



Association
des Anciens de
Châtelaïne et Lullier

François Lefort

Dernières méthodes de lutte biologique à l'aide des micro-organismes

Formation continue
Conférences 2026
Mercredi 4 février 2026, Lullier

L'avenir est à créer

Hes·SO // GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Groupe
Plantes et pathogènes
Institut Terre Nature Environnement


h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Conclusion

- Les raisons de choisir la lutte microbiologique:

- ↳ **pratiques**

- ▶ Efficacité molécules chimiques ↓
- ▶ Nombreuses Matières Actives => 
- ▶ Peu de nouvelles molécules disponibles
- ▶ Apparition de phénomènes de résistance

- ↳ **économiques**

- ▶ Coûts importants des pesticides chimiques
- ▶ Délais de récolte et récolte parfois non commercialisable

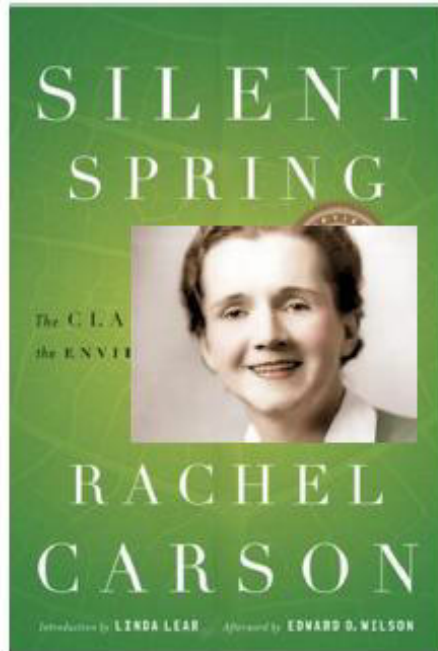
- ↳ **écologiques, environnementales**

- ▶ Pollutions diverses
- ▶ Spectre d'action large
- ▶ Nuisibilité envers faune non pathogène
- ▶ Graves problèmes (abeilles...)

- ↳ **de santé**

- ▶ Résidus pesticides dans l'alimentation et l'environnement (toxicité aiguë, toxicité chronique, perturbation du système endocrinien)
- ▶ Santé au travail => nombreuses pathologies chez agriculteurs

1962



2019



Farming without plant protection products

Can we grow without using herbicides, fungicides and insecticides?



2022

Viewing SPAAK 05B001 DGLINC's screen



IN-DEPTH ANALYSIS

Panel for the Future of Science and Technology

EPRS | European Parliamentary Research Service

Light Unit (STOA)
- March 2019

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾ Subscribe

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | Published: 28 January 2026

Pesticide residues alter taxonomic and functional biodiversity in soils

[J. Köninger](#), [M. Labouyrie](#), [C. Ballabio](#), [O. Dulya](#), [V. Mikryukov](#), [F. Romero](#), [A. Franco](#), [M. Bahram](#), [P. Panagos](#),

[A. Jones](#), [L. Tedersoos](#), [A. Orgiazzi](#) & [M. J. I. Briones](#) & [M. G. A. van der Heijden](#)

EN

Le Monde

Environnement | COP28 | Bombes au carbone | Adaptation | Les pulsations de la Terre | PFAS

ENVIRONNEMENT

Les coûts cachés des pesticides pourraient s'élever à 8 milliards d'€ par an pour la France

Une équipe de chercheurs a estimé le montant dépensé pour faire face aux impacts nocifs de l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture sur la santé et l'environnement.

Par Stéphane Foucart

Publié le 24 novembre 2022 à 23h10 (Paris), mis à jour le 25 novembre 2022, à 8h21 - 3 min lire - [Lire en français](#)

Pesticide residues alter taxonomic and functional biodiversity in soils

J. Köninger, M. Labouyrie, C. Ballabio, O. Dulya, V. Mikryukov, F. Romero, A. Franco, M. Bahram, P. Panagos,

A. Jones, L. Tedersoo, A. Orgiazzi [✉](#), M. J. I. Briones [✉](#) & M. G. A. van der Heijden [✉](#)

On s'en doutait un peu depuis le temps

Analyse de 373 sites répartis dans 26 pays européens (champs cultivés, prairies, forêts)
Résidus de pesticides dans 70% des sols étudiés.
Au total, 63 pesticides différents ont été retrouvés, dont 10 pourtant interdits depuis 2018.

Les pesticides constituent le deuxième facteur le plus déterminant de la biodiversité souterraine, juste après les propriétés physiques du sol lui-même.

Plus que le climat. Plus que le type de végétation.

Les pesticides décident qui vit ou ne vit plus dans le sol.

Les microorganismes perdants ?

Les champignons mycorhiziens, les nématodes bactéricivores

Les microorganismes gagnants?

Les microorganismes pathogènes des plantes Ex: Le glyphosate est associé à une augmentation des champignons pathogènes des végétaux.

Conclusion: les procédures actuelles d'évaluation des risques, basées sur quelques espèces tests en laboratoire, ne reflètent pas la complexité du monde souterrain.

Il est temps de prendre en compte l'écosystème du sol dans sa globalité.

L'utilisation des pesticides en Europe

Quantité utilisée par État membre (en kg/ha) en 2023



Source: [FAO \(2025\)](#) •

Moyenne UE : 2,67 kg/ha (contre 3,11 en 2013)

Moyenne CH: 4,5 kg/ha - 4,9 kg/ha . En comparaison, Espagne (3,19 kg/ha), Allemagne (3,41 kg/ha) France (3,65 kg/ha) se situent tout de même au-dessus de la moyenne européenne (2,67 kg/ha). Très au-dessous :Italie (4,17 kg/ha) Belgique (5,42 kg/ha), Pays-Bas (11,49kg/ha).

Viticulture et arboriculture fruitière jusqu'à 60-80 kg/ha.

Crop protection compounds – trends and perspective

Thomas C Sparks^{a*} and Robert J Bryant^b

Crop protection compounds

www.soci.org

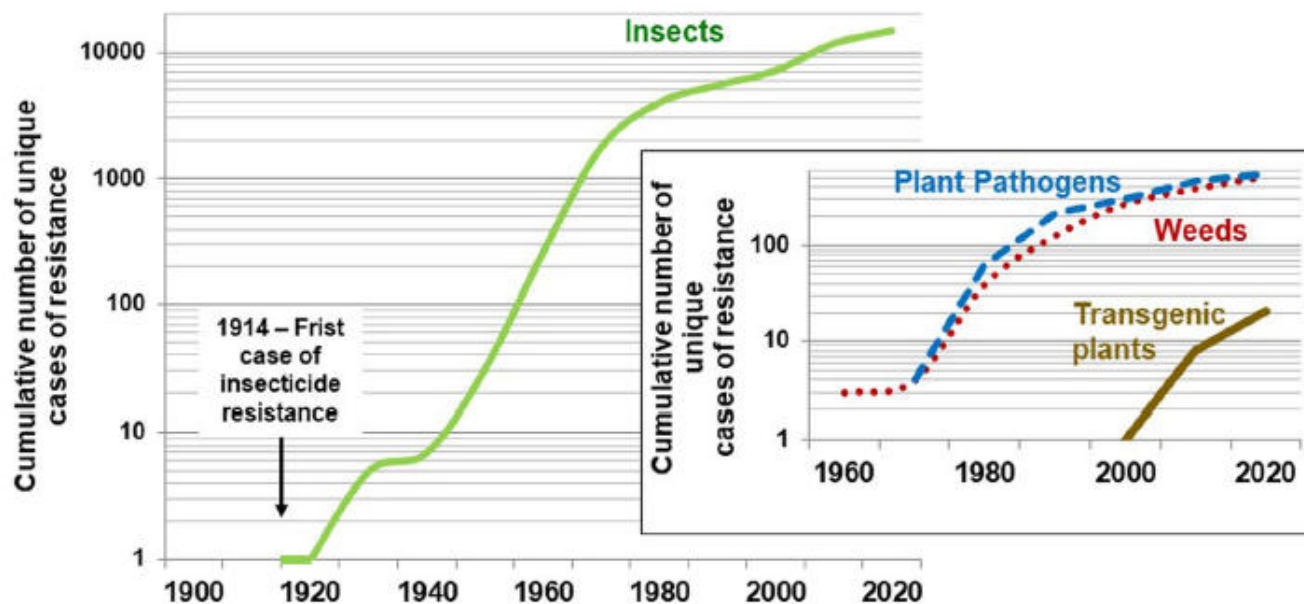


Figure 1. Cumulative number of unique cases of resistance in insects, plant pathogens, weeds and transgenic plants. First case of resistance Melander 1914.⁷⁶ Data derived, in part from.^{8,18,71,77–79}

The Future is BioControl

Matt Pickard

ABIM October 2024

1 |



Matt Pickard “head of biologicals & seedscare europe”.

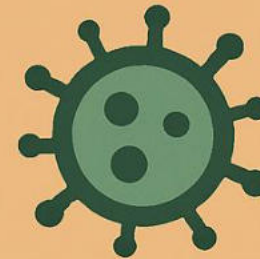


C'est quoi le biocontrôle?

LES 4 FAMILLES DU BIOCONTRÔLE



MACRO-ORGANISMES



MICRO-ORGANISMES



**MÉDIATEURS
CHIMIQUES**



**SUBSTANCES
NATURELLES**



C'est quoi le biocontrôle?

- **Les macro-organismes**

Ce sont des organismes vivants utilisés pour lutter contre les ravageurs : insectes auxiliaires, acariens, nématodes

Ils sont principalement utilisés en lutte biologique augmentée (ex. : coccinelles contre les pucerons).

- **Les micro-organismes (les microbes)**

Ils agissent comme agents pathogènes spécifiques des ravageurs ou des maladies.

- **Les médiateurs chimiques**

Ce sont essentiellement les phéromones utilisées pour : le piégeage, la confusion sexuelle, le monitoring des populations

Ils permettent de perturber la reproduction ou de suivre l'évolution des ravageurs.

- **Les substances naturelles**

Substances d'origine : végétale (ex. huiles essentielles, extraits végétaux), animale, minérale (ex. kaolinite, soufre). Propriétés répulsives, stimulantes ou protectrices.



Les microorganismes

Les microorganismes comprennent tout ce qui est $<$ à $100 \mu\text{m}$:

Champignons (5-10 μm).

Bactéries et Archébactéries (0,2- 50 μm).

Virus (0.03 -4 μm)

Oomycètes

Algues unicellulaires (2- 200 μm).

Protozoaires (1-200 μm).

Plasmophoromycètes



C'est combien les microorganismes?

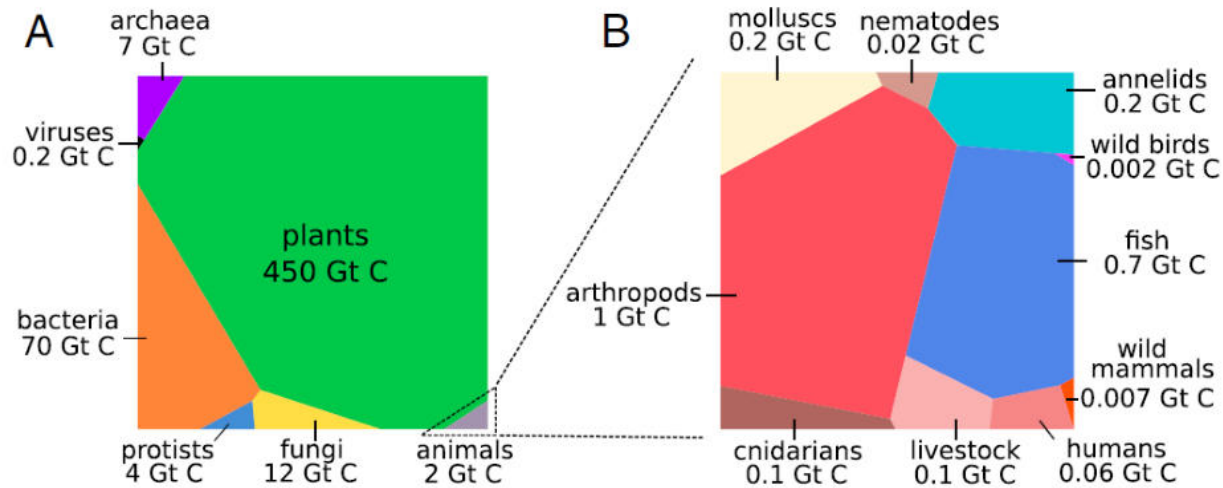


Fig. 1. Graphical representation of the global biomass distribution by taxa. (A) Absolute biomasses of different taxa are represented using a Voronoi diagram, with the area of each cell being proportional to that taxa global biomass (the specific shape of each polygon carries no meaning). This type of visualization is similar to pie charts but has a much higher dynamic range (a comparison is shown in *SI Appendix, Fig. S4*). Values are based on the estimates

The biomass distribution on Earth

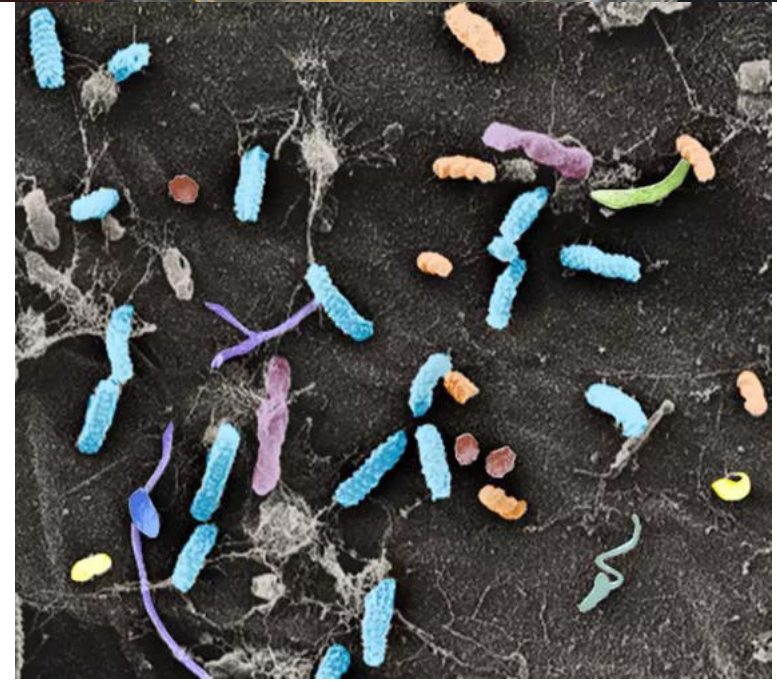
Yinon M. Bar-On^a, Rob Phillips^{b,c}, and Ron Milo^{a,1}



Où sont-ils ces microorganismes?

Les microorganismes peuvent vivre autour, sur les plantes ou dans les plantes.
Leur diversité forme les microbiotes externes et internes

- On trouve bactéries et champignons
 - Sur les surfaces externes aériennes de la plante (tige, feuille, racine, fruit, fleur, etc.)
 - Sur les racines et dans la partie rhizosphérique du sol.
 - Dans les tissus internes de la plante (tige, feuille, racine, fruit, fleur, etc.)
- Les microbiotes peuvent être modifiés par l'adjonction de bactéries et de champignons
- **Les microbiotes endophytes peuvent être transmissibles par propagation végétative ou par semences**





La lutte microbiologique?

✓ Agents de lutte microbiologique

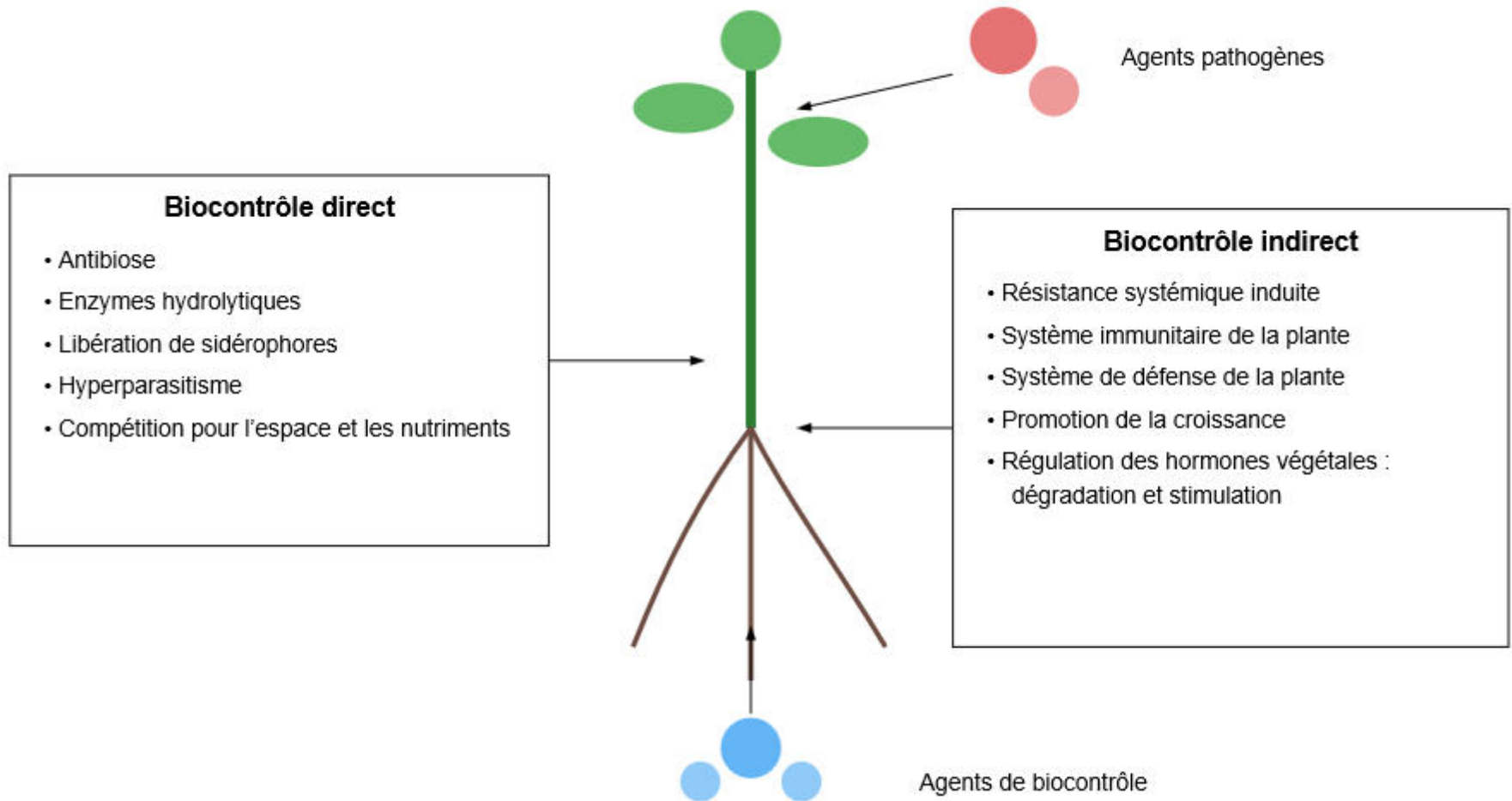
- Un champignon
- Une bactérie
- Un oomycète
- Un virus (pathogène)
- Un virus (prémunisation)
- Une amibe(*Willaertia magna*)



➤ Cibles

- Insectes
- Bactéries
- Champignons
- Oomycètes
- Plantes adventices
- Plantes envahissantes
- Plantes parasites
- Nématodes
- Virus

Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

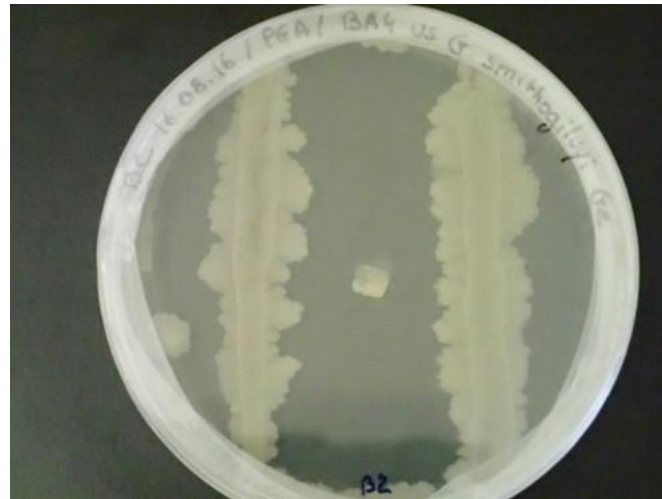




Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

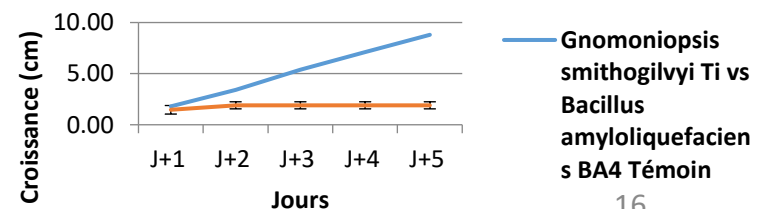
1. Antibiose – inhibition d'un organisme par un autre résultant de la diffusion d'un antibiotique

- La production d'antibiotiques est commune chez les bactéries et champignons du sol



Essai de confrontation *Bacillus amyloliquefaciens* BA 4 contre *Gnomoniopsis smithogilyi* Ti

- *B. amyloliquefaciens* BA4 contre *Gnomoniopsis smithogilyi*

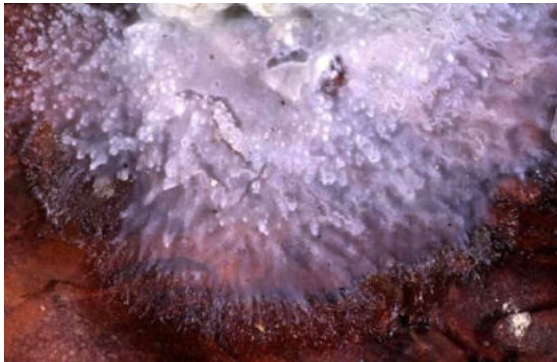




Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

2. Compétition nutritive – compétition entre microorganismes pour le carbone, l'azote, l'oxygène, le fer et autres nutriments

- La façon la plus commune utilisée par certains organismes pour limiter celle des autres
- Exemple
 - *Phlebiopsis gigantea* contre *Heterobasidion (Phomes) annosum* en sylviculture

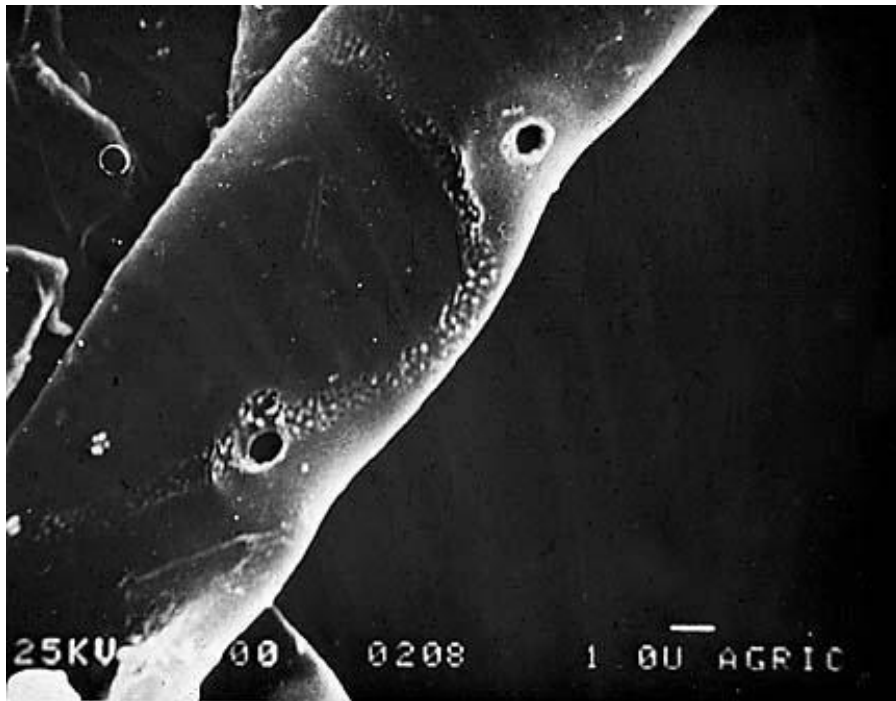




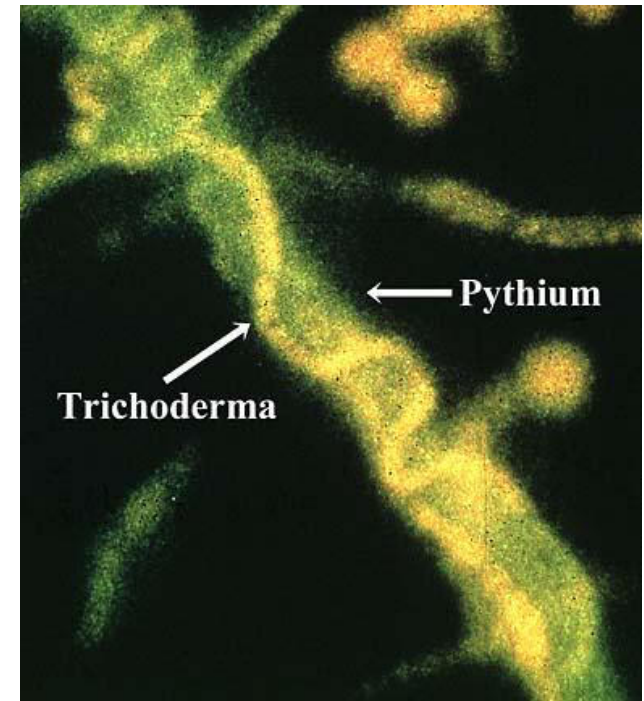
Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

3. Mycoparasitisme destructif – le parasitisme d'un champignon par un autre

- Contact direct
- Enzymes de dégradation des parois (chitinase, etc)
- Antibiotiques
- Exemple : *Trichoderma harzianum*



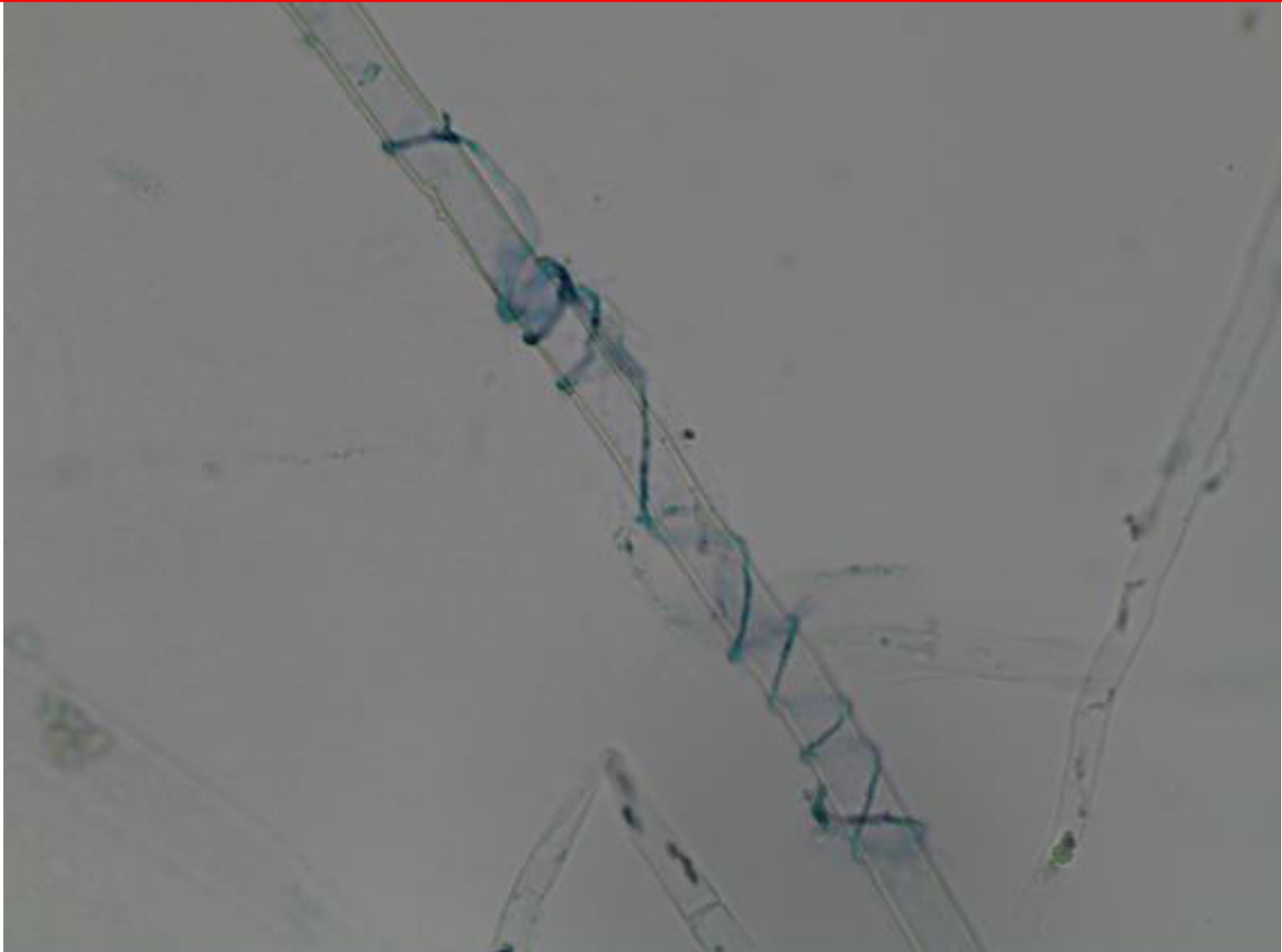
(Ilan Chet, Hebrew University of Jerusalem).



(Hubbard et al., 1983. Phytopathology 73:653-659)



Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle



Trichoderma harzianum enroulé autour de *Pythium* sp. (Y. Fleury. 2012. Travail de bachelor)¹⁹



Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

Exemple de mycoparasitisme sur nématodes

- Pénétration des parois de l'hôte par des haustoria et sécrétion d'enzymes lytiques: chitinases, protéases, glucanases

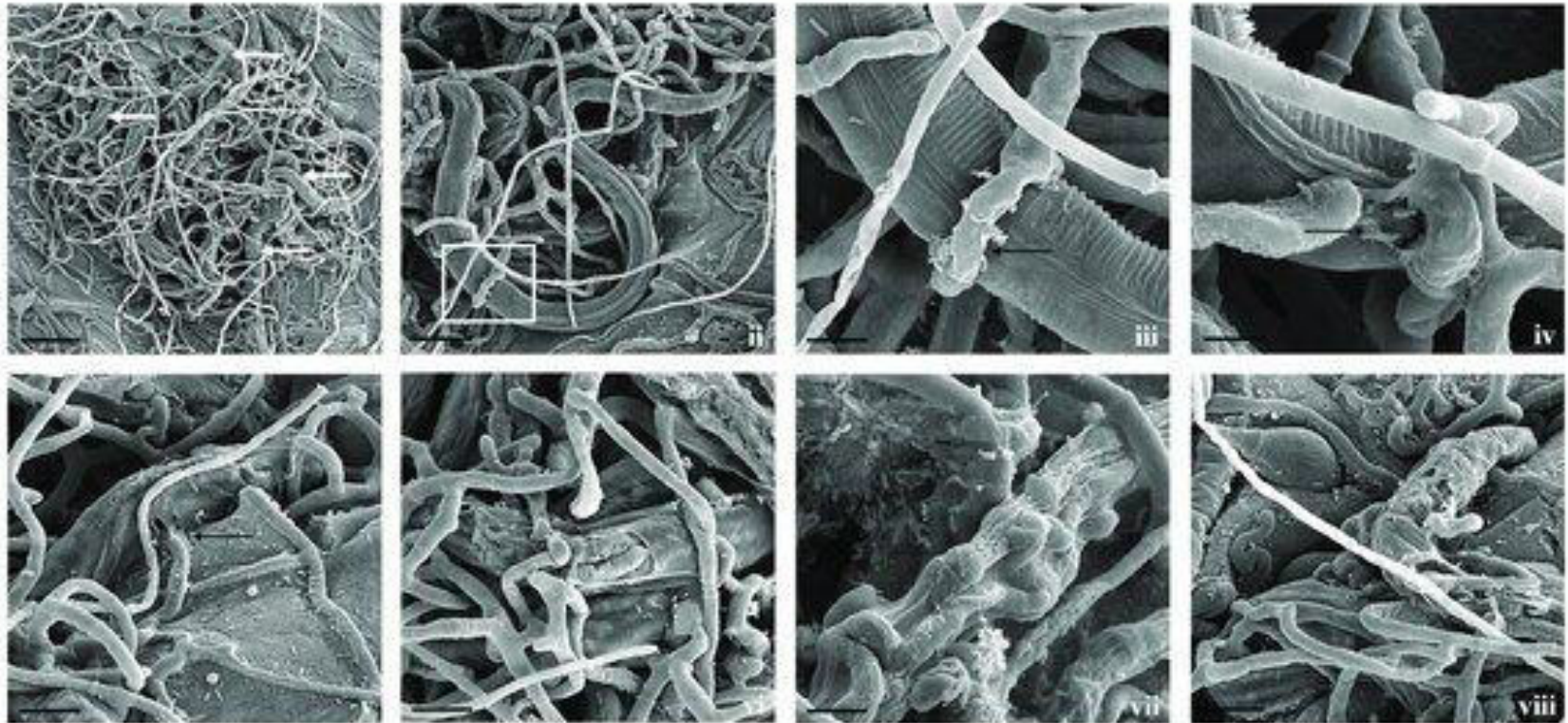


Trichoderma longibranchiatum sur *Scutellonema*



Mécanismes d'action des microorganismes de biocontrôle

Exemple de parasitisme sur nématodes





4. Induction de résistance systémique chez la plante

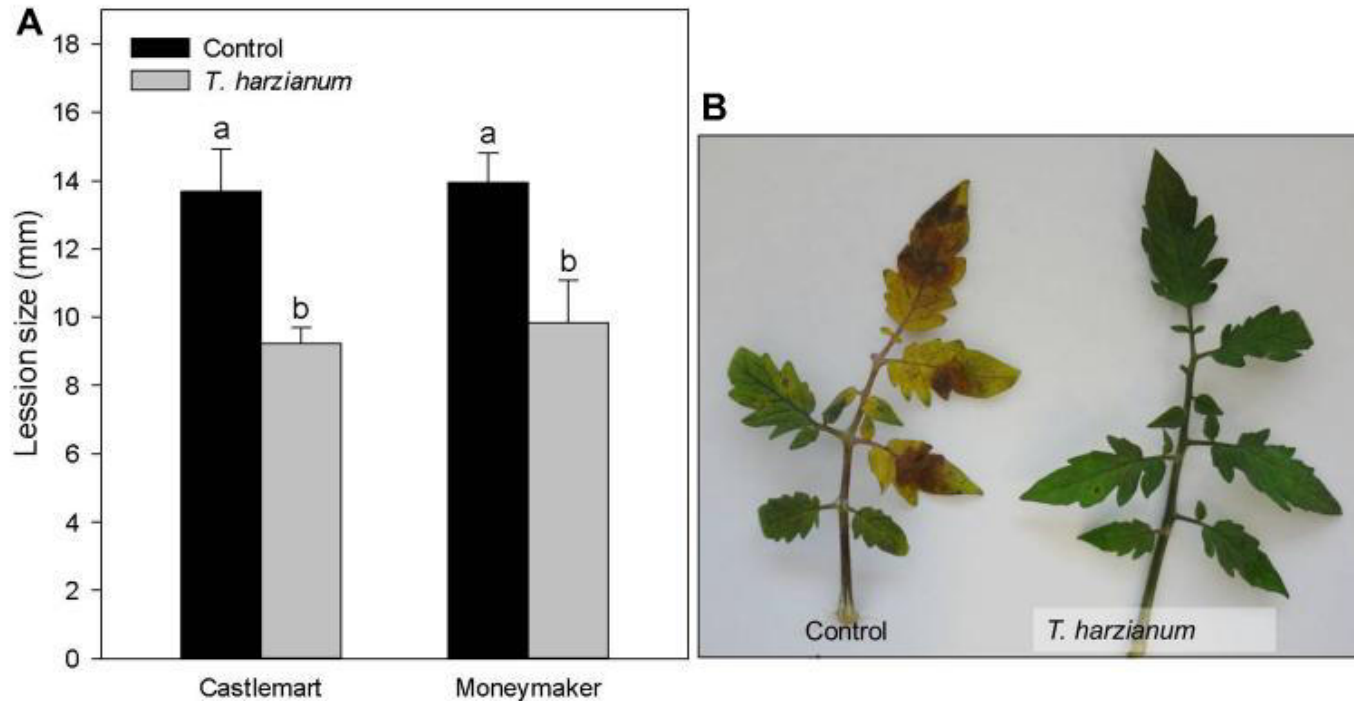


FIGURE 1 | *Trichoderma harzianum* induces systemic protection against the pathogen *Botrytis cinerea* in tomato plants. (A) Leaves of 5 weeks-old tomato plants (cv. Castlemart and Moneymaker) grown in soil containing or not *T. harzianum* were challenged with a conidial suspension of *B. cinerea*. Lesion diameter was determined 96 h after pathogen

inoculation. The data show the lesion diameter (mm) \pm SE (n = 12). Data not sharing a letter in common differ significantly ($P < 0.05$) according to Tukey's multiple-range test. **(B)** *B. cinerea* symptom development in *T. harzianum* inoculated and non-inoculated (control) plants (cv. Moneymaker).



Comment optimiser la lutte microbiologique

- Limites de la lutte microbiologique
- Les résultats ne sont pas toujours répétables
- Les solutions pour résoudre ce problème
 - Combiner plusieurs souches d'un micro-organisme antagoniste
 - Combiner plusieurs espèces de micro-organismes antagonistes ayant des modes d'action différents
 - Choisir le bon mode d'application
 - Répéter le nombre d'applications
 - Traiter dans les bonnes conditions: temps couvert, humidité élevée



Fongibacter contient *Bacillus methylotrophicus* et *Trichoderma harzianum*, des microorganismes biostimulants.



Comment optimiser la lutte microbiologique

Microbial treatment	Suppression <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	Suppression <i>Botrytis</i> <i>cinerea</i>	ISR against <i>Botrytis</i> <i>cinerea</i>
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> CECT 8238	o	o	+
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> CECT 8237	o	o	o
<i>Pseudomonas azotoformans</i>	o	+	o
<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	o	+	o
<i>Trichoderma harzianum</i> T22	+	+	o
<i>Trichoderma harzianum</i> ESALQ1306	+	o	o
<i>Rhizophagus irregularis</i>	nt	nt	+
SynCom1A	+	+	+
SynCom1B	+	+	+
SynCom2A	+	+	+
SynCom2B	+	+	o

“+” and “o” indicates statistically different effect from the control treatment and no effect, respectively, based on the Tukey honestly significant difference (HSD). “nt” indicates that the microbial treatment was not tested.





Bioinsecticides: les champignons entomophages

- Objectif: développer nos propres bioinsecticides
- Isolement de champignons entomophages entre Arve et Lac
- Essais contre différentes espèces de pucerons, thrips, varro
- Quelques essais plein champs



Bioinsecticides: les champignons entomophages

- 750 espèces de champignons entomophages parmi les 110'000 espèces de champignons décrites
- Infectent les insectes en passant au travers de leur cuticule sans qu'il y ait besoin qu'ils soient ingérés
- Un moyen de lutte biologique durable contre une large gamme d'insectes phytophages
- Environ 170 produits de bio contrôle ont été élaborés à partir de 12 espèces de champignons possédant les qualités requises
- Utilisation professionnelle encore marginale, car plus chers que les produits phytosanitaires et efficacité variable et soumise aux aléas climatiques
- Mais suscitent un intérêt grandissant en raison de la réduction des molécules de synthèse autorisées.



Bioinsecticides: les champignons entomophages

- Principaux genres d'intérêts :
 - Metarhizium
 - Beauveria
 - Nomuraea
 - Verticillium
 - Paecilomyces
 - Hirsutella
-
- Espèces les plus vendues et utilisées :
 - **Beauveria bassiana**
 - **Metarhizium anisopliae**
 - **Paecilomyces fumosoroseum**



Source : <http://www.cbs.knaw.nl>



Source : <http://www.csu.edu.au>





Bioinsecticides: les champignons entomophages

- Qu'est ce qui est disponible en Suisse par exemple?

Nom du produit	Fabricant	Souche	Insecte cible
Beupro	Andermatt Biocontrol	<i>Beauveria brongniartii</i>	Hanneton commun
Beauveria-Schweizer	Eric Schweizer	<i>Beauveria brongniartii</i>	Hanneton commun
Bio 1020	Intrachem Bio	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Otiorhynque
BioAct WG	Andermatt Biocontrol	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Nématode cécidogène des racines
Engerlingspilz	Andermatt Biocontrol	<i>Beauveria brongniartii</i>	Hanneton commun
GranMet GR	Zwahl Erika Beatrice	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Hanneton européen, hanneton de la Saint-Jean et hanneton horticole
Melocont GR	Zwahl Erika Beatrice	<i>Beauveria brongniartii</i>	Hanneton commun
Met52 granular	Omya	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Otiorhynque
Metapro	Andermatt Biocontrol	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Hanneton européen, hanneton de la Saint-Jean, hanneton horticole
Metarhizium Schweizer	Eric Schweizer	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Hanneton européen, hanneton de la Saint-Jean, hanneton horticole
Naturalis-L	Andermatt Biocontrol	<i>Beauveria bassiana</i>	Mouche de la cerise, mouche de l'olive, mouche blanche



Bioprospection de champignons entomophages entre Arve et Lac

- Piégeage de champignons sur larve de *Galeria melonella* la fausse teigne de la cire
- Prélèvement de sols en vergers bio, prairie et forêt
- 5 larves mises en barquettes de 200 g de terre de chaque échantillon de sol
- Mise à l'obscurité à température ambiante
- Contrôle de la mortalité des larves tous les 2-3 jours en moyenne
- Isolation des larves mortes
- Désinfection des larves à l'alcool et à l'eau de Javel (1%)
- Mise en culture des larves désinfectées en boîte de Petri sur papier filtre humide
- Isolement des champignons émergeant des larves
- Identification génétique



Espèces entomophages isolées	Nombre d'isolats par espèce
<i>Beauveria bassiana</i>	17
<i>Mucor hiemalis</i>	9
<i>Metharizium sp.</i>	7
<i>Fusarium solani</i>	3
<i>Paecilomyces sp.</i>	2
<i>Bionectria ochroleuca</i>	1
<i>Metacordyceps chlamydosporia</i>	1
Total	40



Essais de champignons entomophages contre pucerons

- **Pourquoi les pucerons?**

- Les pucerons sont parmi les principaux ravageurs des cultures (grandes cultures, cultures fruitières, maraîchères et ornementales).
- Affaiblissement de la plante par prélèvement de la sève élaborée
- Injection de salive toxique induisant malformations et boursouflures
- Apparition de fumagine sur les organes de la plante
- **Mais surtout: vecteurs de virus**
- Pouvoir de multiplication très important: parthénogénèse
- Nombreuses générations: 16 à 41 générations selon les espèces.
- En Europe une centaine d'espèces susceptibles de causer des dégâts relativement importants aux cultures.
- Réduction des molécules de synthèse autorisées
- Peu de traitements biologiques fiables sont actuellement disponibles pour lutter contre ces ravageurs.



Essais de champignons entomophages contre pucerons

- 3 espèces de pucerons de la famille des Aphididae
- Elevées en chambre climatique en microcosme
- *Acyrtosiphon pisum*, élevé sur féverole
- *Chaetosiphon fragaefolii*, sur fraisier
- *Myzus persicae*, sur chou chinois
- Plantes cultivées en chambres climatiques
- En conditions biologiques





Essais de champignons entomophages contre pucerons

- Essais des 40 souches de champignons
- Mortalité à 3 et 6 jours
- Sur disque de feuille de chou



No	espèce	N° UASWS	Milieu(x) de culture optimal
1.1	<i>Beauveria bassiana</i>		PGA
1.2	<i>Bionectria ochroleuca</i>		Pas de sporulation
2.1	<i>Beauveria bassiana</i>		PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
2.4	<i>Galactomyces candidum</i>		Pas de sporulation
2.6	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1407	PGA
3.2	<i>Alternaria alternata</i>	1409	Pas de sporulation
4.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1410	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
5.1	<i>Metacordiceps chlamydospora</i>	1411	Pas de sporulation
6.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1412	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
6.3	<i>Beauveria bassiana</i>	1414	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
7.2	<i>Beauveria bassiana</i>	1416	PGA
10.1	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1420	PGA
11.4	<i>Beauveria bassiana</i>	1427	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
11.5	<i>Trichoderma gamsii</i>	1428	Pas de sporulation
11.6	<i>Beauveria bassiana</i>	1429	PGA
12.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1431	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
13.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1432	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
14.1	<i>Beauveria sp.</i>	1434	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
14.2	<i>Beauveria bassiana</i>	1435	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
14.3	<i>Beauveria bassiana</i>	1436	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
23.3	<i>Beauveria bassiana</i>	1448	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
24.1	<i>Paecilomyces sp.</i>	1451	Sabouraud dilué
25.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1452	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
26.1	<i>Cunninghamella elegans</i>	1453	Pas de sporulation
28.1	<i>Beauveria bassiana</i>	1456	Sabouraud dilué
28.2	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	1457	Sabouraud dilué
28.3	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1458	PGA
28.4	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1459	PGA
32.1	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1461	PGA
33.1	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1462	PGA
33.4	<i>Beauveria bassiana</i>	1465	PGA, Sabouraud et Sabouraud dilué
33.5	<i>Fusarium oxysporum species complex</i>	1466	Pas de sporulation
34.1	<i>Fusarium oxysporum species complex</i>	1467	Pas de sporulation
34.2	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1468	PGA



Essais de champignons entomophages contre pucerons

• Résultats probants

Isolat	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Chaetosiphon fragaefolii</i>
Témoins (moyenne)	2 %	0 %	0 %
1.1 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	0 %	13 %
2.1 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	13 %
2.6 <i>Metarhizium anisopliae</i>	0 %	0 %	7 %
4.1 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	0 %	0 %
6.1 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	20 %	0 %
6.3 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	0 %
7.2 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	0 %	7 %
10.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	20 %	13 %	20 %
11.4 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	7 %
11.6 <i>Beauveria bassiana</i>	13 %	0 %	0 %
12.1 <i>Beauveria bassiana</i>	27 %	0 %	7 %
13.1 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	13 %	13 %
14.1 <i>Beauveria sp.</i>	7 %	0 %	0 %
14.2 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	7 %
14.3 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	0 %
23.3 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	0 %	13 %
24.1 <i>Paecilomyces sp.</i>	0 %	0 %	13 %
25.1 <i>Beauveria bassiana</i>	13 %	7 %	0 %
28.1 <i>Beauveria bassiana</i>	7 %	7 %	13 %
28.2 <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	47 %	7 %	20 %
28.3 <i>Metarhizium anisopliae</i>	20 %	0 %	0 %
28.4 <i>Metarhizium anisopliae</i>	13 %	0 %	7 %
32.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	20 %	0 %	7 %
33.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	7 %	0 %	0 %
33.4 <i>Beauveria bassiana</i>	0 %	0 %	7 %
34.2 <i>Metarhizium anisopliae</i>	13 %	0 %	0 %
Naturalis-L	13 %	7 %	0 %

Isolats	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Chaetosiphon fragaefolii</i>
Témoins (moyenne)	18 %	3 %	7 %
1.1 <i>Beauveria bassiana</i>	100 %	73 %	40 %
2.1 <i>Beauveria bassiana</i>	93 %	33 %	87 %
2.6 <i>Metarhizium anisopliae</i>	33 %	13 %	80 %
4.1 <i>Beauveria bassiana</i>	100 %	7 %	33 %
6.1 <i>Beauveria bassiana</i>	87 %	33 %	27 %
6.3 <i>Beauveria bassiana</i>	60 %	40 %	13 %
7.2 <i>Beauveria bassiana</i>	80 %	40 %	40 %
10.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	80 %	73 %	80 %
11.4 <i>Beauveria bassiana</i>	80 %	87 %	87 %
11.6 <i>Beauveria bassiana</i>	100 %	40 %	40 %
12.1 <i>Beauveria bassiana</i>	93 %	7 %	93 %
13.1 <i>Beauveria bassiana</i>	47 %	33 %	47 %
14.1 <i>Beauveria sp.</i>	93 %	33 %	67 %
14.2 <i>Beauveria bassiana</i>	67 %	13 %	20 %
14.3 <i>Beauveria bassiana</i>	33 %	33 %	0 %
23.3 <i>Beauveria bassiana</i>	80 %	47 %	20 %
24.1 <i>Paecilomyces sp.</i>	40 %	7 %	27 %
25.1 <i>Beauveria bassiana</i>	80 %	40 %	13 %
28.1 <i>Beauveria bassiana</i>	27 %	40 %	93 %
28.2 <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	100 %	80 %	93 %
28.3 <i>Metarhizium anisopliae</i>	53 %	13 %	7 %
28.4 <i>Metarhizium anisopliae</i>	100 %	20 %	13 %
32.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	67 %	53 %	20 %
33.1 <i>Metarhizium anisopliae</i>	80 %	13 %	7 %
33.4 <i>Beauveria bassiana</i>	27 %	20 %	33 %
34.2 <i>Metarhizium anisopliae</i>	87 %	0 %	7 %
Naturalis-L	67 %	47 %	20 %



Essais de champignons entomophages contre pucerons

- Résultats probants: 6 souches intéressantes car efficaces sur plus d'une espèce
- Effet significatif sur les 3 espèces de puceron
 - *Metarhizium anisopliae* (10.1)
 - *Beauveria bassiana* (11.4)
 - *Paecilomyces fumosoroseus* (28.2)
- Effet significatif sur 2 espèces de puceron
 - *Beauveria bassiana* (1.1, 2.1, 12.1)





Essais in vivo de champignons entomophages contre pucerons

- La suite des travaux:
- **Formulation commerciale** des 6 souches intéressantes dans une entreprise spécialisée en production de microorganismes **Grencell SA**
- Essais screening contre un plus grand nombre d'espèces en chambre climatique avec une entreprise leader du biocontrôle avec **Elephant vert SAS**
- Intérêt contre plusieurs pucerons mais aussi contre le tétranyque tisserand, le doryphore et le ver gris
- Des pucerons de grande cultures qui attaquent aussi les cultures ornementales: *R. padi* ou puceron bicolore des céréales, *M. persicae* ou le puceron vert du pêcher ou le puceron du melon *A. gossypi*

		Nom français	Taupin	Puceron	Puceron	Puceron	Puceron	Puceron	Puceron	Tétranyque tisserand (Acarien)	Doryphore	Ver gris	
	ORIGINE SOUCHE	Nom latin	<i>Agriotes lineatus</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Aphis Gossipy</i>	<i>Sitobion avena</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Acrythosiphum pisum</i>	<i>Brevicoryne brassicae</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	<i>Agrotis ipsilon</i>	
Beauveria	Hepia	BIOINS3					53	32	26	59	69		
		BIOINS4		59		61	36	33		75	78		
		BIOINS5		75		84	39	32	57	78	49		
		BIOINS6		49	48		40	33	26	44	64	21	
Metarhizium ani		BIOINS7		44	52		54	20	23			86	
Paecilomyces fum		BIOINS8		48		83	32		43	56	28	36	
Mortalité après			35 days	7/8 days	7 days	6-7 days	6-7 days	6 days	8 days	7 days	11 days	14 days	



Essais in vivo de champignons entomophages contre pucerons

- La suite:
- Essai plein champ sur chou au Mali



Modalités	SA	Doses
Bioins 6	<i>Beauveria</i>	2,5x10 ¹² UFC/ha
Nofly	<i>Isaria</i>	4x10 ¹² UFC/ha
K optimal	L. cyhalothrine + acetamipride	1 L/ha

Essai efficacité Chou - CDP Mali – campagne 2021

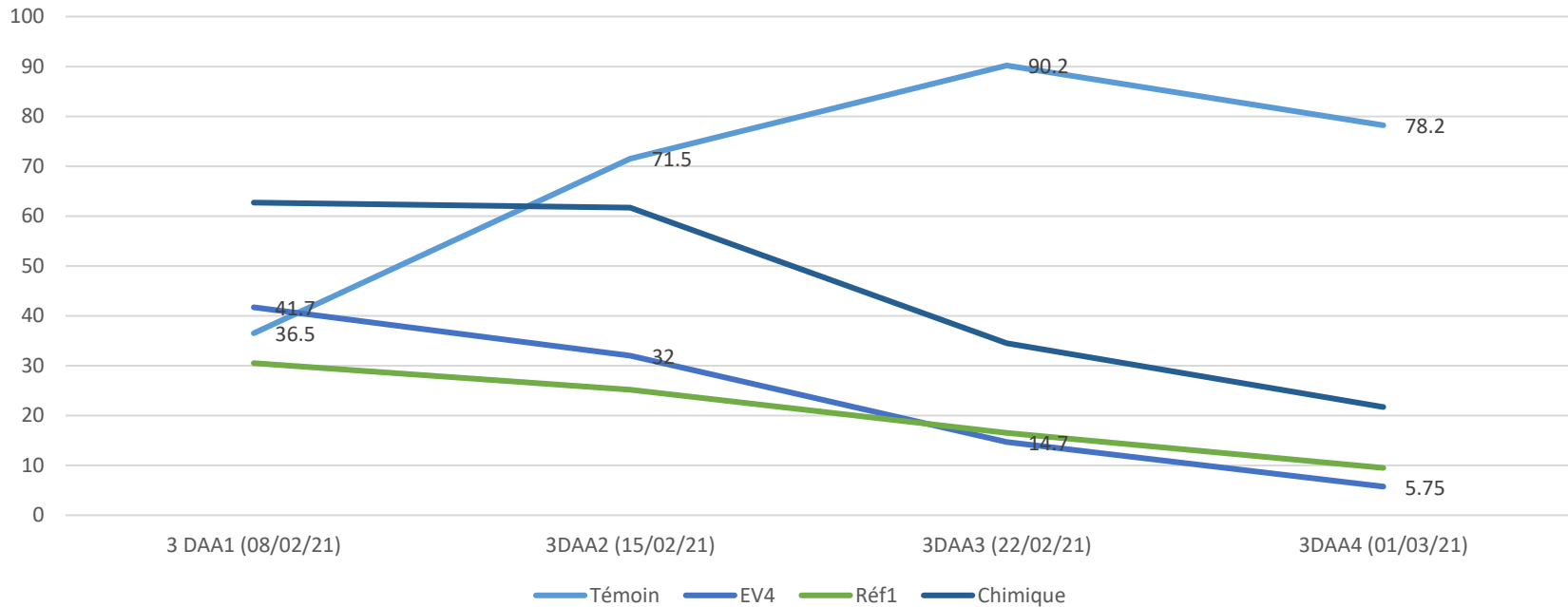
Variété de chou	Marché de Copenhague
Nb et timing d'application	4 applications tous les 7 jours
Modalité d'application	Pulvérisation foliaire
Taille parcelle	Env 16m ²
Nb de répétitions	4 répétitions
Espèces évaluées	<i>Pucerons (sans distinction d'espèce)</i>
Notation	Sur 20 choux par modalités. Comptage du nb de pucerons 3DAA et 35DAT une fois par semaine.
Récolte	Trois lignes centrales de chaque parcelle réalisé le 17/03/2021



Essais in vivo de champignons entomophages contre pucerons

- La suite:
- Essai plein champ sur chou au Mali

Evolution de la population de pucerons durant l'essai

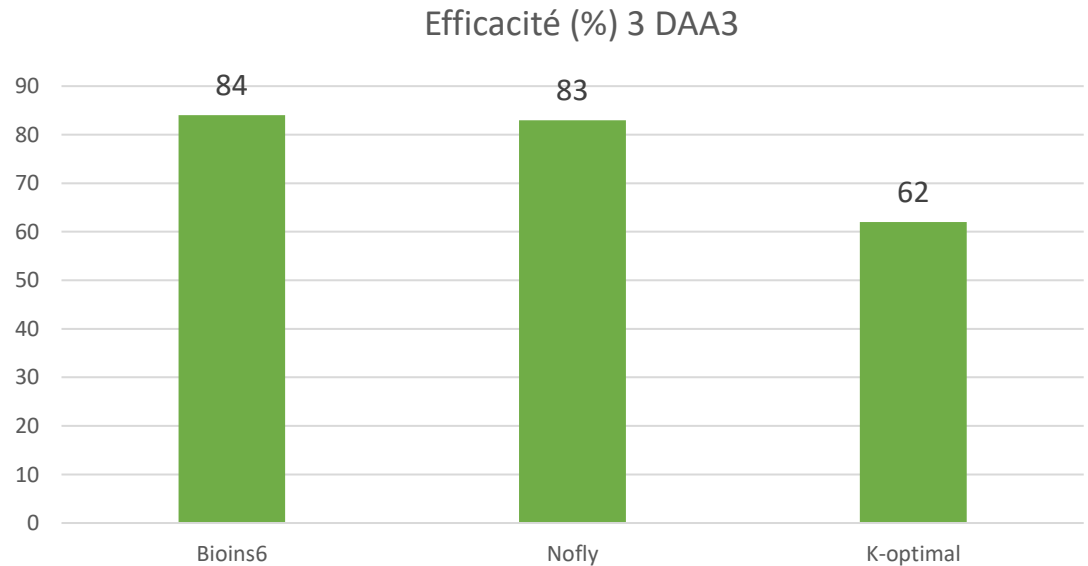


Niveau infestation



Essais in vivo de champignons entomophages contre pucerons

- La suite:
- Essai plein champ sur chou au Mali





Essais in vivo de champignons entomophages contre pucerons

- La suite:
- Essai plein champ sur chou au Mali



Produits	Densité chou-pomme/m ²	Poids moyen d'une pomme (kg)	Rendement chou-pomme (t/ha)
Témoin	3,7±0,2 a	0,9±0,04 d	38,8±4,2 d
Bioins6	3,9±0,2a	1,5±0,2 ab	67,4±6,9 ab
Nofly	4,0±0,1 a	1,2±0,07 bcd	55,3±1,9 bc
K-optimal	3,8±0,4 a	1,2±0,1 cd	52,4±6,5 cd
Moyenne	3,9±0,2	1,3±0,1	57,9±5,02



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

1. Originaire des Amériques

- a. 1^{ère} apparition sur le continent africain en 2016 au Nigeria

En 2025, elle était déjà répertoriée dans 50 pays africains

➤ En 2018, la quasi totalité de la Côte d'Ivoire était touchée

- b. 1^{ère} apparition sur le continent asiatique en 2018 en Inde

- c. 1^{ère} apparition sur le continent européen en 2021 en Turquie

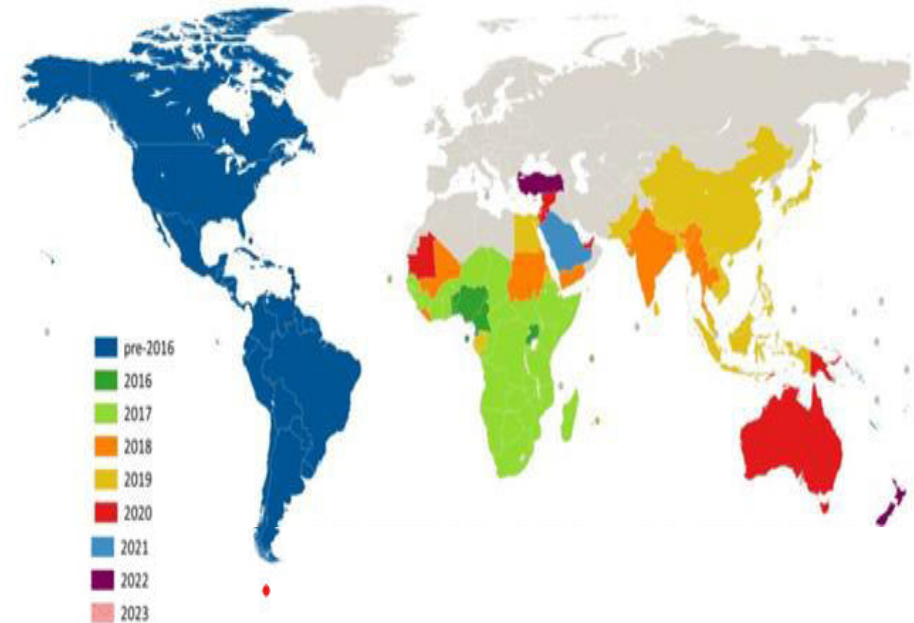


Figure 2. Propagation mondiale de *Spodoptera frugiperda*

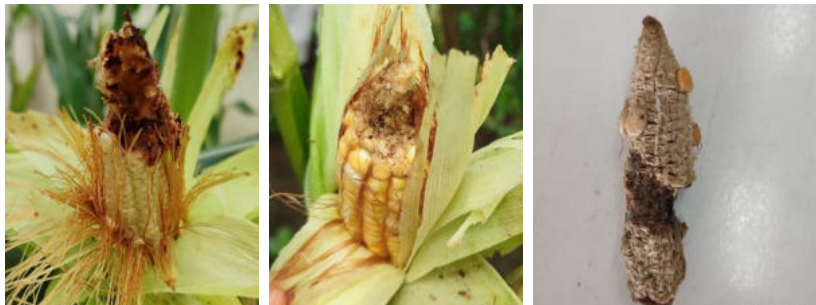


Figure 16: Dégâts d'attaques de *Spodoptera frugiperda* observés sur épis de maïs (Source personnel)



Figure 15: Dégâts d'attaques de *Spodoptera frugiperda* observés sur les feuilles de maïs (Source personnel)



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

1. Un insecte polyphage (354 espèces hôtes) mais préférence pour le maïs

- En côte d'Ivoire le lépidoptère le plus abondant sur maïs
- En 2017 et 2018, en RDC, 64% de sa production de maïs a été perdu
- En 2018, au Kenya, 33% de la production de maïs a été détruit

2. La lutte chimique

- a. Faible efficacité, résistances
- b. Résidus sur les récoltes

- Recours à la lutte biologique
 - Les champignons entomopathogènes
 - Phéromones



Figure 3. Dégâts de *Spodoptera frugiperda* sur les feuilles de maïs (Source personnel)

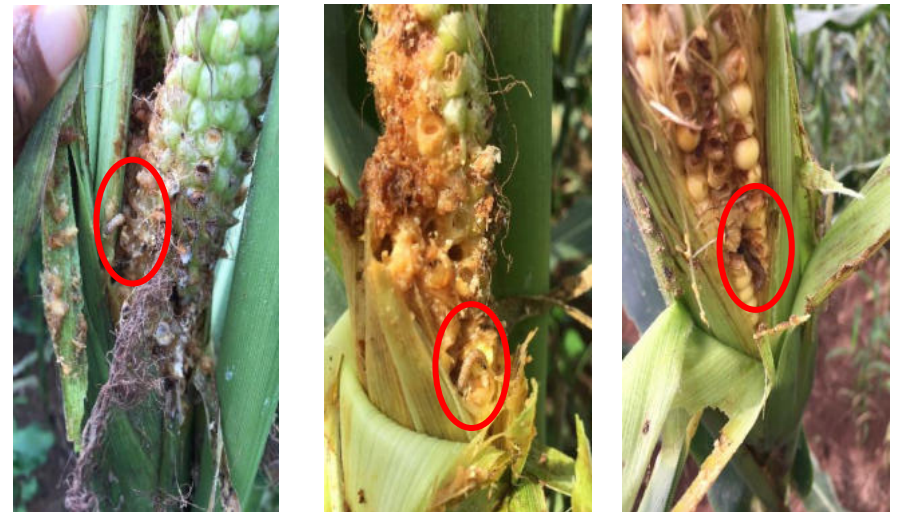


Figure 4. Dégâts de *Spodoptera frugiperda* sur épis du maïs (source personnel)



Communication

Isolation, Identification and Evaluation of the Effects of Native Entomopathogenic Fungi from Côte d'Ivoire on *Galleria mellonella*

Fatoumatou Fofana ^{1,2}, Corentin Descombes ¹, Assiri Patrice Kouamé ² and François Lefort ^{1,*}

- La première étape a été d'isoler et caractériser des champignons entomophages de sols ivoiriens.
- 12 souches
- Diverses espèces
- Evaluation de la virulence
- Mortalité 60-100%

Tableau 1 : Diversité et utile à la recherche et prospectée par la méthodologie de piégeage (Fatoumatou Fofana et al., 2023)

Fungi	Isolates	Accessions numbers
Beauveria bassiana	A211	ON121958
Beauveria bassiana	A214a	ON121959
Beauveria bassiana	A214b	ON121960
Metarhizium anisopliae	T35	ON121962
Metarhizium anisopliae	T331	ON121963
Metarhizium sp	T141	ON121961
Metarhizium sp	T34	Not sequenced
Metarhizium sp	T121	Not sequenced
Metarhizium sp	T132	Not sequenced
Metarhizium sp	T313	Not sequenced
Trichoderma asperellum	Ou5	ON121957
Trichoderma longibrachiatum	Ko4	ON121954



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

2. Evaluation in vitro des 12 souches

- Deux modalités
- % de Mortalité
- Temps léthaux
 - Sélections des meilleures souches

➤ A214a, A214b, A211, T331, T35 et T34

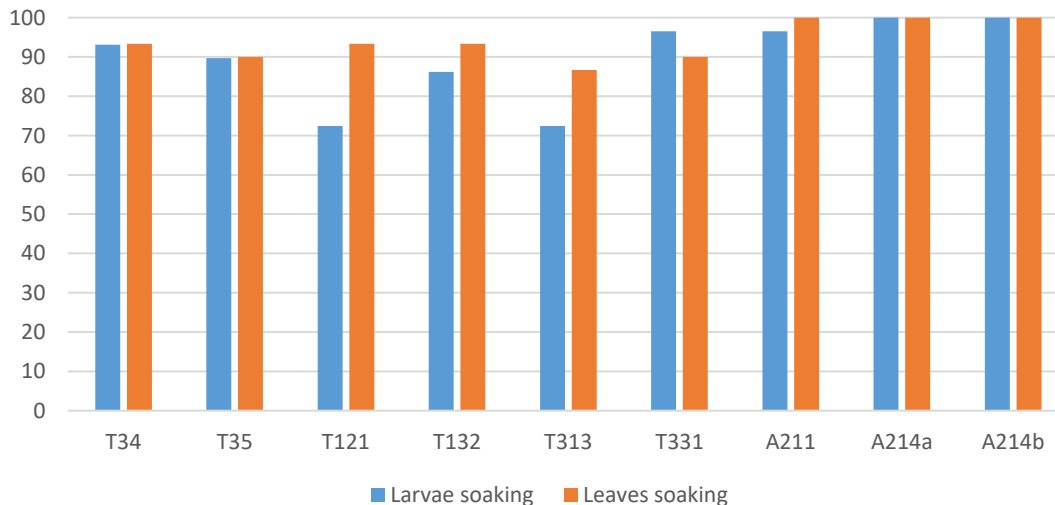


Figure 11: Pourcentage de mortalité des larves de *Spodoptera frugiperda*

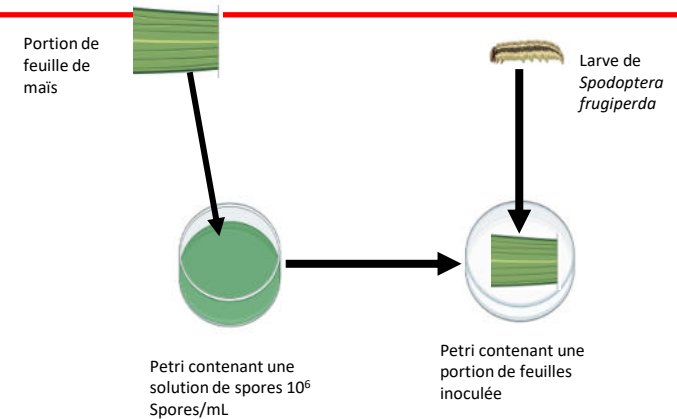


Figure 10 : Schéma d'inoculation des larves de *Spodoptera frugiperda*

Tableau 3: TL50 sur les larves L3 de *Spodoptera frugiperda*

Strains and methodologies of applications		LT50 (day)
T34	Soaking larvae	5,15
T35	Soaking larvae	5,27
T121	Soaking larvae	5,42
T132	Soaking larvae	5,24
T313	Soaking larvae	5,40
T331	Soaking larvae	4,47
A211	Soaking larvae	4,16
A214a	Soaking larvae	3,47
A214b	Soaking larvae	3,33
T34	Soaking leaves	4,03
T35	Soaking leaves	5,11
T121	Soaking leaves	3,68
T132	Soaking leaves	4,32
T313	Soaking leaves	5,21
T331	Soaking leaves	4,90
A211	Soaking leaves	3,29
A214a	Soaking leaves	3,91
A214b	Soaking leaves	3,21



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

1. Evaluation semi in vitro de la virulence des souches sélectionnées

a. Inoculation des adultes

- 10 individus de *S. frugiperda*
 - Plantes de 30 jours

b. Monitoring de la population

- Jusqu'au seuil de nuisibilité
 - 20% de verticilles infestés

c. Traitements curatifs

- Application par pulvérisation
 - Les 5 souches sélectionnées aux précédents tests
 - Concentration de 10^6 spores/mL

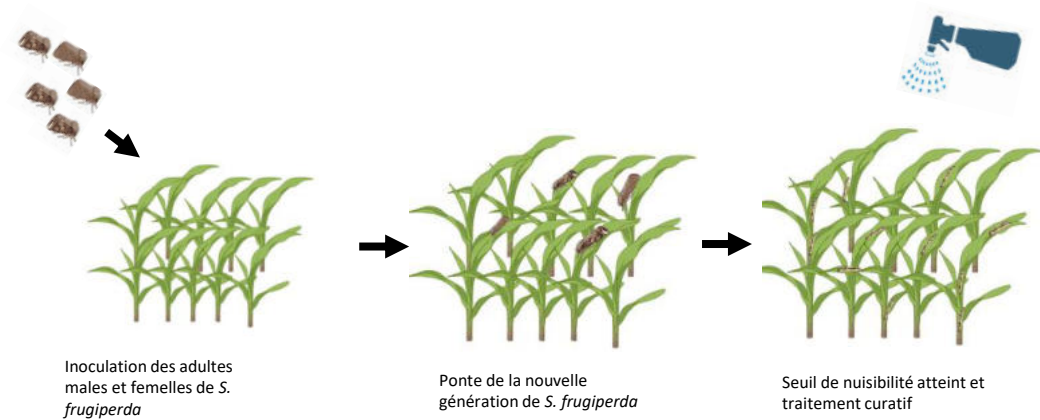


Figure 13 : Schéma d'inoculation plantes par *Spodoptera frugiperda* et application des solutions de spores en curatif





Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

1. Matériel et méthode

d. Procédures statistiques

- Procédure ANOVA à un facteur
 - Incidence
 - Sévérité
 - Rendement brut
 - Taux d'augmentation des rendements

$$\text{Indice de Sévérité} = \frac{\sum nxb}{(N-1)T} \times 100$$

$$\text{Incidence} = \left(\frac{\text{Nombre de plants attaqués}}{\text{Nombre total de plants}} \right) \times 100$$

$$\text{Taux d'augmentation (t/ha)} = \frac{\text{Masse totale des grains (t)}}{\text{Masse totale des grains (T -)}}$$

$$\text{Rendement brut (t/ha)} = \frac{\text{Masse totale des grains (t)}}{\text{Surface de la parcelle (ha)}}$$



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

- Réduction de la sévérité
- Efficacité similaire pour l'ensemble des souches
- Statistiquement significatif
- Réduction rapide des dégâts
- Stoppe les dégâts en 2 semaines

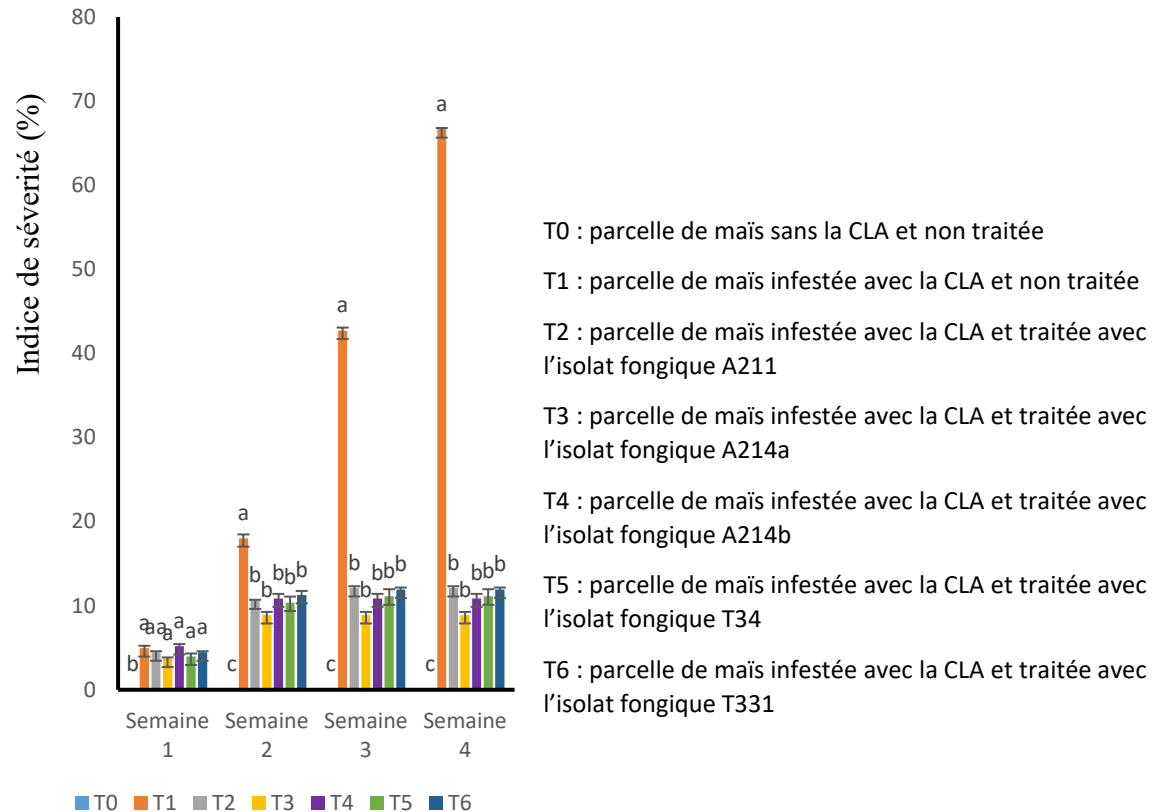


Figure 17: Indice de sévérité des attaques de *Spodoptera frugiperda* dans des parcelles traitées avec les champignons entomopathogènes en fonction du temps



Essais de champignons entomophages contre la légionnaire d'automne

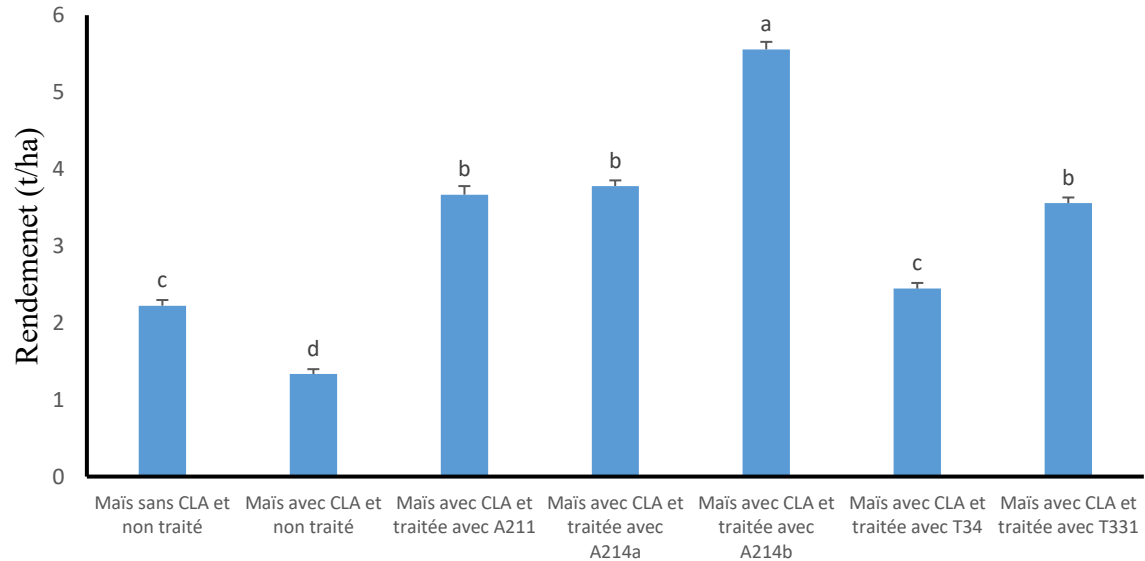


Figure 18: Rendement du maïs en fonction des traitements

- Surprise
- Rendements bruts
- **Taux d'augmentation des rendements**
- Le T- a démontré l'impacte de *S. frugiperda* sur le rendement
- Le T+ a démontré le potentiel théorique des rendements du maïs dans ces conditions
- Bio stimulation des souches T331, A211, A214a et surtout A214b



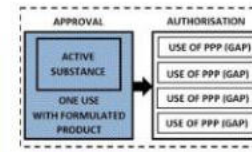
Pourquoi peu de produits sur le marché?

Regulatory framework for « Biocontrol » in EU



Active substances

AS may be used in PPP (1 safe scenario)



69 approved MO-strains

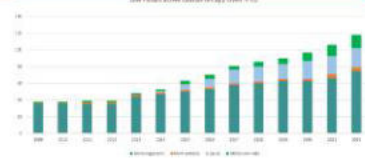
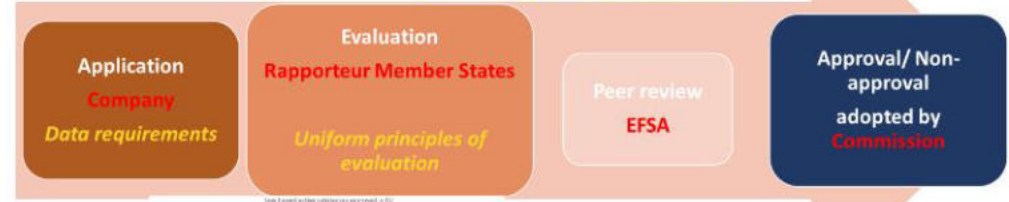
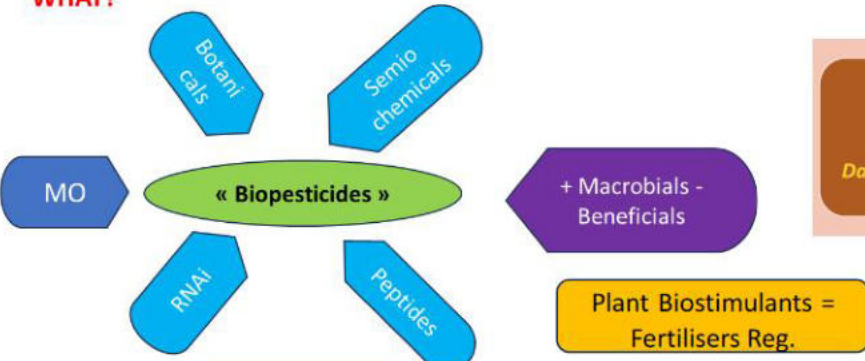
>900 authorised MO-based PPP

Plant protection products

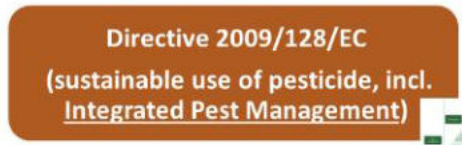
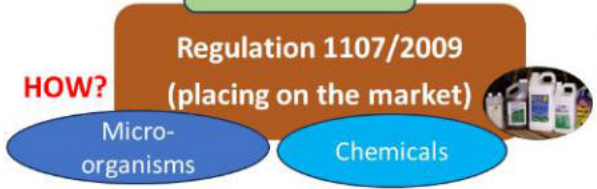
PPP may be used under certain conditions (dose, frequency, conditions and restrictions)



WHAT?



HOW?



WHY?

To sell PPP to users

To use PPP properly

To sell PPP treated food products



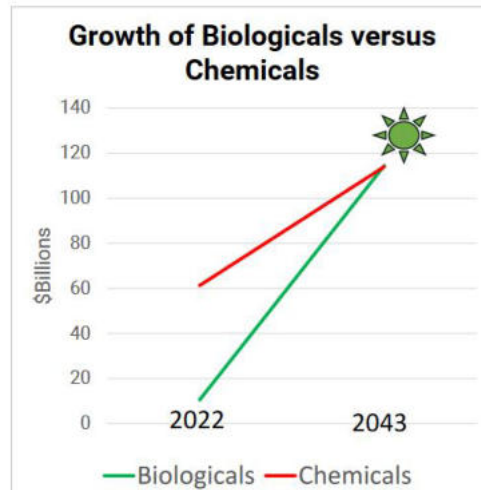
. Conclusion et Perspectives

Les micro-organismes sont des alliés puissants et diversifiés pour une protection des cultures durable.

Perspectives: Vers une agriculture qui gère les écosystèmes (sol, plante) plus que les pathogènes isolément.

Combinaison avec d'autres leviers (phéromones, macro-organismes, outils de détection précoce).

Biologicals Market Equal to Chemicals in ~20 Years!



Growth rate (CAGR)	12 %
Number of periods	Biologicals 21
Initial value	10,600,000,000 \$
Final value	114,520,791,603.36 \$

Growth rate (CAGR)	3 %
Number of periods	Synthetics 21
Initial value	61,300,000,000 \$
Final value	114,036,057,245.79 \$

Source: Shane Thomas, Upstream Insights

Groupe Plantes et pathogènes

Institut Terre Nature Environnement

Collaborateurs Bastien Cochard, Corentin Descombes, Yannick Barth, Lucas Arminjon
Etudiants en bac: François Eckert, Etienne Laurent. Doctorante : Fatoumatou Fofana
Partenaires: Cercle des Agriculteurs de Genève et environs (LANDI), Grencel SA (France),
Eléphant Vert SAS

Les différents partenaires d'une symbiose



Utilisable en Agriculture Biologique

INNOVATION PROTECTION
STRESS ABIOTIQUES

LA RÉPONSE AUX OBJECTIFS DE RENDEMENT
ET DE QUALITÉ DES CULTURES «RACINES ET BULBES»

Bacillus methylotrophicus

HÉLÈS®

Amplifie favorablement la flore bactérienne du sol



AMM MFSC : N° 1180003



CERCLE

DES AGRICULTEURS
DE GENÈVE ET ENVIRONS



Utilisable en Agriculture Biologique

INNOVATION PROTECTION
STRESS ABIOTIQUES

LA RÉDUCTION DU POTENTIEL
PATHOGENÈ DES SOLS

Bacillus methylotrophicus *Trichoderma harzianum*

FONGIBACTER®

Amplifie favorablement la flore bactérienne et la flore fongique du sol



AMM MFSC N°1190122

Groupe Plantes et pathogènes

Institut Terre Nature Environnement

A la recherche de partenaires

Appel à collaboration dans le cadre des thèses de bachelor en agronomie de HEPIA ou de projets

Objet: tester des bactéries et champignons biostimulants ou bioinsecticides

- En production maraîchères, fruitières, en floriculture, en espaces verts et en pépinières
- Hors-sol ou plein champ
- francois.lefort@hesge.ch

L'avenir est à créer