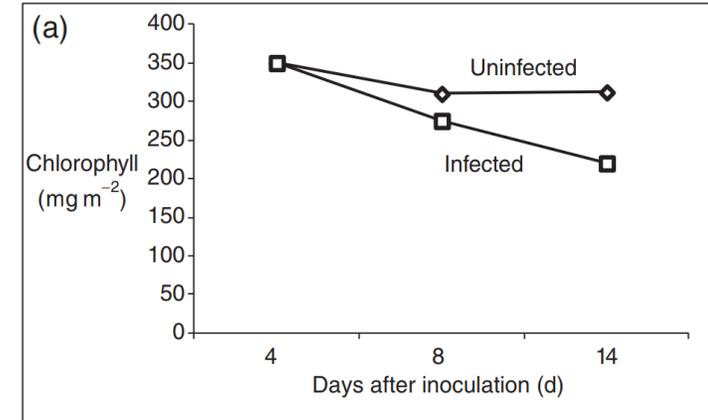


## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur la photosynthèse :

#### *Facteurs biochimiques et métaboliques*

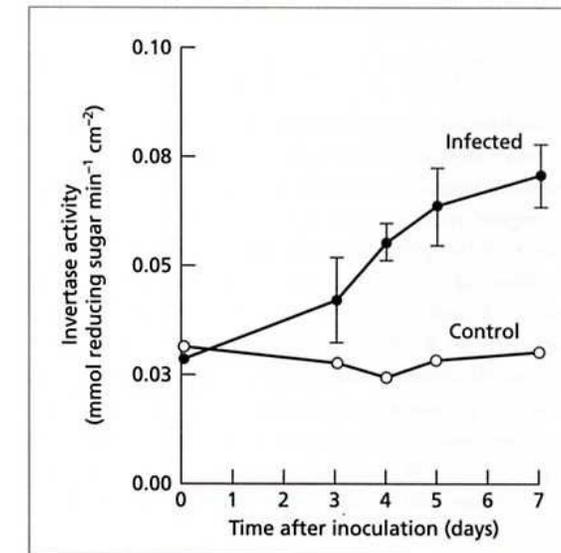
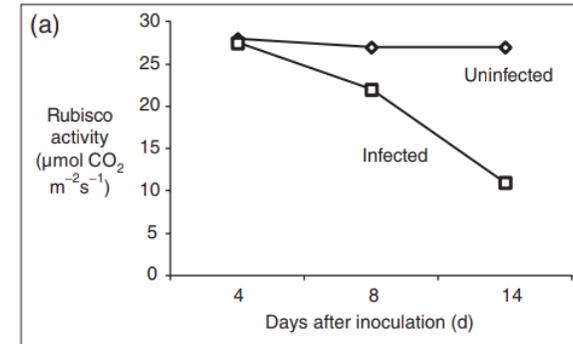
- Dégradation de la **chlorophylle** : action d'enzymes et de toxines (nécrotrophes), effet rétro-actif inhibant la photosynthèse (biotrophes)
- Altération des **chloroplastes** : mort des cellules (toxines), perméabilité membranaire, modification structurelle



## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur le métabolisme :

- Inhibition du **transfert d'électrons** :
  - inhibition du mécanisme de couplage de la **photophosphorylation**
  - perte de composants de la chaîne de **transfert des électrons**
- Blocage de la synthèse d'**ATP** par séquestration du  $P_i$
- Réduction de l'activité des enzymes du **cycle de Calvin** (RuBisCO, NADPH-GADPH, FBPase, 3PGK), stimulation de l'activité d'autres enzymes



## 6.2. Effets des perturbations

### ► Effets sur le transfert des ressources :

- Alimentation en eau :
  - **obstruction** des vaisseaux (gommes, thyllose, pathogène)
  - perturbation de la **transpiration**
- Translocation des photo-assimilats :
  - **hydrolyse** enzymatique (nécrotrophes)
  - **détournement** des ressources carbonnées (biotrophes)
- Perturbation de la croissance de la plante :
  - nanisme, rabougrissement, déformations
  - flétrissement
  - ...

