

Lutte biologique contre les maladies : situation actuelle et perspectives de durabilité

Marc BARDIN et Philippe NICOT

INRA Avignon - Unité de Pathologie Végétale
Domaine St Maurice - BP 94
84143 Montfavet cedex

De très nombreux travaux de recherche

Nombre de publications scientifiques pour la lutte biologique contre les principales maladies

base de données bibliographique CAB, 1973 - 2005

Maladie ou agent pathogène	Nombre de références
<i>Fusarium</i>	34 818
<i>Rhizoctonia</i>	10 744
<i>Verticillium</i>	7 585
<i>Pythium</i>	5 772
<i>Sclerotinia</i>	5 545
Rouille	29 505
Oidium	18 026
<i>Alternaria</i>	12 766
Anthraxnose	12 390
<i>Botrytis</i>	9 295
Mildiou	8 456
<i>Phytophthora infestans</i>	5 303

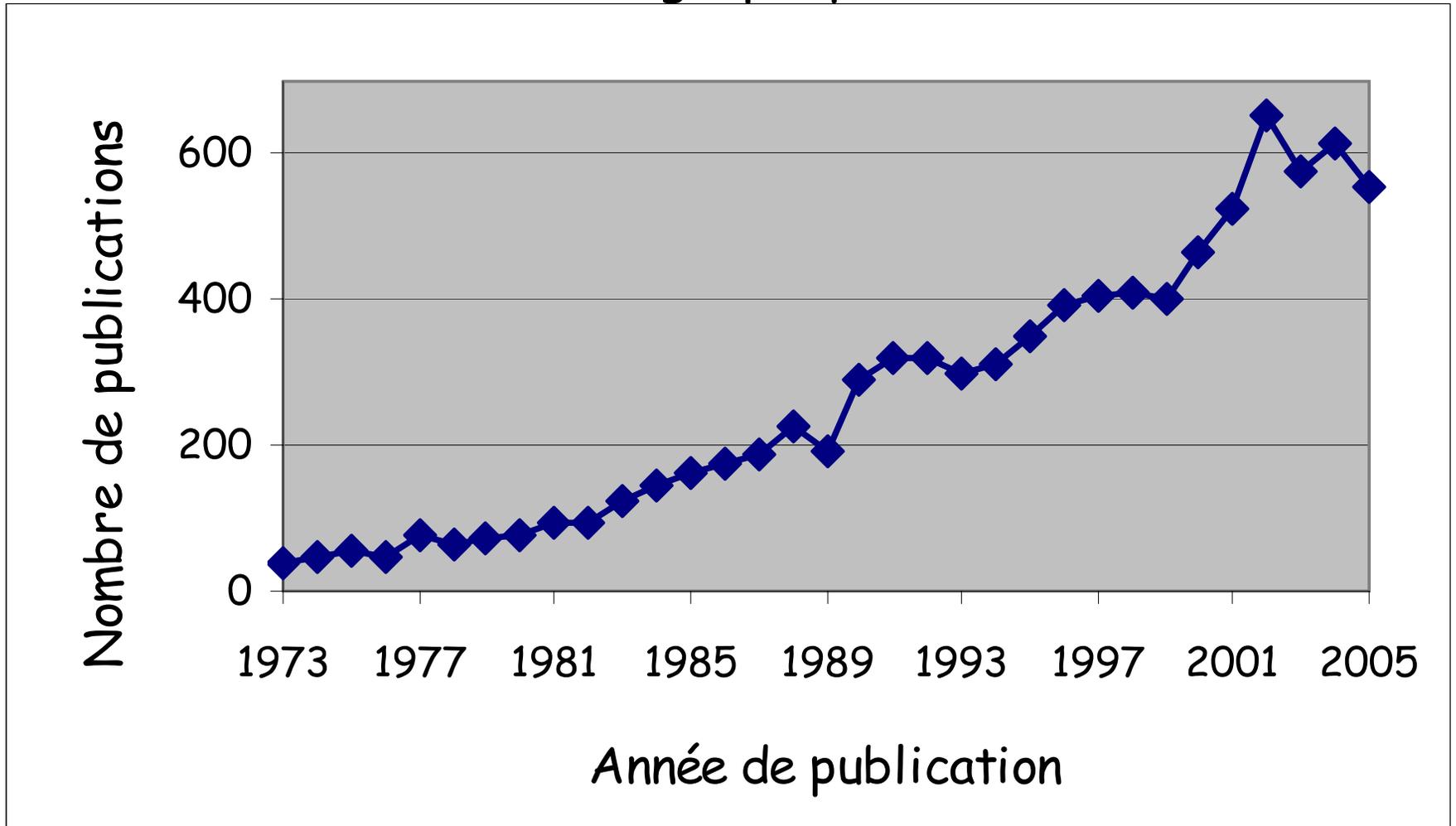
Nombre de publications scientifiques pour la lutte biologique contre les principales maladies

base de données bibliographique CAB, 1973 - 2005

Maladie ou agent pathogène	Nombre de références	+ 'Lutte biologique'	%
<i>Fusarium</i>	34 818	1 925	5.5
<i>Rhizoctonia</i>	10 744	1 278	11.9
<i>Verticillium</i>	7 585	592	7.8
<i>Pythium</i>	5 772	821	14.2
<i>Sclerotinia</i>	5 545	456	8.2
Rouille	29 505	360	1.2
Oidium	18 026	251	1.4
<i>Alternaria</i>	12 766	415	3.3
Anthraxnose	12 390	351	2.8
<i>Botrytis</i>	9 295	700	7.5
Mildiou	8 456	80	1.0
<i>Phytophthora infestans</i>	5 303	61	1.1

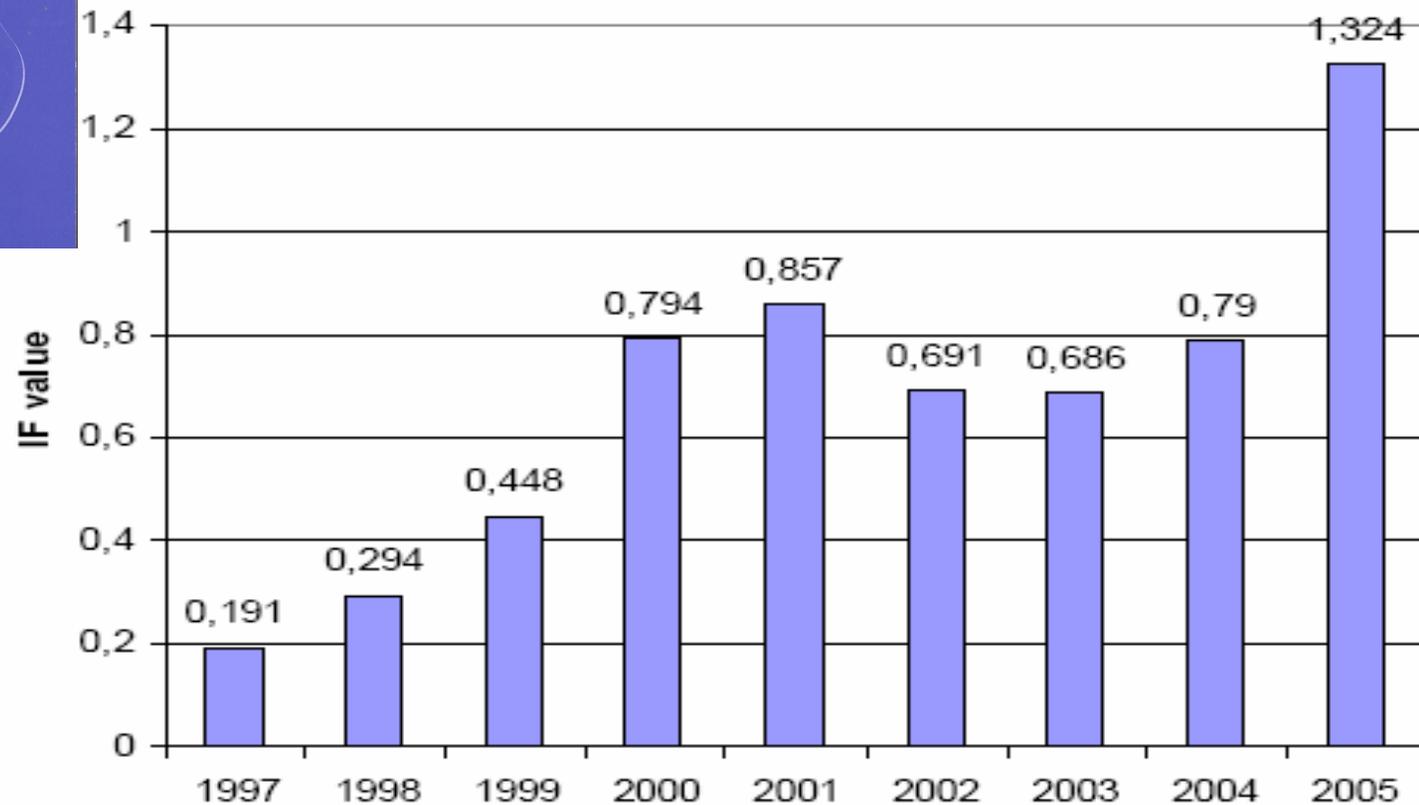
Évolution du nombre de publications scientifiques pour la lutte biologique contre les principales maladies

base de données bibliographique CAB, 1973 - 2005





BioControl Impact Factor trend



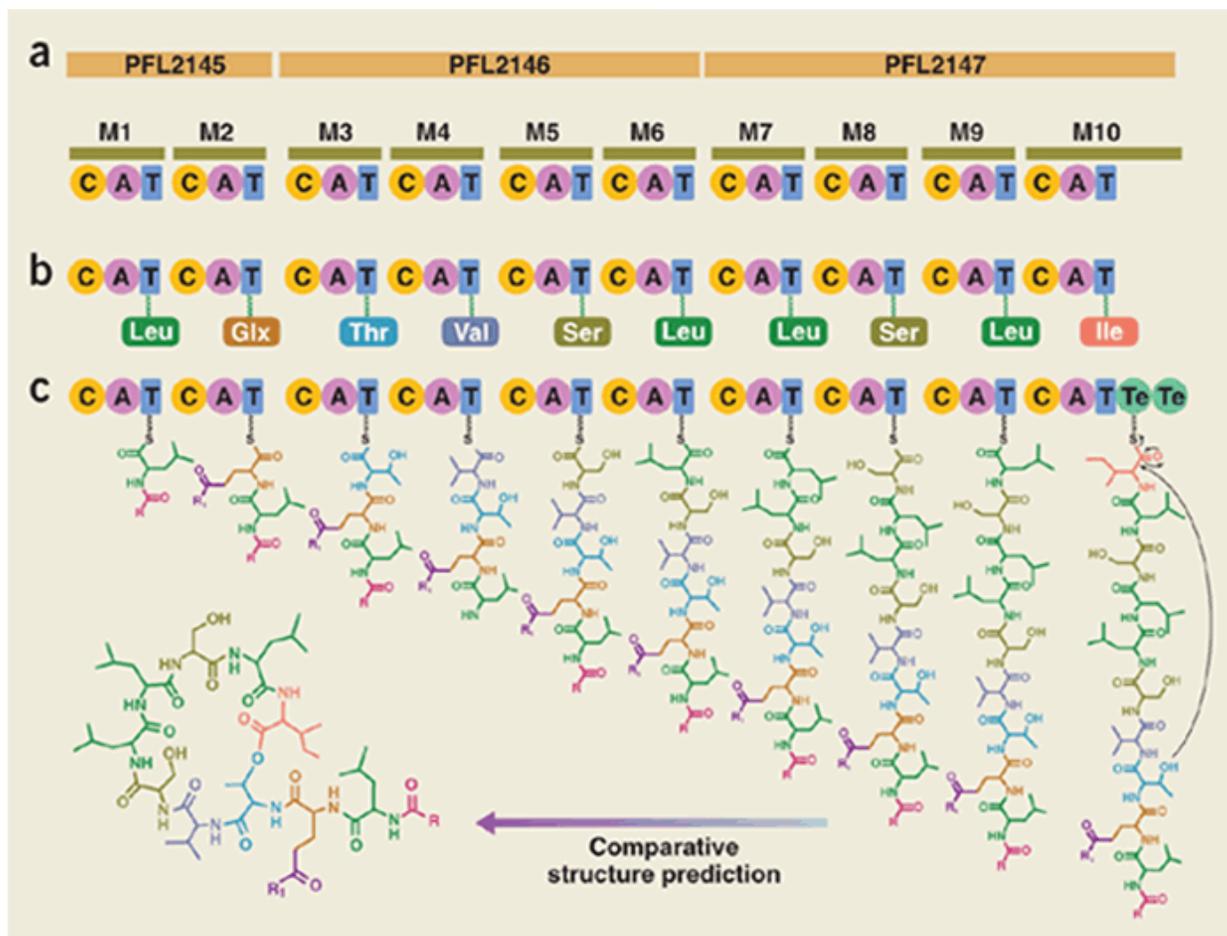


Figure 1. Structure prediction for the novel *P. fluorescens* Pf-5 lipodecapeptide.

Genes PLF2145-47 were identified as genes coding for nonribosomal peptide synthetases (NRPSs), which are large multifunctional enzymes that have a modular structural organization and have been shown to link amino acid residues according to the multiple-carrier thioester template mechanism. (a) Computational analysis of the deduced protein sequence of each NRPS identified ten modules, which could be further subdivided into 32 domains (C, condensation domain; A, adenylation domain; T, thiolation domain; Te, thioesterase domain). (b) Using computational algorithms it was possible to predict the identity of each amino acid recognized by a particular A domain. In most NRPSs, the order of the modules corresponds to the amino acid sequence of the peptide products (colinearity rule). (c) This approach, together with comparative chemical structure analysis³, leads to the assignment of a specific amino acid activation function to each module and to the prediction of a chemical structure for the Pf-5 lipodecapeptide (R, aliphatic side chain; R1, -NH₂ or -OH; note that threonine is probably replaced by *allo*-threonine in the peptide moiety). Figure courtesy of J. Ravel and J. Loper.

Une palette de produits commerciaux encore limitée mais en expansion



Situation dans le monde...

30 pays de l'OCDE

bactéries = 32

champignons = 22

<http://www.agr.gc.ca>, 2005

+ virus = 2 2005-06



Situation dans le monde...

- Usages sur cultures horticoles en majorité
 - ✓ 88% des bactéries
 - ✓ 82% des champignons
- environ 80% = maladies telluriques
- large spectre d'action: *Bacillus subtilis*, Harpine



Situation en France ...

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>, 2006

Agroguard-Z

souche atténuée de ZYMV

Traitement des parties aériennes / ZYMV

Concombre, melon, courgette

**BIO-OZ BIOTECHNOLOGIES,
Israël**

<http://www.bio-oz.co.il/>



Plantes prémunies Plantes témoins



Situation en France ...

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>, 2006

Contans *Coniothyrium minitans*



Traitement du sol / *Sclerotinia*

Contans®WG is a water dispersible granule for the reduction/control of *Sclerotinia* spp. in the soil. Contans®WG contains 1×10^9 active spores / gram of the soil fungus *Coniothyrium minitans*, dried on glucose. Contans®WG is a biological fungicide with a specific antagonistic action against the resting survival structures (sclerotia) of the plant pathogens *Sclerotinia* spp.. Contans®WG can be used primarily as a soil treatment product in the greenhouse or open field. Contans®WG destroys the sclerotia in the soil regardless to the crop.

Contans®WG



<http://www.prophyta.com/>



Situation en France ...

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>, 2006

Iodur-2-Céréales

préparation à base de laminarine



Traitement des parties aériennes

- blé / oïdium, septorioses, piétin verse
- orge / oïdium, helminthosporiose

<http://www.goemar.com/>



Situation en France ...

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>, 2006

SERENADE-BIOFUNGICIDE *Bacillus subtilis* QST 713

NUFARM S.A



Vigne / pourriture grise

Autorisation provisoire



<http://www.nufarm.fr/>

La lutte biologique peut-elle être plus durable que la lutte chimique?

Le développement de résistances aux agents de lutte biologique est-il possible ?

- Pression de sélection exercée limitée ?
 - Plus d'un mécanisme d'action impliqué dans l'efficacité
- Utilisation en alternance avec la lutte chimique

Apparition de résistances à des agents de lutte biologiques utilisés contre les insectes nuisibles

Exemples de perte d'efficacité :

8 insectes différents / *Bacillus thuringiensis*
(McGaughey *et al.*, 1992. Science)

Carpocapse des pommes / virus de la granulose
(Sauphanor *et al.*, 2006. Phytoma)

...

Capacité d'évolution et d'adaptation rapide des agents pathogènes à des pressions sélectives

- Forte diversité
- Évolution sous pressions de sélection
 - contournement des résistances variétales,
 - résistance aux pesticides...

**De quelles armes les micro-organismes
phytopathogènes disposent-ils pour résister
aux agents de lutte biologique?**

Antibiotiques produits par des agents de lutte biologique

- 2,4-DAPG (*Pseudomonas*)
- Gliotoxine (*Gliocladium, Trichoderma*)
- Pyrrolnitrine (*Enterobacter, Serratia, Bacillus...*)
- Agrocine 84 (*Agrobacterium rhizogenes*)
- ...

Antibiotiques produits par des agents de lutte biologique

- 2,4-DAPG (*Pseudomonas*)
- Gliotoxine (*Gliocladium, Trichoderma*)
- Pyrrolnitrine (*Enterobacter, Serratia, Bacillus...*)
- Agrocine 84 (*Agrobacterium rhizogenes*)
- ...

Niveaux de sensibilité variables chez des agents pathogènes cibles

Mécanismes de résistance des agents pathogènes aux antibiotiques produits par des agents de lutte biologique

- Détoxification
- Dégradation
- Expulsion de la cellule: transporteurs ABC
- Répression de la production

Autres mécanismes de résistance identifiés

Agrobacterium tumefaciens / agrocin 84
(*A. rhizogenes* souche K84)

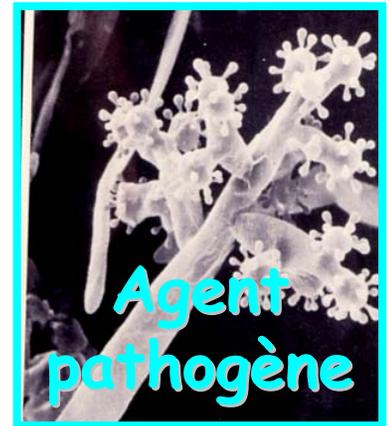
Rôle des plasmides:

Perte du plasmide Ti chez *A. tumefaciens*

Large délétion dans le plasmide Ti de *A. tumefaciens*

Transfert horizontale du plasmide pAgK84 de la souche K84 de *A. rhizogenes* vers *A. tumefaciens*

Autres modes d'action des agents de lutte biologique

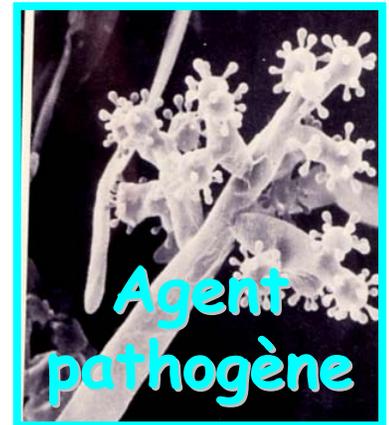


Autres modes d'action des agents de lutte biologique

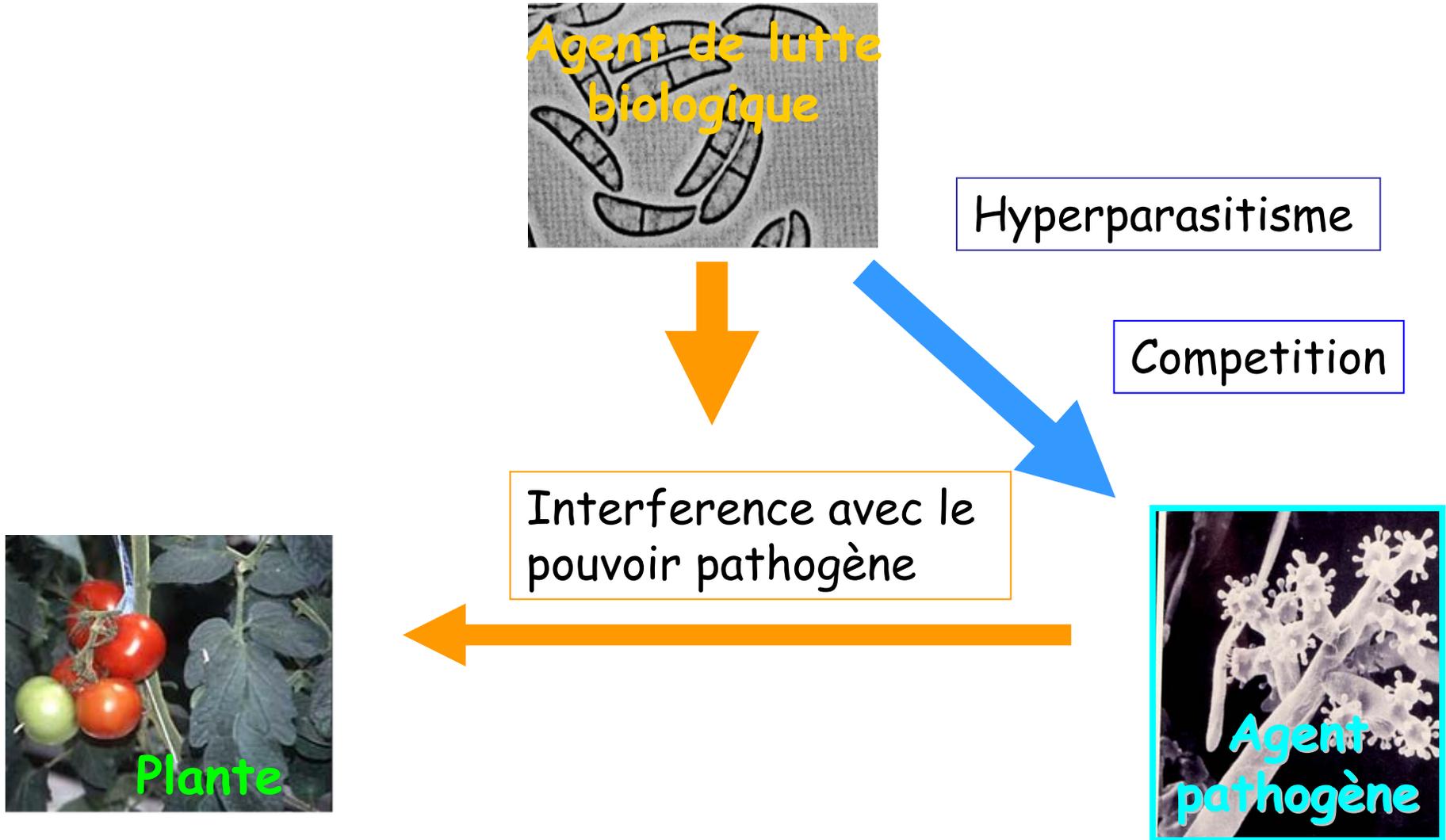


Hyperparasitisme

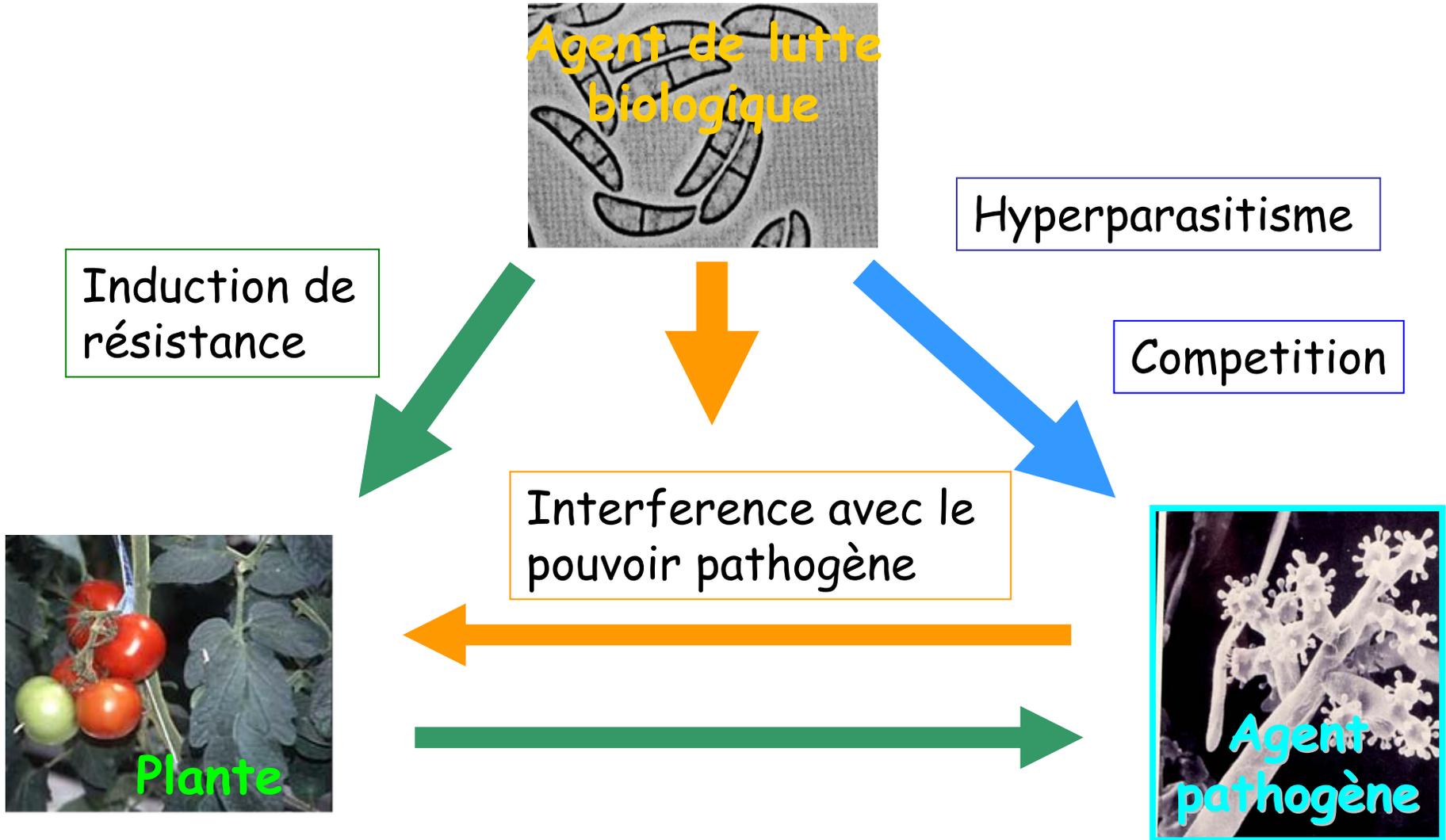
Competition



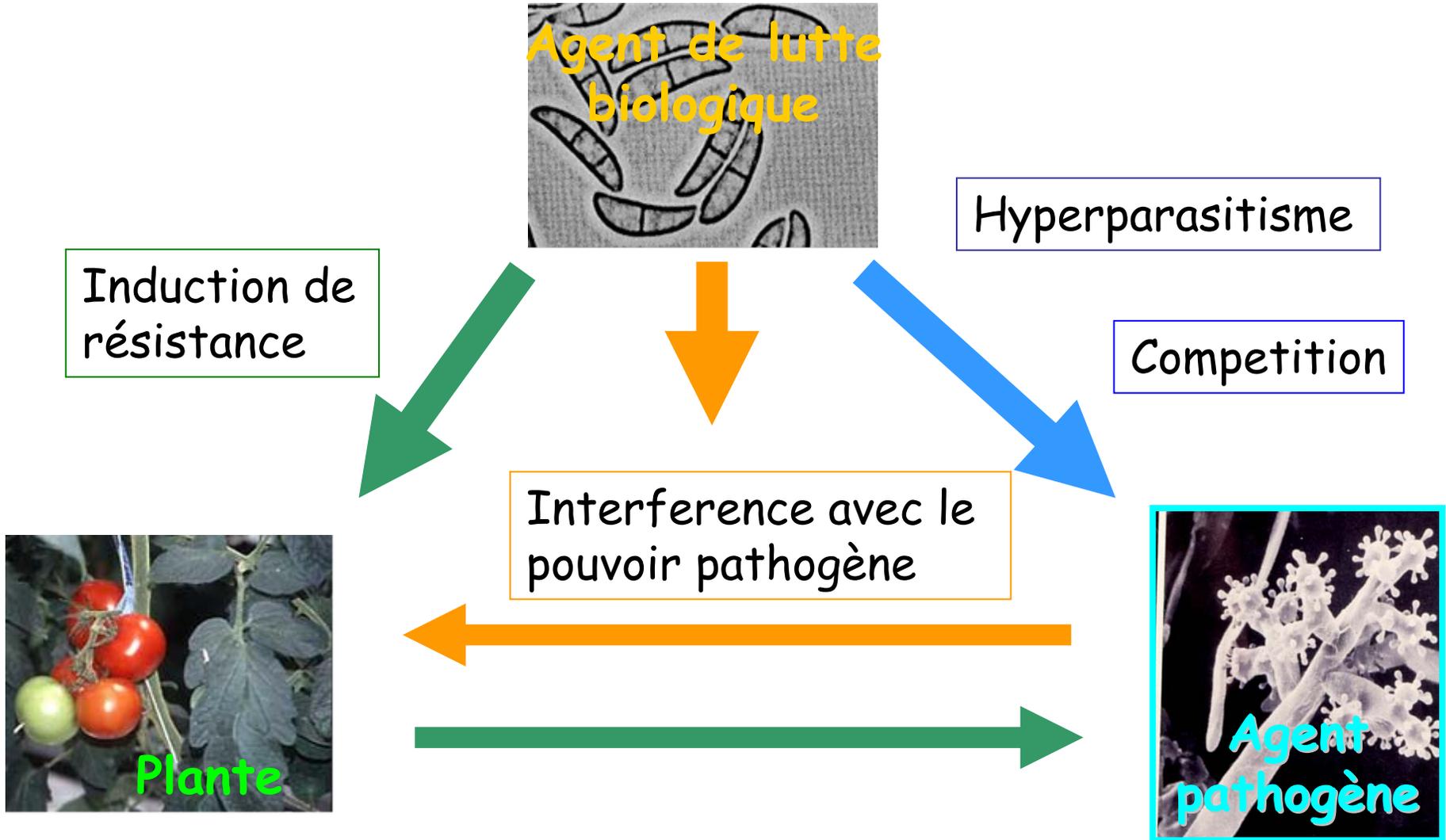
Autres modes d'action des agents de lutte biologique



Autres modes d'action des agents de lutte biologique



Autres modes d'action des agents de lutte biologique



Pression de sélection → durabilité ?

**Pertes d'efficacité de la lutte biologique
contre les maladies**

Très peu d'exemples de perte d'efficacité d'agents de lutte biologiques

- *Agrobacterium tumefaciens* / *A. rhizogenes* - **Agrocine84**
(Stockwell et al., 1996. Phytopathology)
- *Botrytis cinerea* / *Bacillus subtilis* - **Antibiotiques**
(Li and Leifert, 1994. Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz)
- *Gaeumannomyces graminis* / *Pseudomonas fluorescens*
- **Antibiotiques**
(Mazzola et al., 1995. Appl. Environ. Microbiol.)

Très peu d'exemples de perte d'efficacité d'agents de lutte biologiques

- *Agrobacterium tumefaciens* / *A. rhizogenes* - **Agrocine84**
(Stockwell et al., 1996. Phytopathology)
- *Botrytis cinerea* / *Bacillus subtilis* - **Antibiotiques**
(Li and Leifert, 1994. Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz)
- *Gaeumannomyces graminis* / *Pseudomonas fluorescens*
- **Antibiotiques**
(Mazzola et al., 1995. Appl. Environ. Microbiol.)

→ **Réalité ou lié au faible nombre d'études ?**

Perspectives

Comparaison des performances du contrôle chimique et du contrôle biologique

	Chemical control*	Biological control
Number of ingredients tested	> 1 million	2,000
Success ratio	1 : 200,000	1 : 10
Developmental costs	400 million US\$	2 million US\$
Developmental time	10 years	10 years
Benefit / cost ratio	2 : 1	20 : 1
Risks of resistance	large	small
Specificity	very small	very large
Harmful side-effects	many	nil/few

*Data for chemical control originate from material provided by the pesticide industry

Lenteren, J.C. van, 1997. From *Homo economicus* to *Homo ecologicus*: towards environmentally safe pest control. In: *Modern Agriculture and the Environment*, D. Rosen, E. Tel-Or, Y. Hadar, Y. Chen, eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 17-31.)

Durabilité de la lutte biologique contre les maladies des plantes

→ Peu de recul

→ Et si les applications s'intensifiaient?

Développement de nouveaux produits commerciaux en cours

Extension des zones géographiques d'homologation des produits existants

Extension des surfaces traitées

Durabilité de la lutte biologique contre les maladies des plantes

→ Peu de recul

→ Et si les applications s'intensifiaient?

Développement de nouveaux produits commerciaux en cours

Extension des zones géographiques d'homologation des produits existants

Extension des surfaces traitées

Prévoir une érosion de l'efficacité des agents de lutte biologique?

Facteurs de risques

Agent pathogène ?

- Biodiversité des populations naturelles?
- Capacité d'évolution des populations sous pression de sélection ?

Mode d'action de l'agent de lutte biologique ?

Assurer la durabilité

Sélectionner des méthodes de lutte biologique dont le mode d'action est moins sujet au contournement

Mettre en place des stratégies de gestion préventive des risques de contournement de la lutte biologique