



**HAL**  
open science

# Protection des cultures contre les maladies à l'aide de microorganismes : état de l'art et perspectives

Marc Bardin

► **To cite this version:**

Marc Bardin. Protection des cultures contre les maladies à l'aide de microorganismes : état de l'art et perspectives. Med'agri, Oct 2018, Avignon, France. 34 p. hal-01974613

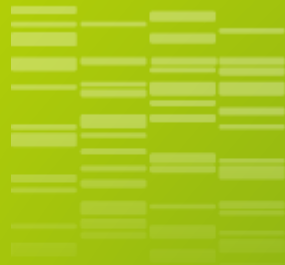
**HAL Id: hal-01974613**

**<https://hal.science/hal-01974613v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**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.



# Protection des cultures contre les maladies à l'aide de microorganismes : état de l'art et perspectives

Marc Bardin  
Pathologie Végétale  
INRA PACA - Avignon

*Avignon, 18/10/2018*



# Biocontrôle

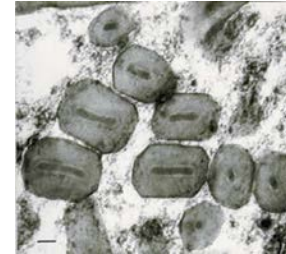
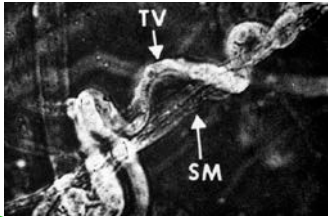
## 4 catégories (Ecophyto) – LAAAF Art 253-6

- Macroorganismes : invertébrés auxiliaires

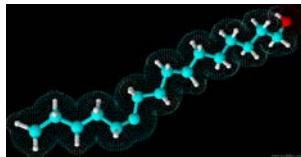


## Produits phytopharmaceutiques

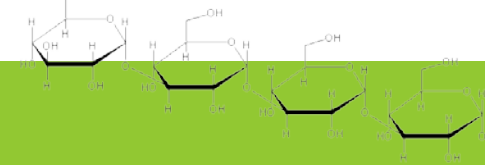
- Microorganismes : champignons, bactéries, virus

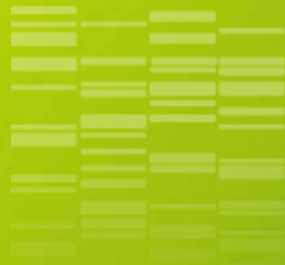


- Médiateurs chimiques: phéromones...



- Substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale





**\_01**

# **Procédure d'homologation des microorganismes de biocontrôle**

# Réglementation – homologation (EU, France)

## Produits phytopharmaceutiques

- **Microorganismes : champignons, bactéries, virus**

Soumis à la réglementation en vigueur concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (**Règlement CE n°1107/2009**), entré en vigueur en juin 2011, qui s'applique à tous les produits de synthèse ou naturels

# Réglementation – homologation (EU, France)

## Produits phytopharmaceutiques

- Microorganismes : champignons, bactéries, virus

→ **Substance active: inscription sur une liste positive** (= *EU pesticide database*)  
<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/>

“Under the new EU rules, it takes **2.5 to 3.5 years** from the date of admissibility of the application to the publication of a Regulation approving a new active substance. This **time varies greatly** depending on how complex and complete the dossier is.”

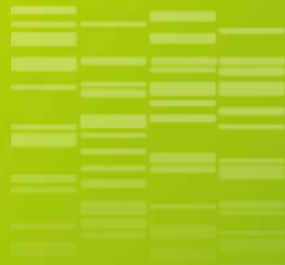
→ **Spécialité commerciale: Autorisation de Mise sur le Marché (= homologation)**  
**donnée par chaque état membre**  
<https://ephy.anses.fr/>

France: AMM délivrée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

**Toxicologie +  
efficacité**

“Le délai pour statuer sur une demande d'AMM est restreint à 6 mois pour les produits de biocontrôle.”

<https://www.anses.fr/fr/content/documents-relatifs-aux-autorisations-de-mise-sur-le-march%C3%A9-amm-des-produits>



**\_02**

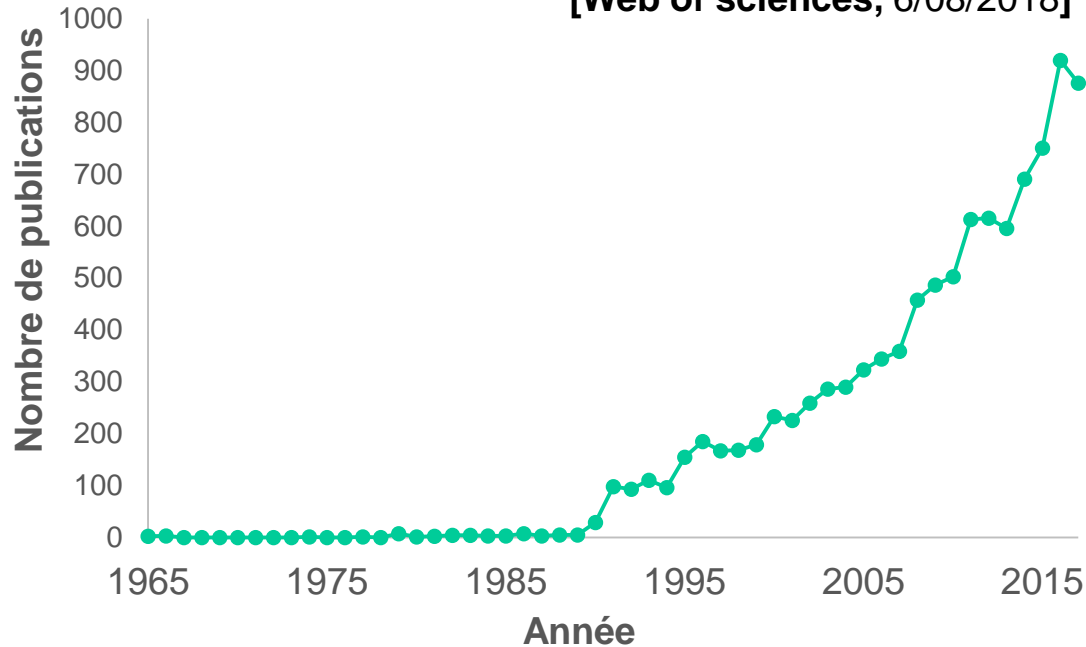
**Situation actuelle des  
microorganismes de biocontrôle  
contre les maladies des plantes**

# Situation actuelle

→ Beaucoup de travaux de recherche

**(biocontrol or biological control) and (plant pathogen or plant disease)**

[Web of sciences, 6/08/2018]



accélération des efforts de recherche (années 1990)

> 10000 pub (1965-2018)

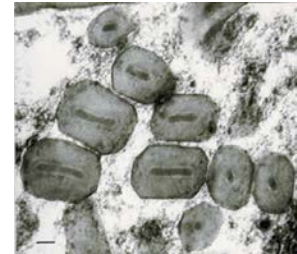
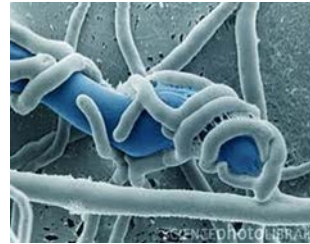
→ **identification de nombreux microorganismes avec un potentiel de biocontrôle**



# Situation actuelle

- Beaucoup de travaux de recherche
- Commercialisation de microorganismes de biocontrôle contre les maladies des plantes

## au niveau mondial



- **44 microorganismes:**  
25 champignons/levures/oomycètes + 14 bactéries/actinomycètes + 5 virus/phages

Gwynn, 2014. *Manual of Biocontrol agents*



- **91 microorganismes:**  
49 champignons/levures/oomycètes + 37 bactéries/actinomycètes + 5 virus/phages

van Lenteren et al, 2018. *BioControl*

BioControl  
DOI 10.1007/s10526-017-9801-4



Liste des bases de données sur les produits phytosanitaires homologués  
dans les régions Européenne et Méditerranéenne  
[https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant\\_protection\\_products/registered\\_products](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_protection_products/registered_products)



# Situation actuelle

- Beaucoup de travaux de recherche
- Commercialisation de microorganismes de biocontrôle contre les maladies des plantes

**Europe:** 'EU Pesticide Database' (28/08/2018)  
(<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/>)



# Situation actuelle

- Beaucoup de travaux de recherche
- Commercialisation de microorganismes de biocontrôle contre les maladies des plantes

**Europe:** 'EU Pesticide Database' (28/08/2018)

(<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/>)



32 microorganismes

18 champignons/levures/oomycètes + 10 bactéries/actinomycètes + 4 virus

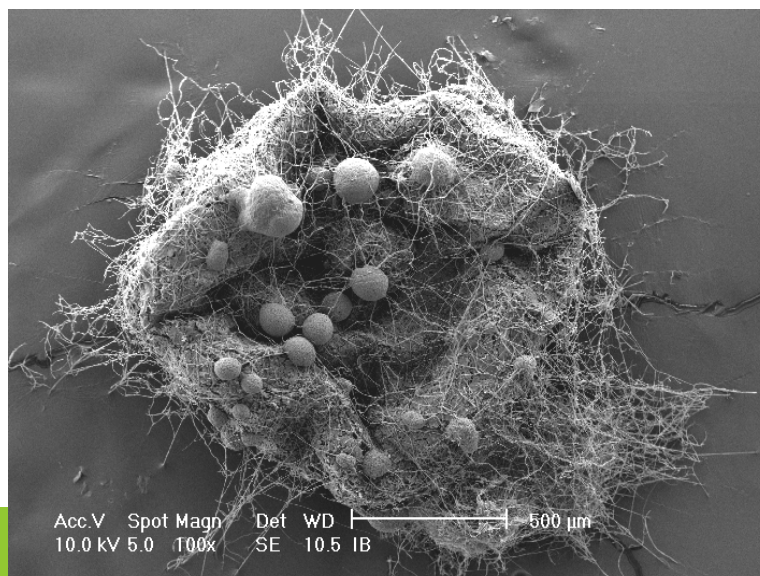
**+ 9 souches microbiennes “en attente”**

**4 champignons/levures/oomycètes + 3 bactéries/actinomycètes + 2 virus**

<i>Coniothyrium minitans</i>	2004	18	AT BE CZ DE DK EL ES FR HU IE IT LU NL PL PT SE SK UK (+ FI)
------------------------------	------	----	--



Hyperparasite de *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor*



# 18 champignons/levures/oomycètes

Status on 28/8/2018



PLANTS

EU Pesticides database

<i>Coniothyrium minitans</i>	2004	18	AT BE CZ DE DK EL ES FR HU IE IT LU NL PL PT SE SK UK (+ FI)
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	2005	14	BE CY DE DK EL ES FR IE IT LU NL SI SK UK
<i>Gliocladium catenulatum</i>	2005	14	AT BE CY DE DK EE ES FI FR IE NL SE UK (+ HU)
<i>Paecilomyces lilacinus</i> <sup>251</sup>	2008	5	BG, CY, EL, ES, IT
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	2009	9	DK EE FI FR LT LV PL SE UK
<i>Pythium oligandrum</i>	2009	4	CZ, FR, HU, IT, PL, SK, UK (+ AT ES)
<i>Trichoderma aspellerum</i> <sup>(3)</sup>	2009	7	DE, EL, ES, FR, IT, PL, PT (+ NL)
<i>T. atroviride</i> IMI 206040 + T11	2009	3	EL, IT SE (+ SK)
<i>T. gamsii</i> ICC080	2009	8	DE, EL, ES, FR, IT, NL, PL, PT
<i>T. harzianum</i> T22 + ITEM 908	2009	12	BE, DK, EL, ES, FR, HU, IE, IT, NL, PL, SE, UK
<i>T. polysporum</i> IMI 206039	2009	1	SE
<i>Verticillium albo-atrum</i>	2009	5	DE, DK, NL, SE, UK
<i>Candida oleophila</i> <sup>0</sup>	2013	4	AT, FR, NL, UK (+ EL, HU, IT)
<i>T. aspellerum</i> <sup>T34</sup>	2013	1	BE, FR, IE, IT, NL, PT, RO, UK
<i>T. atroviride</i> <sup>I-1237</sup>	2013	1	FR (+ IT)
<i>Aureobasidium pullulans</i> <sup>(2)</sup>	2014	13	AT, BE, DE, EL, ES, FR, HU, IT, NL, PL, PT, SI, SK
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <sup>LAS02</sup>	2016	?	FR?
<i>T. atroviride</i> <sup>SC1</sup>	2016	5	AT, BE, FR, LU, PT (+ CZ, ES, HU, IT)

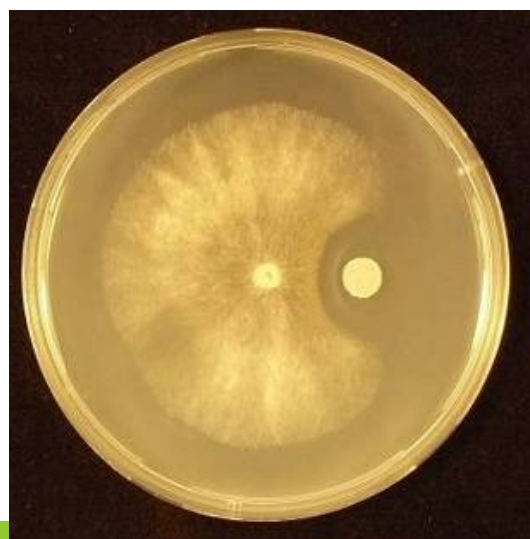
# 10 bactéries/actinomycètes

Status on 28/8/2018

<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	2004	14	AT BE DE DK ES FI FR IT LT LU NL PT SE UK
<i>Bacillus subtilis</i> QST 713	2007	22	BE, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, IE, IT, LT, LU, LV, NL, PL, PT, SE, SI, SK, UK (+ AT)



Effet direct contre champignons et bactéries pathogènes  
+ induction de la résistance de la plante



## 10 bactéries/actinomycètes

Status on 28/8/2018

<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	2004	14	AT BE DE DK ES FI FR IT LT LU NL PT SE UK
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>QST 713</sup>	2007	22	BE, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, IE, IT, LT, LU, LV, NL, PL, PT, SE, SI, SK, UK (+ AT)
<i>Streptomyces sp.</i> <sup>K61</sup>	2009	12	BE, CY, EE, FI, FR, HU, IT, LT, LV, NL, SE, UK (+ AT IE)
<i>B. firmus</i> <sup>I-1582</sup>	2013	9	DK, EL, ES, FR, IT, NL, PT, SE, UK (+ AT, CZ, HU, SI, SK)
<i>B. pumilus</i> <sup>QST 2808</sup>	2014	1	FR (+ CZ IE, SI, SK)
<i>Pseudomonas sp.</i> <sup>DSMZ 13134</sup>	2014	15	AT, BE, CY, CZ, DE, EL, FR, HR, IE, IT, NL, RO, SE, SI, SK (+ ES)
<i>B. amyloliquefaciens</i> <sup>D747</sup>	2015	8	BE, CY, EL, ES, FR, IT, SI, UK (+ SK)
<i>Streptomyces lydicus</i>	2015	?	NL?
<i>B. amyloliquefaciens</i> <sup>MBI 600</sup>	2016	?	FR? (+ CZ, EL, ES, FI, HU, NL, SE, UK)
<i>B. amyloliquefaciens</i> <sup>FZB24</sup>	2017	?	FR? (+ AT, CZ, NL, SI)

## 4 virus

Zucchini Yellow Mosaic Virus <sup>wk</sup>	2013	1	FR
Pepino Mosaic Virus <sup>CH2 1906</sup>	2015	14	AT, BE, CZ, DE, EL, ES, FI, FR, HR, HU, IT, NL, PL, UK
Mild Pepino Mosaic Virus <sup>VC1</sup>	2017	?	NL? (+ SE)
Mild Pepino Mosaic Virus <sup>VX1</sup>	2017	?	NL? (+ SE)



# Situation actuelle

- Beaucoup de travaux de recherche
- Commercialisation de microorganismes de biocontrôle contre les maladies des plantes

- **En France**

Information



<https://ephy.anses.fr/>



## Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle

<b>Direction générale de l'alimentation</b> <b>Service des actions sanitaires en production primaire</b> <b>Sous-Direction de la qualité, de la santé et de la protection des végétaux</b> <b>Bureau des intrants et du biocontrôle</b> 251 rue de Vaugirard 75 732 PARIS CEDEX 15 0149554955	<b>Note de service</b> <b>DGAL/SDQSPV/2018-726</b> <b>26/09/2018</b>
---	--

**Date de mise en application :** 26/09/2018

**Diffusion :** Tout public

**Cette instruction abroge :**

DGAL/SDQSPV/2018-528 du 17/07/2018 : Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime.

**Cette instruction ne modifie aucune instruction.**

**Nombre d'annexes :** 1

**Objet :** Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime.

**23 microorganismes:  
champignons, bactéries, virus**



# Situation actuelle

Situation sur la **pomme de terre**



France (<https://ephy.anses.fr/>, 28/08/2018)

Microorganisme

*Pseudomonas* sp. DSMZ 13134  
*Trichoderma atroviride* I-1237

Cible (maladies)

Champignons du sol autres que pythiacées dont *Rhizoctonia solani* et *Helminthosporium solani*

**Cibles majeures non couvertes:** mildiou, maladies bactériennes, nématodes, virus...

# Situation actuelle



Situation sur la **tomate**

France (<https://ephy.anses.fr/>, 28/08/2018)

Microorganisme

Cible (maladie)

*Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*  
*Gliocladium catenulatum*

*Botrytis cinerea*

*Ampelomyces quisqualis*, *B. amyloliquefaciens*

Oïdiums

*Trichoderma asperellum*, *T. harzianum*

Champignons sol, *Pythium* spp.

*B. amyloliquefaciens*, *G. catenulatum*, *Coniothyrium minitans*

*Sclerotinia sclerotiorum*

*B. subtilis*

Bactérioses  
dont *Clavibacter michiganensis*

*B. firmus*

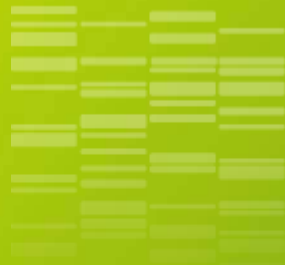
Nématodes

Pepino Mosaic Virus CH2 strain

Pepino Mosaic Virus

**Cibles majeures non couvertes:** *Phytophthora infestans*, *Passalora (Cladosporium) fulva*,  
*Alternaria*, TYLCV + autres virus...

**Grosses disparités entre cultures**



**\_03**

**Défis pour la recherche**

# Défis pour la recherche

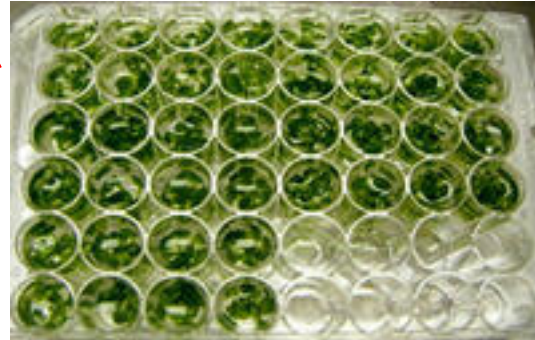
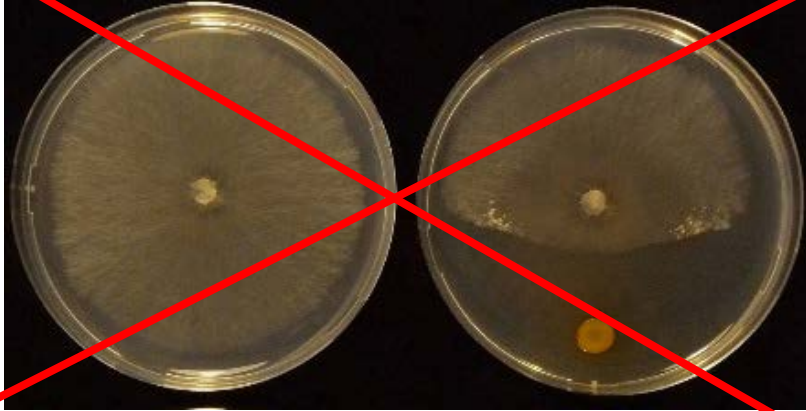
- **besoin critique de nouveaux produits:**

- développer des stratégies de sélection à haut débit de nouveaux microorganismes

**Cible** (culture/agent pathogène/zone à protéger...) ?

Collection de **souches** de microorganismes: où, quand?

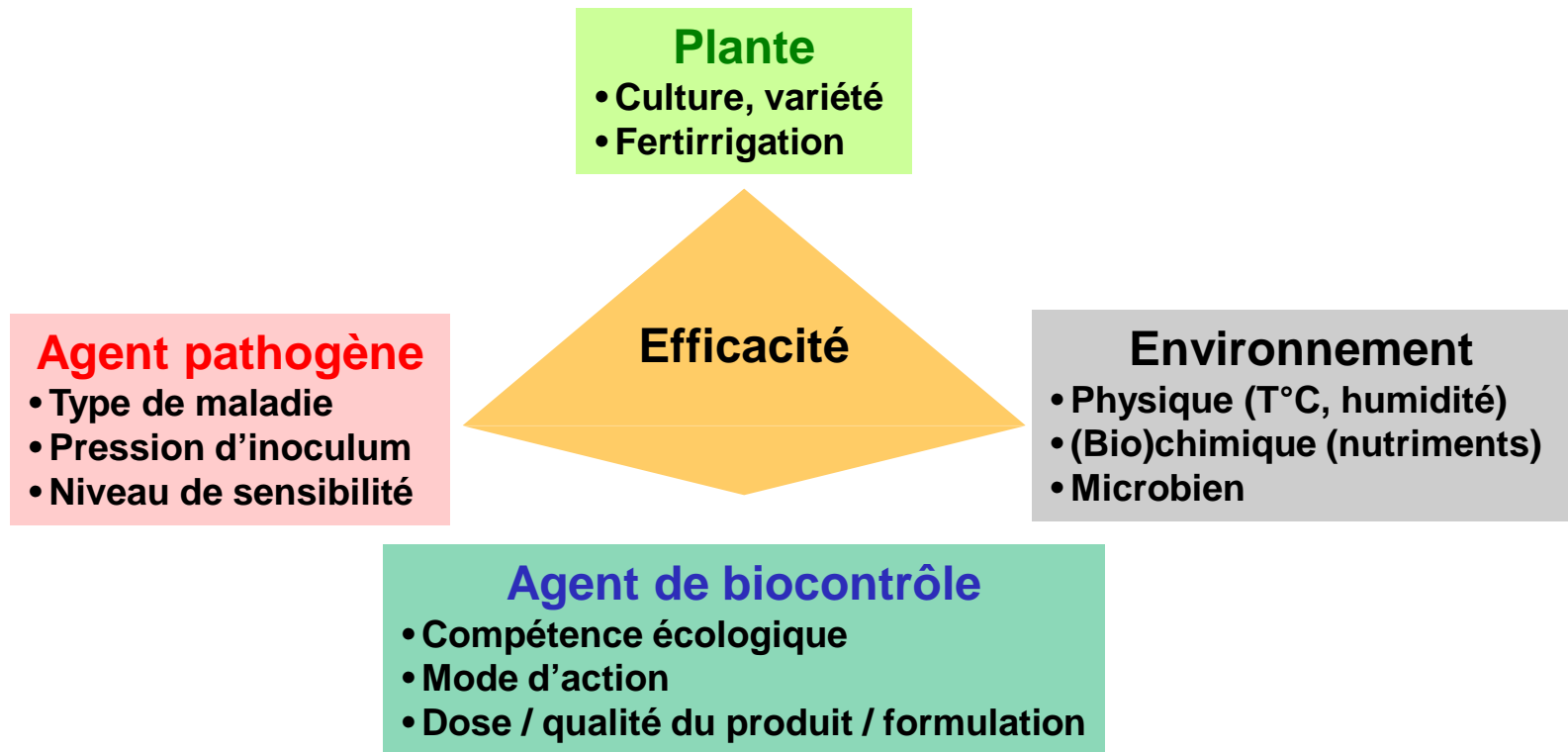
Méthodes de sélection adaptées



# Défis pour la recherche

- **besoin critique de nouveaux produits:**
  - développer des stratégies de sélection à haut débit de nouveaux microorganismes
- améliorer l'**efficacité** de la protection
  - mieux connaître la **biologie** et les **facteurs d'efficacité** des agents de biocontrôle microbiens

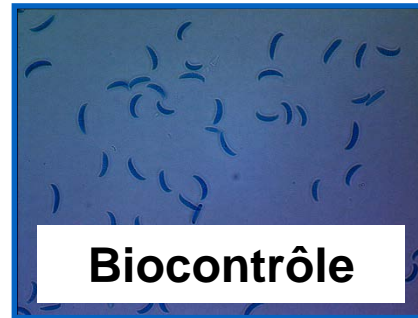
# Facteurs d'efficacité



# Défis pour la recherche

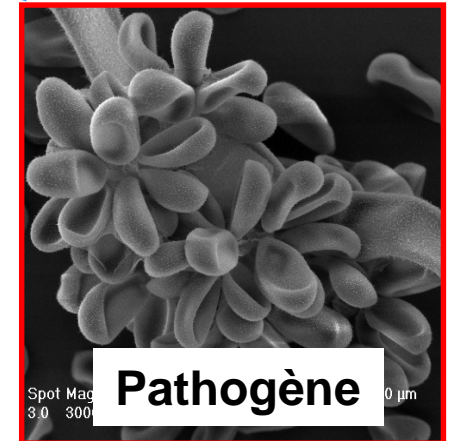
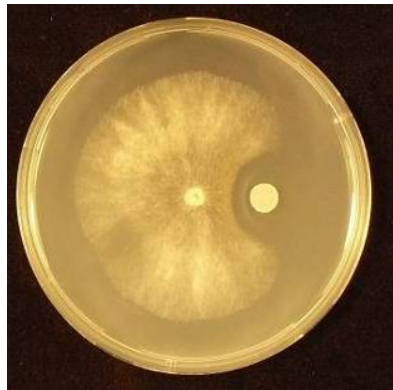
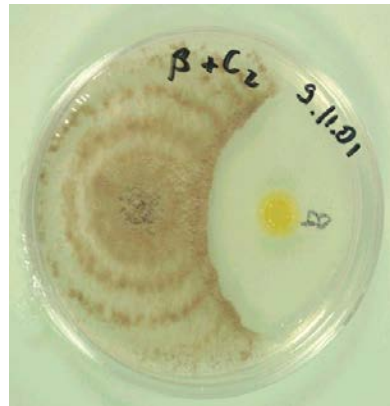
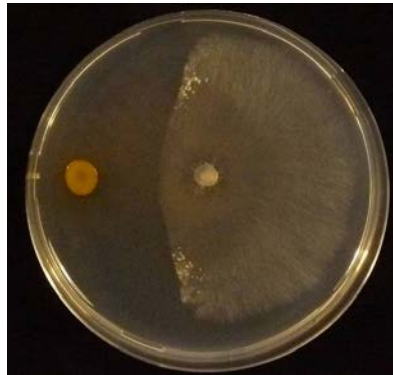
- **besoin critique de nouveaux produits:**
  - développer des stratégies de sélection à haut débit de nouveaux microorganismes
- améliorer **l'efficacité** de la protection
  - mieux connaître la **biologie** et les **facteurs d'efficacité** des agents de biocontrôle microbiens
  - mieux comprendre les **mécanismes d'action**
    - => sélectionner des agents de lutte biologique plus performants

# Modes d'action des agents de biocontrôle



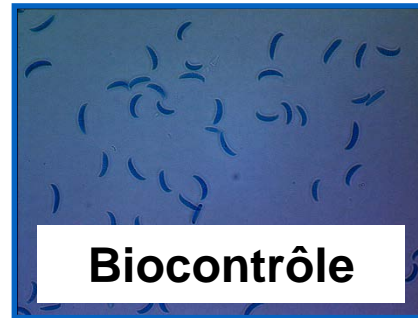
sécrétion de **métabolites toxiques** ou **enzymes** inhibant le développement des agents pathogènes

**Antibiose**

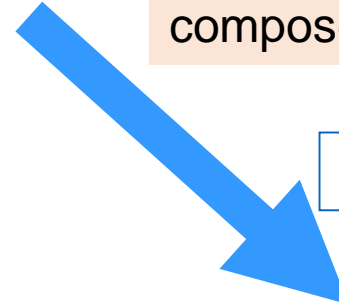




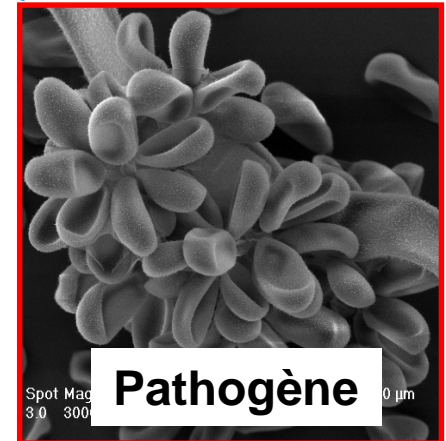
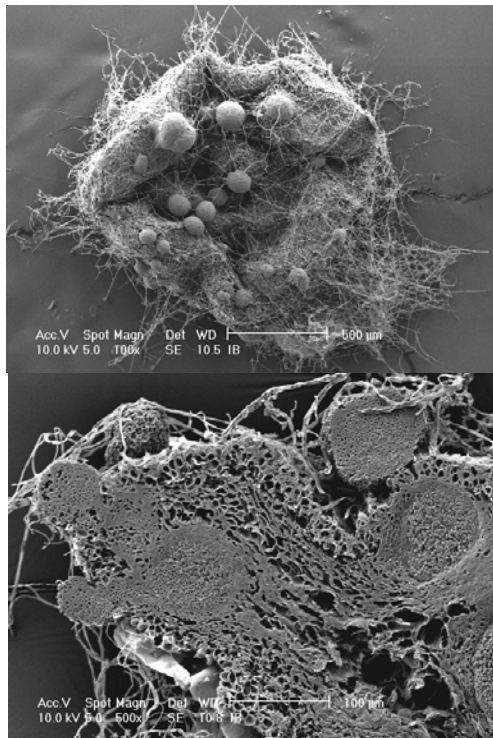
# Modes d'action des agents de biocontrôle



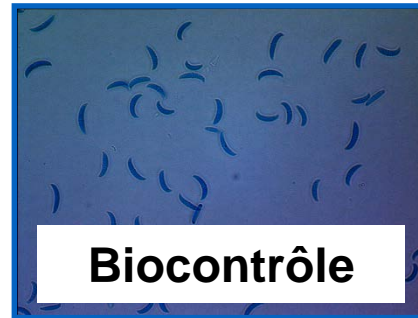
sécrétion d'**enzymes** dégradant la paroi des champignons + production éventuelle de composés toxiques



**Hyperparasitisme**

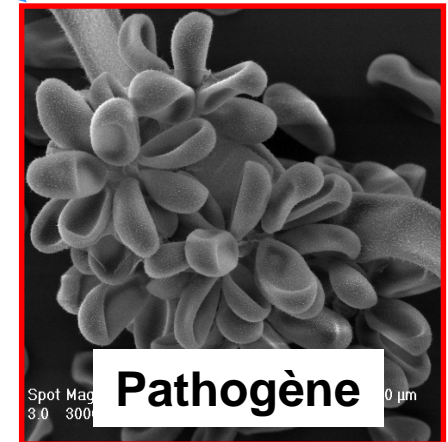
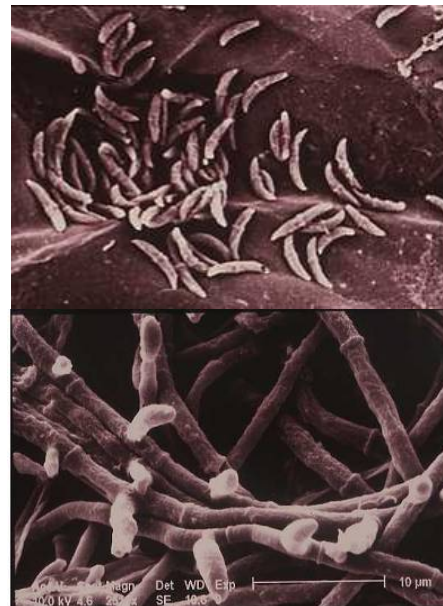


# Modes d'action des agents de biocontrôle



utilisation rapide des  
**ressources nutritives**  
+ **occupation des sites**  
de pénétration

**Competition**



# Modes d'action des agents de biocontrôle

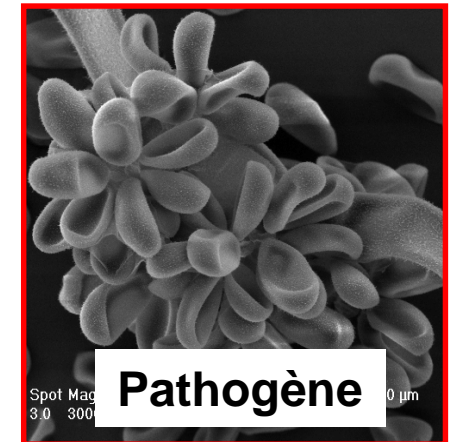


- Modification des propriétés de surface des plantes

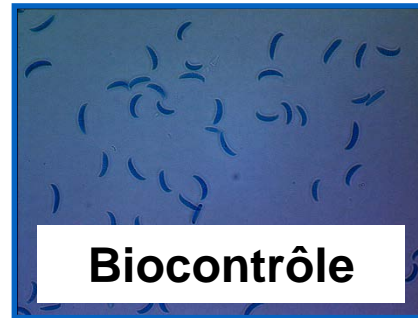
- Diminution de l'agressivité de l'agent pathogène



**Interférence avec la pathogénèse**

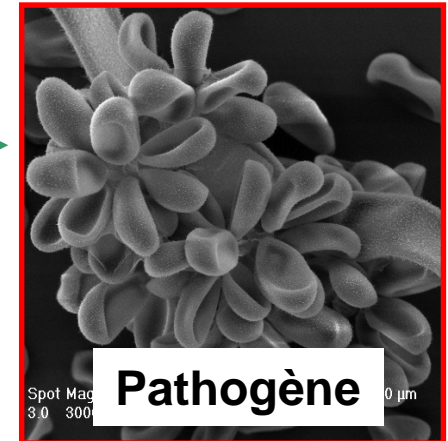


# Modes d'action des agents de biocontrôle



**Induction de  
résistance**

- Reconnaissance de signaux (MAMP, phytohormones...)
- Induction directe ou potentialisation





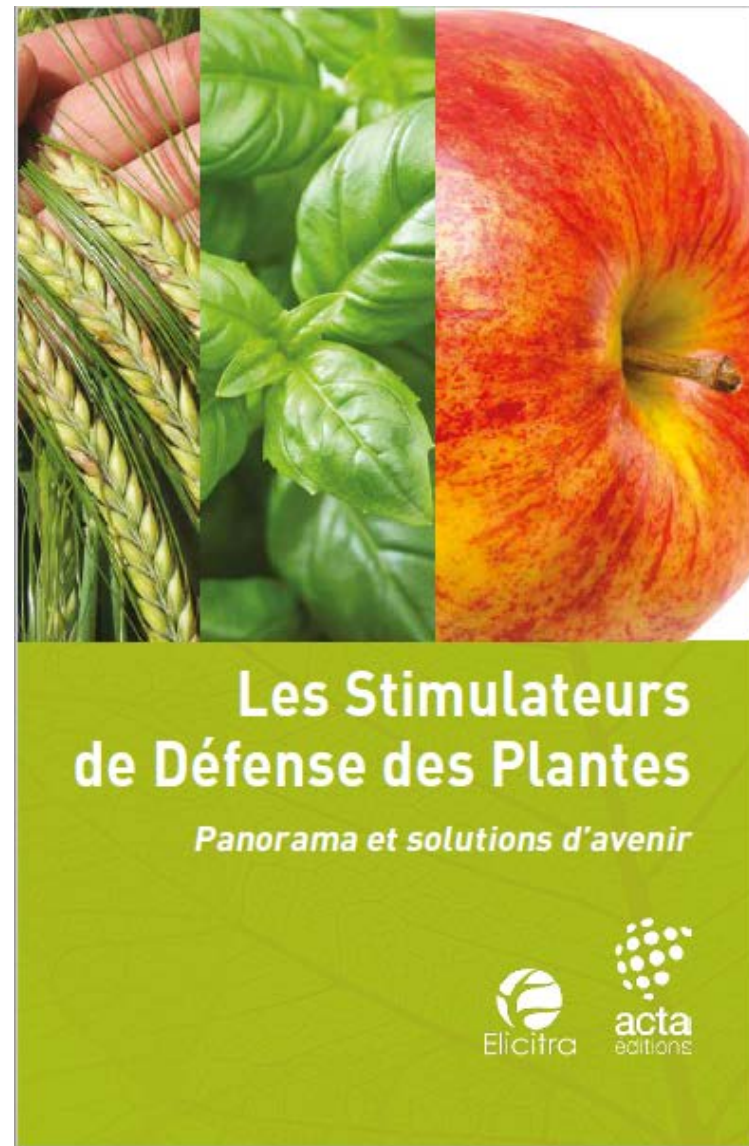
# Modes d'action des agents de biocontrôle

Induction de résistance:

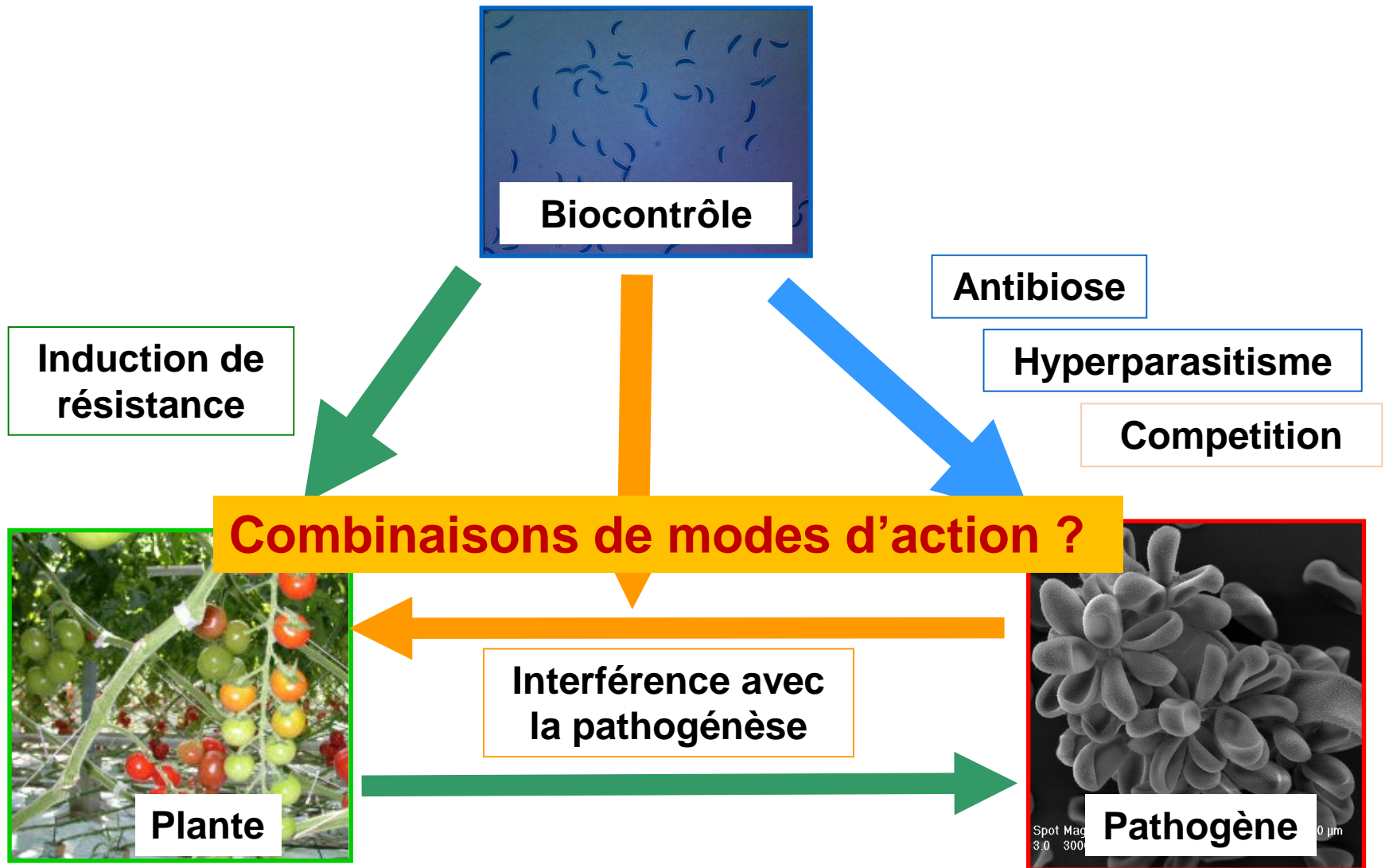
= **SDP** = SDN = éliciteurs

≠ biostimulant

« toute substance ou tout micro-organisme vivant non pathogène qui, appliqué sur une plante, est capable de promouvoir un état de résistance significativement plus élevé par rapport à une plante non traitée, face à des stress biotiques »



# Modes d'action des agents de biocontrôle



# Défis pour la recherche

- **besoin critique de nouveaux produits:**
  - développer des stratégies de sélection à haut débit de nouveaux microorganismes
- améliorer l'**efficacité** de la protection
  - mieux connaître la **biologie** et les **facteurs d'efficacité** des agents de biocontrôle microbiens
  - mieux comprendre les **mécanismes d'action**
    - => sélectionner des agents de lutte biologique plus performants
  - améliorer la **formulation** des produits
- prendre en compte la **durabilité** de l'efficacité de la protection
  - **Diversité** de sensibilité dans les populations naturelles?
  - Possibilité **d'évolution** vers moins de sensibilité du fait de la pression de sélection exercée par le biocontrôle ?
  - **Stratégie d'utilisation** = pesticides ?

## Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides?

Marc Bardin<sup>1\*</sup>, Sakhr Ajouz<sup>1</sup>, Morgane Comby<sup>1</sup>, Miguel Lopez-Ferber<sup>2</sup>, Benoît Graillot<sup>2,3</sup>, Myriam Siegwart<sup>4</sup> and Philippe C. Nicot<sup>1</sup>

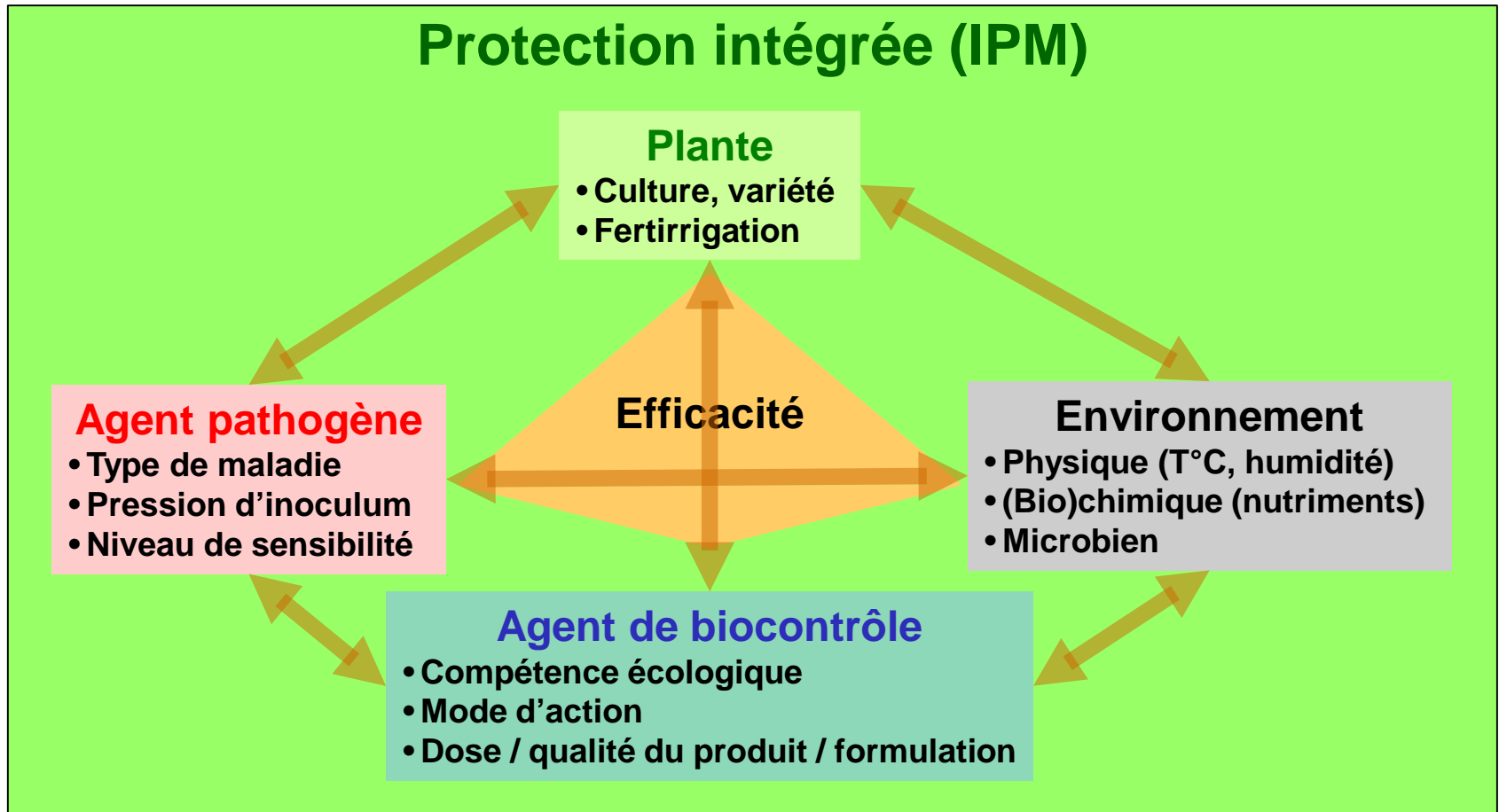
<sup>1</sup> Plant Pathology Unit, Institut National de la Recherche Agronomique, UR407, Montfavet, France, <sup>2</sup> Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel, Ecole des Mines d'Alès, Institut Mines-Telcom, Alès, France, <sup>3</sup> Natural Plant Protection, Arysta LifeScience Group, Pau, France, <sup>4</sup> Plantes et Systèmes de Culture Horticoles Unit, Institut National de la Recherche Agronomique, UR1115, Avignon, France

# Défis pour la recherche

- **besoin critique de nouveaux produits:**
  - développer des stratégies de sélection à haut débit de nouveaux microorganismes
- améliorer l'**efficacité** de la protection
  - mieux connaître la **biologie** et les **facteurs d'efficacité** des agents de biocontrôle microbiens
  - mieux comprendre les **mécanismes d'action**
    - => sélectionner des agents de lutte biologique plus performants
  - améliorer la **formulation** des produits
- prendre en compte la **durabilité** de l'efficacité de la protection
- Intégrer les microorganismes dans des itinéraires techniques complexes de **protection intégrée**



# Intégration dans des itinéraires techniques



➔ Besoins de règles de décision pour l'utilisation des agents de biocontrôle microbiens

outils d'aide à la décision 'biocontrôle'

**Enjeu essentiel pour les industriels et les agriculteurs**

# Une recherche dynamique

Structurée au niveau mondial



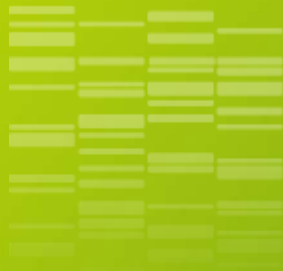
+ budgets pour développer et mettre en place des alternatives



Horizon 2020  
European Union Funding  
for Research & Innovation

En France:





**Merci**

