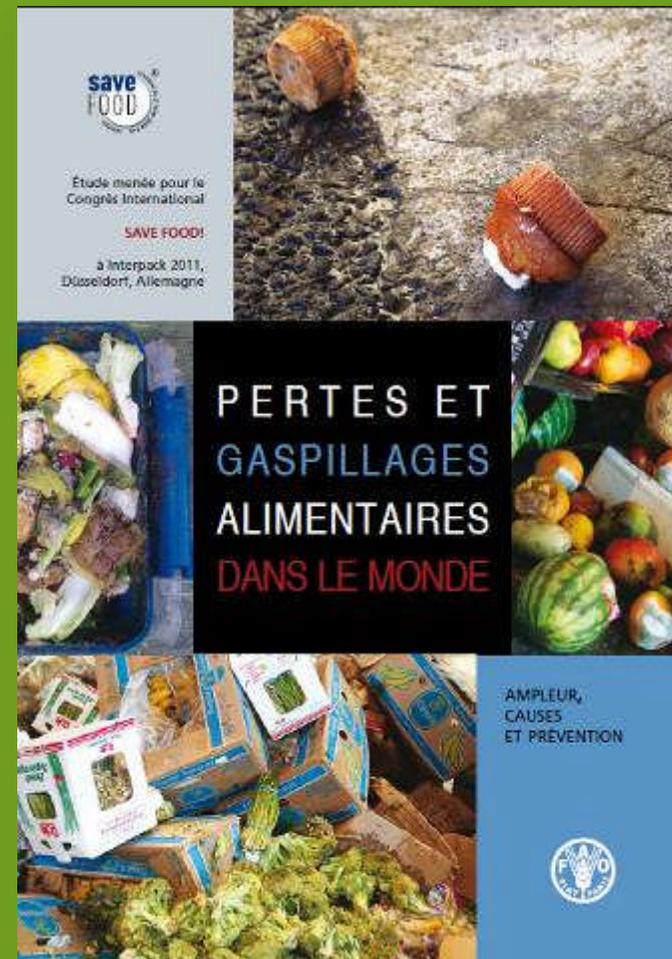


# INTRODUCTION

## Nourrir l'humanité: un défi pour le futur

- ❖ Comment nourrir 9 milliard d'humains en 2050 ?
- ❖ Parmi les marges de progrès possibles, on parle de plus en plus de limiter le gaspillage des denrées agricoles.



<http://www.fao.org/save-food/info-resources/fr/>

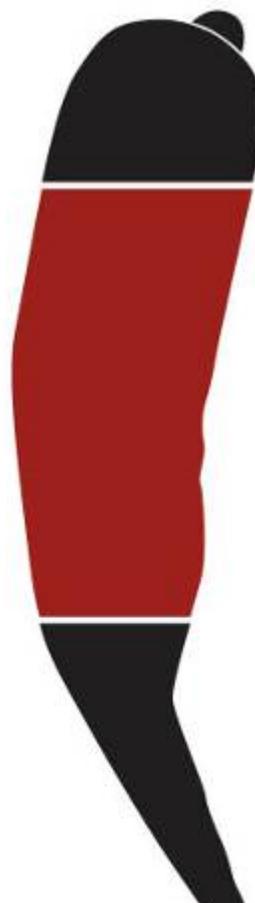


# 45% DES FRUITS ET LÉGUMES SONT PERDUS

Les fruits et légumes, de même que les racines et tubercules, ont le taux de perte le plus élevé de tous les produits alimentaires; ainsi presque la moitié des fruits et légumes produits sont perdus.



3,7 billions de pommes.

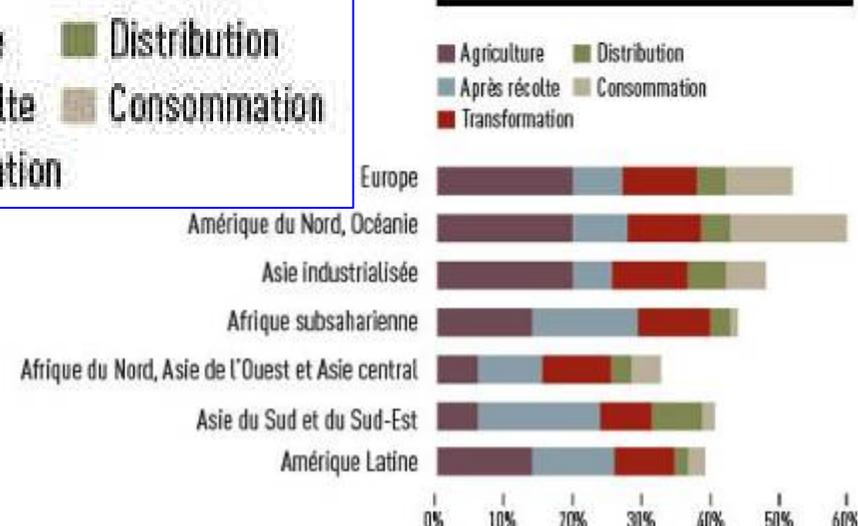
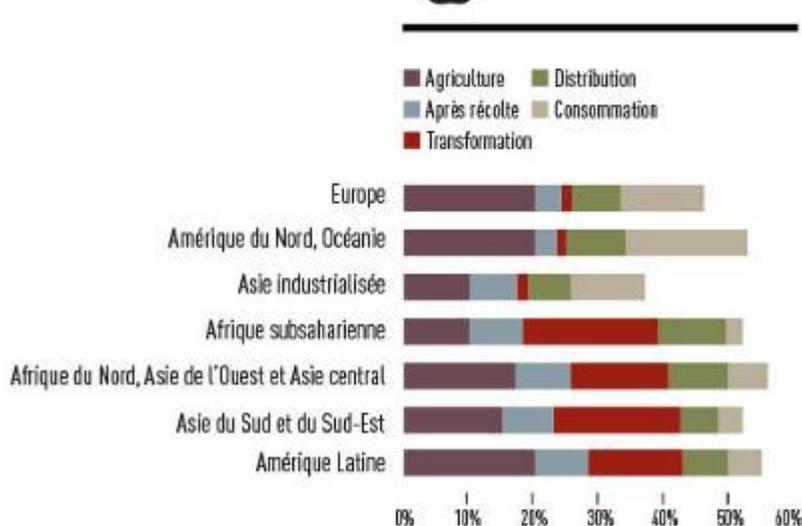


# 45% DES RACINES ET TUBERCULES SONT PERDUES

En Amérique du Nord et en Océanie seulement, 5 814 000 tonnes de racines et tubercules sont perdues lors de la consommation uniquement.



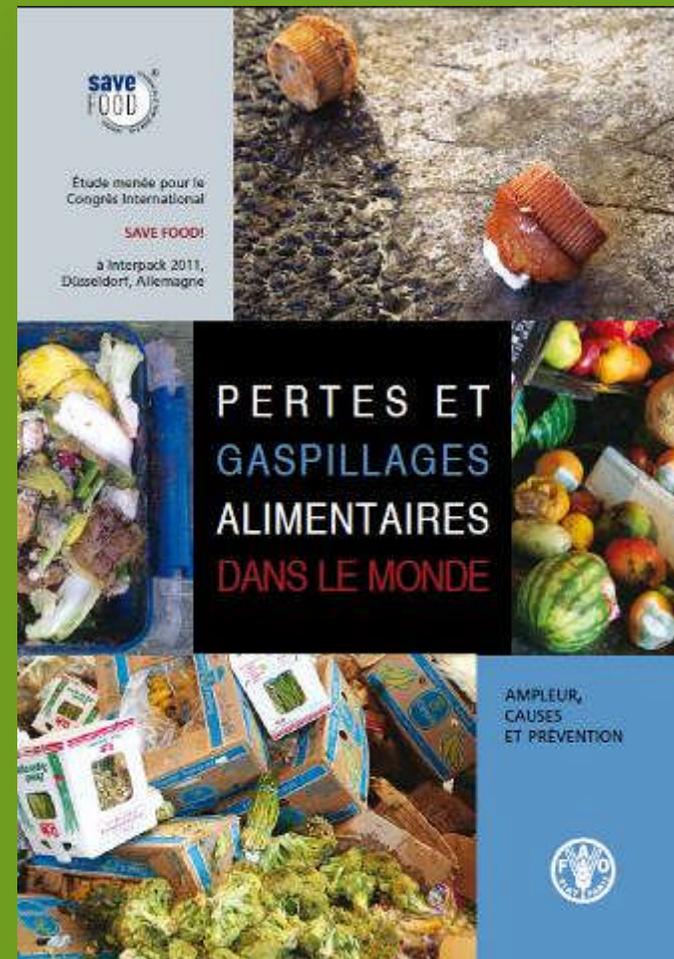
Cela équivaut à un peu plus de 1 milliard de sacs de pommes de terre.



# INTRODUCTION

## Nourrir l'humanité: un défi pour le futur

- ❖ Comment nourrir 9 milliard d'humains en 2050 ?
- ❖ Parmi les marges de progrès possibles, on parle de plus en plus de limiter le gaspillage des denrées agricoles.
- ❖ Mais des pertes importantes sont aussi subies du fait des maladies des cultures, des ravageurs et des mauvaises herbes...



<http://www.fao.org/save-food/info-resources/fr/>

# SOMMAIRE

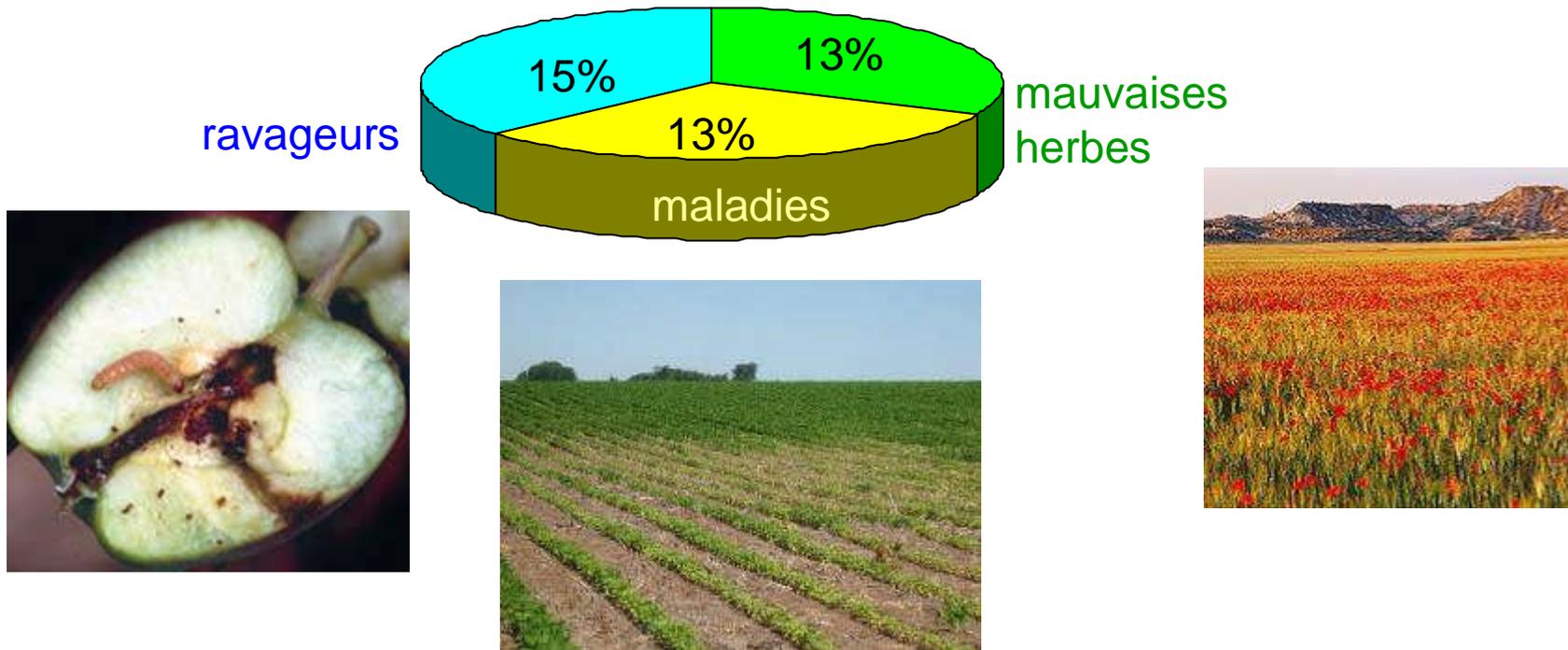
- ❖ Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes: quelques chiffres
- ❖ Qui cause les maladies des plantes ?
- ❖ Quelles méthodes pour protéger les plantes ?
- ❖ Pourquoi la "Protection intégrée" des plantes ?
- ❖ Quelques perspectives

01

# Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes

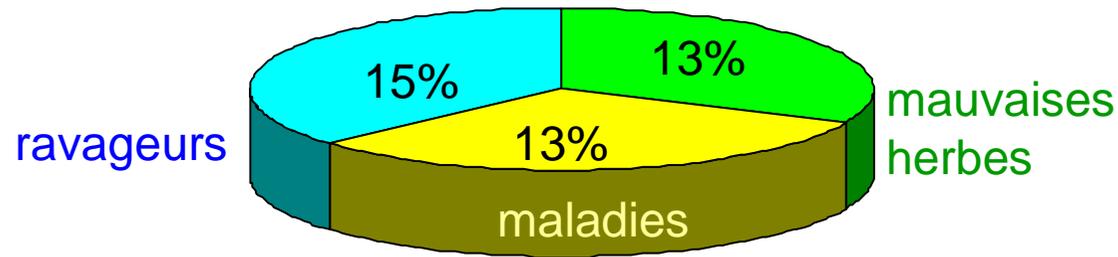
# Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes sur la production agricole

❖ pertes avant récolte > 40% du potentiel de rendement



# Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes sur la production agricole

❖ pertes avant récolte > 40% du potentiel de rendement



❖ pertes après récolte: >10%

# problèmes post-récolte

stockage

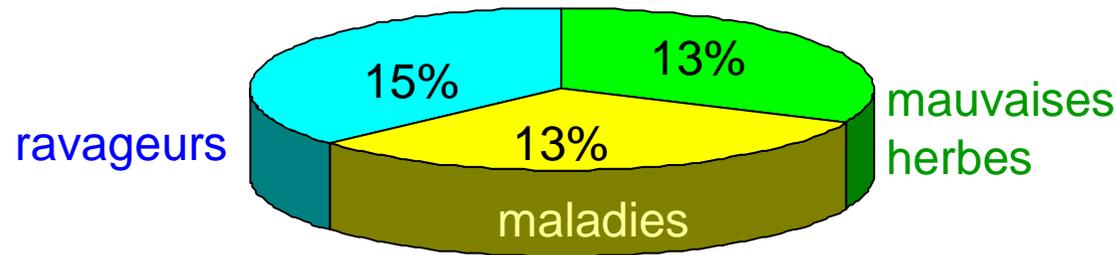


distribution



# Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes sur la production agricole

❖ pertes avant récolte > 40% du potentiel de rendement



❖ pertes après récolte: stockage, distribution

❖ calamités à fort impact sociétal

# Calamités causées par des maladies des plantes

## ❖ Grande famine d'Irlande (1845)

- ~1 million de morts + emigration massive (~2 millions)
- mildiou de la pomme de terre



# Calamités causées par des maladies des plantes

## ❖ Grande famine d'Irlande (1845)

- ~1 million de morts + emigration massive (~2 millions)
- mildiou de la pomme de terre



## ❖ Grande famine du Bengal (1943)

- ~2 millions de morts
- helminthosporiose du riz



# Calamités causées par des maladies des plantes

## ❖ "Chasse aux sorcières" de Salem, USA (1692)

- + 400 personnes accusées de sorcellerie
  - ~150 personnes emprisonnées
  - 16 femmes et 8 hommes exécutés ou morts en prison



# Calamités causées par des maladies des plantes

## ❖ "Chasse aux sorcières" de Salem, USA (1692)

- + 400 personnes accusées de sorcellerie
  - ~150 personnes emprisonnées
  - 16 femmes et 8 hommes exécutés ou morts en prison
  
- ergot du seigle => mycotoxine hallucinogène (alcaloïde proche LSD)



# Calamités causées par des maladies des plantes

## ❖ "Chasse aux sorcières" de Salem, USA (1692)

- + 400 personnes accusées de sorcellerie
  - ~150 personnes emprisonnées
  - 16 femmes et 8 hommes exécutés ou morts en prison
- ergot du seigle => mycotoxine hallucinogène (alcaloïde proche LSD)



- Pont Saint Esprit (Gard), 1951

5 décès  
nbx malades



# Impact des maladies, ravageurs et mauvaises herbes sur la production agricole

## ❖ pertes de récolte



## ❖ pertes de qualité des denrées

- qualité "visuelle"
- qualité gustative
- qualité marchande (conservation, transport)
- qualité sanitaire      **mycotoxines**



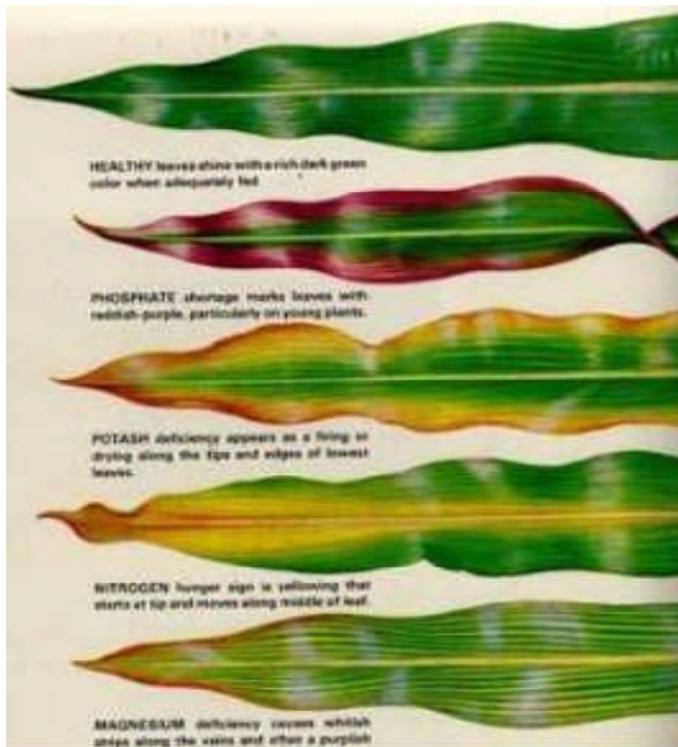
# Qui cause les maladies des plantes ?

- ❖ **Maladies d'origine abiotique** (non infectieuses)
- ❖ **Maladies infectieuses**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales



témoin sain

P

K

N

Mg



**toxicité du Manganèse**  
(lié au pH du sol)

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales
- température (trop basse ou trop haute)



dégâts dus au gel



dégâts dus à la foudre

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales
- température (trop basse ou trop haute)
- excès ou manque d'eau



# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales
- température (trop basse ou trop haute)
- excès ou manque d'eau
- lumière (étiolement ou coup de soleil)



# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales
- température (trop basse ou trop haute)
- excès ou manque d'eau
- lumière (étiolement ou coup de soleil)
- pH du sol



**sol trop basique** (chlorose ferrique)



**sol trop acide**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies d'origine abiotique (non infectieuses)

- carences nutritionnelles ou toxicités minérales
- température (trop basse ou trop haute)
- excès ou manque d'eau
- lumière (étiolement ou coup de soleil)
- pH du sol
- toxicité de traitements pesticides



# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

- **micro-organismes**
  - champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)



Armillaire => pourridié

Basidiomycètes

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

- **micro-organismes**

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)

**Basidiomycètes**



**charbon**



**rouille**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

- **micro-organismes**

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)

**Ascomycètes**



**oïdium ("blanc")**



**tavelure du pommier**



**ergot du seigle**

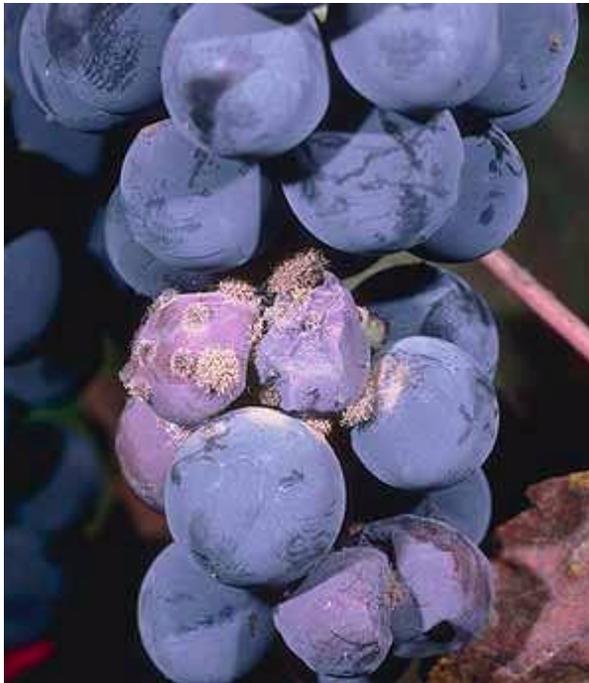
# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)

Ascomycètes



**pourriture grise - Botrytis**



**pourriture blanche - Sclérotiniose**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

- **micro-organismes**

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)

Oomycètes



**mildiou de la pomme de terre**



**pourriture des racines (Pythium)**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)



graisse du haricot



pourriture molle



feu bactérien du pommier

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)
- virus et viroïdes (+ de 700 espèces)

**virus = acide nucléique + protéine**

**viroïde = ARN infectieux**



**barley yellow dwarf virus**



**zucchini yellow mosaic virus**



**potato spindle tuber viroid**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)
- virus et viroïdes (+ de 700 espèces)

transmission des particules infectieuses par des vecteurs

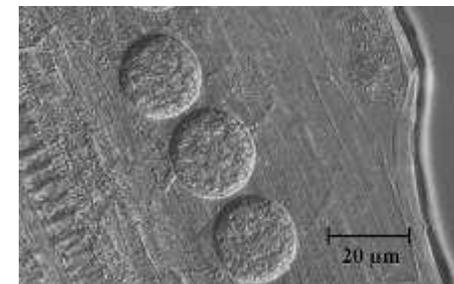


**insectes  
piqueurs**

**nématodes**



**"champignons"  
du sol (*Ospidium*)**



# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)
- virus et viroïdes (+ de 700 espèces)
- protistes

***Plasmodiophora***  
**=> hernie du chou**



**trypanosome**  
**=> jaunissement mortel du cocotier**

# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)
- virus et viroïdes (+ de 700 espèces)
- protistes

### ▪ animaux

- nématodes (+ de 500 espèces)
- insectes, acariens
- limaces, escargots, etc

**nématodes à galles**



# Qui cause les maladies des plantes ?

## ❖ Maladies infectieuses

### ▪ micro-organismes

- champignons et oomycètes (+ de 8000 espèces)
- bactéries et mollicutes (+ de 200 espèces)
- virus et viroïdes (+ de 700 espèces)
- protistes

### ▪ animaux

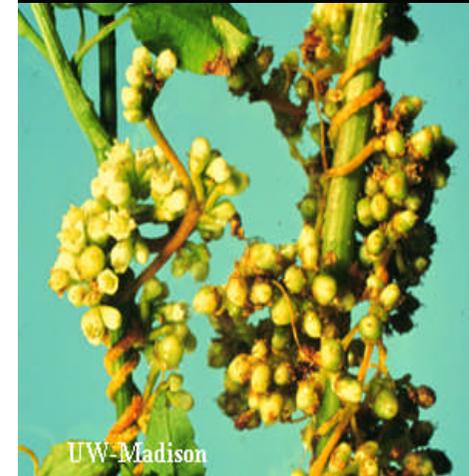
- nématodes (+ de 500 espèces)
- insectes, acariens
- limaces, escargots, etc

### ▪ plantes parasites (+ de 3000 espèces)

gui



cuscute



## ***Striga* – la plus nocive des plantes parasites en Afrique**



**Pertes de 40-45% sur sorgho,  
maïs et millet**



# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Prépondérance de la "lutte chimique"

- Pesticides efficaces et faible proportion des coûts de production
- Indicateur de Fréquence de Traitements (IFT)
  - Grandes cultures: moyenne 3,8
    - diversité régionale: 0,8 (PACA) à 4,3
    - différences entre cultures



# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Prépondérance de la "lutte chimique"

- Pesticides efficaces et bon marché
- Indicateur de Fréquence de Traitements (IFT)
  - Grandes cultures: moyenne 3,8
    - diversité régionale: 0,8 (PACA) à 4,3
    - différences entre cultures
  - Vigne: moyenne 13 [diversité régionale 8 (PACA) à 22]
  - Fruits: moyenne 17 (pomme: 36)

# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Méthodes alternatives

### ▪ Utilisation de variétés résistantes: une solution idéale?

- résistance à quelques bioagresseurs, mais pas tous
- lourdeur et longueur du travail de sélection variétale
- problèmes de contournement de certains gènes de résistance
  - utilisation => pression de sélection sur les populations d'agents pathogènes
  - sélection de variants capables de surmonter la résistance de la plante

# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Méthodes alternatives

- Utilisation de variétés résistantes: une solution idéale?
- Méthodes prophylactiques

éviter de contaminer une culture et de propager la maladie

## ■ Méthodes prophylactiques

utilisation de semences et plants sains (certification)

**gnis**  
Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants

Connaître le Gnis   Filière semences et plants   Enjeux   Espace interprofessionnel   Catalogues des variétés   **Contrôle Certification**

Colloque semences et agriculture durable : les actes sont en ligne

Presse  
Enseignement  
Distribution jardin  
Distribution agricole

Plan du site   Mentions légales   Agenda   Publications   Annuaire   Contact

Pour en savoir plus: <http://www.gnis.fr/>

- **Méthodes prophylactiques**

nettoyage des instruments agricoles

**charbon nu des céréales**



- **Méthodes prophylactiques**

élimination des organes ou des plants malades



**moniliose**



**virus de quarantaine:  
Tomato Yellow Leaf Curl Virus**



- **Méthodes prophylactiques**

éliminer l'inoculum avant une culture

**solarisation pour  
nettoyer le sol**



# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Méthodes alternatives

- Utilisation de variétés résistantes: une solution idéale?
- Méthodes prophylactiques

éviter de contaminer une culture et de propager la maladie  
coût (main d'œuvre)

# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Méthodes alternatives

- **Utilisation de variétés résistantes: une solution idéale?**

- **Méthodes prophylactiques**

éviter de contaminer une culture et de propager la maladie

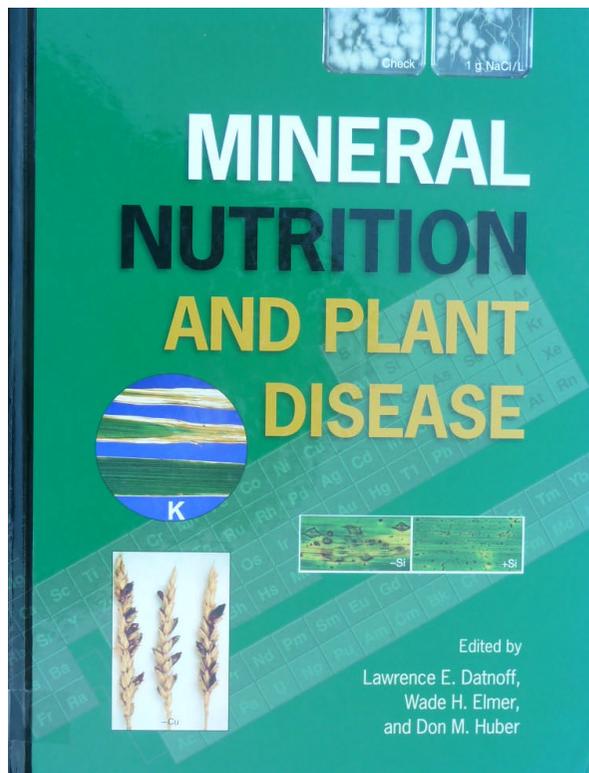
coût (main d'œuvre)

- **Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée**

renforcer les capacités naturelles de la plante sensible à se défendre contre les bioagresseurs

▪ Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée

lien entre fertilisation et niveau de sensibilité des plantes



Datnoff, Elmer & Huber, eds, 2007



moins d'azote



moins d'oidium



plus d'azote



moins de Botrytis

Que conseiller à l'agriculteur ?

Quels mécanismes impliqués au niveau cellulaire? (recherche en cours)

- **Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée**

lien entre fertilisation et niveau de sensibilité des plantes

**Effet de la silice sur la sensibilité  
du concombre à l'oïdium**

ajout de Si



témoin



**Mécanismes impliqués:  
résistance induite**  
(stimulation des défenses naturelles de la plante)

- **Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée**

Induction des défenses naturelles des plantes cultivées

**Application d'extraits de plantes**  
**=> protection contre l'oïdium**

ex: Renouée de Sachaline

**Inducteurs "chimiques"**

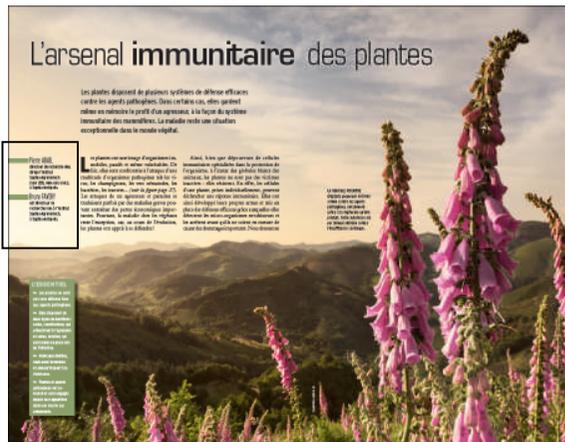
ex: acide salicilique



# Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée

## Induction des défenses naturelles des plantes cultivées

**Mécanismes d'action:**  
**recherche internationale**  
**très dynamique**  
 (dont INRA PACA)



Pierre ABAD,  
 directeur de recherche INRA,  
 dirige l'Institut  
 Sophia-Agrobiotech  
 (UMR 1355, INRA-UNS-CNRS),  
 à Sophia-Antipolis.  
 Bruno FAVERY  
 est directeur de  
 recherche INRA à l'Institut  
 Sophia-Agrobiotech,  
 à Sophia-Antipolis.

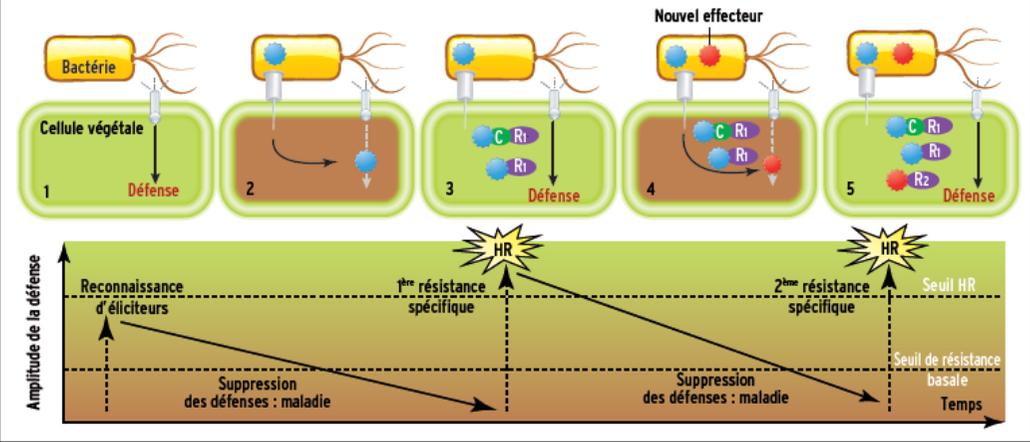
### Dialogue moléculaire

Le modèle en zigzag élaboré par Jonathan Jones et Jeffrey Dangl en 2006 illustre la coévolution des plantes et des agents pathogènes (ici, une bactérie). Dans le schéma, les lignes pointillées marquent les seuils de l'amplitude des systèmes de défense mis en œuvre par la cellule végétale : en bas, celui de la résistance basale; en haut, celui de la résistance hypersensible, c'est-à-dire la mort des cellules autour de la zone d'infection.

Durant la phase 1, la plante détecte les éliciteurs de réaction de défense (ici un fragment de flagelle bactérien) à l'aide de récepteurs, ce qui déclenche la résistance basale. Dans la phase 2, les bactéries injectent dans la cellule végétale des facteurs de virulence (en bleu) qui entravent cette résistance, ce qui conduit au développement de la maladie (la cellule est en marron). Lors de la phase 3, un

facteur de virulence ou son effet sur sa cible végétale (en vert) est spécifiquement reconnu par une protéine dite « de résistance » (R, en violet), activant la résistance spécifique. Cette version amplifiée de la résistance basale franchit souvent le seuil de déclenchement de la réaction hypersensible (HR).

Pendant la phase 4, les souches bactériennes ont évolué. Elles ont perdu ou modifié le facteur de virulence reconnu ou en ont acquis de nouveaux (en rouge) qui suppriment la résistance spécifique : la cellule est malade. L'évolution favorise alors, chez les plantes, l'apparition de nouvelles protéines (R<sub>2</sub>) en phase 5 qui reconnaissent ces effecteurs inédits. Une résistance spécifique s'installe. Ces zigzags se perpétuent tout au long de la coévolution née de l'interaction entre la plante et la bactérie.



DOSSIER N°77 / OCTOBRE-DÉCEMBRE 2012 / POUR LA SCIENCE

# Quelles méthodes pour protéger les plantes ?

## ❖ Méthodes alternatives

- **Utilisation de variétés résistantes: une solution idéale?**

- **Méthodes prophylactiques**

éviter de contaminer une culture et de propager la maladie  
**coût (main d'œuvre)**

- **Diminuer la "réceptivité" de la plante cultivée**

renforcer les capacités naturelles de la plante sensible à se défendre  
contre les bioagresseurs

- **"Lutte biologique" (Protection biologique)**

utilisation de micro-organismes bénéfiques  
contre les agents pathogènes

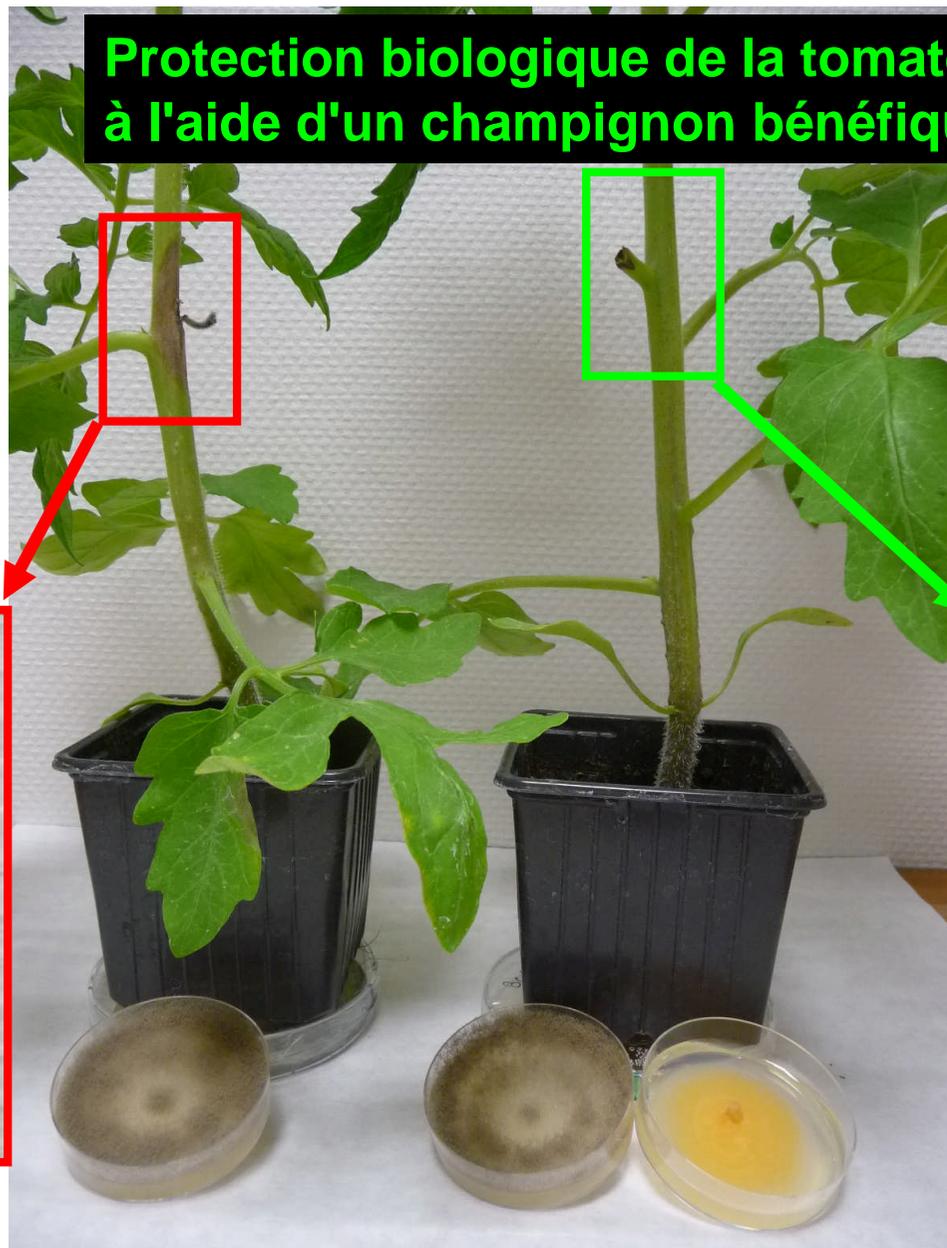
// utilisation d'arthropodes bénéfiques contre les ravageurs



# Protection biologique de la tomate à l'aide d'un champignon bénéfique

tige attaquée

tige protégée



Pathogène seul

Pathogène + agent de protection biologique

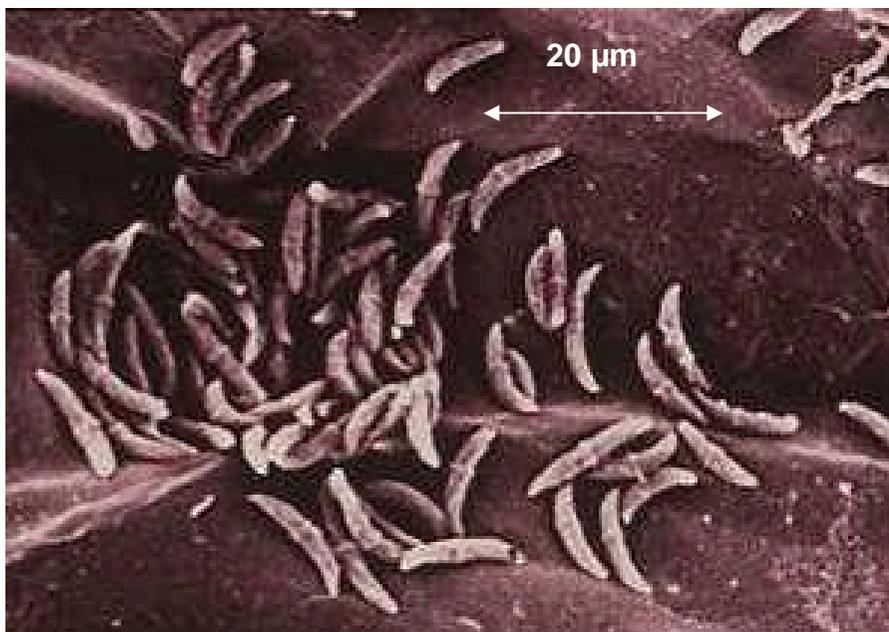
## ■ Protection biologique

les compétiteurs

utilisation rapide des ressources nutritives  
=> blocage du développement de l'agent pathogène

occupation des sites de pénétration

colonisation rapide de la plaie d'effeuillage + sporulation



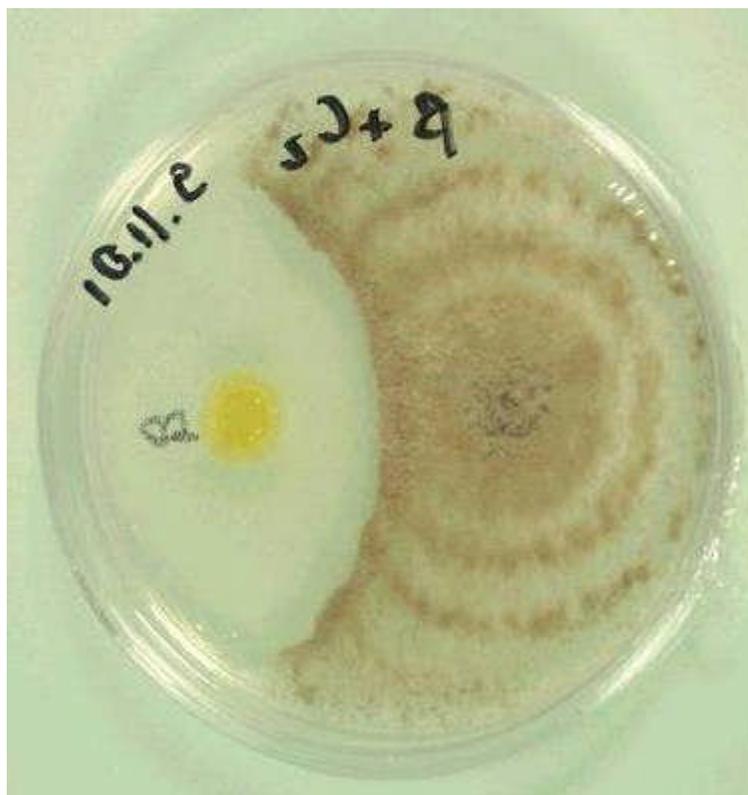
- **Protection biologique**

les inhibiteurs

**sécrétion de métabolites toxiques pour les agents pathogènes**

**bactérie ou champignon bénéfique contre bactérie ou champignon phytopathogène**

bactérie antagoniste

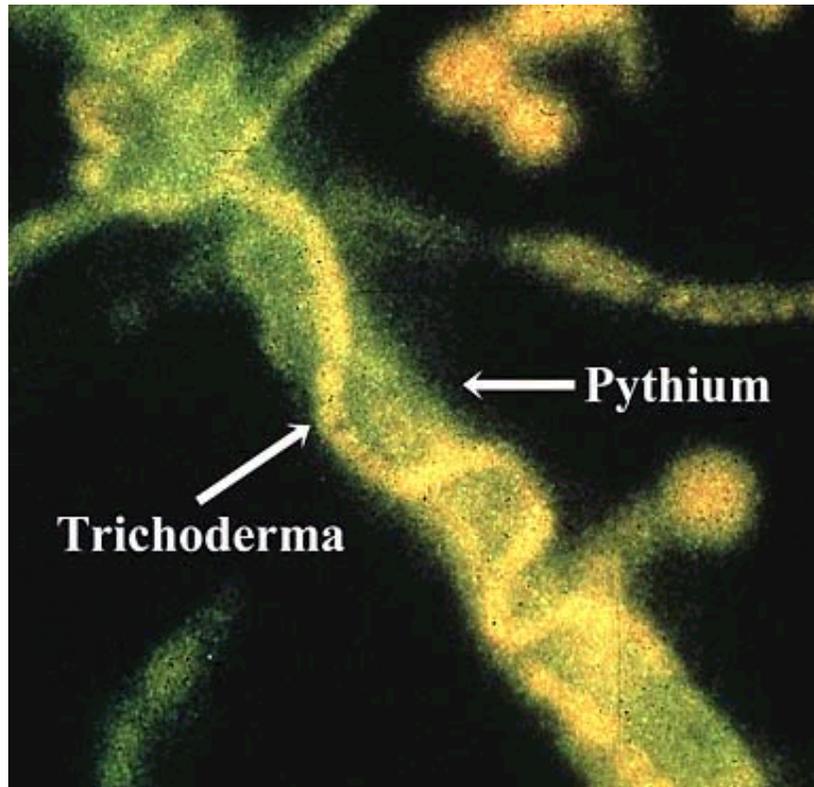


agent de la moniliose

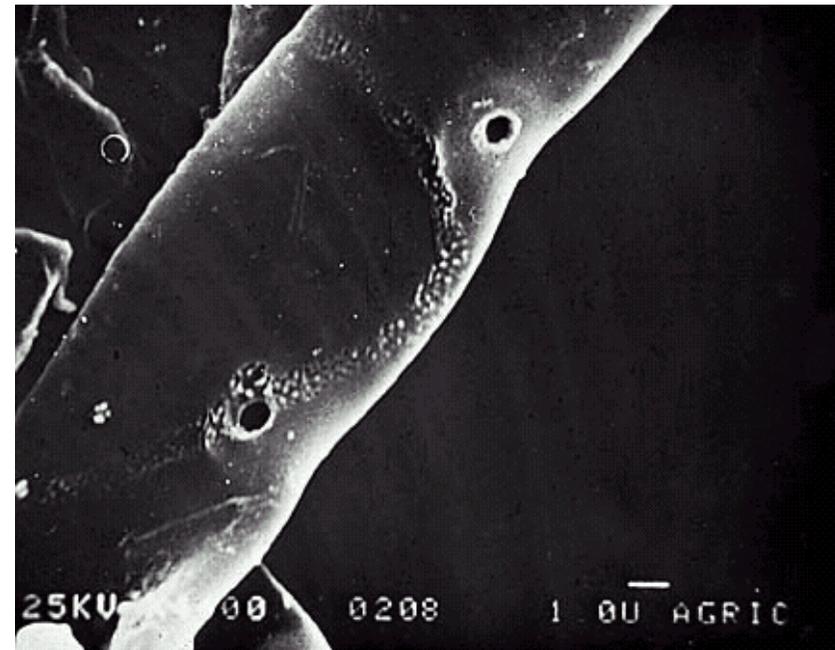
- **Protection biologique**

les prédateurs ("hyperparasites")

**champignon bénéfique contre champignon pathogène**



**invasion interne**

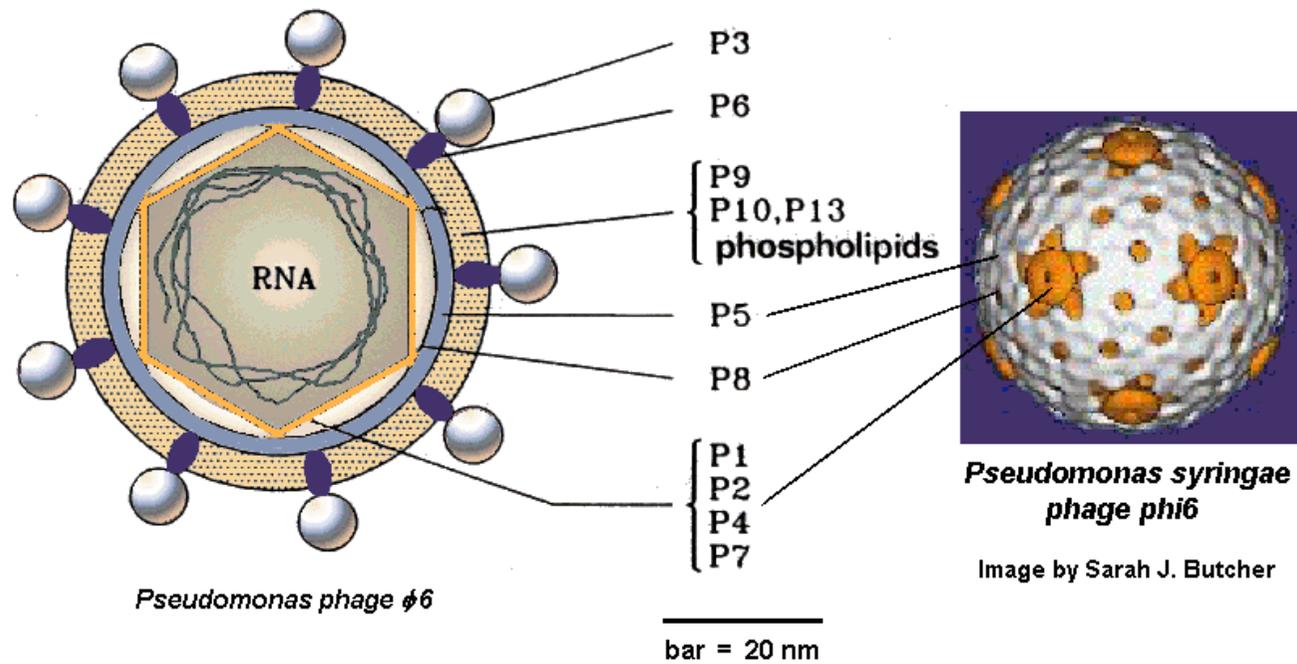


**colonisation externe + pénétration**

## Protection biologique

les prédateurs ("hyperparasites")

### virus contre bactéries: les phages



04

# Pourquoi la protection intégrée des plantes?

# Pourquoi la "protection intégrée" des plantes ?

## ❖ Raisons réglementaires

- **Règlementation européenne**  le "pesticide package" de 2009:

Directive 2009/128/EC instaurant un **cadre d'action communautaire** pour parvenir à une **utilisation des pesticides compatible avec le développement durable**

=> 14 décembre 2012: communication des Plans d'Actions nationaux à la Commission Européenne

Règlement (EC)1107/2009 concernant la **mise en marché des produits phytopharmaceutiques**

- **Ecophyto 2018**



**réduction de 50% de l'utilisation des pesticides**

# Pourquoi la "protection intégrée" des plantes ?

## ❖ Raisons techniques

- **Perte de substances actives depuis 1993**

années 90: harmonisation européenne de l'homologation des pesticides (Directive 91/414)

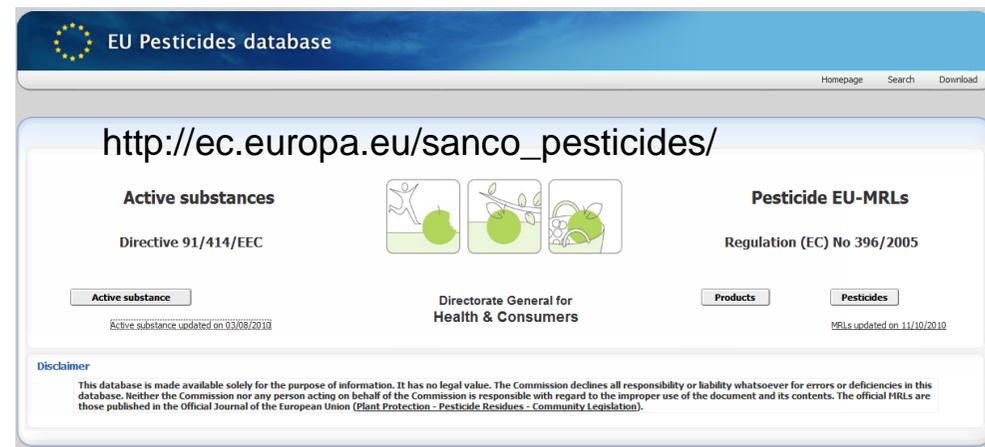
=> ré-rexamen de toutes les substances actives sur le marché

**seulement 250 des 1000 substances actives initiales ont été gardées**

Pour plus d'info:



<http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr>



# Pourquoi la "protection intégrée" des plantes ?

## ❖ Raisons techniques

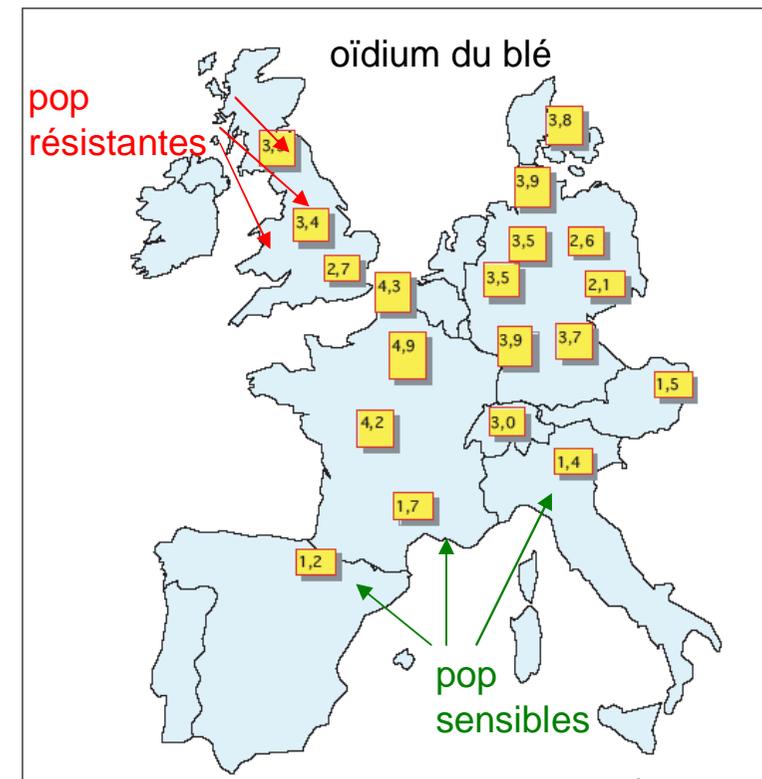
### ▪ Résistance des bioagresseurs

Apparition rapide de souches résistantes aux produits utilisés contre certains bioagresseurs

=> perte d'efficacité

Stratégies pour diminuer la pression de sélection sur les populations de bioagresseurs

=> éviter strictement l'utilisation répétée de la même substance active





# Perspectives

## ❖ **besoin critique de nouveaux produits pour la protection biologique**

- très peu de produits actuellement homologués
- coût élevé et longue procédure => frein pour les petites entreprises

## ❖ **défis pour la recherche**

- améliorer l'efficacité de la protection
  - mieux comprendre les mécanismes d'action  
=> sélectionner des agents de lutte biologique plus performants
  - améliorer la formulation des produits
- définition de stratégies de sélection à haut débit
- prendre en compte la compétence écologique des microorganismes

# Perspectives

## ❖ plus de produits pour la lutte biologique

- implication de "poids lourds" de l'industrie phytosanitaire
- progrès dans l'homologation ?

## ❖ consommer autrement ?

- tolérer quelques défauts ? (lien avec "chasse au gaspillage")
- manger les ravageurs plutôt que de les combattre ?



la protéine  
du futur?



**Merci de votre attention**

