



***Botrytis cinerea* (télémorphe : *Botryotinia fuckeliana*): agent de la moisissure grise.**

# Règne *PROTOZOA*

- On range dans ce règne tous les micro- organismes eucaryotes et unicellulaires.

Ce règne comporte quelques espèces phytopathogènes comme :

- ***Plasmodiophora brassicae***, agent causal de l'hernie du chou,
- ***Polymyxa graminis***, agent des maladies racinaires des céréales et des graminées.

# Règne *STRAMENOPILA*

Ce règne groupe les organismes qui possèdent des flagelles pourvus de cils . Les ***Stramenopila*** comportent le phylum des ***Oomycota*** qui comporte plusieurs agents pathogènes .

- **Phylum *Oomycètes*** : Ce phylum se caractérise
  - par un cycle biologique en grande partie diploïde et
  - par des filaments mycéliens coenocytiques.

Les ***Oomycota*** n'ont aucune relation avec les vrais champignons. Cependant ils sont morphologiquement similaires aux ***Fungi***.

- Les modes de parasitisme des oomycètes phytopathogènes varient selon les espèces.
- *Pythium* , parasites facultatifs
- *Phytophthora cinnamomi* saprophytes facultatifs
- les espèces qui causent les **mildious** : parasites obligatoires. .
- Les maladies causées par les oomycètes sont surtout les mildiou

# Les mildious

- ***Plasmopara viticola*** : mildiou de la vigne
- ***Phytophthora infestans***— Mildiou de la pomme de terre et de la tomate
- ***Albugo candida*** : agent de la rouille blanche des crucifères
- ***Bremia lactucae*** : agent du meunier des laitues.
- ***Peronospora schachtii*** : agent du mildiou de la betterave



# Symptomes du Mildiou de la pomme de terre



toute la plante.



K. Al-Mughrabi

18 8 2004





K. Al-Mughrabi

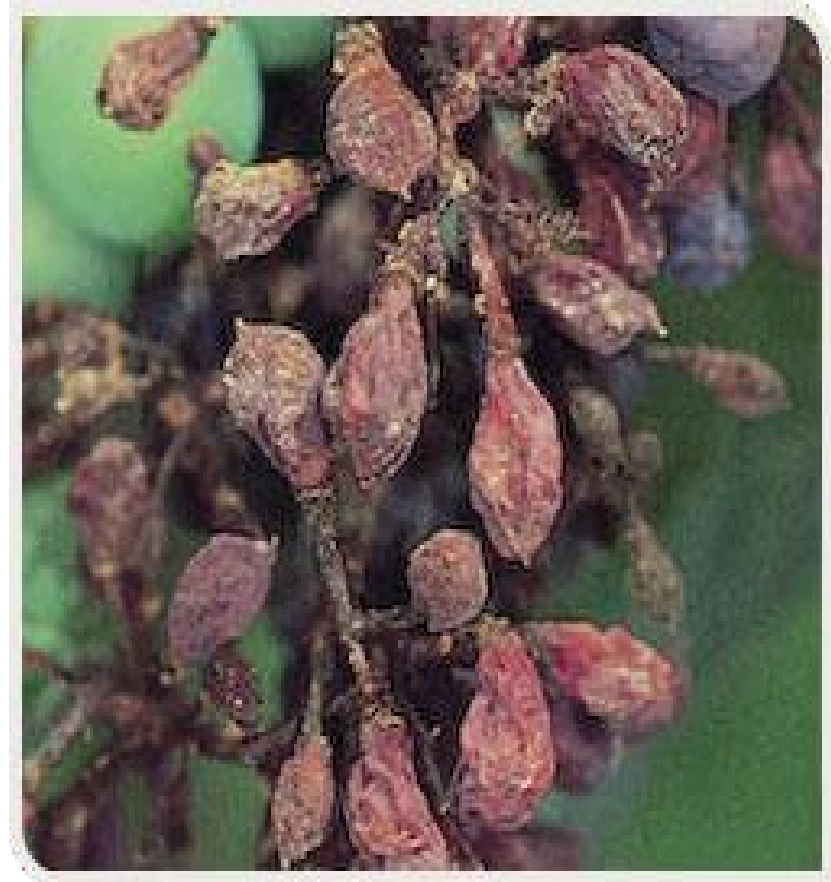
# Mildiou de la vigne



feutrage blanchâtre



tache d'huile



- **Les processus infectieux des champignons pathogènes**

## Introduction

- L'infection d'une plante par un champignon pathogène passe par plusieurs étapes telles que : la fixation du champignon sur le végétal, la germination des spores fongiques, la formation de l'appressorium, la pénétration



# **A-La fixation à la cuticule :**

- A la surface des feuilles, les spores des champignons pathogènes sont rapidement fixées à la cuticule de l'hôte et résistent au lavage de la surface. Cette fixation est assurée par un phénomène d'adhésion mis en évidence chez plusieurs champignons.

Ce phénomène est assuré par plusieurs facteurs :

- La nature hydrophobe de la cuticule
- Des composées fongiques hydrophobes (molécules adhésives) qui sont de nature protéique ou glycoprotéique, parmi ces molécules les plus connues sont les hydrophobines : protéine hydrophobes de petite taille 96 à 157 acides aminés riches en cystéine
- De matériaux adhésifs constitués d'un mucilage formé de polysaccharides ou de glycoprotéines
- Interaction moléculaire (lectine de l'hôte et polysaccharides du parasite, réaction enzyme- substrat)

## B-La germination des spores

- La germination d'une spore aboutit généralement à la formation d'un tube germinatif qui apparaît en quelques heures après que la spore ait été placée dans les conditions favorables
- Un état de dormance des spores peut retarder la germination :  
exemple :
  - l'auto inhibition des urédospores des rouilles et téliosspore de charbon qui sera levé après dispersion des spores dans l'eau

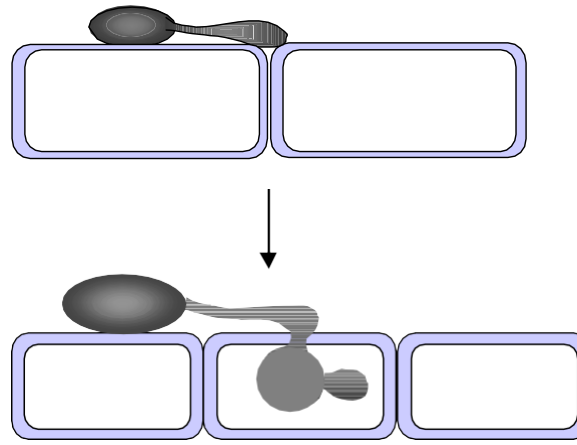
- La germination des spores débute par un gonflement des spores qui est dû à la pénétration de l'eau (hydratation) suivie de l'élongation du tube germinatif
- La plus part des champignons exige une humidité relative supérieure à 90% pour la germination

## C-La formation de l'appressorium

- Lors de la pénétration dans la feuille, que ce soit par percement de la cuticule (pénétration directe) ou par passage entre les cellules de garde d'un stomate (pénétration indirecte), le tube germinatif forme généralement une structure plus ou moins différenciée, **l'appressorium**
- L'appressorium est un renflement du tube germinatif parfois entouré de mucilage pour améliorer l'adhésion



# Appressorium



# D- La pénétration

La pénétration peut se réaliser par :

- **Ouvertures naturelles** : on parle dans ce cas d'une pénétration indirecte
- Le tube germinatif de plusieurs pathogènes (rouille, cercosporiose,...) pénètre par les stomates
- **Cuticule** : on parle dans ce cas d'une pénétration directe

- –La cuticule est constituée de polyesters d'acides gras associés à des cires, formant la première barrière susceptible d'arrêter la progression d'un hyphe pénétrant ; la pénétration à travers la cuticule nécessite soit une action mécanique de l'appressorium, soit une action enzymatique

- **1. Pénétration mécanique :**

- Un faisceau de résultats appuie la proposition d'une pénétration de type mécanique chez des champignons dont les parois sont rigidifiées par la présence de mélanine.

- **2. Pénétration par voie enzymatique :**

Le rôle de la cutinase (enzyme qui dégrade la cutine) dans la pénétration a été démontré chez plusieurs champignons

- Exception faite de la pénétration mécanique de *Plasmodiophora* et de *Polymyxa*, il est probable que la pénétration soit le résultat d'**actions enzymatiques** ramollissant la paroi et de **pression mécanique**



## E- Relation trophique et expression de la maladie

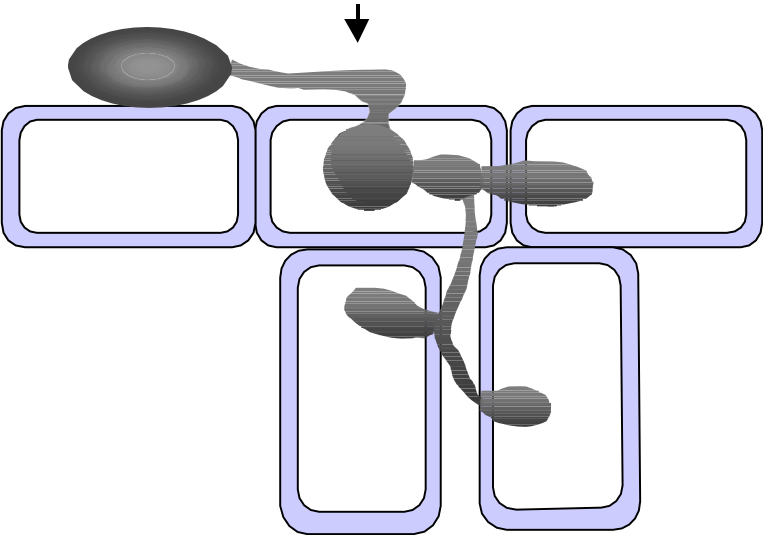
### E1- Relation trophique :

- Il ya trois type de relation trophique

**Un premier type de relation:** le développement du champignon se limite à un strome entre la cuticule et l'épiderme qui demeure extérieur au symplasme de l'hôte, c'est le cas *Venturia inaequalis* (*tavelure du pommier*) ou l'hyphe utilise comme base alimentaire les parois des cellules épidermiques grâce à l'action des pectinase

- **Un second type**, représenté essentiellement par les oïdiums , correspond à l'établissement d'une relation trophique limitée aux seules cellules épidermiques, dans lesquelles le champignon développe un suçoir

- **Un troisième type** l'hyphe primaire après pénétration établit une relation trophique avec une première cellule, puis développe des hyphes secondaires intercellulaires qui colonisent progressivement d'autres cellules du mésophylle, c'est le cas des agents des rouilles et des mildious



- **Colonisation de l'hôte**
- Après pénétration, le mycélium s'étend à l'intérieur de la plante hôte mais la colonisation ne signifie que rarement l'envahissement complet. Les maladies fongiques sont souvent localisé, c'est l'**occupation organotrope** et rarement systémique



- **Exemples**

- l'ergot de seigle (*Claviceps sp*) n'envahit que les parties femelles des graminées
- Les agents du flétrissement (*Fusarium sp*, *Verticillium sp*) se développent dans les vaisseaux conducteurs de sève brute

## F-Principaux facteurs de pathogenèse chez les champignons

- **F1- Les toxines produites par les champignons pathotoxines:**
- La pathotoxine une molécule produite par le parasite dans son hôte, et elle est nécessaire au développement total ou partiel de la maladie. Sa production est strictement corrélée au pouvoir pathogène de cette souche
- La pathotoxine est un élément important du pouvoir pathogène chez les champignons necrotrophes, et pratiquement inexistante chez les champignons biotrophes

## Exemples des toxines produites par les champignons

- **Pathotoxines spécifiques:**

**La victorine:** produite par *Helminthosporium victoriae* affectant l'avoine variété victoria

**L'helminthosporoside** produite par *Helminthosporium sacchari* parasite de la canne à sucre

- **Pathotoxines non spécifiques**

**Fusicoccine:** toxine de flétrissement produite par *Fusicoccum*

**Cercosporine** : toxine non spécifique produite par plusieurs espèces de *Cercospora*

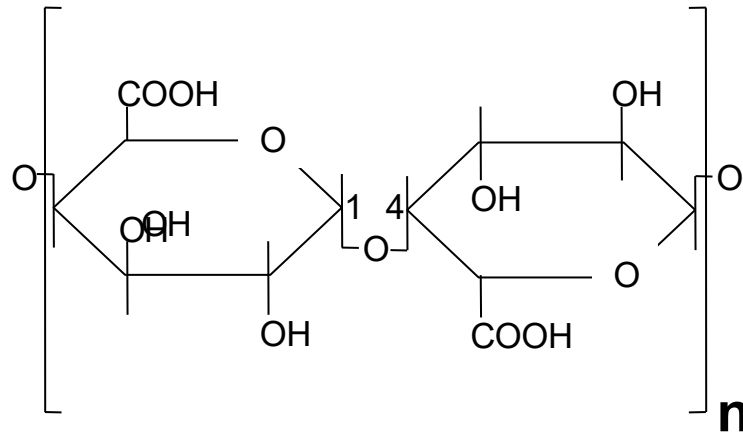
- **F2- les enzymes**

Les composées pectiques représentent les constituants principaux de la paroi primaires séparant deux cellules végétales adjacentes et sont également présent en faible quantité dans la paroi secondaires de la cellule

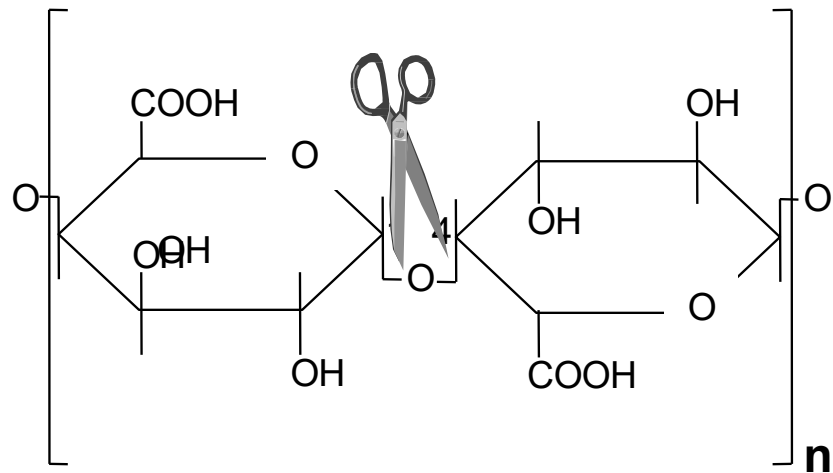
**Les enzymes agissant sur la paroi primaire:** enzymes capables de dégrader la pectines sont:

- ☐ Polygalacturonase (PG),
- ☐ pectate lyase PL,
- ☐ pectine lyase PNL,
- ☐ pectine methylesterase PME

La **pectine** : un polymère d'acides  
galacturoniques associés par des  
liaisons  $\alpha$ -1,4

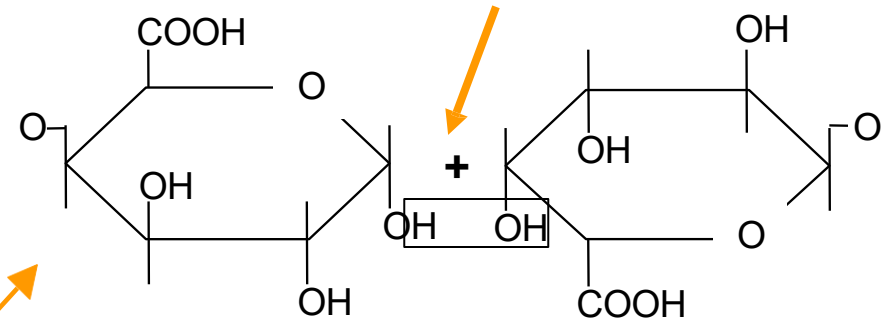


Les **polygalacturonases** sont des hydrolases qui clivent les liaisons  $\alpha$ -1,4 entre acides galacturoniques en fixant une molécule d'eau

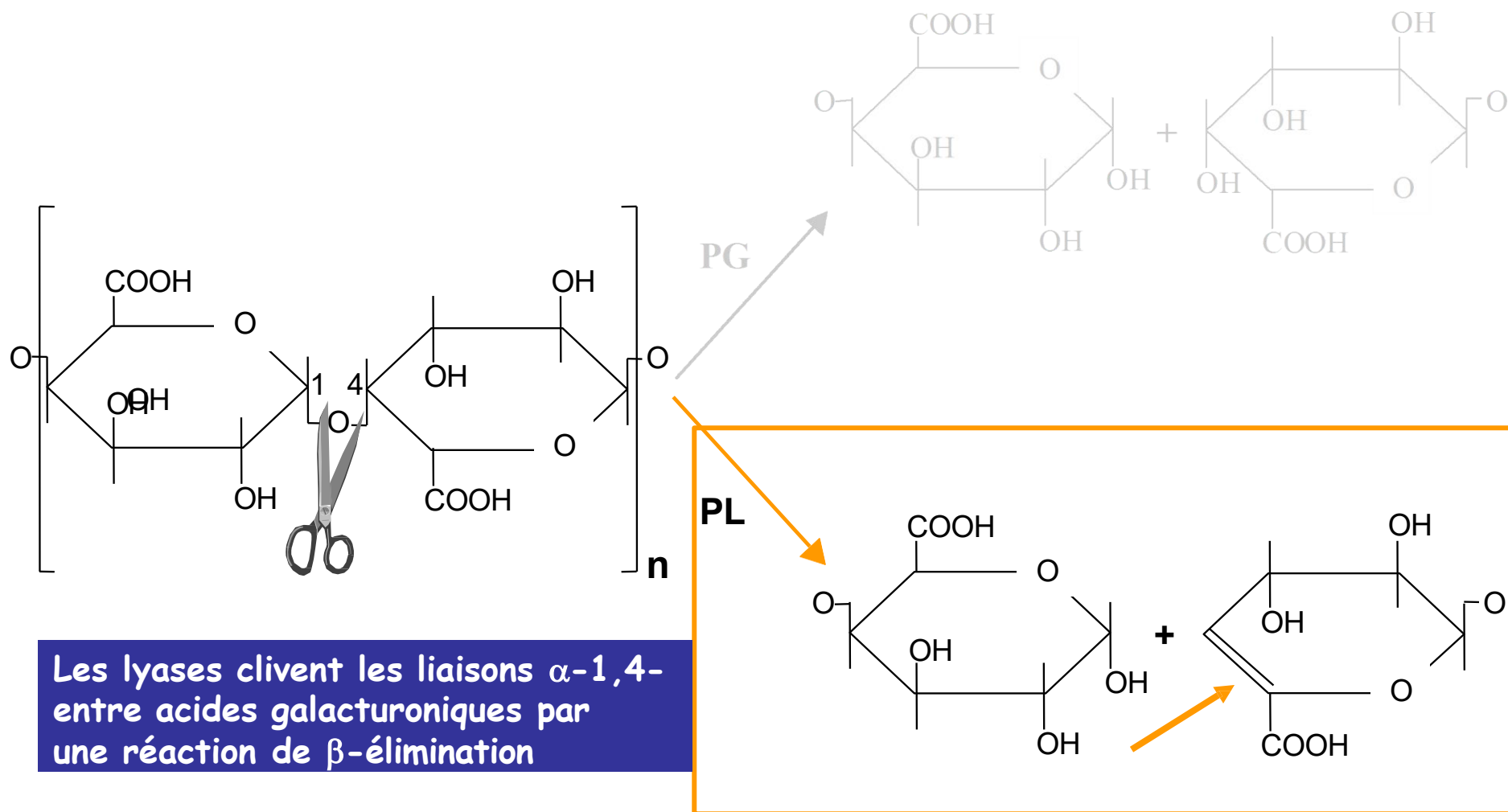


PG

PL



Les **pectine-méthylestérases** déestérifient les pectines préparant ainsi l'action des PG et PL



Le résultat de l'action des pectinases :

- les enzymes libèrent les composés pectiques utilisés comme source de carbone
- Chez beaucoup d'agents nécrotrophes, l'action des PG et PL permet à l'agent pathogène de tuer les cellules de l'hôte en avant du front d'avancement des hyphes. C'est le cas de *Botrytis fabae*
- **Les endo-PG** produites par des pathogènes vasculaires, peuvent être impliquées dans la formation de gels pectiques qui altèrent la conduction de la sève par les vaisseaux.



- **Action des pathogènes sur les parois secondaires des plantes : les cellulases**
  - Les cellulases sont surtout présentes en abondance chez les champignons altérant le bois

G- Réaction de la plante hôtes (résistance  
ou défense)

- dépôts de **callose** ou de **lignine** au contact de l'hyphe ou du suçoir

La **callose** est un polymère de D-glucose en liaisons  $\beta$ -1,3

- Production des molécules antimicrobiennes (phytoalexine),

Les **phytoalexines** désignent des molécules antimicrobiennes dont la synthèse est induite chez les végétaux en réponse à différents facteurs de stress

- Production des Protéines associées à la résistance: **Enzymes hydrolytiques** : les  $\beta$ -1,3-glucanases et les chitinases (paroi des champignons)

**-Inhibiteurs d'endo-polygalacturonases**

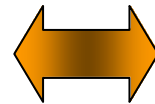
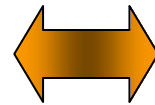
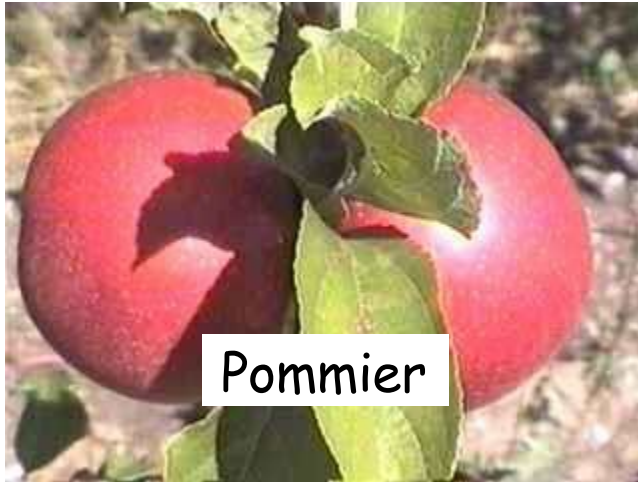
- **Interactions plantes – pathogènes  
et spécificité d'hôte**

# Relations champignon – plante hôte

- **Relations compatibles et incompatibles**
- La relation parasitaire **compatible** aboutit à une multiplication active du pathogène et à une colonisation des parties de l'hôte par ce dernier
- La relation parasitaire **incompatible** correspond à un arrêt précoce de la croissance du parasite et de la colonisation
- On peut distinguer deux grands types de réaction :
  - Réaction hôte
  - Réaction non hôte

- La **relation non-hôte** :
  - Il s 'agit de l 'incompatibilité fondamentale entre tous les cultivars d'une espèce végétale donnée et tous les biotypes d'un parasite déterminé

# Incompatibilité dans le cadre d'une relation non-hôte : exemples



La **relation hôte** : pour une espèce végétale particulière, la relation avec un parasite déterminé aboutit tantôt, à une compatibilité avec les biotypes « virulents » (plante sensible) ou encore à une incompatibilité avec les biotypes

— Avirulents : (plante résistante)



# Compatibilité/Incompatibilité dans le cadre d'une relation hôte



+++

Sensibilité de variétés de pomme de terre au  
*Phytophthora infestans* (l'agent du mildiou)

-

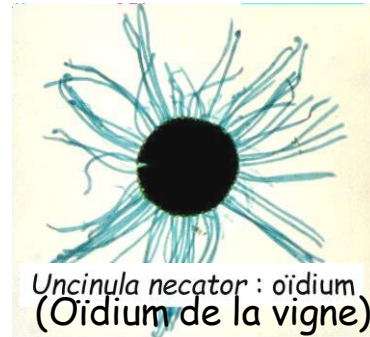


la spécificité de la relation parasitaire en dehors des relations gènes pour gènes

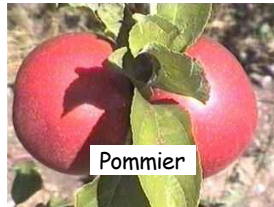
- Deux niveaux de spécificité à envisager
  - La relation non hôte
  - La relation hôte

# La spécificité au niveau de la relation non hôte

## Espèces parasites



## Espèces végétales





Relation incompatible  
(résistance)

Relation compatible  
(sensibilité)

Relation compatible  
(sensibilité)

Relation incompatible  
(résistance)





# La spécificité au niveau de la relation hôte

	Souche du parasite ( <i>Phytophthora infestans</i> )	
Variétés (de pomme de terre)		
A		Relation compatible (sensibilité)
B		Relation incompatible (résistance)

# La spécificité parasitaire

- Première hypothèse
  - Les mécanismes de résistance des plantes vis-à-vis des biotypes avirulents (relation incompatible), pourraient être induits par la reconnaissance de molécules des agents pathogènes (**concept de résistance induite**).
- Deuxième hypothèse
  - La relation compatible pourrait découler de l'absence d'induction de ces mécanismes, de leur suppression, de leur contournement ou de leur ralentissement par les biotypes virulents mis au contact de l'hôte sensible (**concept de sensibilité induite**).

# La spécificité parasitaire au niveau de la relation gène pour gène : exemple du mildiou de la pomme de terre

		Souches du parasite (Phytophthora infestans)	
		1 (Porteuse d'un gène <i>v</i> )	2 (Porteuse d'un gène <i>Av</i> )
Variétés (pomme de terre) <b>A</b> (Porteuse d'un gène <i>R</i> )	 Relation compatible	 Relation incompatible	L'inter généti la rela un évè nécess produi
<b>B</b> (Porteuse d'un gène <i>r</i> )	 Relation compatible	 Relation compatible	

L'interprétation de ces données génétiques amène à considérer la relation incompatible comme un événement spécifique qui nécessite l'interaction des produits de deux gènes.

On parle donc d'interaction gène pour gène !