

FACTEURS D'EFFICACITE DE LA PROTECTION BIOLOGIQUE CONTRE LES MALADIES DES PLANTES

Marc Bardin
Pathologie Végétale
INRA PACA - Avignon

11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes

Tours 9/12/15



Produits de biocontrôle

4 catégories (Ecophyto)

- **Macroorganismes : invertébrés auxiliaires**
- **Microorganismes : champignons, bactéries, virus**
- **Médiateurs chimiques: phéromones, kairomones**
- **Substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale**



Protection biologique contre les maladies des plantes

- Beaucoup de travaux de recherche: identification de nombreux agents de protection biologique
- **157 espèces de microorganismes** décrites: efficace contre 5 maladies cryptogamiques à dissémination aérienne majeures des plantes, *Botrytis*, oïdiums, rouilles, mildious (+ *Phytophthora infestans*) et moniliose
 - **29 espèces de champignons/oomycetes et 18 espèces de bactéries:** effet significatif au champ pour contrôler une des 5 maladies majeures



Nicot et al, 2011

http://www.iobc-wprs.org/pub/biological_control_against_diseases_and_pests_2011.pdf



INRA
SCIENCE & IMPACT

11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes – Tours 9/12/15



Protection biologique contre les maladies des plantes

- Beaucoup de travaux de recherche: identification de nombreux agents de protection biologique
- Commercialisation d'agents de protection biologique contre les agents pathogènes
 - **44 microorganismes** développés commercialement au niveau mondial contre les agents pathogènes:
25 champignons/levures/oomycètes + 14 bactéries/actinomycètes + 5 virus



Gwynn, 2014. *Manual of Biocontrol agents*



Protection biologique contre les maladies des plantes

- Beaucoup de travaux de recherche: identification de nombreux agents de protection biologique
- Commercialisation d'agents de protection biologique contre les agents pathogènes
 - Union Européenne: 24 **souches** pouvant faire l'objet d'une homologation répertoriées dans la base de donnée 'EU Pesticide Database'
(<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN/>)
14 champignons/levures/oomycètes + 8 bactéries/actinomycètes + 2 virus (11/2015)
 - Encore peu d'agents de protection biologique **homologués**:
15 microorganismes



Heilig et al, 2011

http://www.iobc-wprs.org/pub/biological_control_against_diseases_and_pests_2011.pdf



Classical and augmentative biological control against diseases and pests: critical status analysis and review of factors influencing their success



Edited by Philippe C. Nizal
2011



INRA
SCIENCE & IMPACT

11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes – Tours 9/12/15



Protection biologique contre les maladies des plantes

- Beaucoup de travaux de recherche: identification de nombreux agents de protection biologique
- Commercialisation d'agents de protection biologique contre les agents pathogènes
 - **En France** (<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>, 11/2015)
14 microorganismes: 8 champignons, 5 bactéries, 1 virus

Trichoderma harzianum

Trichoderma atroviride

Trichoderma asperellum

Coniothyrium minitans

Ampelomyces quisqualis

Aureobasidium pullulans

Gliocladium catenulatum

Phlebiopsis gigantea

Bacillus pumilus

Pseudomonas chlororaphis

Bacillus subtilis

Streptomyces sp.

Bacillus firmus

Souche atténuée du virus ZYMV

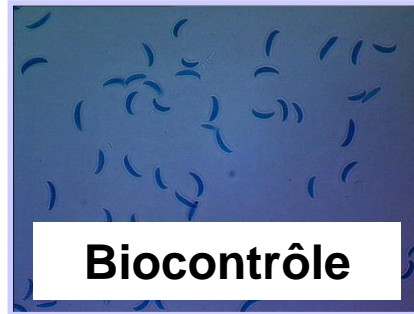
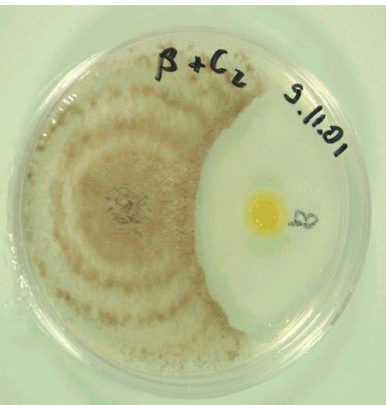
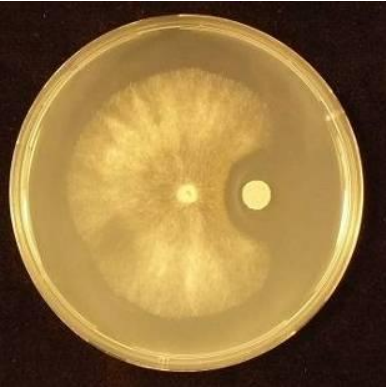
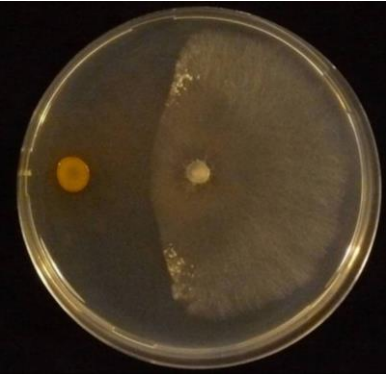


Protection biologique contre les maladies des plantes

- Beaucoup de travaux de recherche: identification de nombreux agents de protection biologique
- Commercialisation d'agents de protection biologique contre les agents pathogènes
- Différents modes d'action



Modes d'action des agents de protection biologique



Biocontrôle

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

Antibiose

Aisément observé au laboratoire
Mais = **f(environnement)**

Composés à **autres effets** biologiques

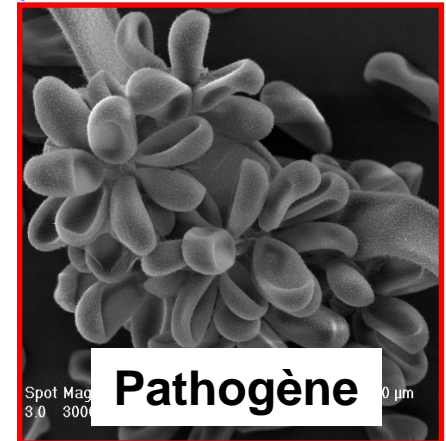
Pseudomonas, Bacillus, Serratia, Streptomyces, Trichoderma...

Conditions de synthèse?

Apparition de souches **résistantes**?

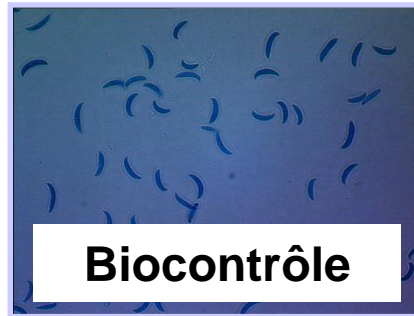
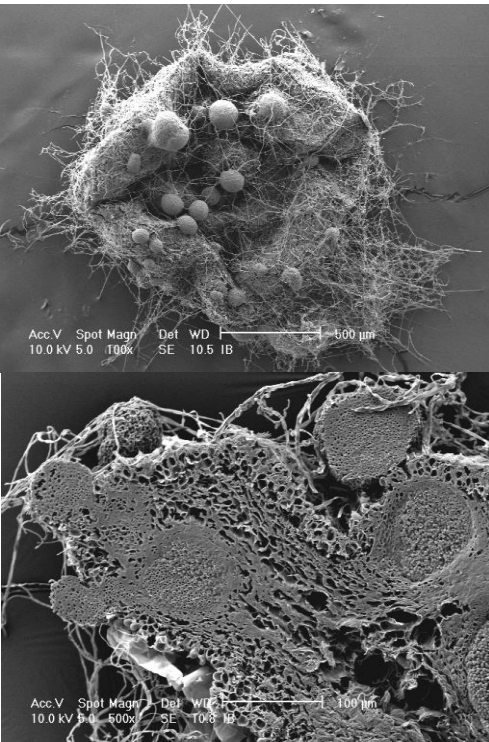
Innocuité?

Effets sur microorganismes **non cibles**?



Pathogène

Modes d'action des agents de protection biologique

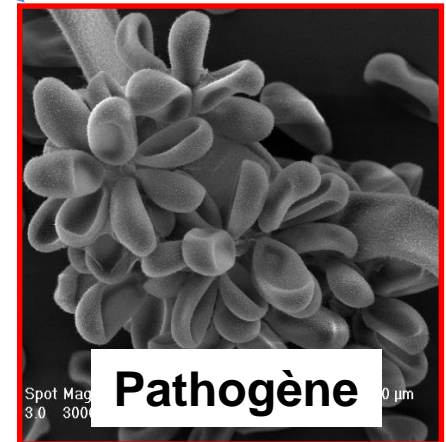


Biocontrôle

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

Contact direct nécessaire
Préventif (limiter inoculum primaire)
Curatif

Hyperparasitisme



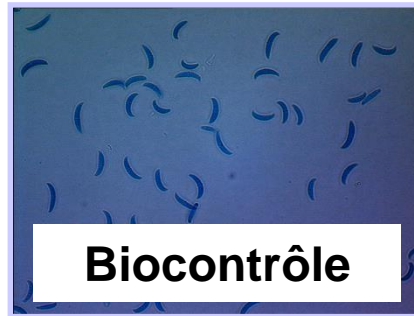
Pathogène

Ampelomyces quisqualis,
Paraphaeosphaeria (Coniothyrium) minitans,
Gliocladium catenulatum,
Pythium oligandrum...

Rapidité d'action?

Spécificité d'action?

Modes d'action des agents de protection biologique



Biocontrôle

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

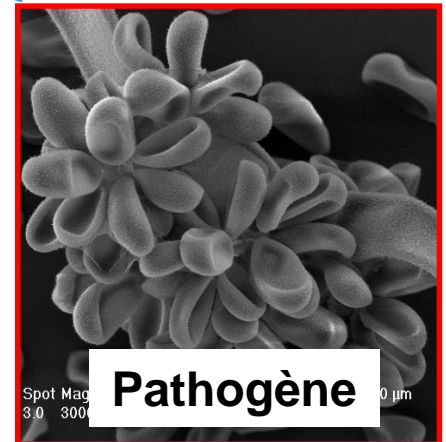
- Cinétique de **consommations** de nutriments
- Rôle des sidérophores

Competition

Préventif

Effet dose

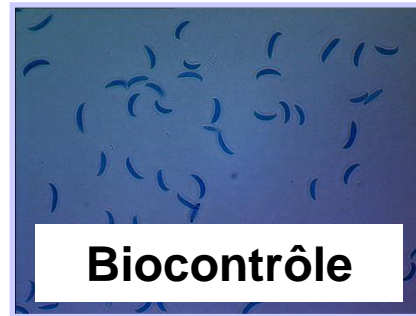
Pseudomonas, Burkholderia, Bacillus, Aureobasidium pullulans, Trichoderma, Gliocladium catenulatum, Fusarium sp...



Comment le **démontrer**?

Modes d'action des agents de protection biologique

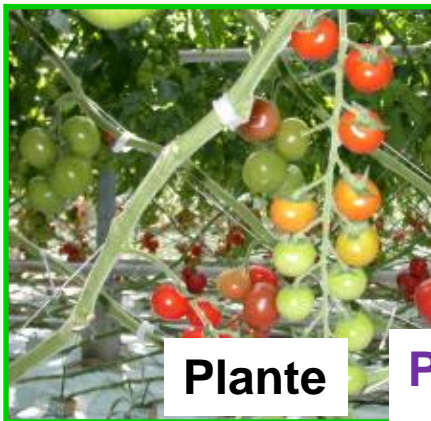
- Inhibition de l'**attachement** des spores sur la plante (**biosurfactants**)



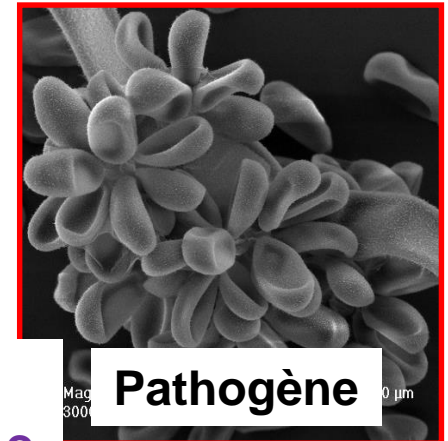
Bacillus, Pseudomonas, Trichoderma harzianum...

- Interférence avec des **enzymes hydrolytiques** (synthèse protéases)
- Blocage de l'action d'autres **facteurs de pathogénicité** (acide oxalique)

- Modification des propriétés de surface des plantes
- Diminution de l'agressivité de l'agent pathogène



Interférence avec la pathogénèse

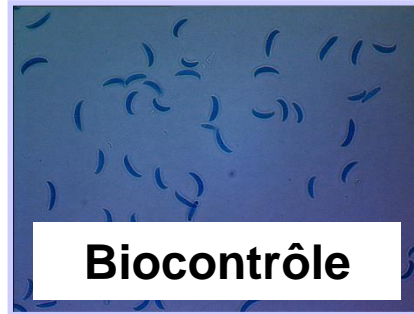


Préventif ou curatif ?

Composés à autres effets biologiques ?

Modes d'action des agents de protection biologique

- Reconnaissance de MAMP (Microbe-Associated Molecular Pattern)
- Induction directe et/ou potentialisation



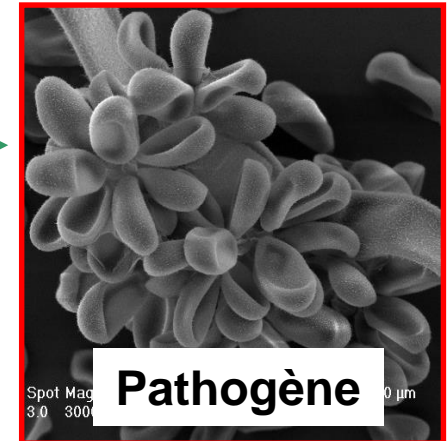
Bacillus, Pseudomonas, Serratia, Trichoderma...

Induction de résistance

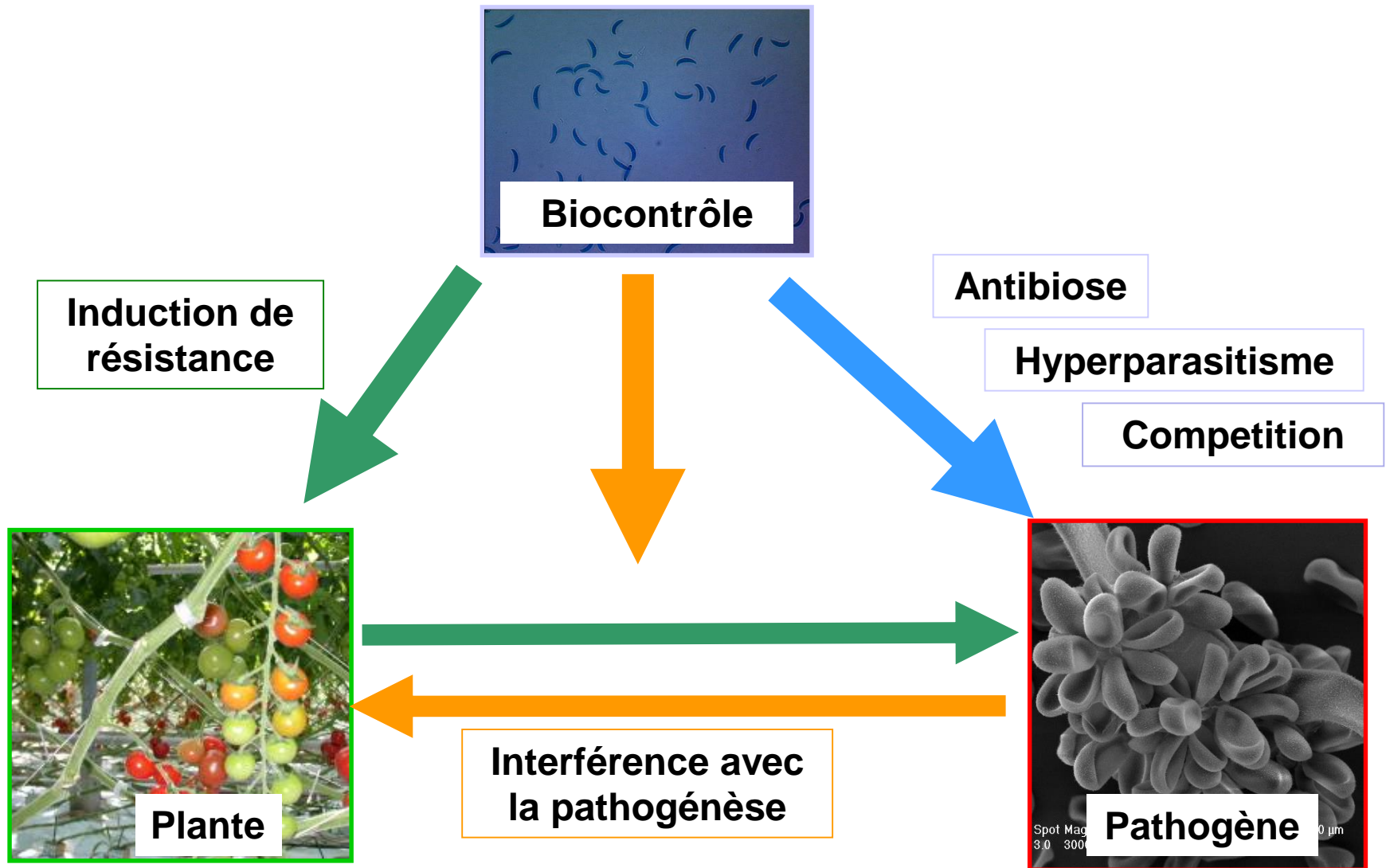
- Induction de la synthèse de molécules de défense (phytoalexines, protéines PR...)
- Résistance locale/systemique



Cellules **mortes / vivantes?**
Rôle de métabolites secondaires?
Locale/systemique?
Inducteur/Potentialisateur?
Spécificité? Effet variétale?...



Modes d'action des agents de protection biologique



Combinaisons possibles de modes d'action

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

- Bonnes efficacités en conditions contrôlées
- Efficacité plus problématique au champ
(Guetsky et al, 2001; Mark et al, 2006; Shtienberg & Elad, 1997)

➔ Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique?



Nicot et al, 2011

http://www.iobc-wprs.org/pub/biological_control_against_diseases_and_pests_2011.pdf



INRA
SCIENCE & IMPACT

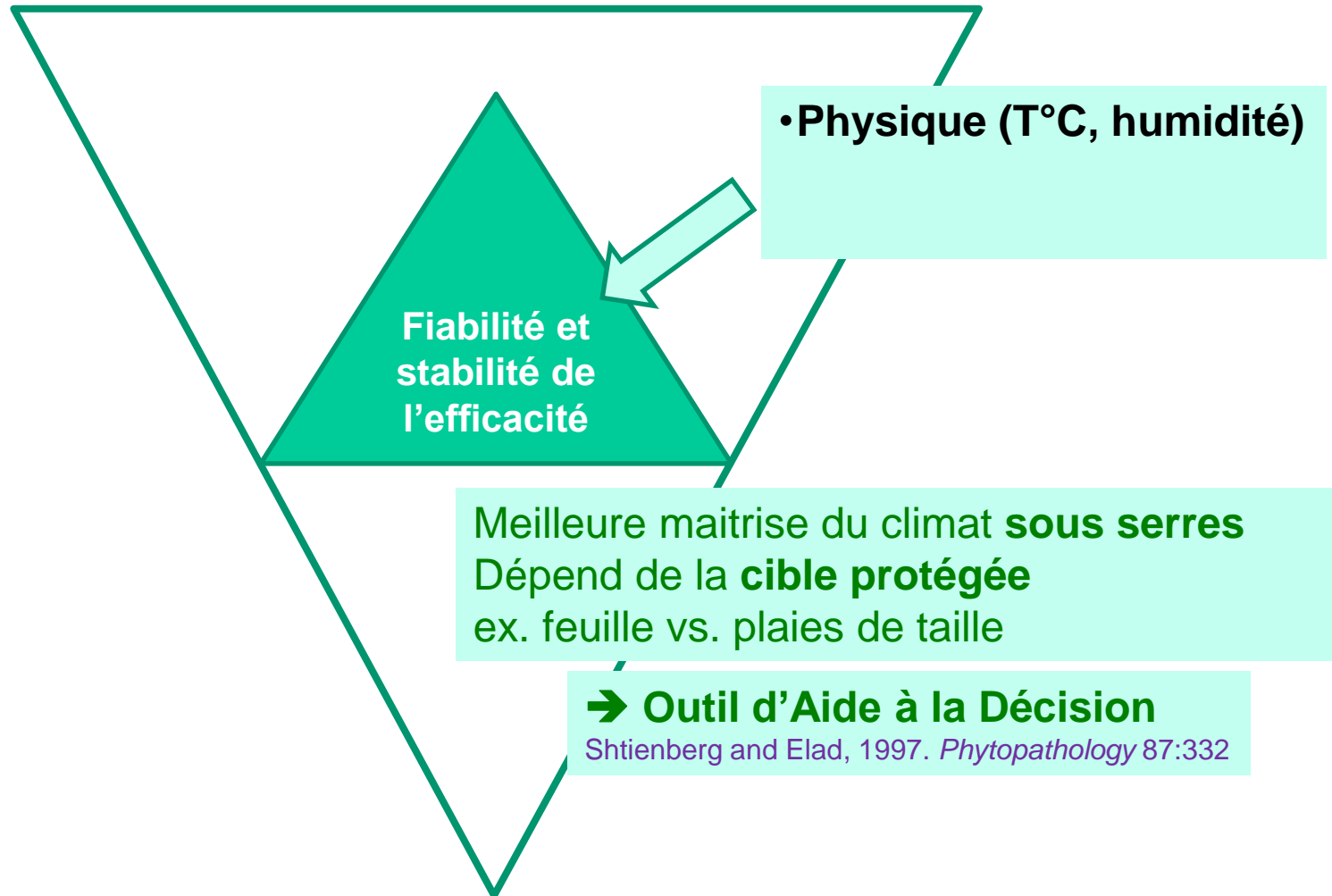
11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes – Tours 9/12/15



Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent
pathogène

Environnement

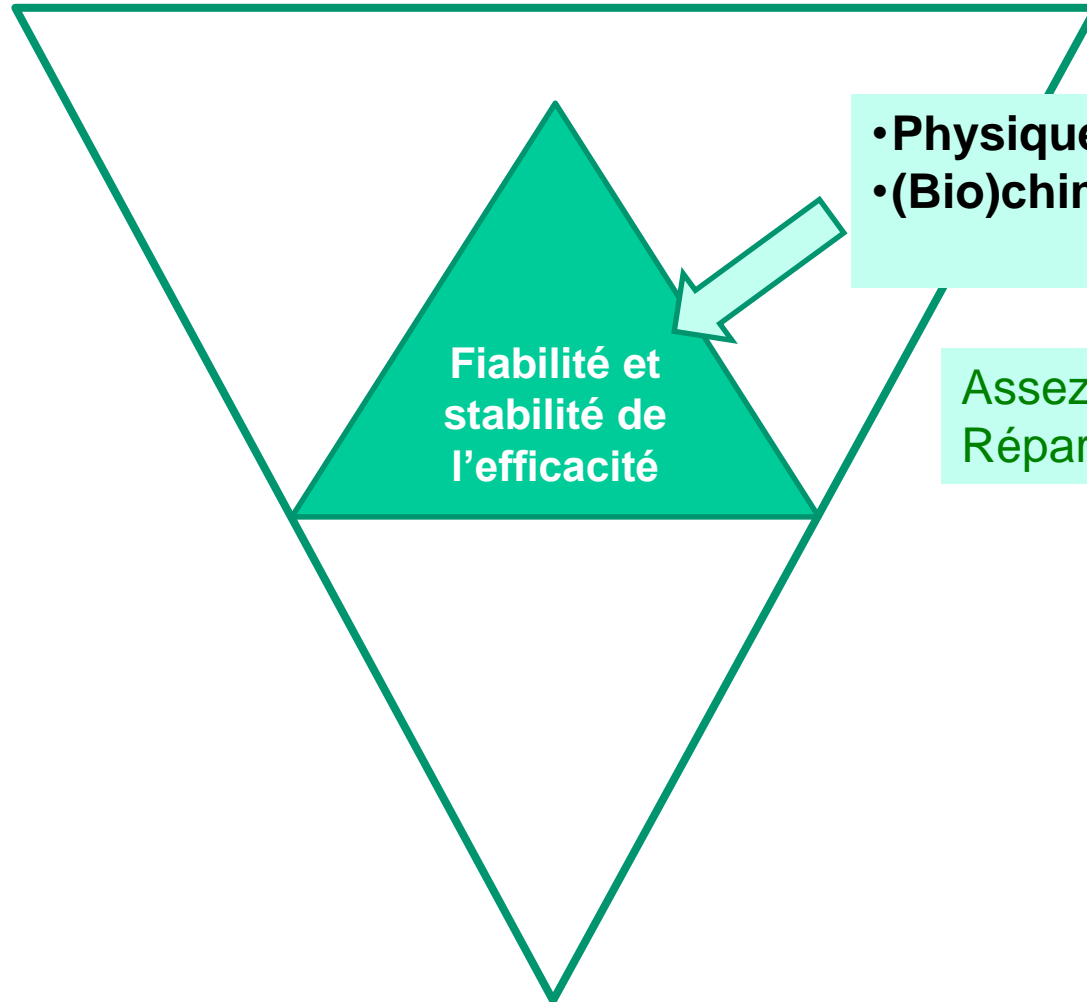


Agent de biocontrôle

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent
pathogène

Environnement



- Physique (T°C, humidité)
- (Bio)chimique (nutriments)

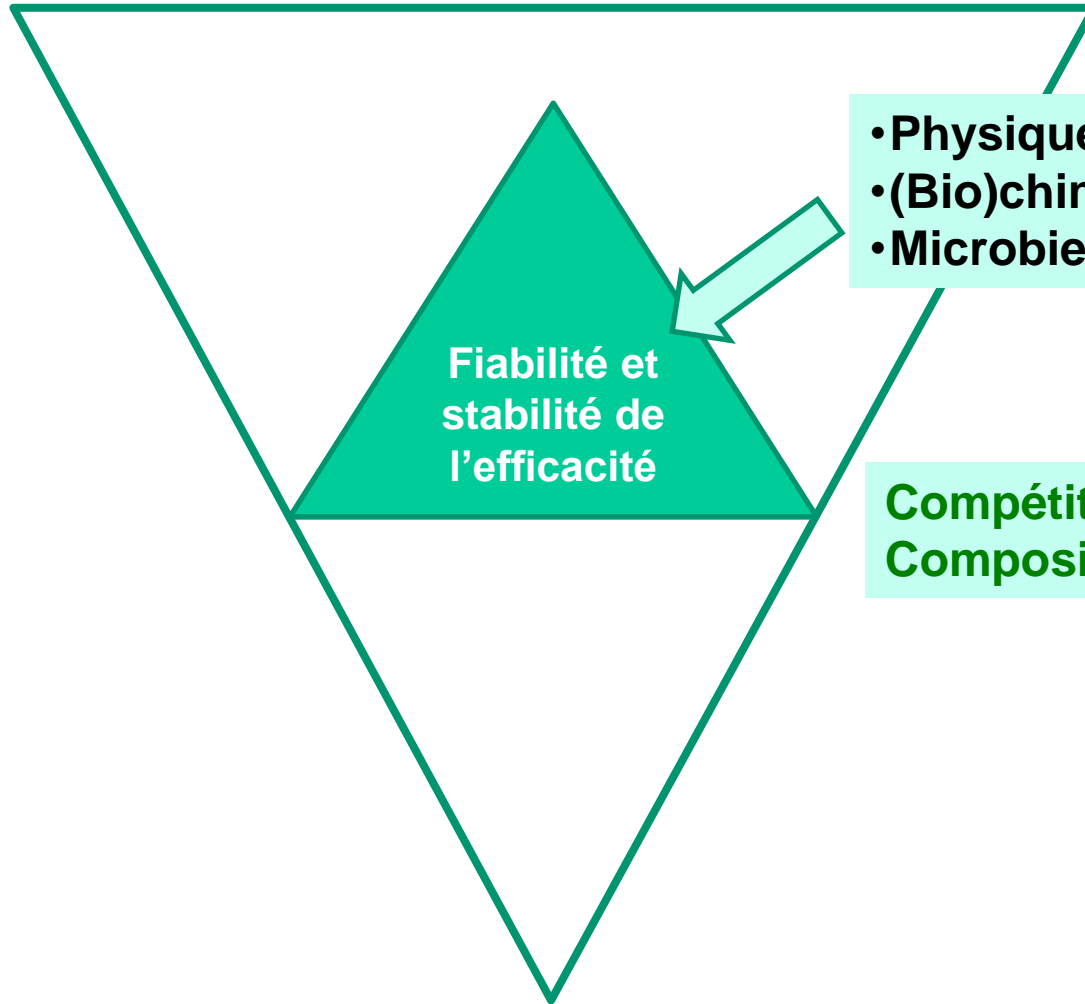
Assez mal connu
Répartition **hétérogène**

Agent de biocontrôle

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

**Agent
pathogène**

Environnement



- Physique (T°C, humidité)
- (Bio)chimique (nutriments)
- Microbien

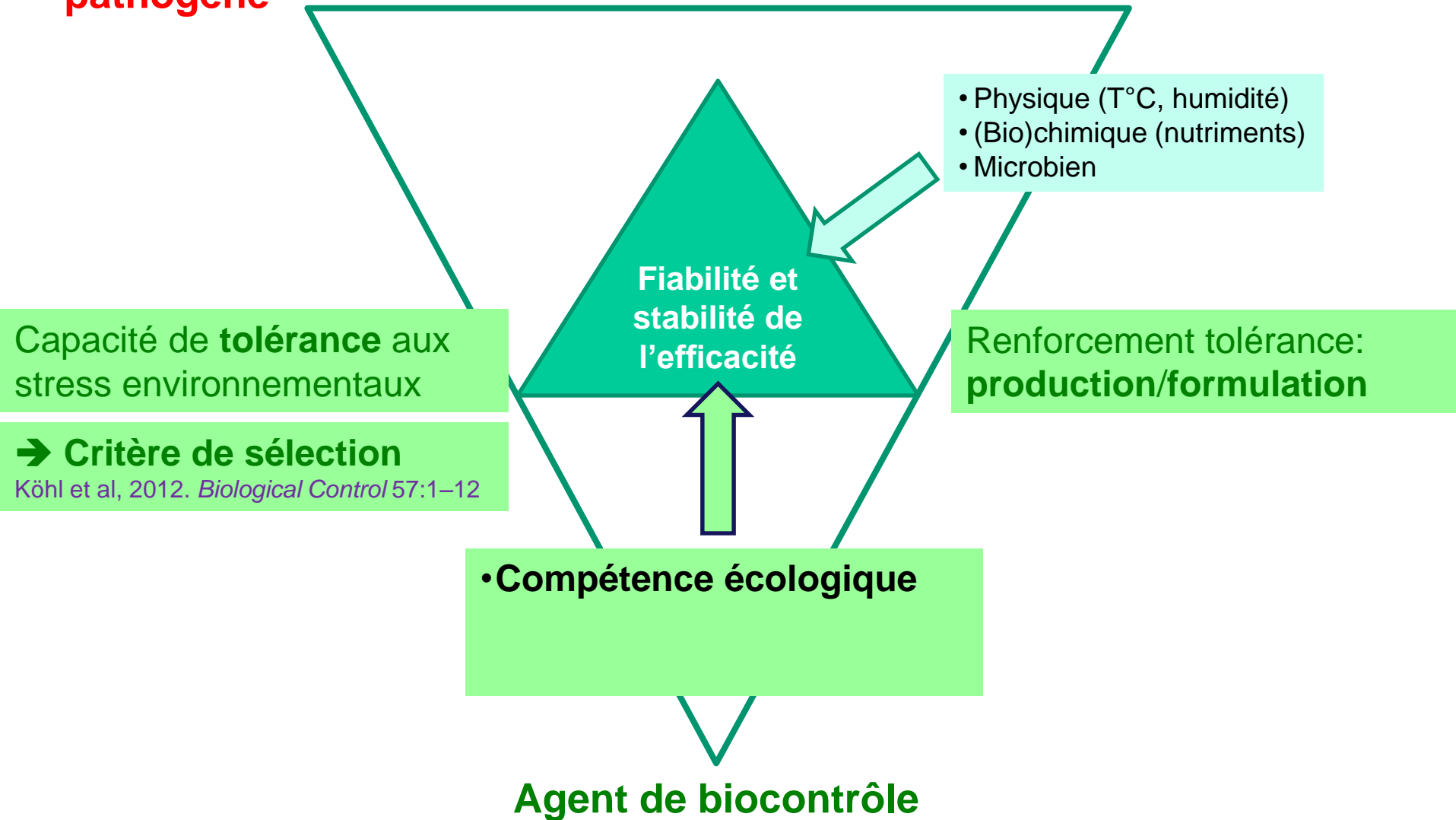
**Compétition
Composition? Répartition?**

Agent de biocontrôle

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent pathogène

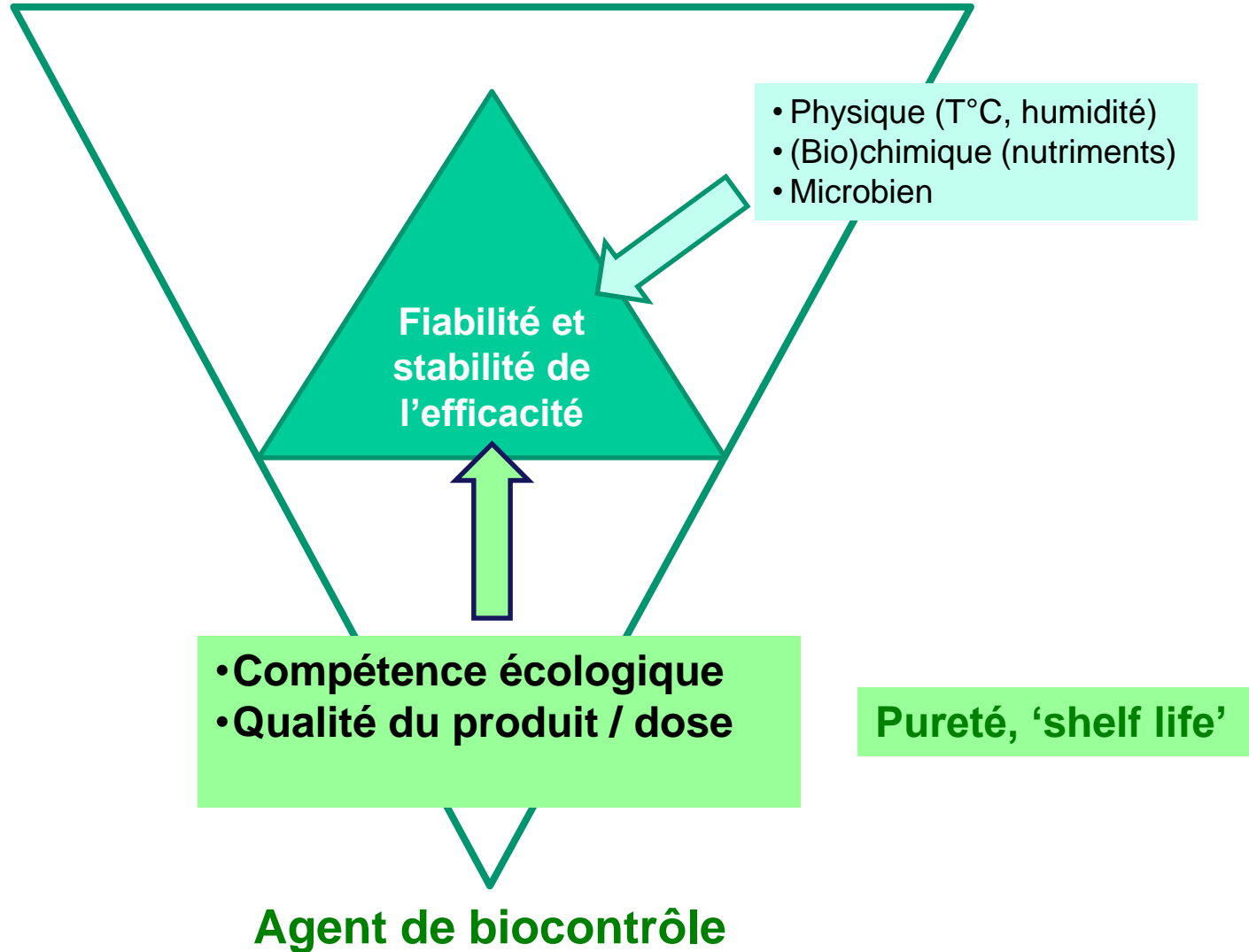
Environnement



Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent pathogène

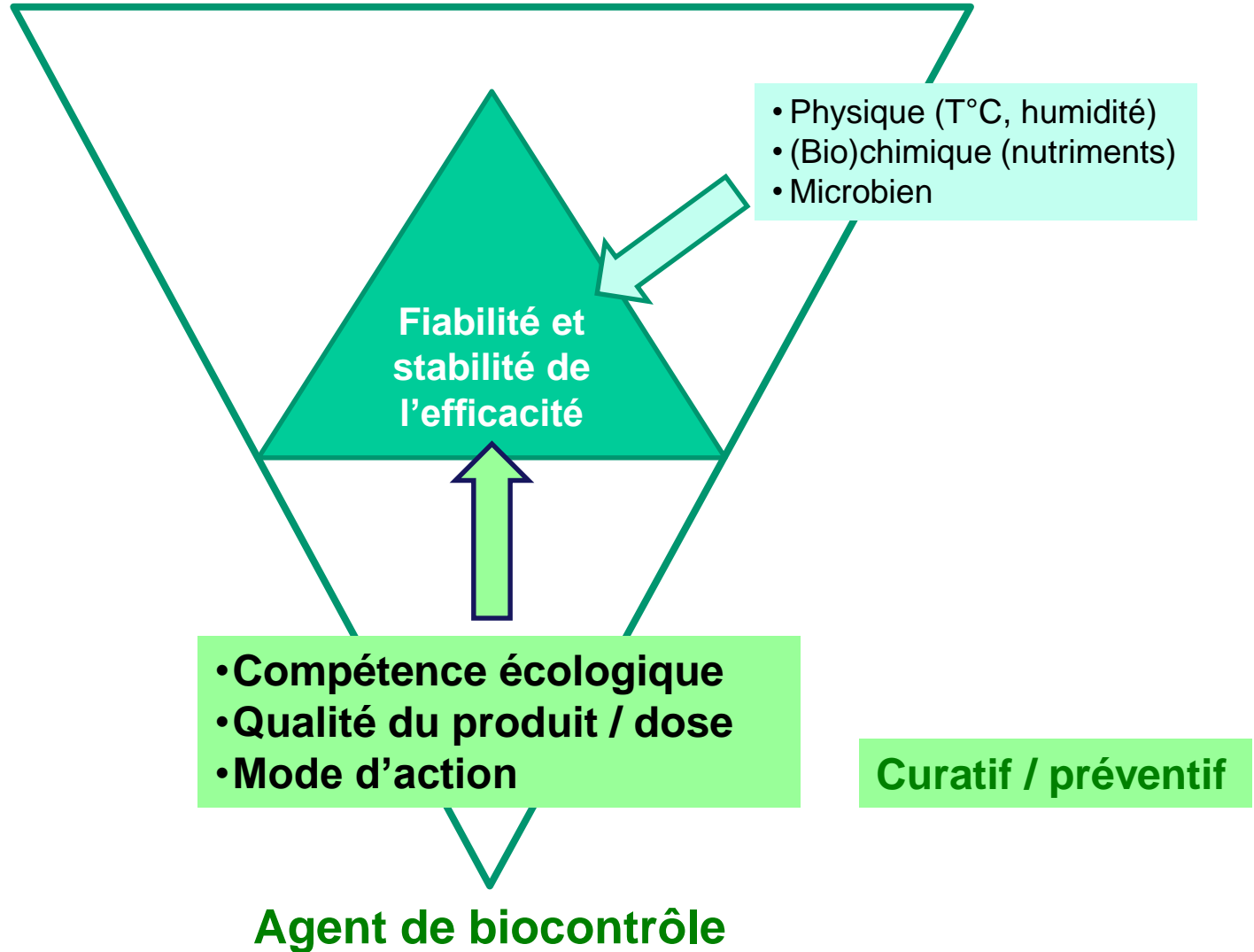
Environnement



Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

**Agent
pathogène**

Environnement



Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent pathogène

Environnement

• Pratiques culturales

- Physique (T°C, humidité)
- (Bio)chimique (nutriments)
- Microbien

Autres traitements: **compatibilité Cultivar**

Tucci et al, 2011 *Mol. Plant Pathol.* 12:341

Fertilisation

Abro et al, 2014 *Agron Sustain Dev.* 34:641

Fiabilité et stabilité de l'efficacité

- Compétence écologique
- Qualité du produit/ Dose
- Mode d'action

Agent de biocontrôle

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent pathogène

Environnement

- Pratiques culturales
- Type de maladie

- Physique (T°C, humidité)
- (Bio)chimique (nutriments)
- Microbien

- Monocyclique/polycyclique
- Pression d'inoculum

Fiabilité et stabilité de l'efficacité

- Compétence écologique
- Qualité du produit/ Dose
- Mode d'action

Agent de biocontrôle



Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Agent pathogène

Environnement

- Pratiques culturales
- Type de maladie
- Niveau de sensibilité

- Physique (T°C, humidité)
- (Bio)chimique (nutriments)
- Microbien

Fiabilité et stabilité de l'efficacité

- Diversité de sensibilité des populations
- Capacité d'adaptation
- durabilité de l'efficacité de protection

- Compétence écologique
- Qualité du produit/ Dose
- Mode d'action

Agent de biocontrôle

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Durabilité de la protection biologique

Perte d'efficacité de la protection biologique en pratique contre les **insectes**

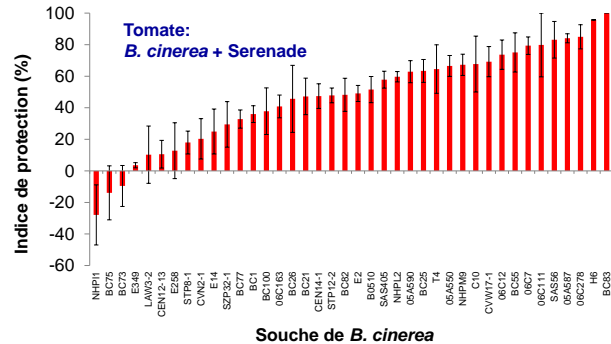
- Insectes lépidoptères / *Bacillus thuringiensis*
(Tabashnik, 1994)
- *Cydia pomonella* / Virus de granulose CpGV
(Sauphanor et al, 2006; Asser-Kaiser et al, 2007)

Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Durabilité de la protection biologique

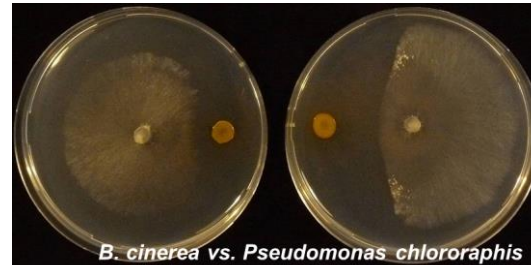
Pas d'exemple de perte d'efficacité en pratique contre les **maladies** , mais...

diversité de sensibilité d'agents pathogènes à des agents de protection biologique



Bardin et al 2013. *IOBC Bulletin*

contournement de l'effet d'un agent de protection biologique



Ajouz et al 2010. *Plant Pathology*

mécanismes de résistance

```
-----KKHQANEAFQKALREIGEVTVAVRGDLSKRVQIHSVEMDFEITTFKRINTMMDLQIIFSSEVSRVAREVGTGILGGQAKISGVDGT  
WKELTDNVNVNAQN-LTDQVREIASVTTAVAGDLTQKIER---PACGELTQLQQTINTMVDQLRTFAAEVTRVARVGTGILGGQAKISGVDGT  
WNLLIVNVNAMANN-LTTQVRDIAIVTFAVAGDLTQKIVQ---ARCEGELTQLKETINSYDQLQFQFAREVTKIAREVGTGILGGQAKISGVDGT  
WRDLTENVNGMANN-LTTQVREIAKVTAVRGDLT-KIEV---EVQGEIASLKDPTINTMVDRLSTFAFVSKVAREVGTGILGGQAKISGVDGT  
WEDLTENVNTMANN-LTTQVRGISTVQAANGDMSQRIEV---AAAGELILIKETINTMVDRLSIFSNVQVAKDVGVDGDMGGQADVAGIGR  
WKEITDVTMANN-LTTQVRAPGDTNAATDGDFTKLTIV---EASGDELKRRKINQMVNLDL-SIQRTLAREAAE-----
```

Fillinger et al 2012. *PLoS One*

Sujet encore peu exploré au niveau international



Bardin et al, 2015. *Frontiers in Plant Science*, 6, 566.



11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes – Tours 9/12/15



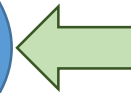
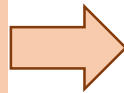
Facteurs d'efficacité des agents de protection biologique

Durabilité de la protection biologique

Facteurs de risques ?

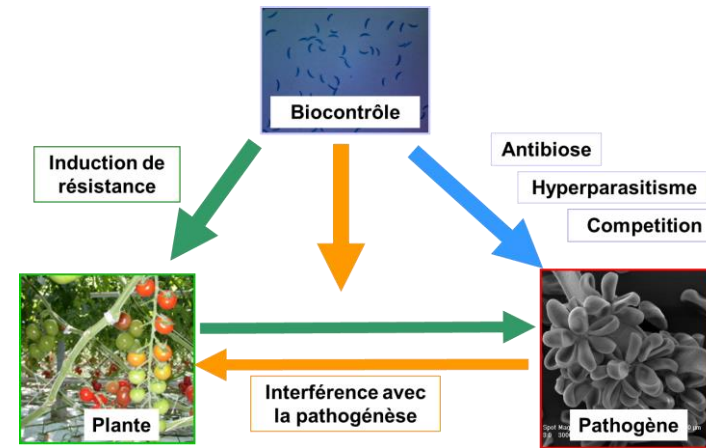
Agent pathogène

- Diversité des populations
- Capacité d'évolution



Agent de biocontrôle

- Pression de sélection exercée: fréquence, dose...
- Mode d'action



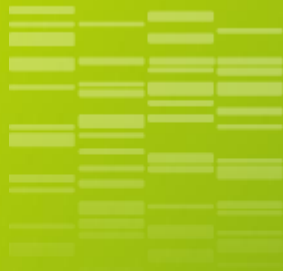
Quelques perspectives concernant la protection biologique

→ besoin critique de nouveaux produits

- très peu de produits actuellement homologués
- longue procédure => frein pour le développement

→ 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
- définir des **stratégies de sélection** à haut débit
- prendre en compte la **compétence écologique** des microorganismes et la **durabilité** de leur efficacité
- Intégrer les microorganismes dans des itinéraires techniques complexes: **protection intégrée → OAD**



Merci

