



## ➤ Maladies cryptogamiques : méthodes de lutte

27 janvier 2020 / 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**

- 1.1. Repères historiques
- 1.2. Le "triangle de la maladie"

## **2. Biologie et épidémiologie des champignons phytopathogènes**

- 2.1. Caractéristiques générales
- 2.2. Eléments d'épidémiologie

## **3. Méthodes de lutte**

- 3.1. Chimique
- 3.2. Génétique
- 3.3. Biologique
- 3.4. Prophylactique
- 3.5. Intégrée



# 1. Introduction



**INRAE**

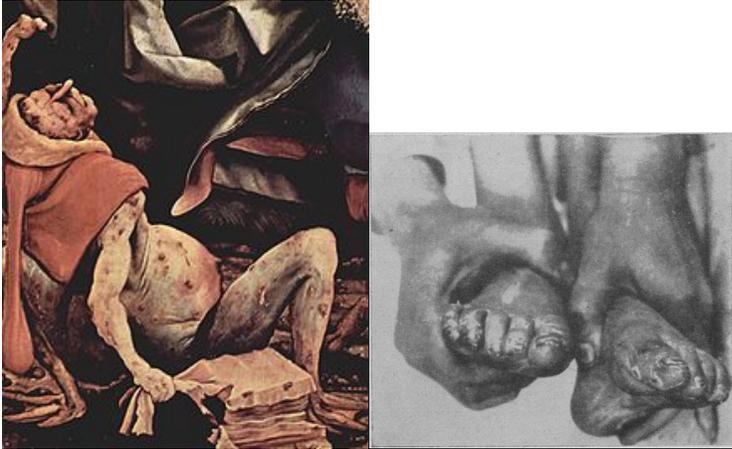
Maladies cryptogamiques : méthodes de lutte

27 janvier 2020 / 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)

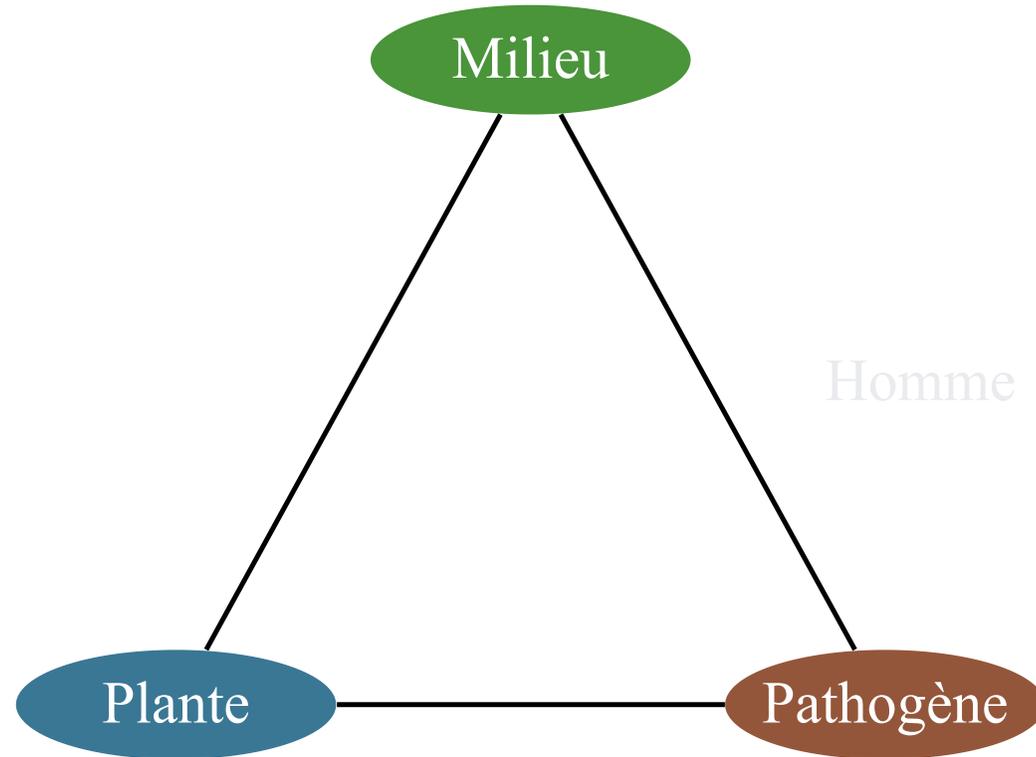


- Cause : le **mildiou de la pomme de terre** *Phytophthora infestans*
- La maladie entraîne une **nécrose** des feuilles et des tubercules



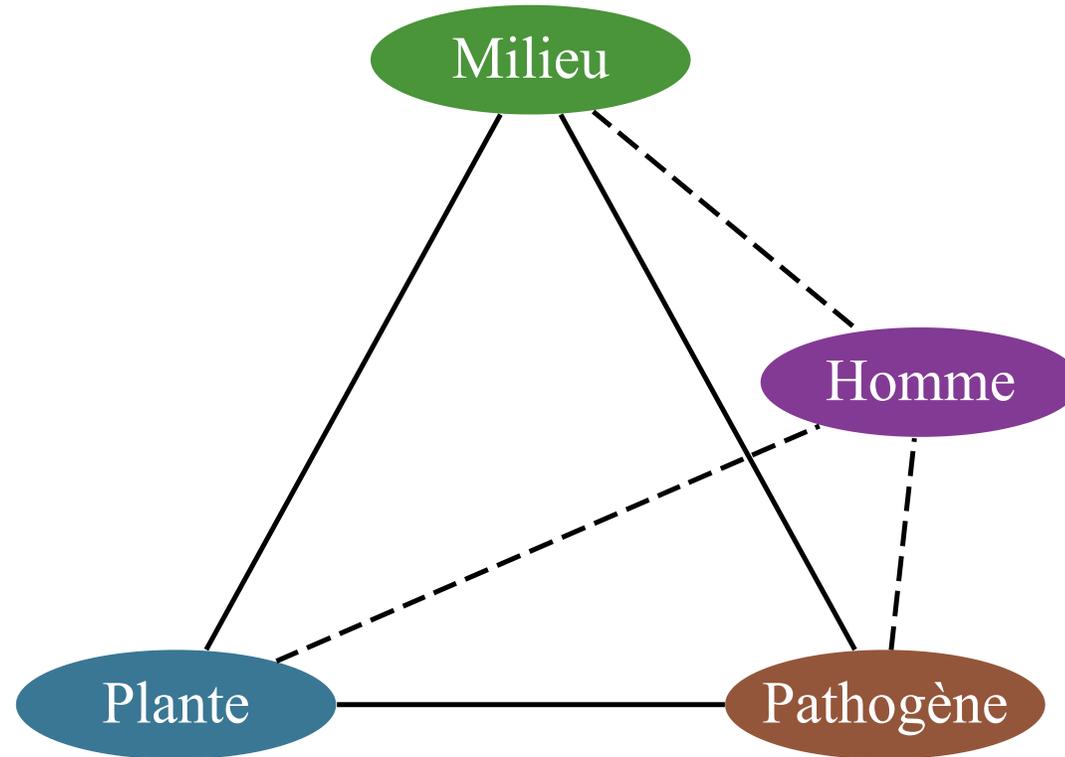
## 1.2. Le "triangle de la maladie"

Maladie = interaction entre 3 éléments fondamentaux



## 1.2. Le "triangle de la maladie"

Maladie = interaction entre 3 éléments fondamentaux

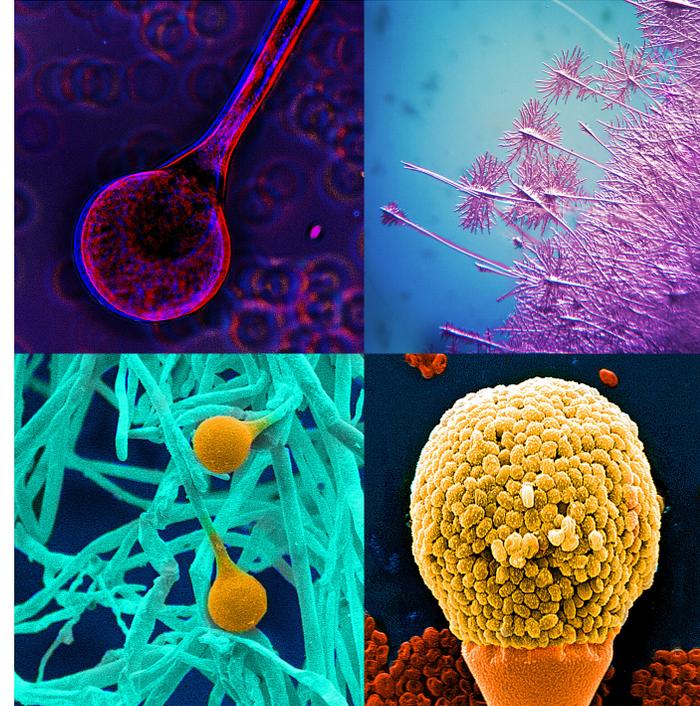


## 2. Biologie et épidémiologie des champignons phytopathogènes



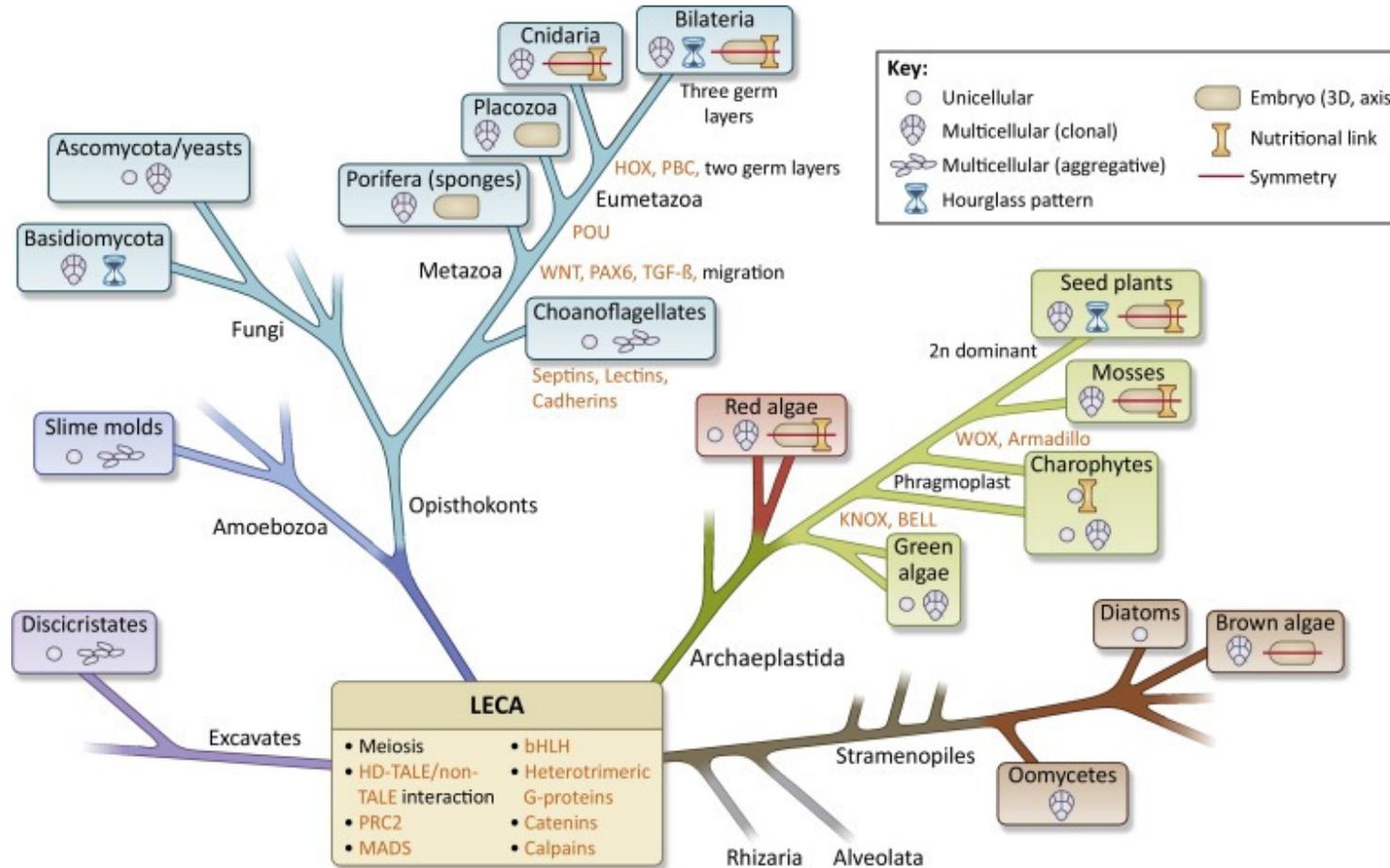
## 2.1. Caractéristiques générales

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



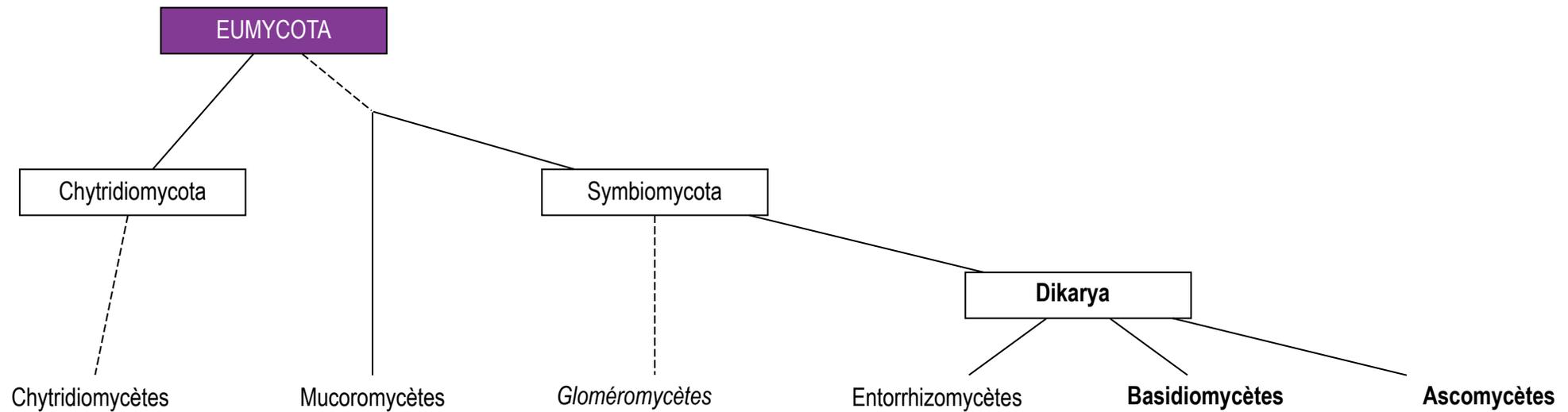
## 2.1. Caractéristiques générales

Classification : au sein du "Tree of Life"



## 2.1. Caractéristiques générales

Classification : au sein des "vrais champignons"



## 2.1. Caractéristiques générales

### Caractéristiques morphologiques

- Thalle filamenteux = mycélium (ou unicellulaires comme la levure)
- Filaments = hyphes, se nourrissent des nutriments par absorption
- Paroi cellulaire faite de chitine + glucanes
- 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)



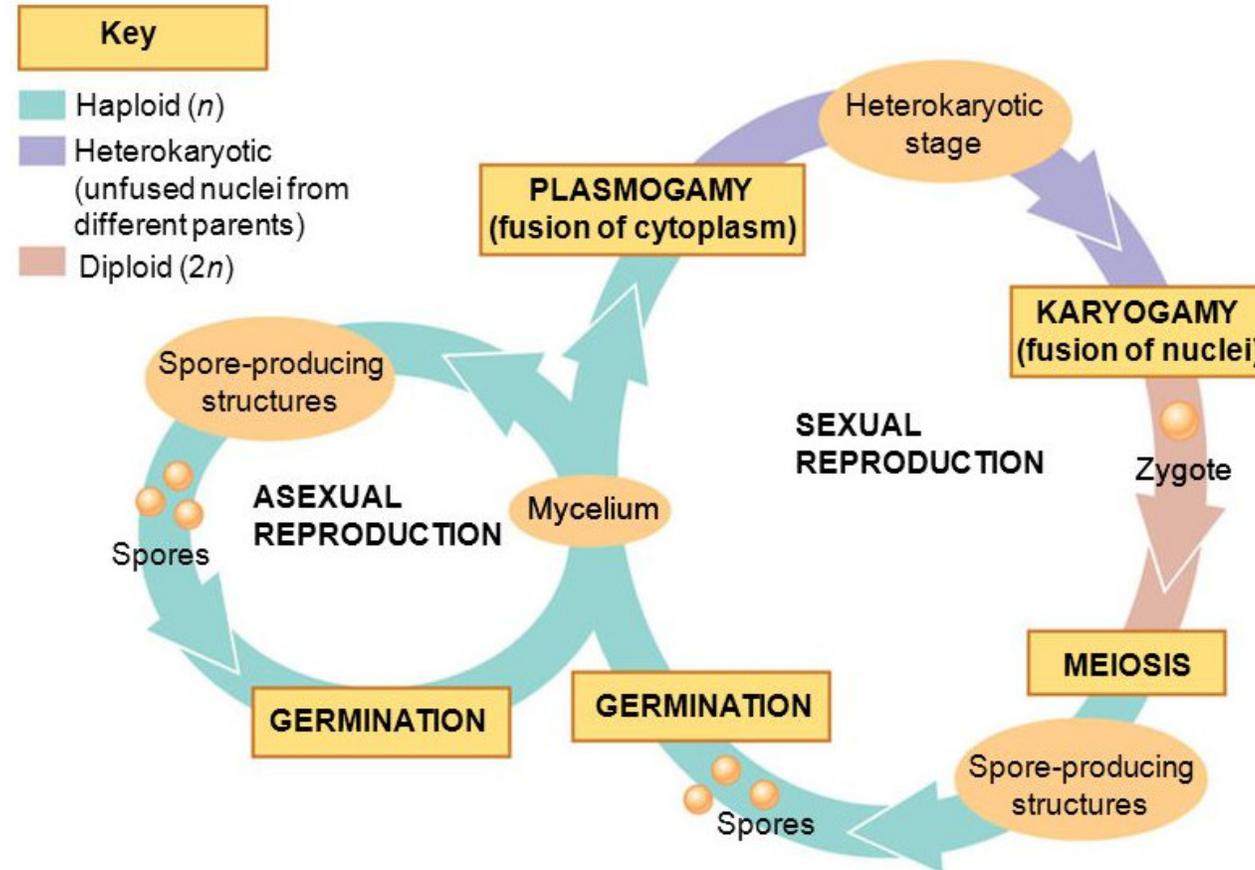
## 2.1. Caractéristiques générales

### Reproduction : asexuée et sexuée

- Reproduction **asexuée** (phase anamorphe) :
  - 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** (phase téléomorphe ou forme parfaite) :
  - 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

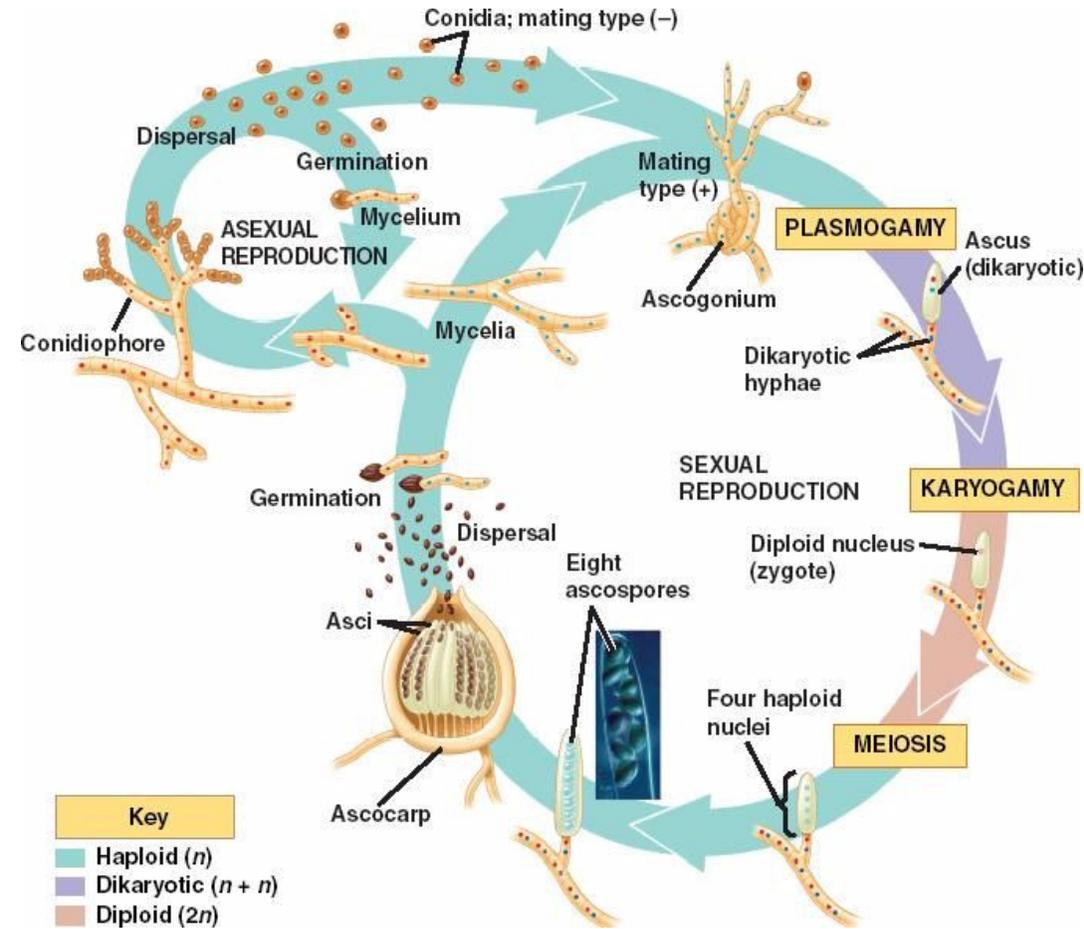
## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle général



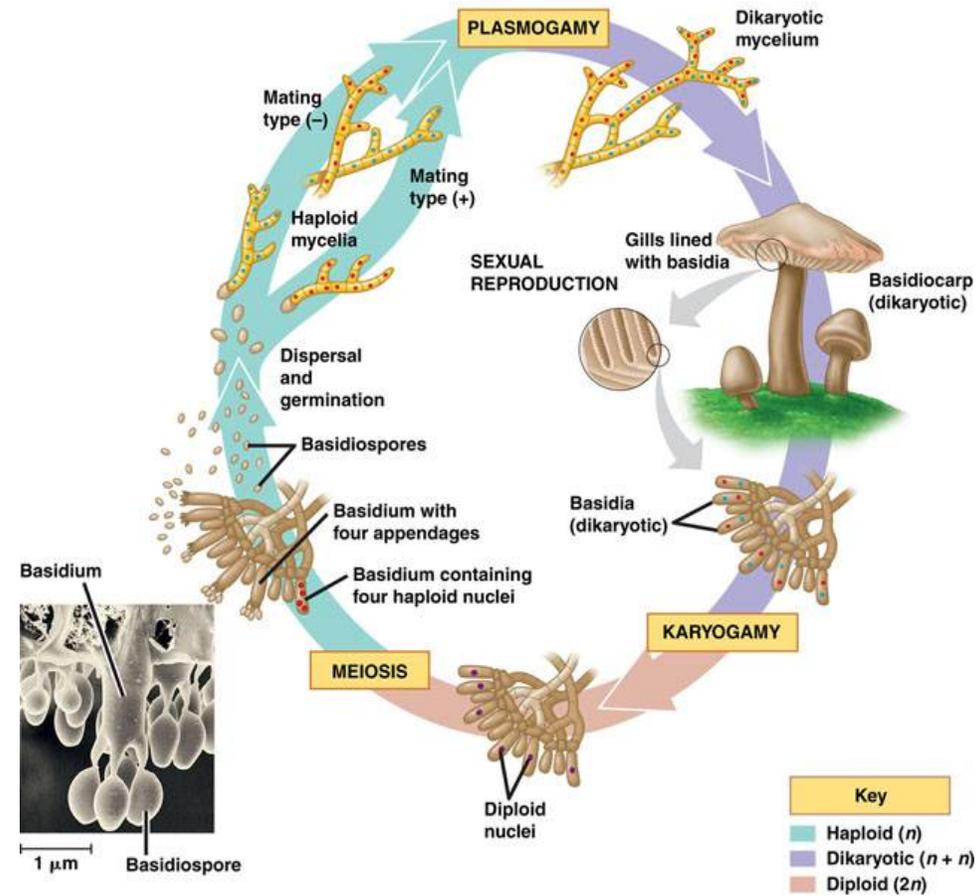
## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des ascomycètes



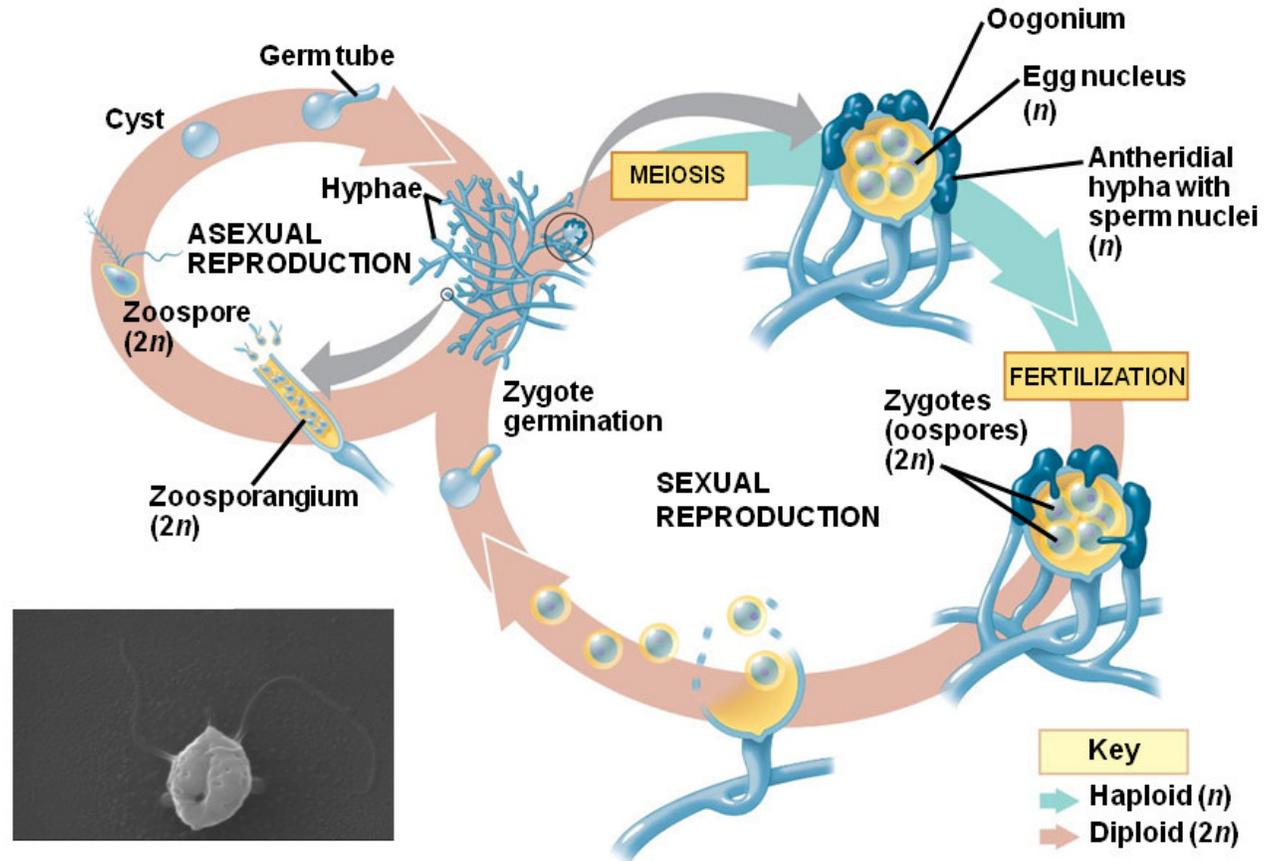
## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des basidiomycètes



## 2.1. Caractéristiques générales

### Cycle des oomycètes



## 2.1. Caractéristiques générales

### Dispersion

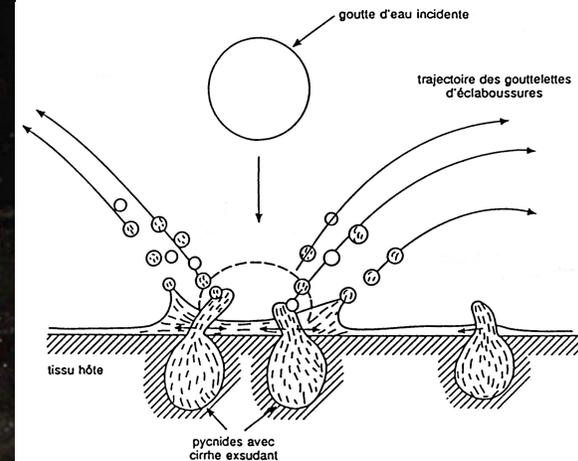
#### 1. Libération :

- **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, chlamydozoospores, oospores)
- Sur les débris végétaux
- Dans le sol
- Sur les repousses
- Sur des plantes réservoirs (hôtes alternatifs)

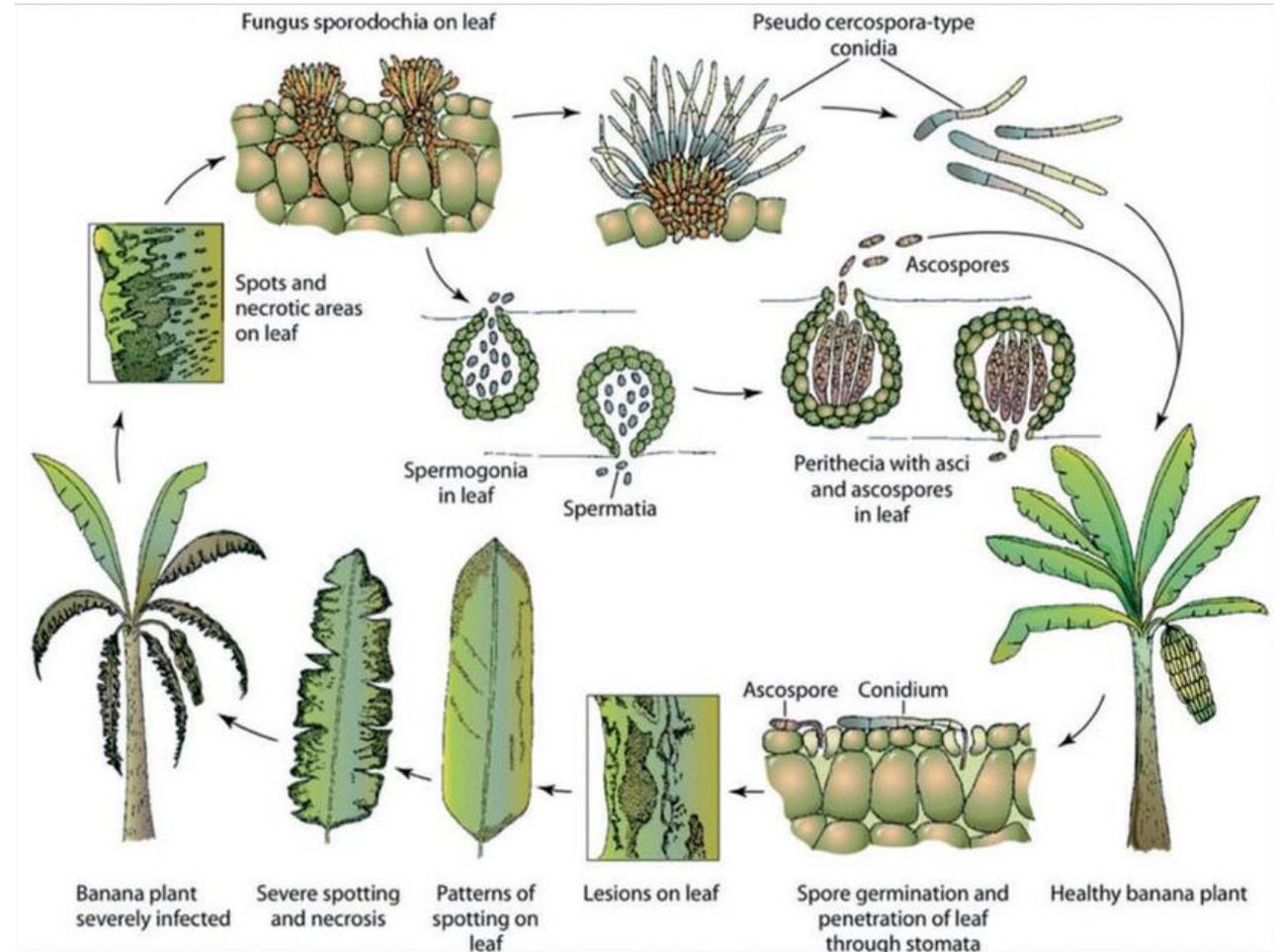


## 2.1. Caractéristiques générales

Exemples :

Cercosporiose noire du bananier  
(*Mycosphaerella fijiensis*)

- ascomycète -

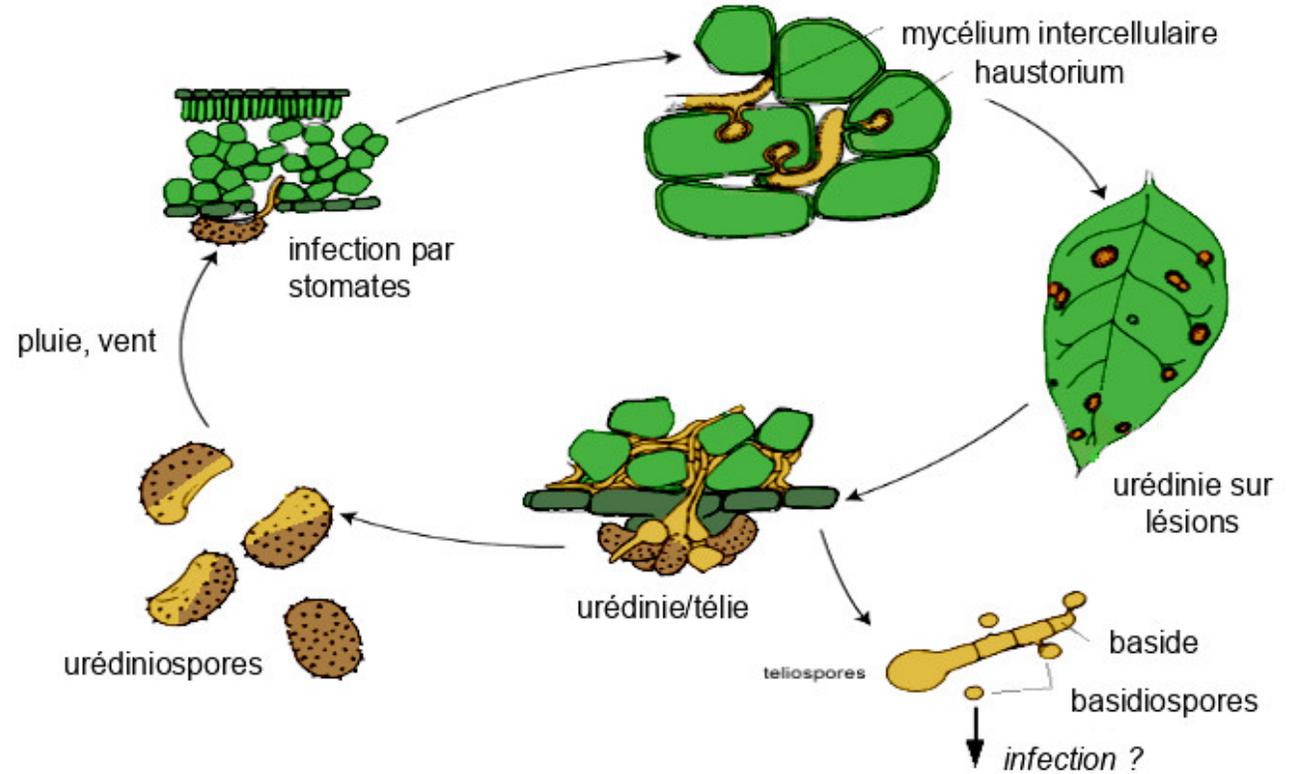


## 2.1. Caractéristiques générales

Exemples :

Rouille du caféier  
(*Hemileia vastatrix*)

- basidiomycète -

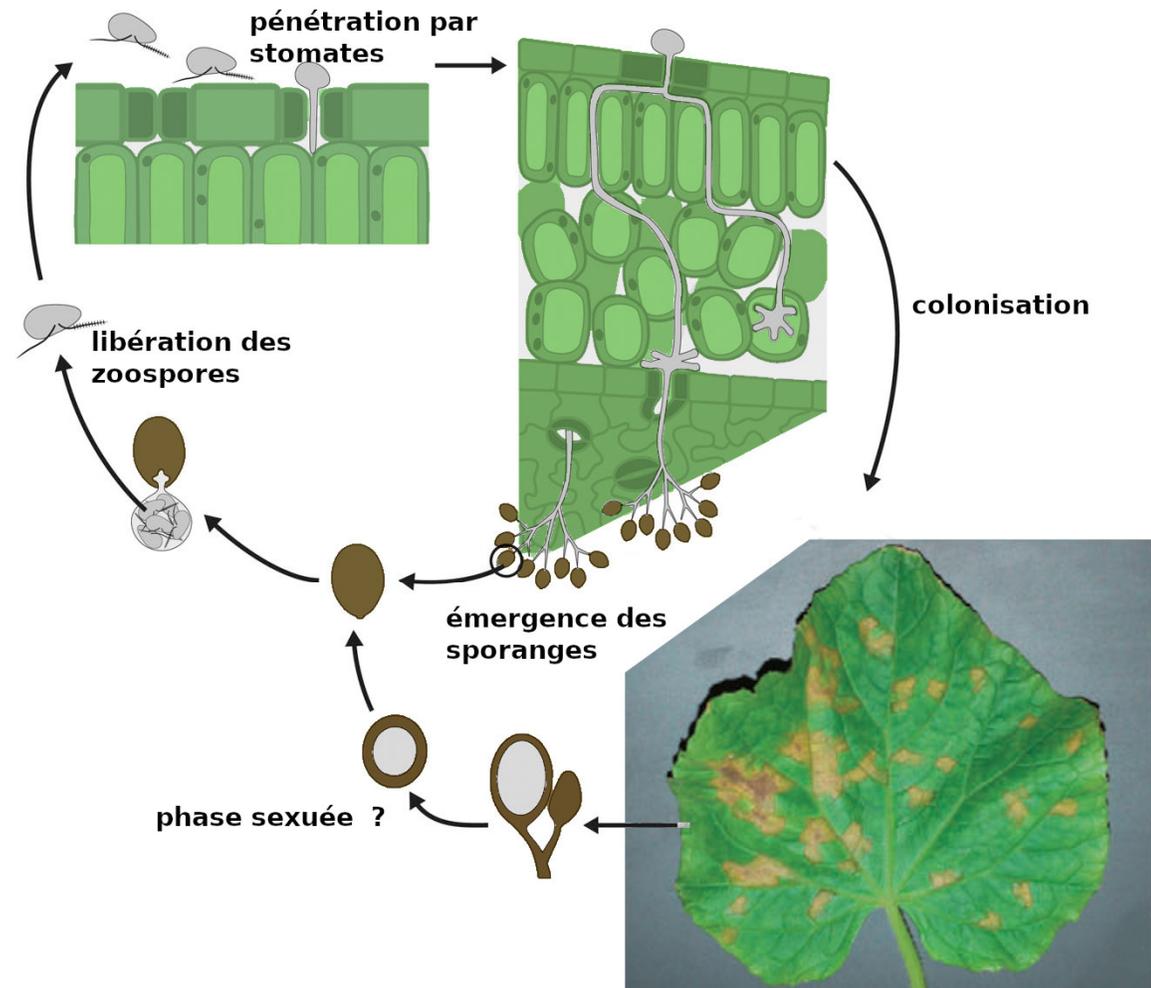


## 2.1. Caractéristiques générales

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 :**
  - l'infection primaire
  - la multiplication (augmentation du nombre d'individus)
  - la dispersion à de nouveaux hôtes
- **Les objectifs de l'épidémiologie :**
  - mesurer
  - comprendre
  - identifier les pistes de lutte



## 2.2. Notions d'épidémiologie

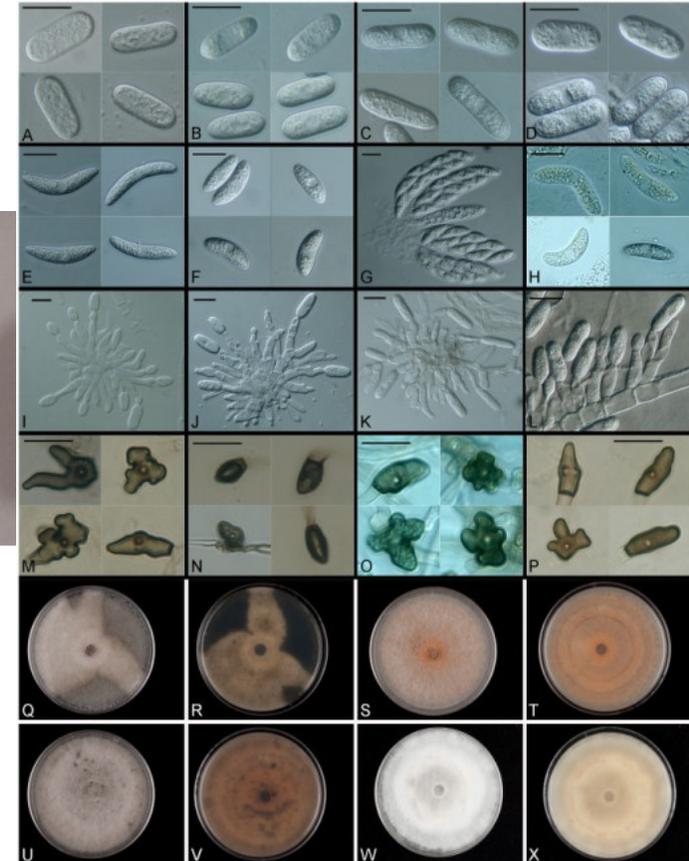
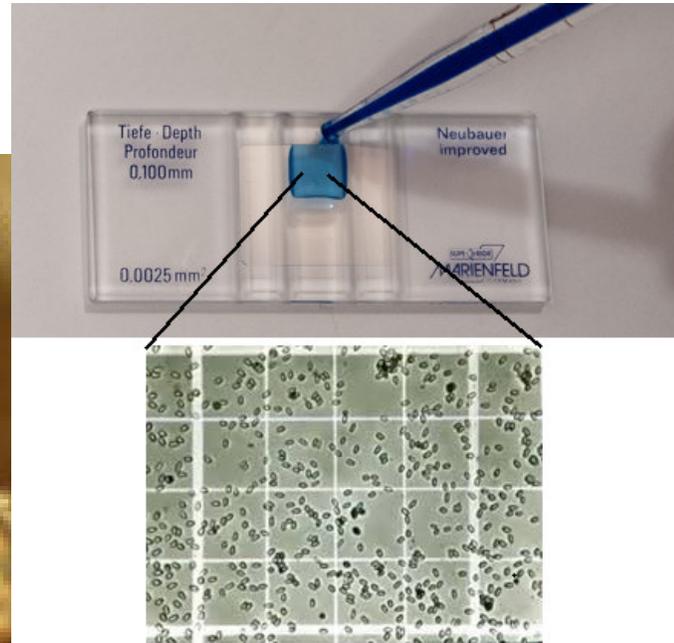
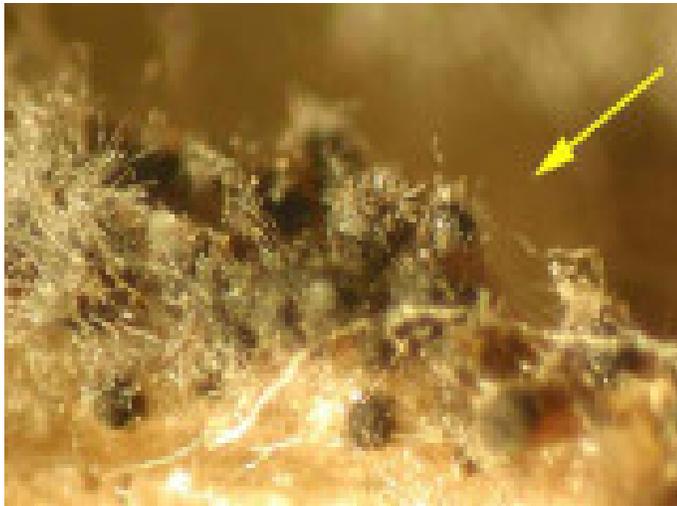
### Diagnostic

- Se base sur des connaissances, l'état de l'art
- Débute souvent par une reconnaissance visuelle
- Peut être complété par des techniques plus formelles :
  - prélèvements → observation → mise en culture
  - diagnostic sérologique, moléculaire (plutôt pour quarantaine)
- Permet de trouver la cause d'une maladie (étiologie)
  - abiotique / biotique
  - quel pathogène
- Permet de guider vers un choix de protection adapté



## 2.2. Notions d'épidémiologie

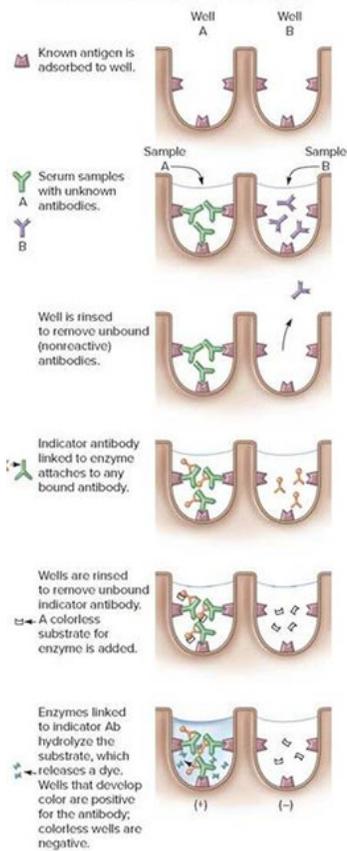
### Diagnostic visuel



# 2.2. Notions d'épidémiologie

## Diagnostic sérologique

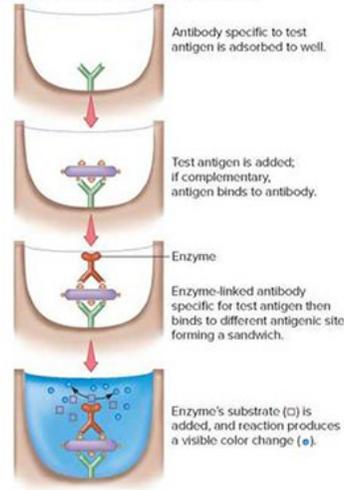
(a) Indirect ELISA, comparing a positive vs. negative reaction. This is the basis for HIV screening tests.



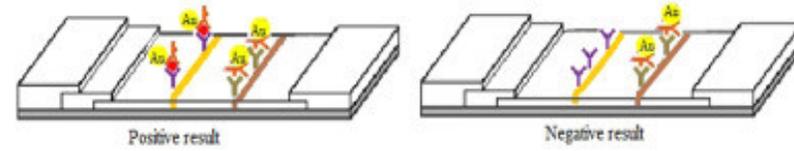
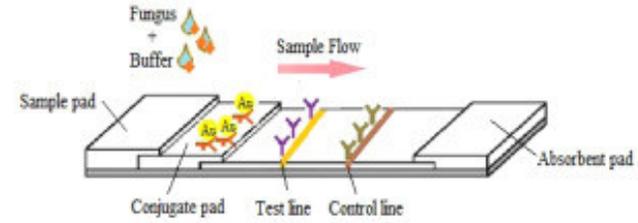
(b) Microtiter ELISA Plate with 96 Tests for HIV Antibodies. Colored wells indicate a positive reaction.



(c) Capture or Antibody Sandwich ELISA Method. Note that an antigen is trapped between two antibodies. This test is used to detect the measles virus.



© Hank Morgan/Science Source



Y Capture antibody

Y Secondary antibody

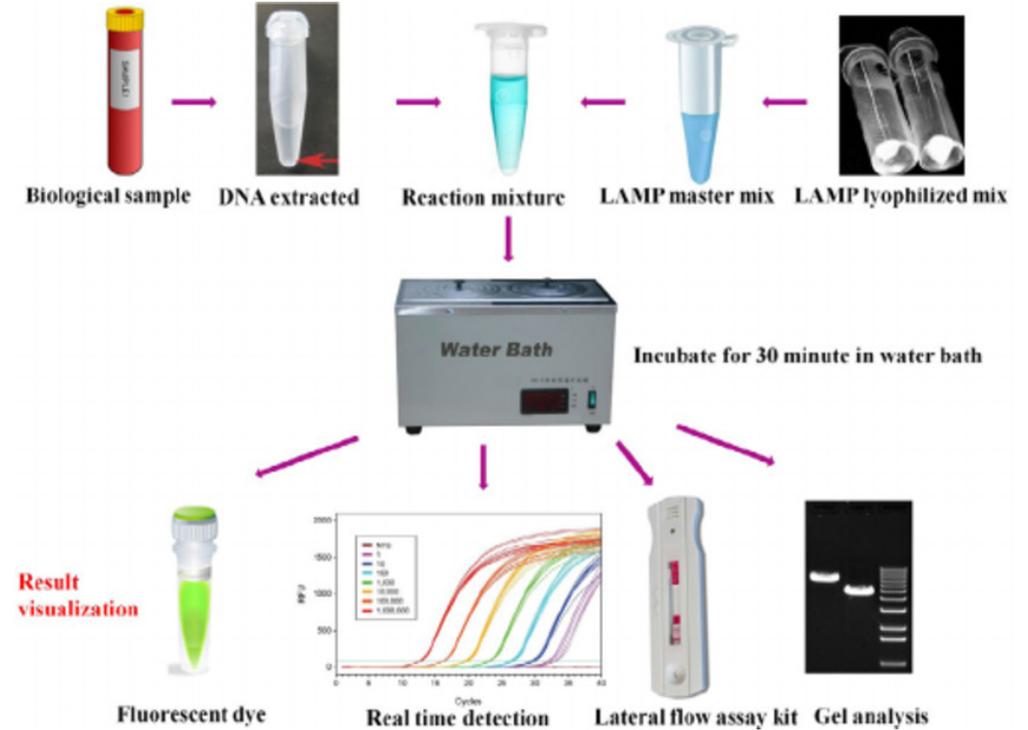
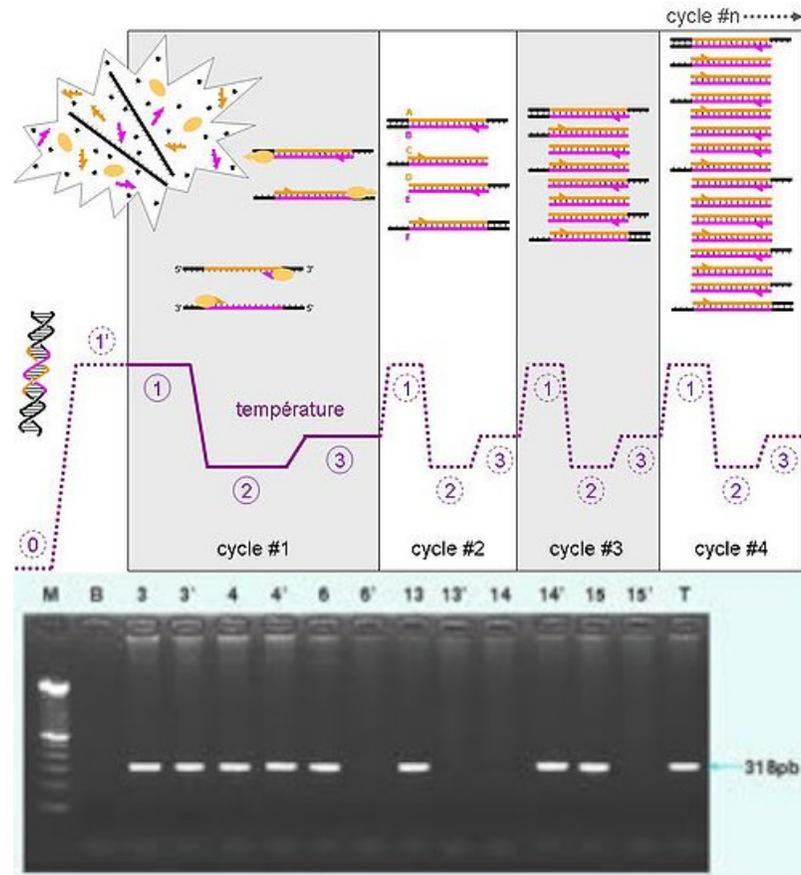
Ab Gold nanoparticle labeled antibody

◆ Fungus sample



## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Diagnostic moléculaire

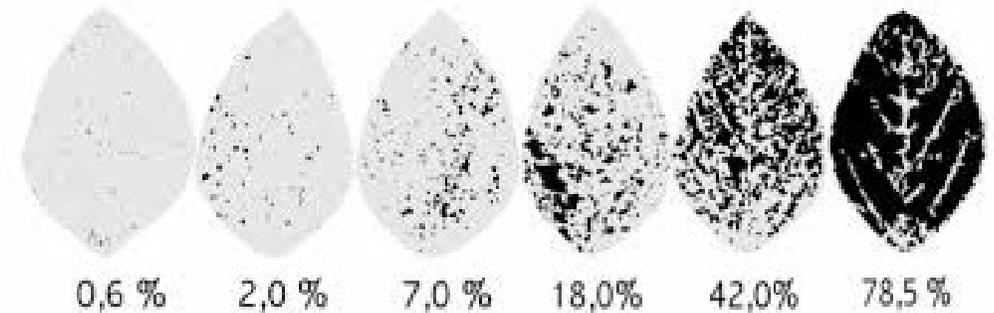


## 2.2. Notions d'épidémiologie

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

- Estimation **directe** : suivi visuel et attribution d'une valeur de sévérité (0-100%) basée sur la perception du niveau de maladie
- Utilisation d'une **échelle de notation** : découpage des valeurs continues en classes discrètes, attribution éventuelle de notes
- Estimation directe avec l'**utilisation d'un diagramme** : suivi visuel par l'expérimentateur et attribution d'une valeur de sévérité à l'aide d'une échelle de notation

Infection %	Score	Host response
0 %	0	Highly resistant (HR)
> 1-10 %	1	Resistant (R)
> 10-30 %	3	Moderately resistant (MR)
> 30-50 %	5	Moderately susceptible (MS)
> 50-75 %	7	Susceptible (S)
> 75-100 %	9	Highly susceptible (HS)



## 2.2. Notions d'épidémiologie

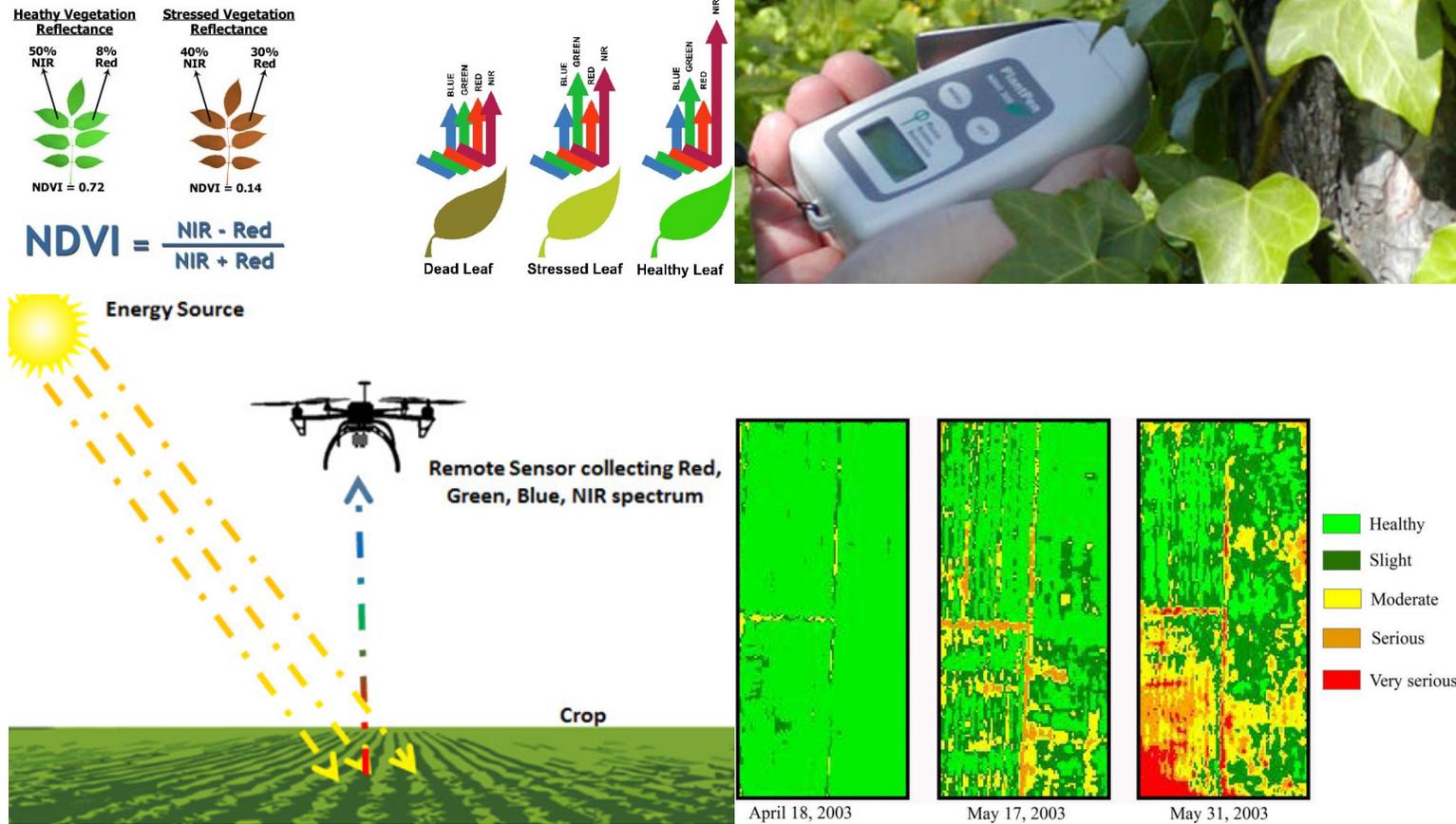
### Comment suivre l'évolution d'une épidémie

- Pour suivre le développement de la maladie, nécessité de **définir toutes les catégories d'organes** à prendre en compte (feuille, tige, racine, fruits)
- Suivi réalisable soit par **mesure visuelle** (le plus utilisé), soit par des **mesures biochimiques, immunologiques ou moléculaires** (ELISA, 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
- **Alternatives** : "remote sensing" basé sur des indices de réflectance des feuilles (analyse d'images), voire sur l'émission de composés volatiles ("nez électroniques")



## 2.2. Notions d'épidémiologie

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



## 2.2. Notions d'épidémiologie

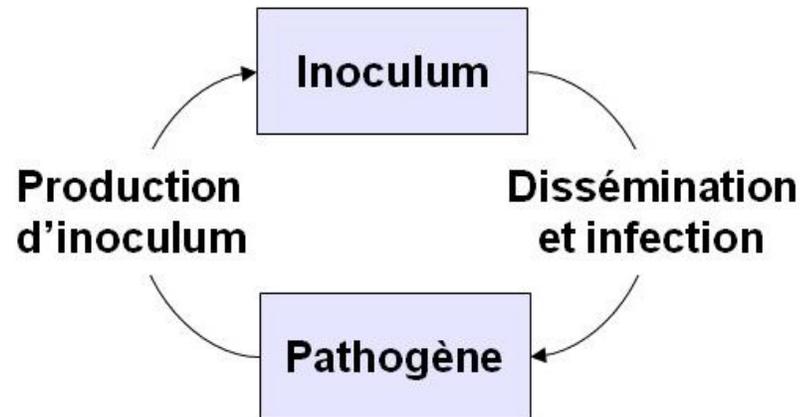
### Comparaison maladies telluriques / aériennes

Initiation / Contaminations primaires	Développement / Contaminations secondaires
<i>Telluriques</i>	
Inoculum primaire endogène, présent avant semis	Dispersion des spores infectieuses à courte distance
Contact inoculum/racine	Contact racine-racine ou inoculum/racine
<i>Aériennes</i>	
Inoculum primaire majoritairement exogène	Dispersion propagules infectieuses courte/longue distance
Absent avant semis (mais pas toujours)	
Disponibilité inoculum/ sensibilité organe	

## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Deux types d'épidémies

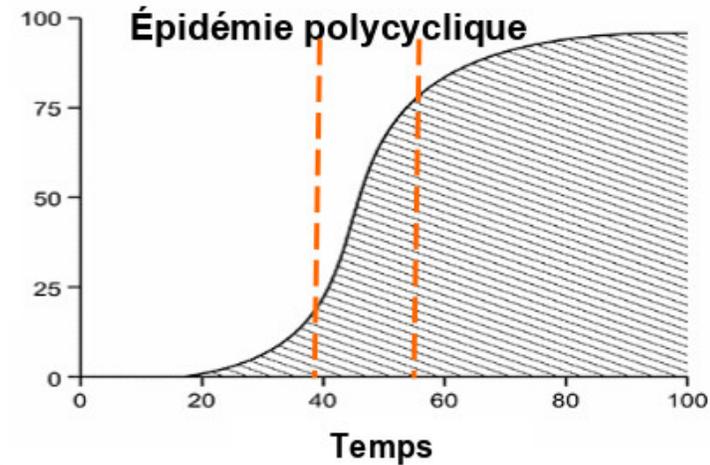
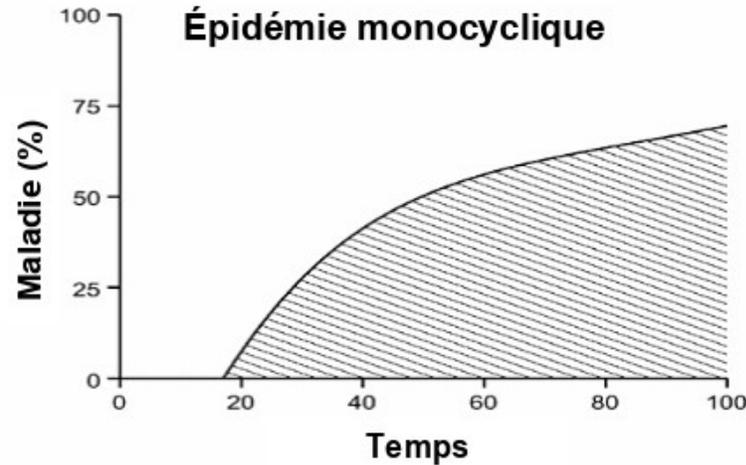
- **Monocyclique** : développement de la maladie correspondant à un **seul cycle de développement** du parasite pendant *un cycle cultural*



- **Polycyclique** : développement de la maladie correspondant à une juxtaposition de **multiples monocycles** pendant *un cycle cultural*

## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Deux types d'épidémies



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

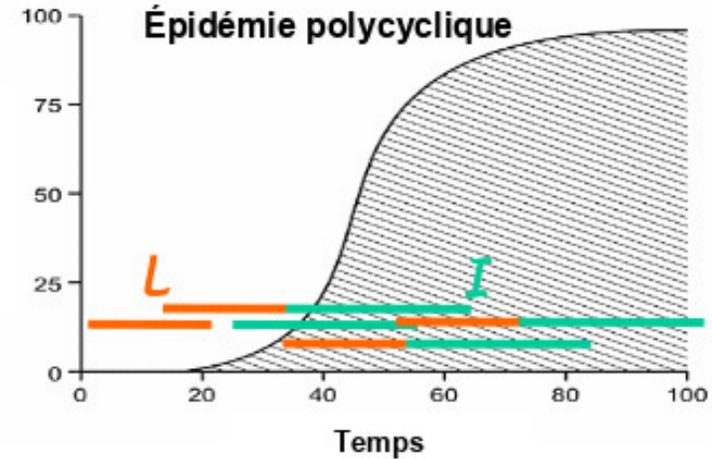
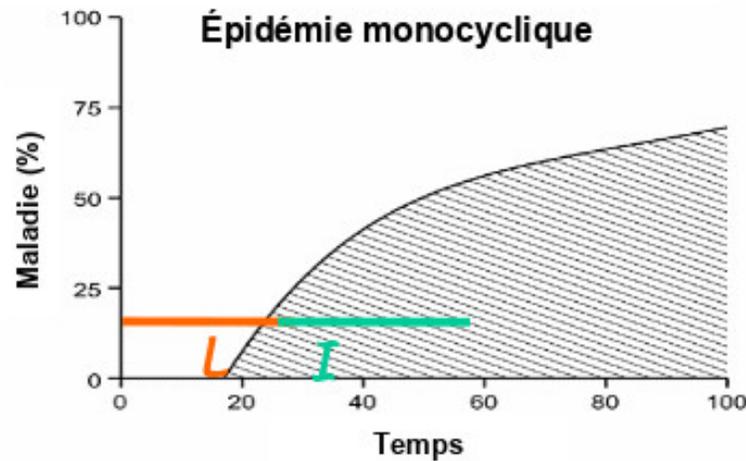
- quantité d'inoculum primaire disponible
- quantité de tissus ou de plantes sensibles
- environnement (climat, microclimat)

## 2.2. Notions d'épidémiologie

### Deux types d'épidémies

Subdivision du cycle de base en 2 périodes principales :

- Période d'incubation : temps entre la pénétration et l'apparition des symptômes
- Période de latence **L** : temps entre la pénétration et la production de nouvelles spores (colonisation de l'hôte)
- Période infectieuse **I** : durée pendant laquelle une lésion est capable de produire des spores



### 3. Méthodes de lutte



**INRAE**

Maladies cryptogamiques : méthodes de lutte

27 janvier 2020 / Master 1 Biologie Santé / Sébastien Guyader

# Généralités

- Finalité : préserver le **potentiel de production** des culture
- C'est un objectif propre à **tous les types d'agriculture**
- Grande **diversité des méthodes**, en fonction :
  - de la **zone de production**
  - des **objectifs de production**
  - du **système de culture** choisi
- Du **préventif** au **curatif**



# Généralités

Cinq grands groupes de méthodes :

- 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

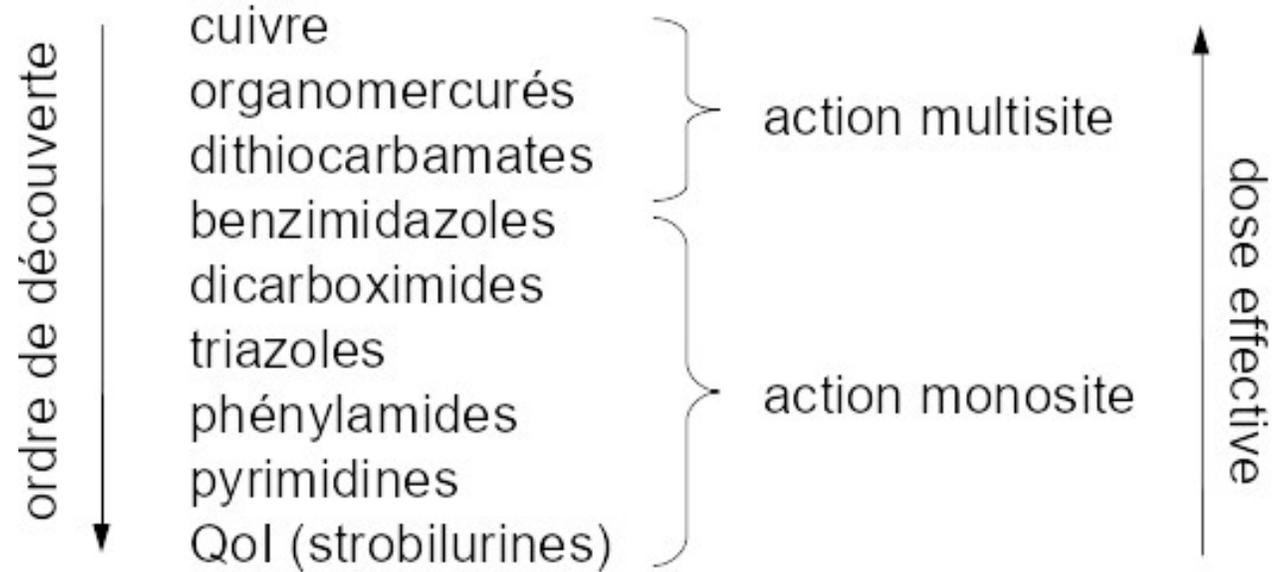
- ex. : bouillie bordelaise, fumigation et désinfection des sols
- peu sélectifs
- moins couramment utilisés

### 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)

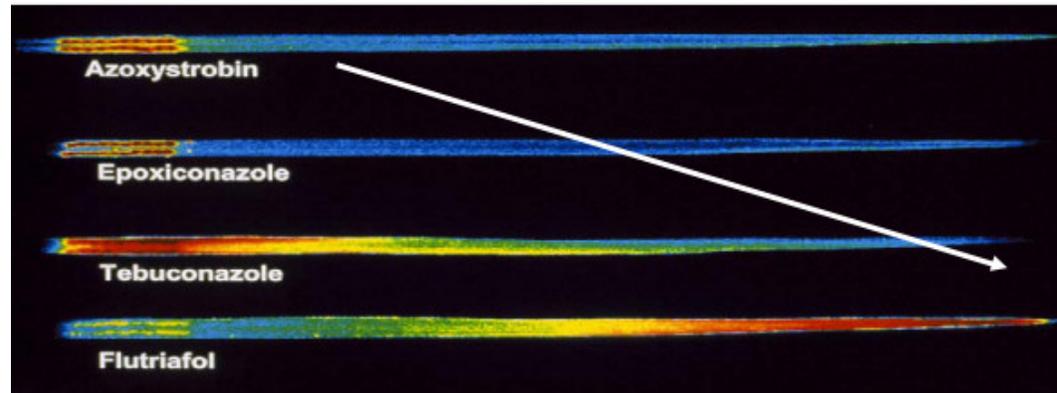


- Trois grandes catégories d'utilisation : contact, translaminaires/localement systémiques, systémiques
- Essentiellement utilisés à titre préventif, rarement curatif

### 3.1. Méthode chimique



localement systémique



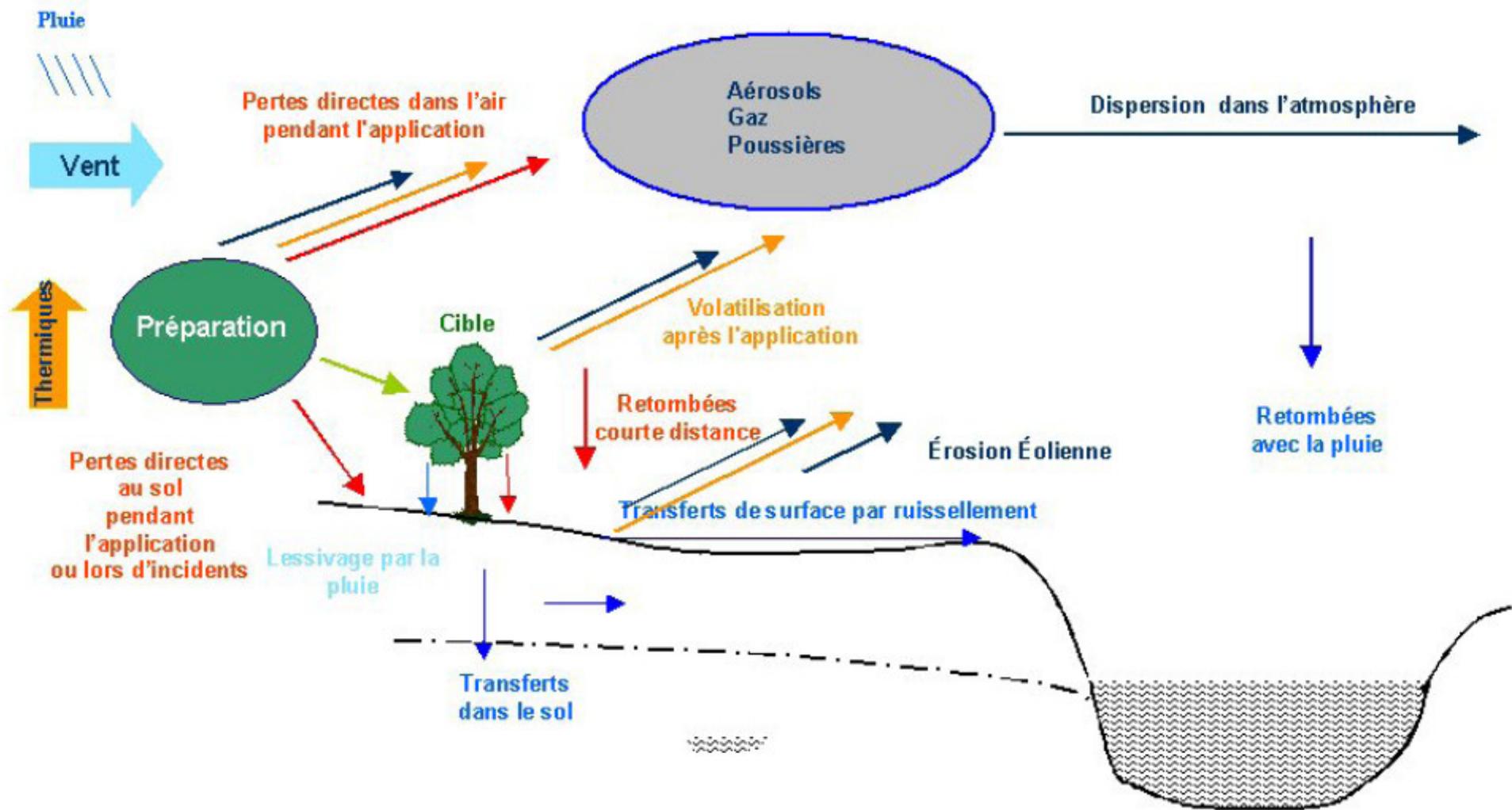
+/- systémiques

## 3.1. Méthode chimique

- Problèmes liés à la méthode chimique :
  - efficacité liée aux conditions
  - apparition de souches résistantes
  - toxicité pour les personnes faisant l'application
  - toxicité pour l'environnement (manque de sélectivité)
  - coût
- Nombre de traitements annuels pour quelques cultures :
  - blé : 6.6
  - maïs : 3.7
  - colza : 6.7
  - pommier : 17.6
  - vigne : 20



### 3.1. Méthode chimique



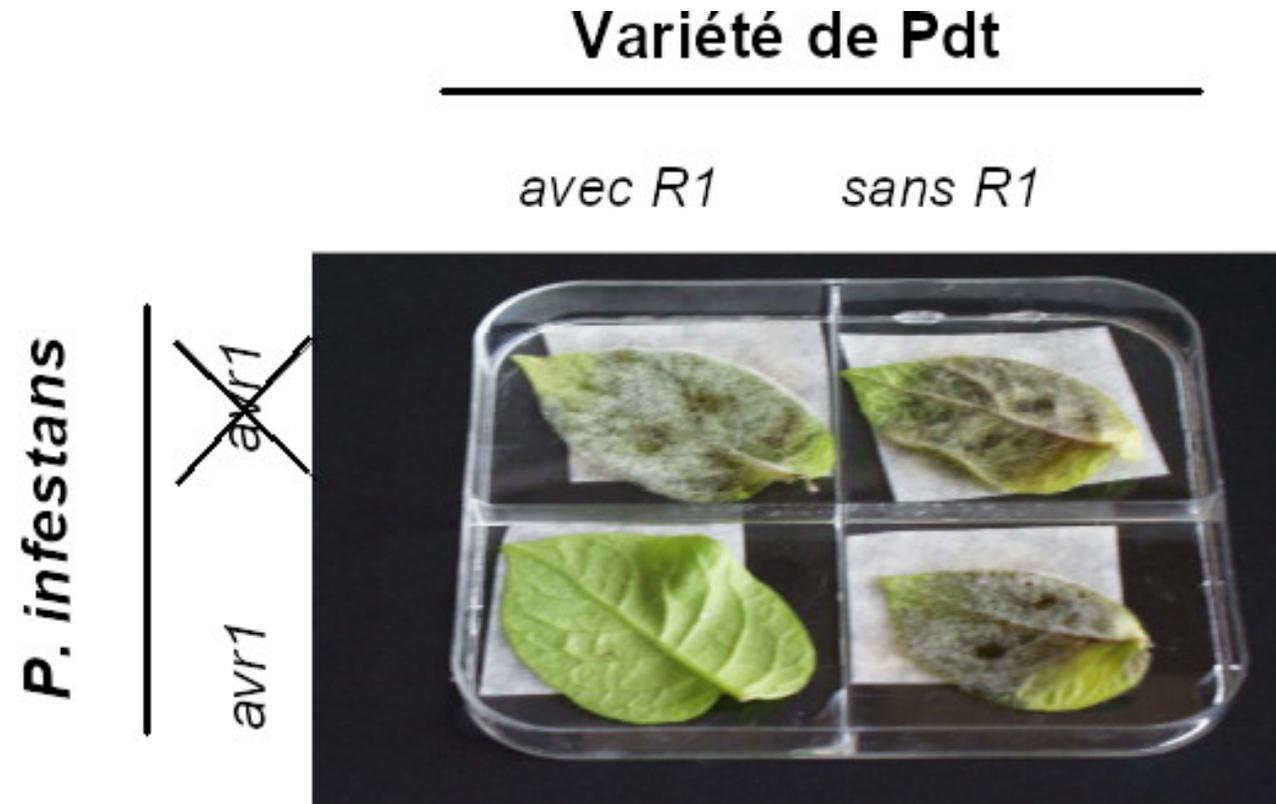
## 3.2. Méthode génétique

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

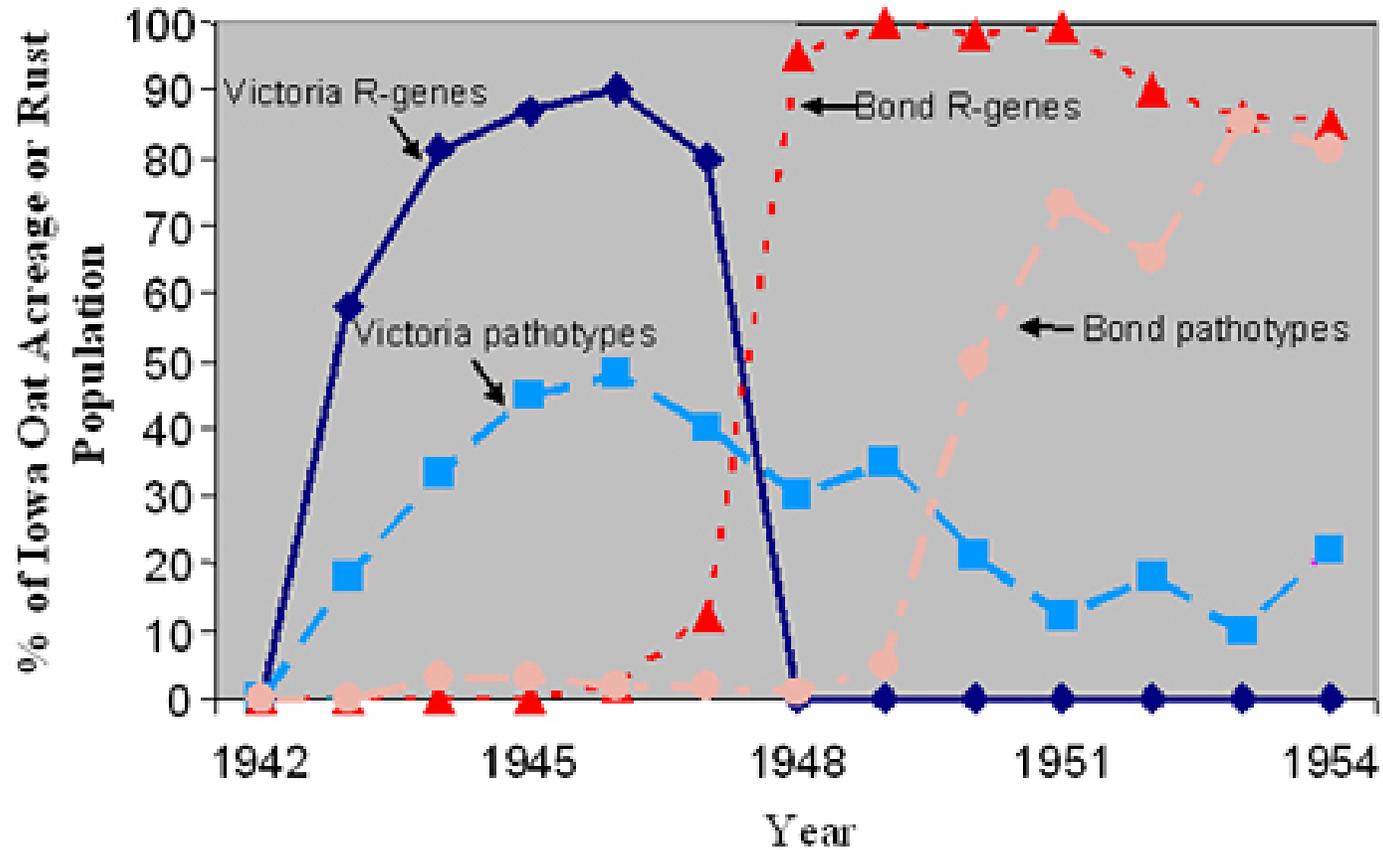
Résistance **polygénique** partielle : effet *quantitatif*



Lignées recombinantes de maïs issues d'un même croisement

## 3.2. Méthode génétique

Problème des résistances "simples" : elles sont plus facilement **contournées**



### 3.3. Biocontrôle

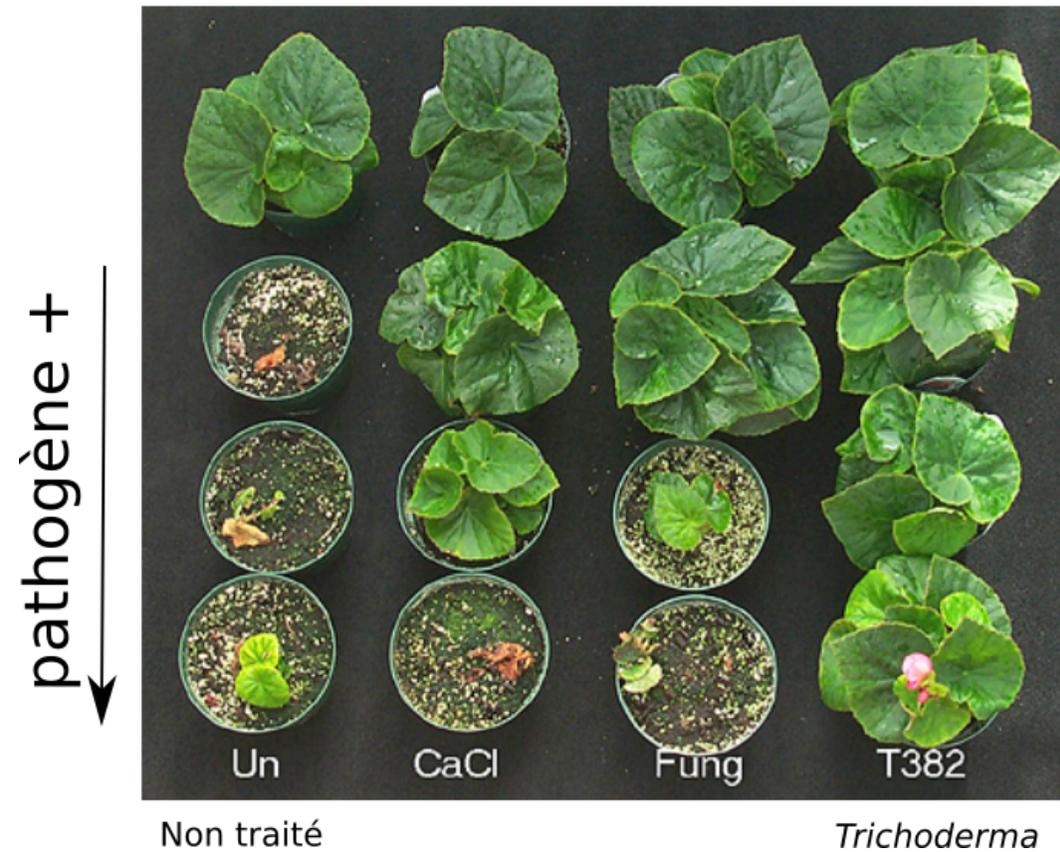
"L'ensemble des méthodes de *protection des végétaux* qui utilisent des **mécanismes naturels**. Il vise à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel"

Ces agents sont habituellement classés en 2 grandes catégories :

- les **macro-organismes** invertébrés
- les **produits phytopharmaceutiques** de biocontrôle :
  - les micro-organismes
  - les médiateurs chimiques tels que les phéromones, les substances allélochimiques (allomones et kairomones) et les phytohormones
  - les substances naturelles d'origine animale, végétale ou minérale

### 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 alternatifs à proximité
- planter loin d'une culture infectée la saison précédente
- éliminer les résidus infectieux
- jouer sur les conditions méso/microclimatiques
- décaler la culture dans le temps 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
- ...



### 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

Lutte intégrée	Protection intégrée
Contre un pathogène, au moins 2 méthodes de lutte complémentaires	Se raisonne au niveau de la (des) culture(s)
Risque de les réfléchir et concevoir bioagresseur par bioagresseur	Consiste à créer les conditions des cultures les moins favorables aux bioagresseurs, y-compris par des moyens directs de lutte
Risque de se trouver face à des incompatibilités ou conflits entre méthodes	Développée à partir de profils de bioagresseurs majeurs



### 3.5. Protection intégrée

<b>type de décision</b>	<b>définition</b>	<b>opérateurs</b>	<b>exemples</b>
<b>tactique</b>	<b>prise en cours de végétation, de cycle, sur un peuplement établi</b>	<b>agriculteur, conseillers</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• traitements pesticides (traiter, ne pas traiter, attendre)</li><li>• irriguer</li><li>• apport d'azote complémentaire</li></ul>
<b>stratégique – court terme</b>	<b>prise alors que le peuplement va être établi</b>	<b>agriculteur, conseillers</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• choix variétal</li><li>• rotation</li></ul>
<b>stratégique – long terme</b>	<b>prise pour un ensemble de cycles culturaux, de succession</b>	<b>agriculteur, chercheurs, planificateurs</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• système de production</li><li>• choix de filière</li><li>• programme de sélection</li><li>• politique de recherche</li></ul>



## 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

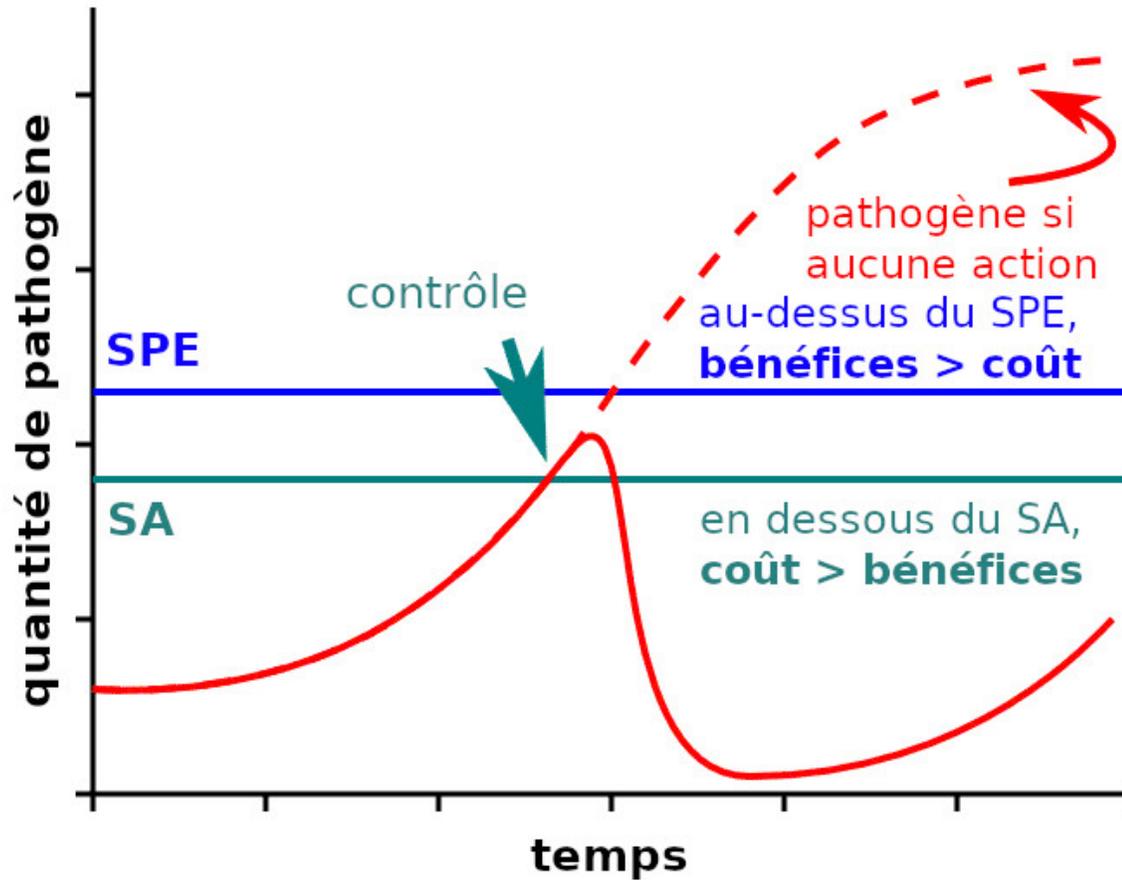
- **Seuil de nuisibilité "biologique" :**  
Niveau d'intensité de la maladie à partir de laquelle une diminution des potentialités de la plante cultivée est observée
- **Seuil de nuisibilité économique :**  
Niveau d'intensité de maladie justifiant la mise en œuvre de moyens de lutte, lorsque la perte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



### 3.5. Protection intégrée



**SPE** = seuil de pertes économiques  
**SA** = seuil d'action