



# MicroSoilSystem

Réduction d'intrants par application  
à finalité biostimulante et de biocontrôle  
de consortia microbiens formulés et  
adaptés au fonctionnement des sols  
en agriculture conventionnelle, bio et de conservation

## Contexte: des besoins en PPP et intrants croissants

Belgique = 6,3 kg/ha de pesticides

=> pomme de terre

=> arbres fruitiers

=> betterave

=> blé tendre



@Wikipedia

Impact sur la santé humaine  
Pollution du sol et l'eau  
+ Resistance aux fongicides



@Wikipedia



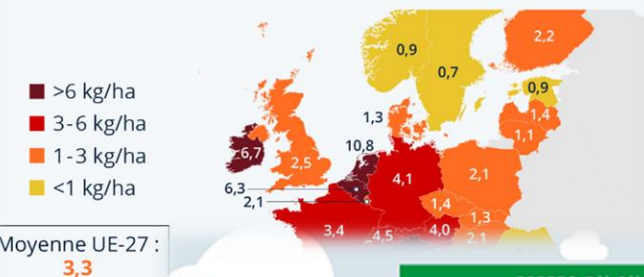
Demande croissante pour réduire l'utilisation des  
pesticides chimiques

+

Trouver des alternatives

## Quels pays utilisent le plus de pesticides en Europe ?

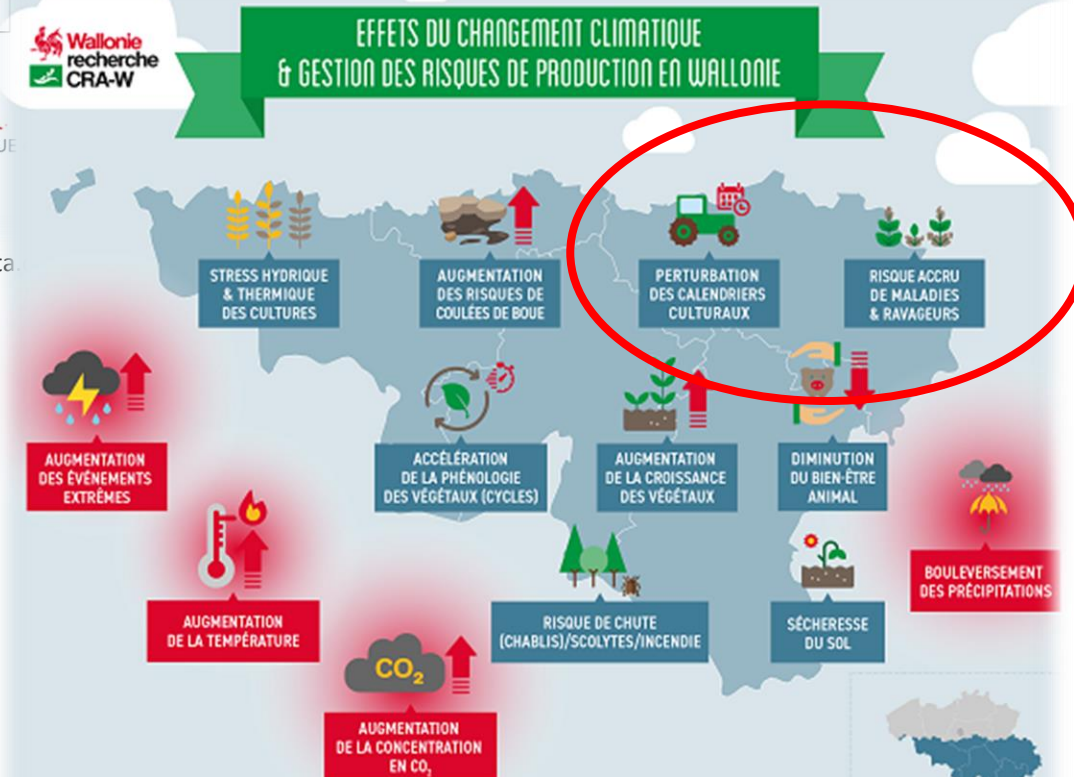
Consommation moyenne de pesticides en 2020,  
en kilogrammes par hectare de terres agricoles



Sélection : pays de l'UE  
Source : FAO



<https://fr.statista>





# Un cadre réglementaire pour répondre à la demande



Paquet pesticides: Directive 2009/128/EC, Règlement (CE) n°1107/2009, Règlement (CE) n°1185/2009 et Directive 2009/127/CE

- => Utilisation raisonnée des pesticides
- => réduire les concentrations en résidus
- => promouvoir la réduction des pesticides



Plan d'Action National pour la réduction des pesticides (NAPAN)



Programme Wallon de réduction des pesticides 'chimiques' 3  
2023 - 2027

Le Plan Bio 2030 : 30 % de la Surface agricole utile (SAU) en agriculture biologique à l'horizon 2030.  
2019: 11,5 % SAU wallonne = agriculture biologique

SPWARNE (DGO3)

Service Public de Wallonie Agriculture,  
Ressources Naturelles et Environnement

MICROSOILSYSTEM

# Genèse de MSS: les projets précédents

## SMARTBIOCONTROL



Obj: recherche de nouvelles molécules biosourcées efficaces pour contrôler les maladies des cultures transfrontalières

26 partenaires académiques / centres de recherche et syndicats d'agriculteurs



2016-2020



Recherche  
et innovation  
Onderzoek  
en innovatie

Plus d'infos  
Meer info

[www.interreg-fwvl.eu](http://www.interreg-fwvl.eu)  
@InterregFWVL

Avec le soutien du Fonds  
européen de développement  
régional  
Met steun van het Europees  
Fonds voor Regionale  
Ontwikkeling

<http://www.smartbiocontrol.eu/fr>

# Genèse de MSS: les projets précédents

SMARTBIOCONTROL



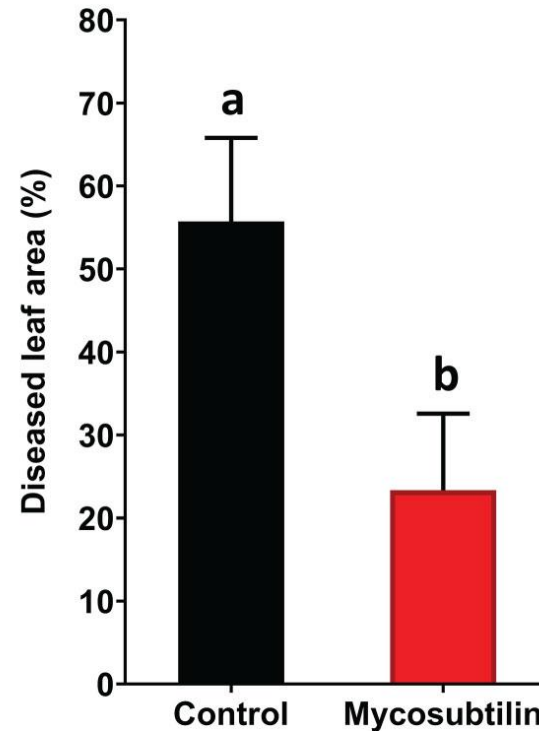
## Résultats

A



C

M



## Diminution de la septoriose du blé

Projet soutenu par  
Project ondersteund door  
**Interreg**  
France-Wallonie-Vlaanderen



Recherche  
et innovation  
Onderzoek  
en innovatie

Plus d'infos  
Meer info

[www.interreg-fwvl.eu](http://www.interreg-fwvl.eu)  
@InterregFWVL

Avec le soutien du Fonds  
européen de développement  
régional  
Met steun van het Europees  
Fonds voor Regionale  
Ontwikkeling



# Genèse de MSS: les projets précédents



**SolACE**

**Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use**

2017-2022

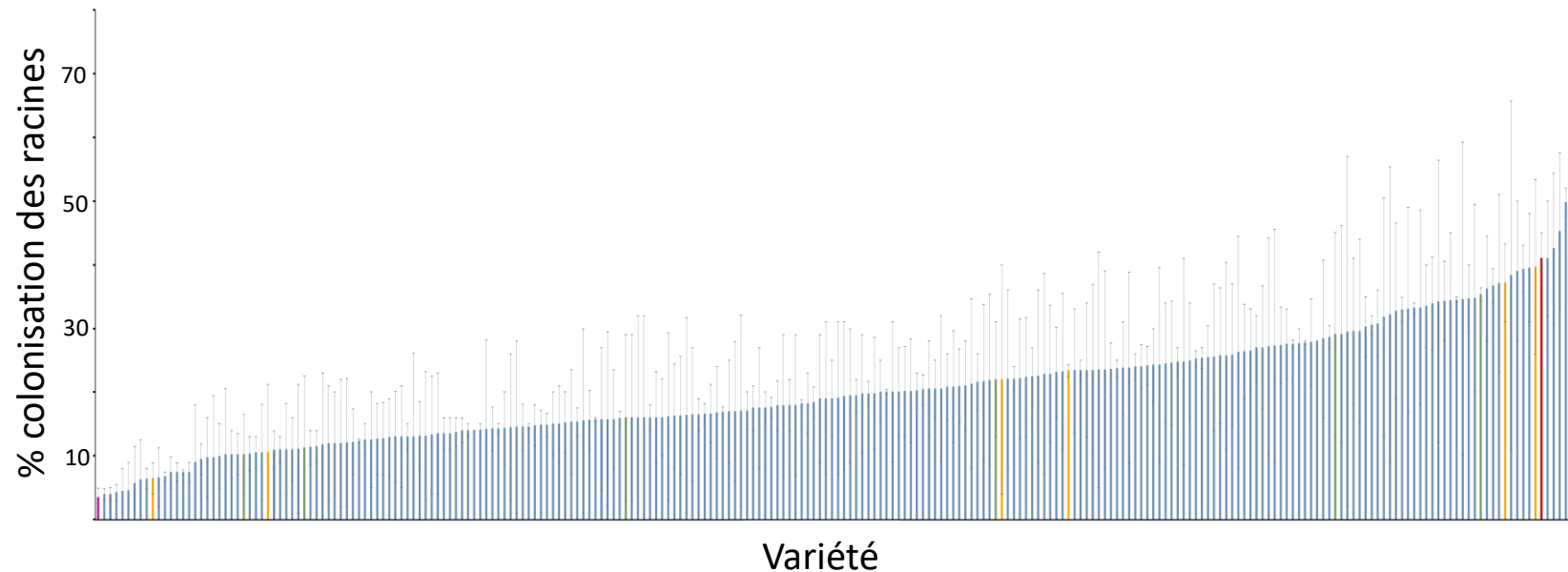
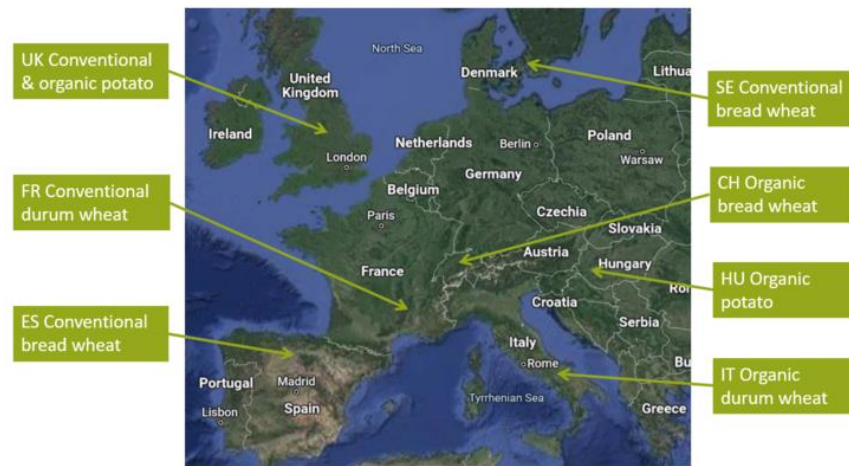
Blé

25 partenaires académiques et entreprises en Europe

Obj: Recherche de solutions pour améliorer l'efficacité des cultures pour l'utilisation en eau et en nutriments

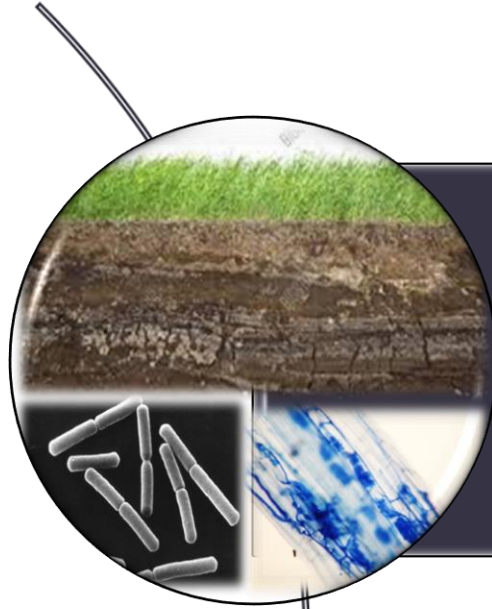
Réseau de fermes

Résultats

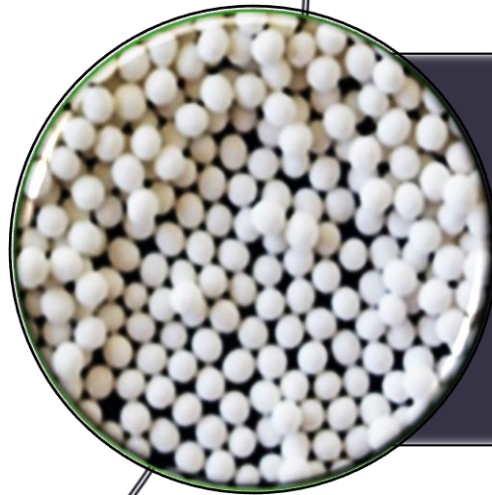


Réponse potentiellement différente en fonction de la variété d'une même espèce végétale

# Objectifs du projet



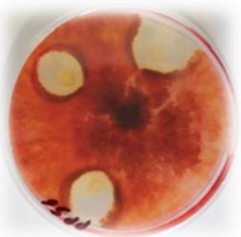
Mettre au point des consortia multifonctionnels de micro-organismes formulés en prenant compte leur biocompatibilité, leur synergie mais également leur efficacité en fonction des propriétés physico-chimiques du sol et des pratiques culturales.



Développer un nouveau type de produit microbien éco-compatible afin de suppléer aux intrants chimiques en priorité dans le contexte de l'agriculture biologique mais aussi avec une vision concrète d'application en lutte intégrée pour les cultures conventionnelles.



# MSS: les microorganismes bénéfiques des sols



Conventionnel

Croissance  
rendement



Résistance aux maladies



Bio







## Effets des pratiques culturales sur les CMA



# Notre plante modèle: le blé tendre

17% des terres cultivées = 1<sup>er</sup> culture derrière les prairies en Wallonie



Oïdium



Fusariose



Septoriose



Rouilles

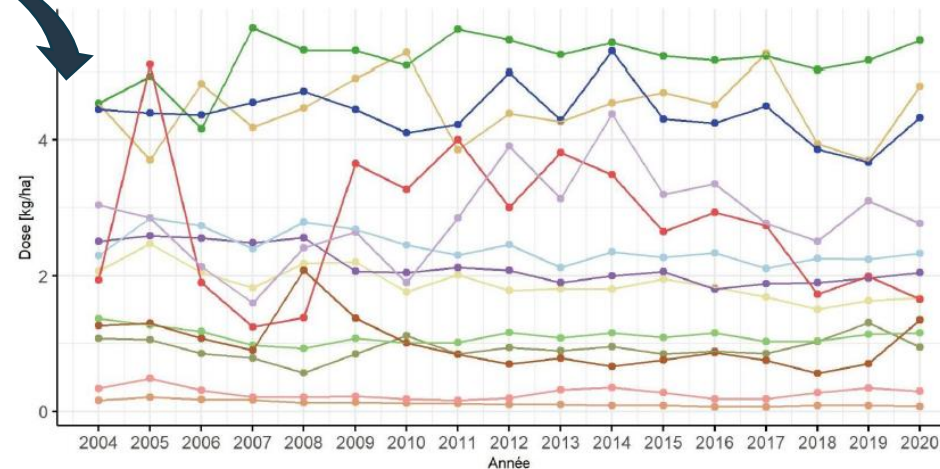


[https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies\\_du\\_ble/](https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/)

Forte utilisation des pesticides



<https://www.arvalis.fr/infos-techniques/traitements-de-semences-une-protection-toujours-dactualite-sur-cereales-paille>



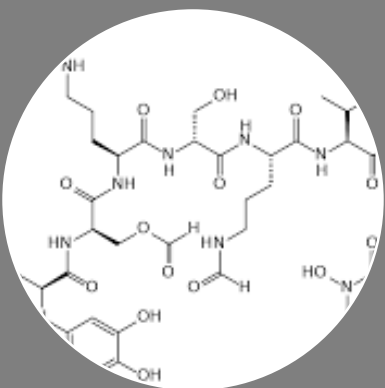
2,3 kg/ha



Nécessité de trouver des alternatives aux pesticides chimiques

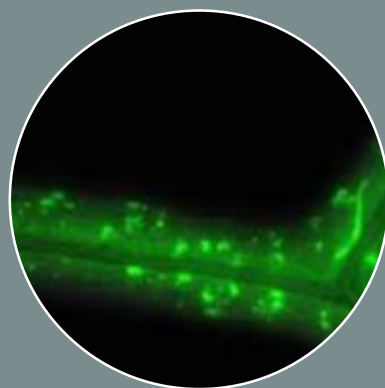
PWRPIII





Impact des  
bactéries sur la  
physico-chimie  
du sol

Félicie Goudot



Compatibilité des  
microorganismes



Formulation des  
microorganismes  
et molécules

Ismahen Lalaymia  
François Ferrais



Biostimulation et  
bioprotection  
conférée à la  
plante hôte

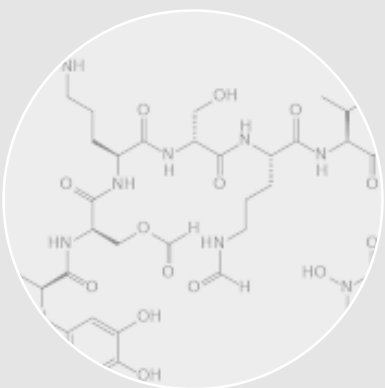


Impact des  
pratiques  
culturales sur les  
CMA

Brieuc Hardy

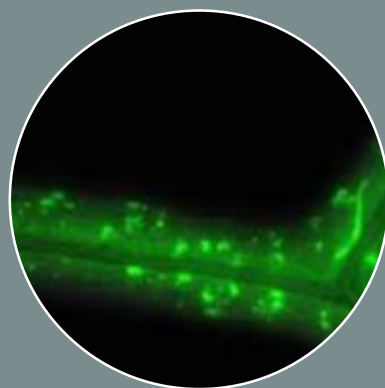
MICROSOILSYSTEM





Impact des  
bactéries sur la  
physico-chimie  
du sol

Félicie Goudot



Compatibilité des  
microorganismes



Formulation des  
microorganismes  
et molécules

Ismahen Lalaymia  
François Ferrais



Biostimulation et  
bioprotection  
conférée à la  
plante hôte

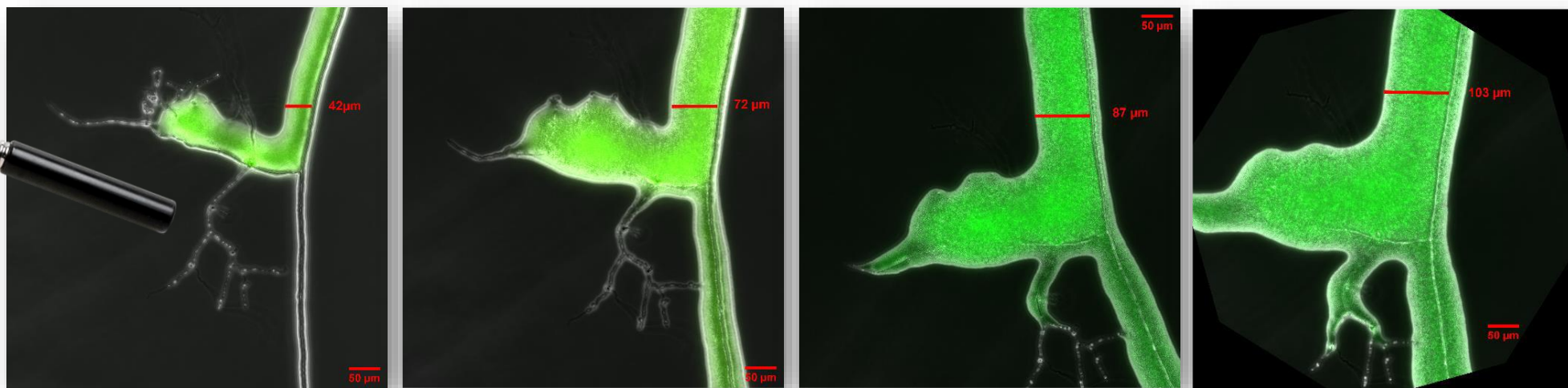


Impact des  
pratiques  
culturales sur les  
CMA

Brieuc Hardy

MICROSOILSYSTEM

## Compatibilité des microorganismes

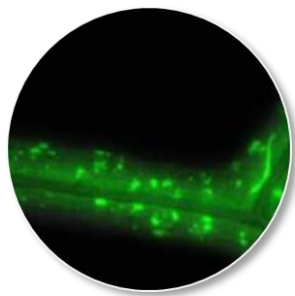


➡ Développement de la bactérie et formation d'un biofilm autour des hyphes

↳ Bénéfice nutritif?

➡ Pas d'effet sur la vitalité du CMA

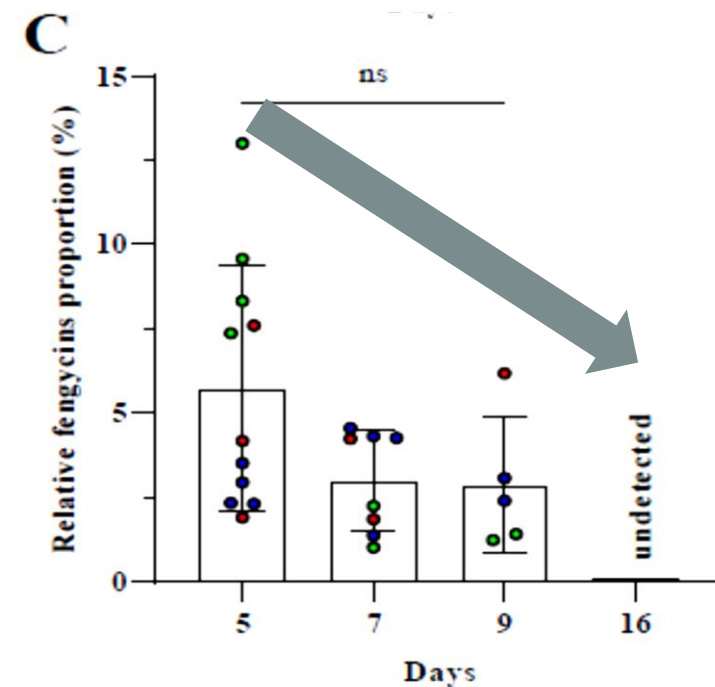
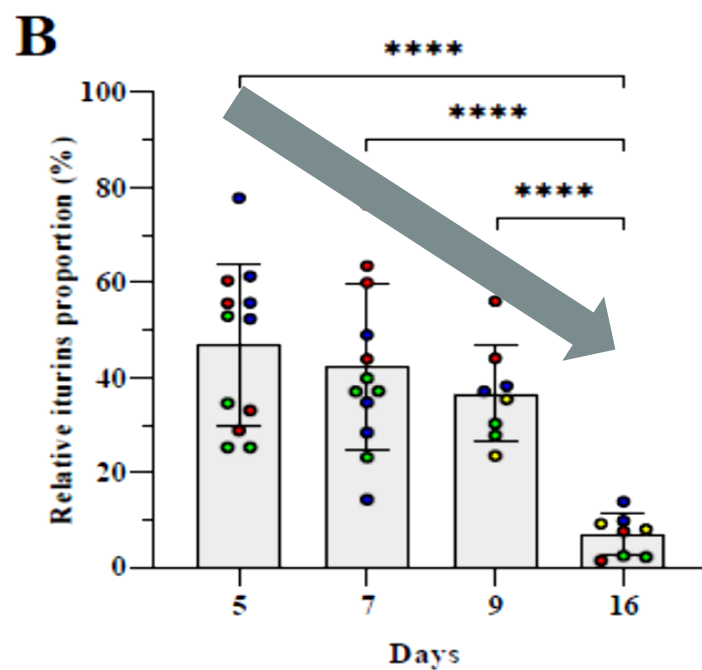
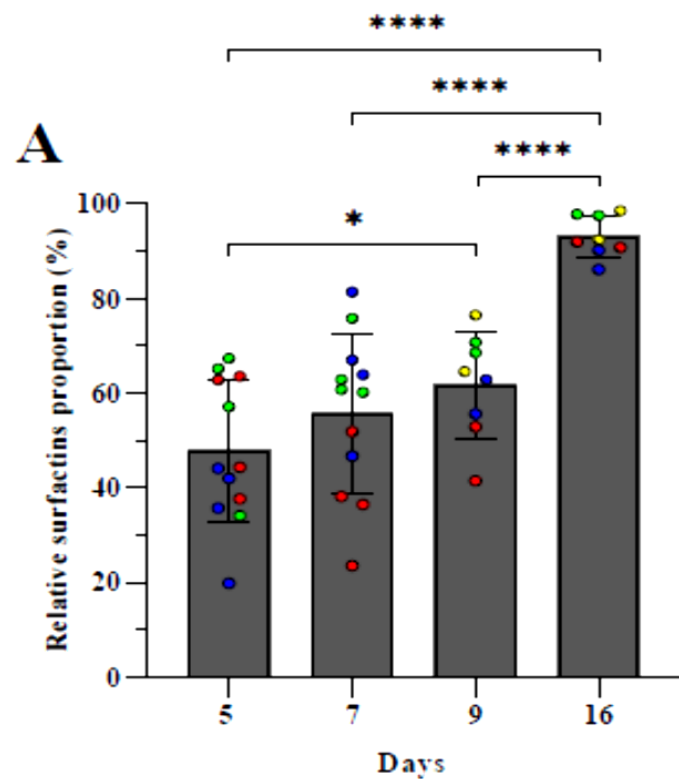
Adrien Anckaert et al., 2024



## Compatibilité des microorganismes

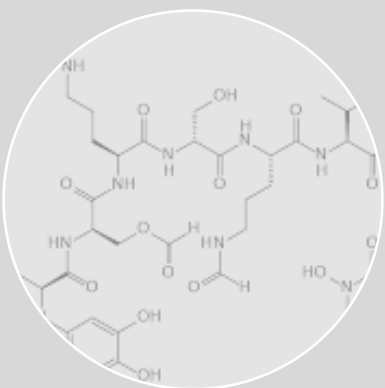


Production des lipopeptides: composés anti-fongiques



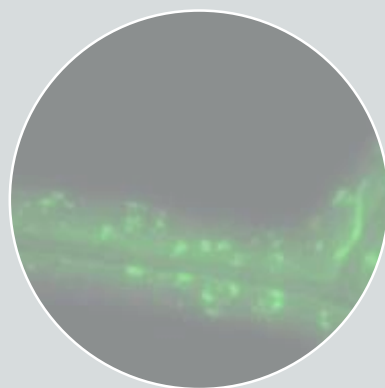
Diminution de la production de fengycines et iturines





Impact des  
bactéries sur la  
physico-chimie  
du sol

Félicie Goudot



Compatibilité des  
microorganismes



Formulation des  
microorganismes  
et molécules

Ismahen Lalaymia  
François Ferrais



Biostimulation et  
bioprotection  
conférée à la  
plante hôte



Impact des  
pratiques  
culturales sur les  
CMA

Brieuc Hardy

MICROSOILSYSTEM

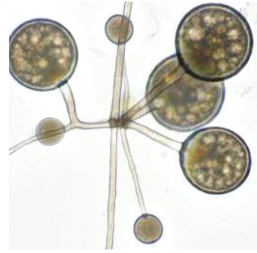


## Enrobage des graines

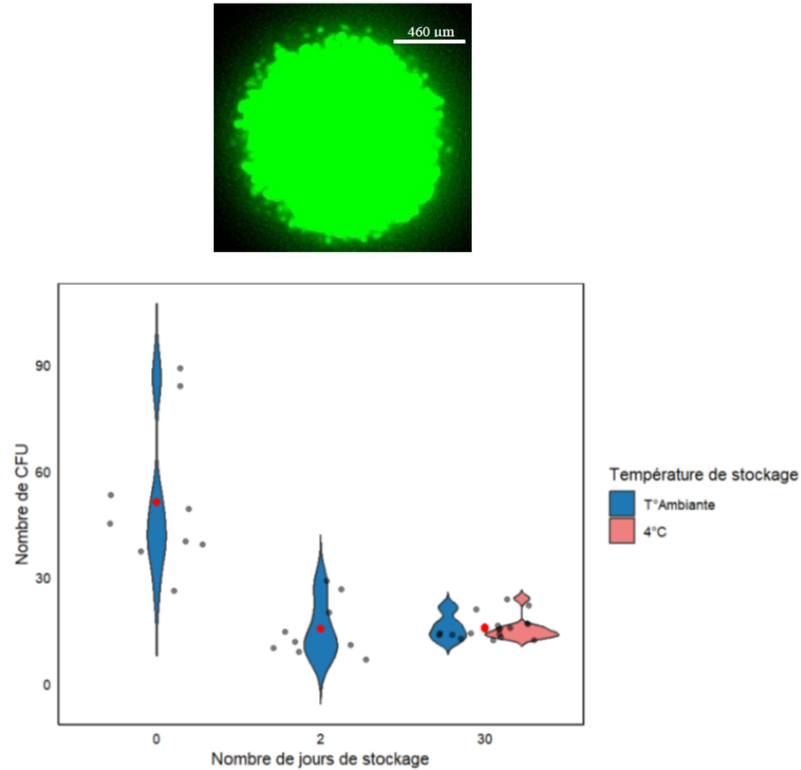


Essais	Semences [g]	Fragments racinaires mycorhizés [g]	Solution bactérienne à $5 \times 10^7$ CFU/ml [ml]	Kaolin [g]	Maltodextrine [g]	Gomme arabique [g]	Sol [g]	Amidon [g]	Concentration alginate [%]	Eau déminéralisée [ml]	Commentaire sur la fabrication de l'enrobage *	Commentaire sur la résistance après séchage **
N°1	100	10	/	/	/	/	300	/	/	90	Agglomération moyenne	Désaggrégation élevée
N°2	100	5	/	/	/	/	300	/	/	90	Agglomération moyenne	Désaggrégation élevée
N°3	100	1	/	/	/	/	300	/	/	80	Agglomération moyenne	Désaggrégation élevée
N°4	100	5	/	200	/	/	/	/	/	50	Agglomération moyenne, moindre que pour les essais N°1,2 et 3	Désaggrégation élevée
N°5	100	5	/	200	/	20	/	/	/	50	Agglomération élevée	Désaggrégation moyenne
N°6	100	5	/	200	/	/	/	60	2	50	Agglomération faible	Désaggrégation élevée
N°7	100	5	/	200	20	/	/	60	/	50	Agglomération élevée	Désaggrégation moyenne
N°8	100	2,5	25	100	5	/	/	/	/	/	Bonne incorporation des propagules Agglomération faible Rapport solide/liquide trop élevé	Désaggrégation moyenne
N°9	100	/	/	75	/	/	/	/	/	25	Agglomération faible	Désaggrégation moyenne
N°10	100	/	/	75	/	/	/	/	2	25	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°11	100	/	/	75	/	0,75	/	/	/	25	Agglomération faible	Désaggrégation élevée
N°12	100	/	/	75	/	1,5	/	/	/	25	Agglomération faible	Désaggrégation élevée
N°13	100	/	/	75	/	5	/	/	/	30	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°14	100	/	/	75	/	2,5	/	/	/	30	Agglomération faible	Désaggrégation moyenne
N°15	100	/	/	75	/	2,5	/	/	2	30	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°16	100	/	/	50	/	2,5	/	/	2	30	Agglomération élevée	Désaggrégation faible
N°17	100	1	/	70	/	5	/	/	/	40	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°18	100	1	40	70	/	5	/	/	/	/	Présence de bactéries ne modifie pas les conclusions de l'essai n°17	Présence de bactéries ne modifie pas les conclusions de l'essai n°17
N°19	100	1	40	75	/	10	/	/	/	/	Agglomération élevée	Désaggrégation moyenne
N°20	100	1	40	75	2	4	/	/	/	/	Agglomération élevée	Désaggrégation moyenne
N°21	100	/	/	65	2	2	/	/	/	40	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°22	100	/	/	65	3,5	3,5	/	/	/	35	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°23	100	/	/	60	3	3	/	/	/	30	Agglomération moyenne	Désaggrégation faible
N°24	100	/	/	50	4,5	4,5	/	/	/	30	Agglomération élevée	Désaggrégation faible
N°25	100	/	/	50	3	3	/	/	/	30	Agglomération moyenne	Désaggrégation moyenne
N°26	100	/	/	55	3	3	/	/	/	30	Agglomération moyenne Rapport solide/liquide trop faible	Désaggrégation faible
N°27	100	/	/	55	2,5	2,5	/	/	/	25	Agglomération faible	Désaggrégation faible
N°28	100	0,427	22,5	56,3	2,25	2,25	/	/	/	/	Agglomération faible	Désaggrégation plus faible que l'essai n°27

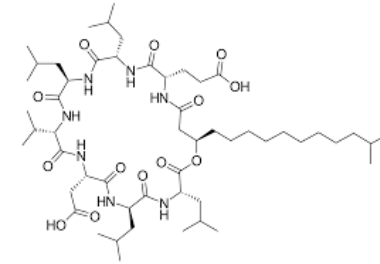




# Pas de colonisation




~ 0,3% de la concentration  
bactérienne  
théoriquement enrobée



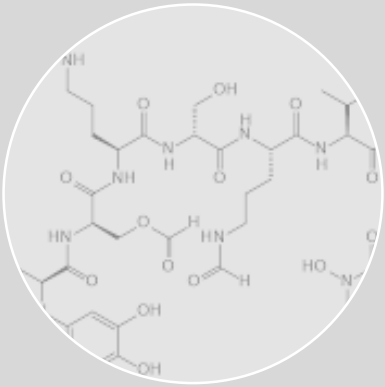
	Concentration (μM) pour 50 graines	Poids (mg) pour 10 graines
Stockage 1 mois à 4°C	0,03724	$5,3 \cdot 10^{-4}$
Stockage 1 mois à 10°C	0,03693	$5,3 \cdot 10^{-4}$

~ 3% de la concentration  
théoriquement enrobée

Mémoire de Thibault Matias Alonso, 2023

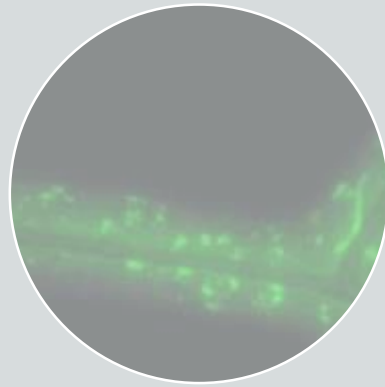
 Ajustements de la technique d'enrobage + développement d'autres techniques de formulation





Impact des  
bactéries sur la  
physico-chimie  
du sol

Félicie Goudot



Compatibilité des  
microorganismes



Formulation des  
microorganismes  
et molécules

Ismahen Lalaymia  
François Ferrais



Biostimulation et  
bioprotection  
conférée à la  
plante hôte



Impact des  
pratiques  
culturales sur les  
CMA

Brieuc Hardy

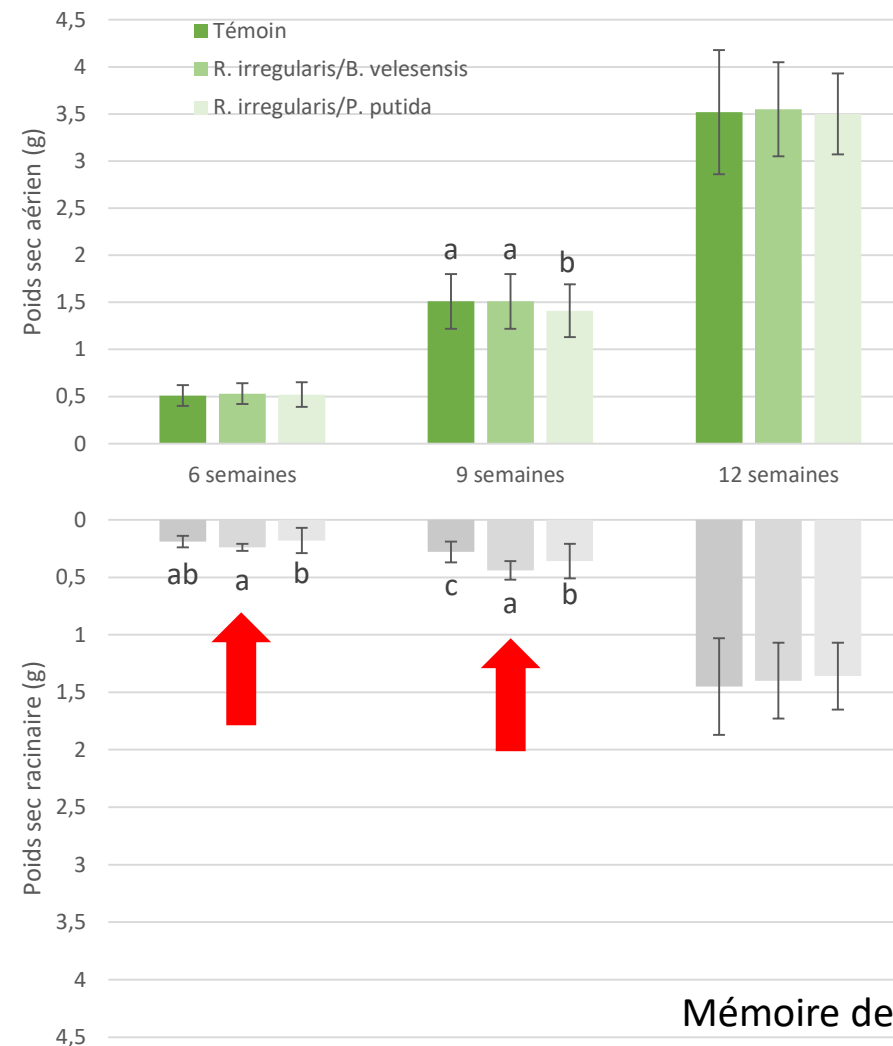
MICROSOILSYSTEM



## Croissance du blé



Anapolis  
Arminius  
Chevignon  
Cubitus  
Moschus



Mémoire de Justine D'Haene, 2022



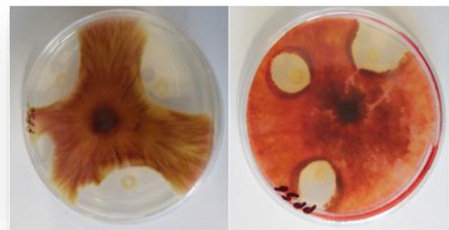
Stimulation de la croissance des plantes, notamment au niveau racinaire par le consortium *R. irregularis/B. velezensis* en début de croissance



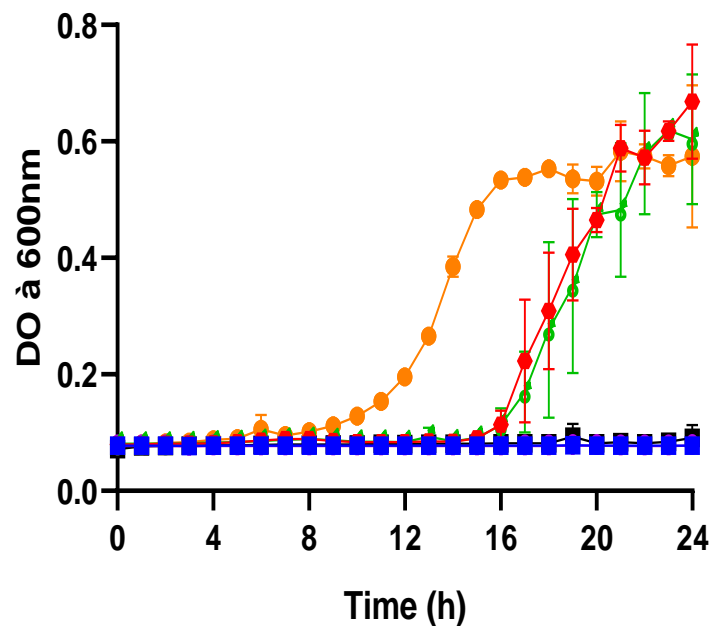
## Bioprotection du blé



*In vitro*



### Effet des iturines et Fengycines de *Bacillus velezensis* GA1



GA1

GA1  $\Delta$ ITU

GA1  $\Delta$ FEN

GA1  $\Delta$ SRF

Témoign +

Témoign -

Bactérie *B. velezensis* GA1: pas de croissance du pathogène



*B. velezensis* GA1 produit des lipopeptides capables de contrôler l'agent responsable de la fusariose





# Bioprotection du blé

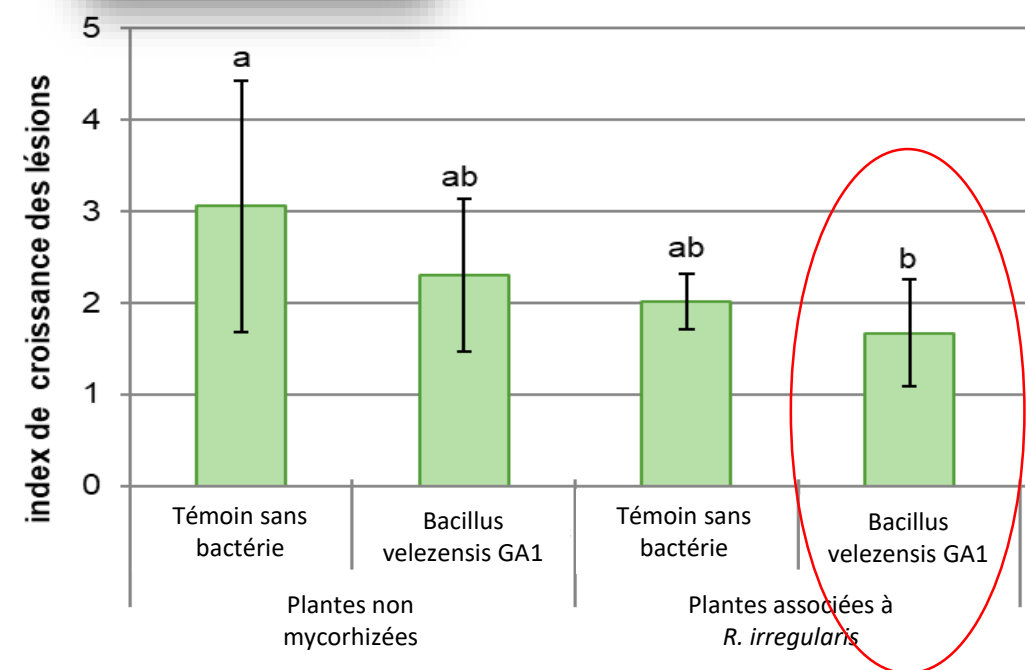
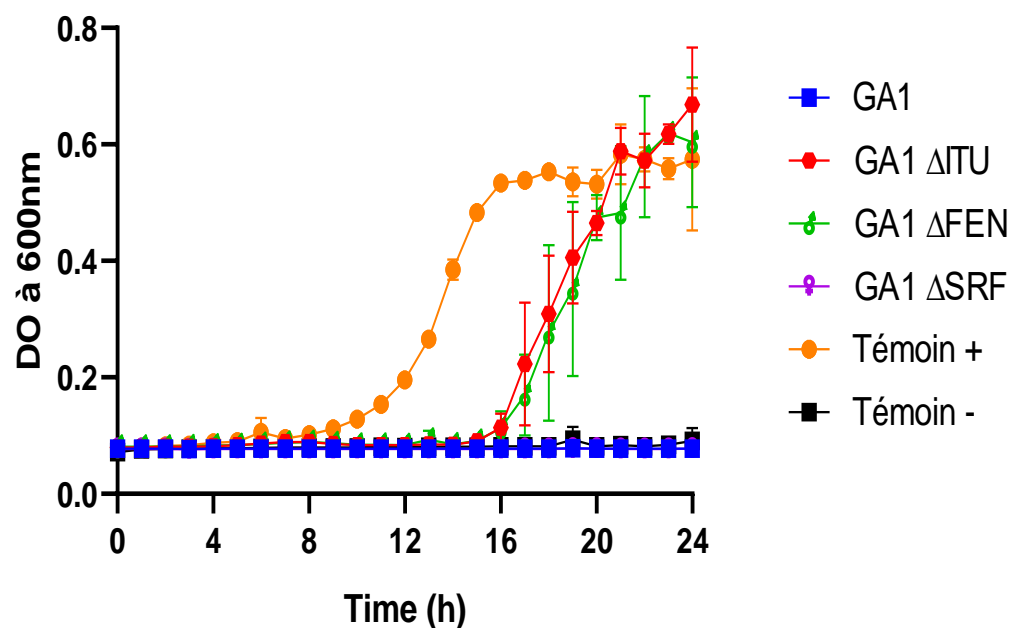


*In vitro*



*In vitro*

## Effet des iturines et Fengycines de *Bacillus velezensis* GA1



➡ *B. velezensis* GA1 produit des lipopeptides capables de contrôler l'agent responsable de la fusariose

➡ Taille des lésions plus faibles en en présence du consortium

# Communication

## LES AVANCÉES DU BIO

### L'effet des pratiques agricoles sur la mycorhization du froment d'hiver

Brieuc Hardy<sup>1</sup>, Maryline Calonne-Salmon<sup>2</sup>, Stéphane Declerck<sup>2</sup> et Bruno Huyghebaert<sup>1</sup>

## LES AVANCÉES DU BIO

### La conversion à l'agriculture biologique en Wallonie : moteurs, contraintes et enjeux

Brieuc Hardy, Frédéric Vanwindelens, Max Morelle, Bruno Huyghebaert

## LES AVANCÉES DU BIO

### Le sol en agriculture biologique ou de conservation : critères diagnostiques de son état de santé et effets des changements de pratiques

Brieuc Hardy, Frédéric Vanwindelens, Max Morelle, Bruno Huyghebaert (CRA-W)

Dans la même rubrique du numéro précédent, nous nous sommes penchés sur les moteurs, les contraintes et

## IV. Perspectives

### 5. L'effet des traitements de semence sur la mycorhization du froment d'hiver

B. Hardy<sup>1</sup>, E. Belvaux<sup>2</sup>, M. Calonne-Salmon<sup>2</sup>, B. Huyghebaert<sup>1</sup> et S. Declerck<sup>2</sup>

#### 5.1 Contexte et objectif

La plupart des plantes cultivées de nos régions entrent en symbiose avec des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) au cours de leur cycle végétatif. Les CMA sont des symbiotes obligatoires qui pénètrent dans le système racinaire des plantes hôtes pour y recevoir du carbone en échange de nutriments. Il est largement reconnu que la symbiose peut apporter des bénéfices à la plante hôte en termes de nutrition hydrique et minérale (phosphore, azote, micronutriments) et de résistance aux maladies cryptogamiques (Figure 1).

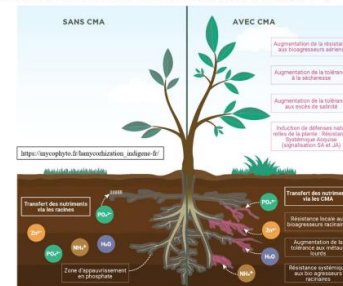


Figure 1 - Représentation schématisée des principaux services produits à la plante par les champignons mycorhiziens à arbuscules (Source : [https://mycophyto.fr/la-mycorhization\\_indigene-fr/](https://mycophyto.fr/la-mycorhization_indigene-fr/)).

## BURLEIGH DODDS SERIES IN AGRICULTURAL SCIENCE

### The use of *Bacillus* spp. as bacterial biocontrol agents to control plant disease

Adrien Anckaert, Anthony Argüelles Arias and Grégory Hoff, Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège (University of Liège), Belgium; Maryline Calonne-Salmon and Stéphane Declerck, UCLouvain (University of Louvain-la-Neuve), Belgium; and Marc Ongena, Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège, Belgium

bioRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2023.10.28.564539>; this version posted October 28, 2023. The copyright holder for this preprint (which was not certified by peer review) is the author/funder. All rights reserved. No reuse allowed without permission.

### 1 Deciphering the biology and chemistry of the mutualistic partnership between *Bacillus velezensis* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*

2  
3  
4  
5 Adrien Anckaert<sup>1</sup>\*, Stéphane Declerck<sup>2</sup>, Laure-Anne Poussart<sup>1,3</sup>, Stéphanie Lambert<sup>1</sup>, Helmus  
6 Catherine<sup>1</sup>, Farah Boubsi<sup>1</sup>, Sébastien Steels<sup>1</sup>, Anthony Argüelles Arias<sup>1</sup>, Maryline Calonne-Salmon<sup>2</sup> and  
7 Marc Ongena<sup>1</sup>\*

Alice  
Houdmont  
2019-2020

Belvaux  
Eleonore  
2020-2021

Nicolas Van  
Meerbeek  
2020-2021

Pauline Van  
Gansberghe  
2020-2021

Justine  
D'Haene  
2021-2022

Laure-Anne  
Poussart  
2021-2022

Thibault  
Mathias  
Alonso  
2022-2023

Hugo  
D'Angelo  
2023-2024

Marianna  
Georgoulaki  
2019

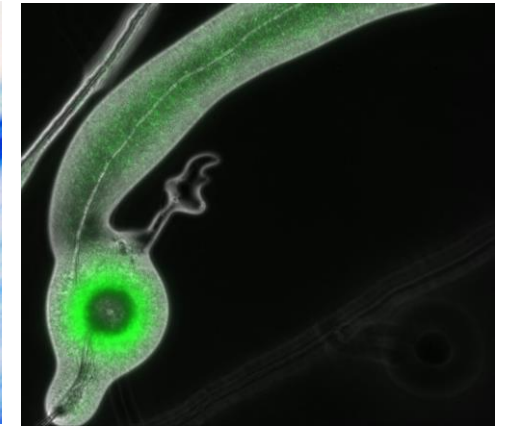
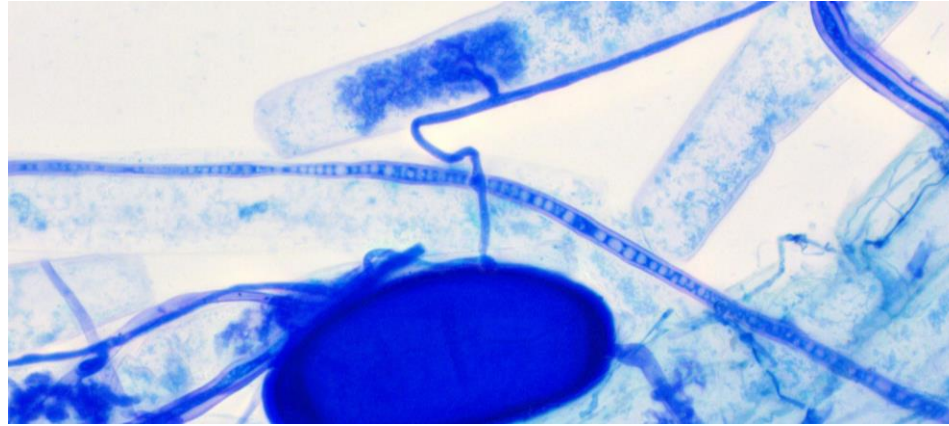
Michela  
Miglio  
2023

Lucas  
Maggetto  
2019

Simon Biver  
2021



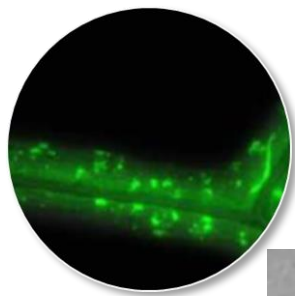
# MicroSoilSystem



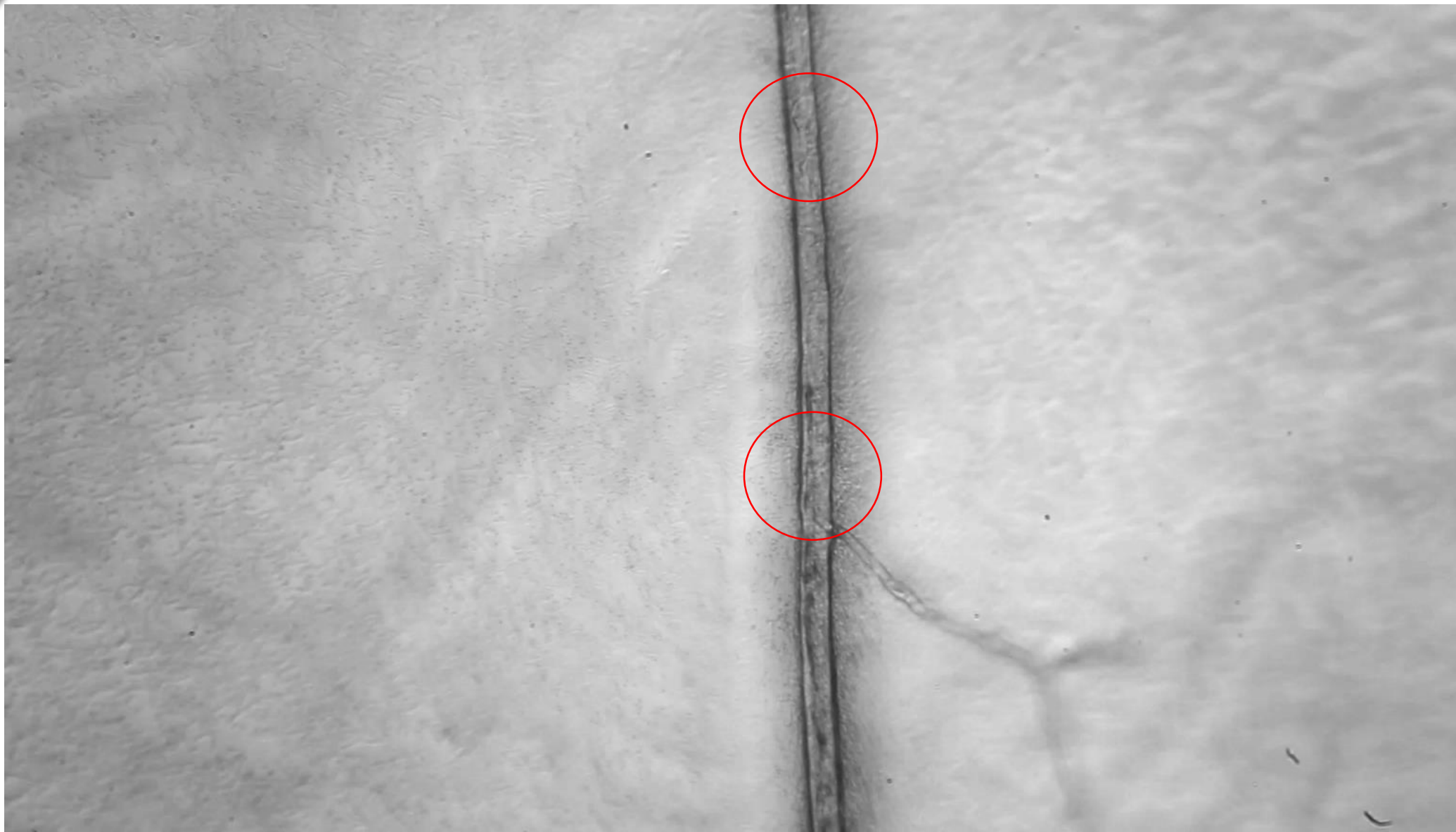
**Réduction d'intrants par application à finalité biostimulante et de biocontrôle de consortia microbiens formulés et adaptés au fonctionnement des sols en agriculture conventionnelle, bio et de conservation**

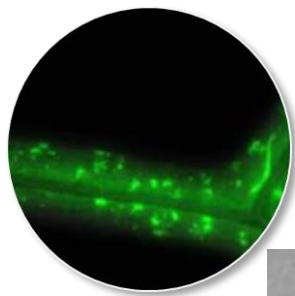




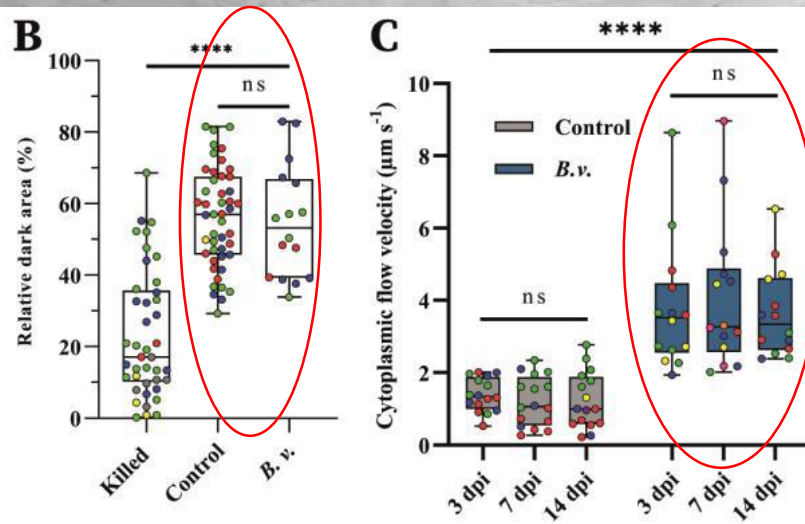
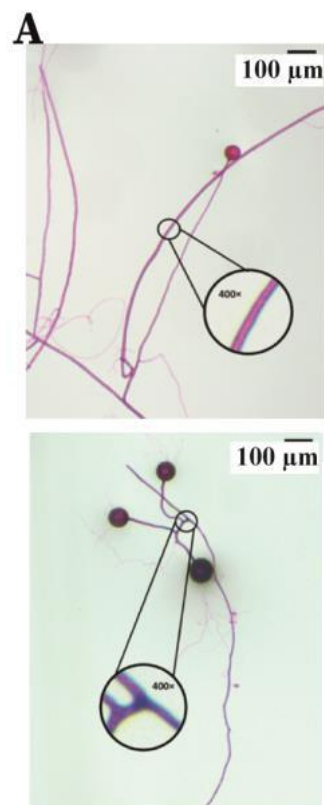


## Compatibilité des microorganismes





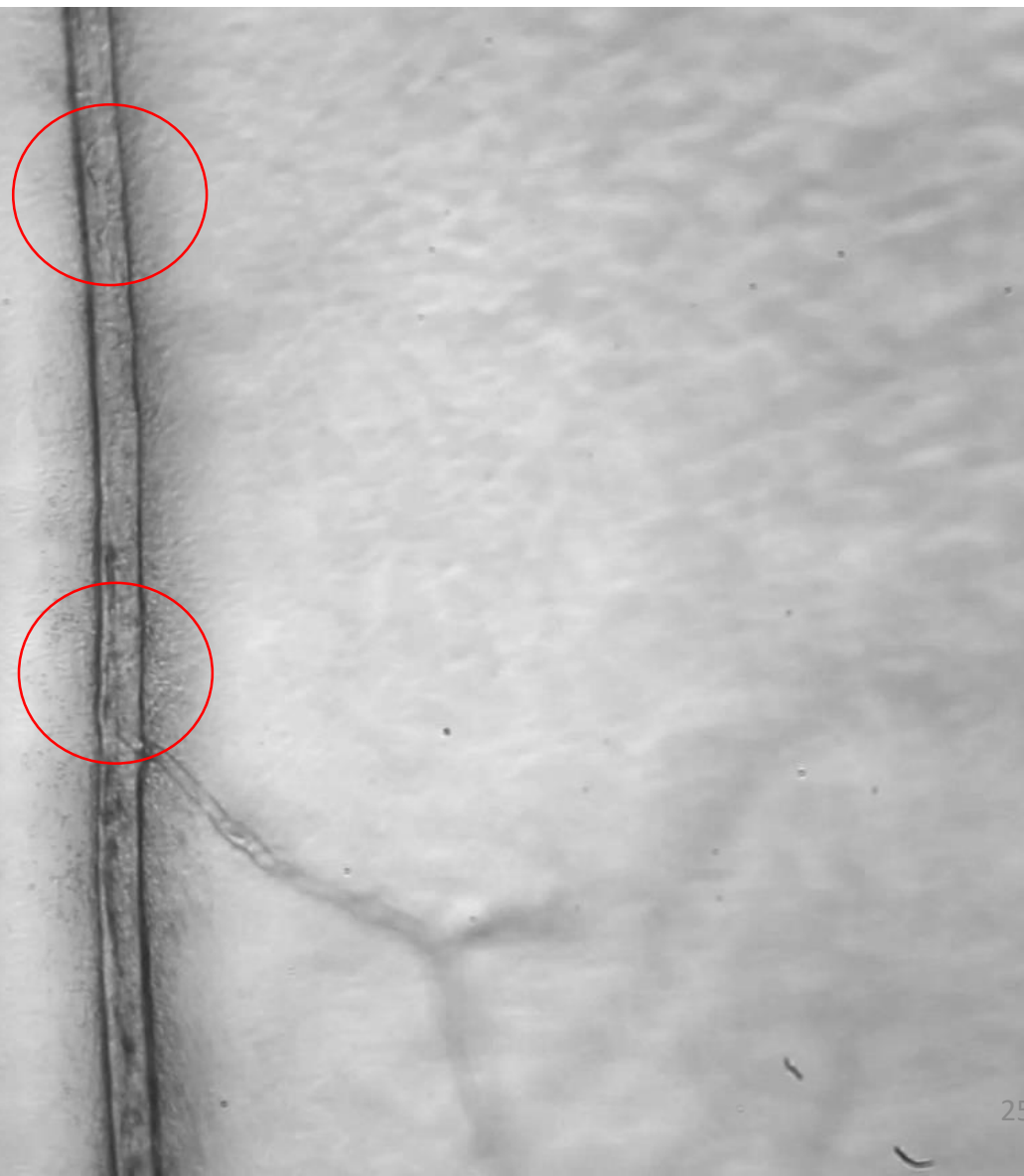
## Compatibilité des microorganismes



Vitalité similaire

Flux cytoplasmique accru

Adrien Anckaert et al., 2024

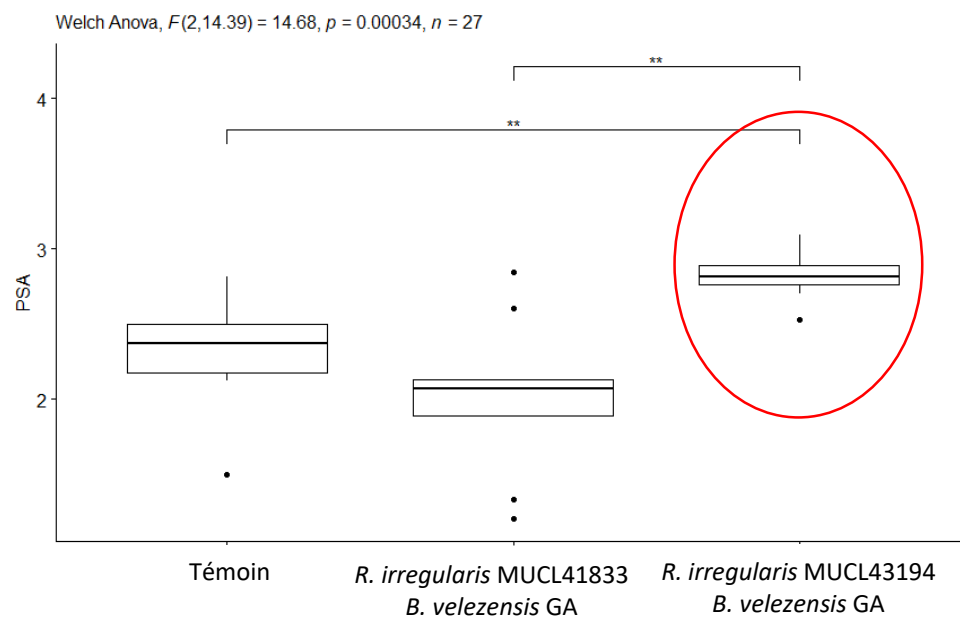




## Croissance du blé



## Poids sec aérien



➡ Stimulation de la croissance des plantes par le consortium *R. irregularis* MUCL43194 / *B. velezensis*

➡ Effet bénéfique souche-dépendant



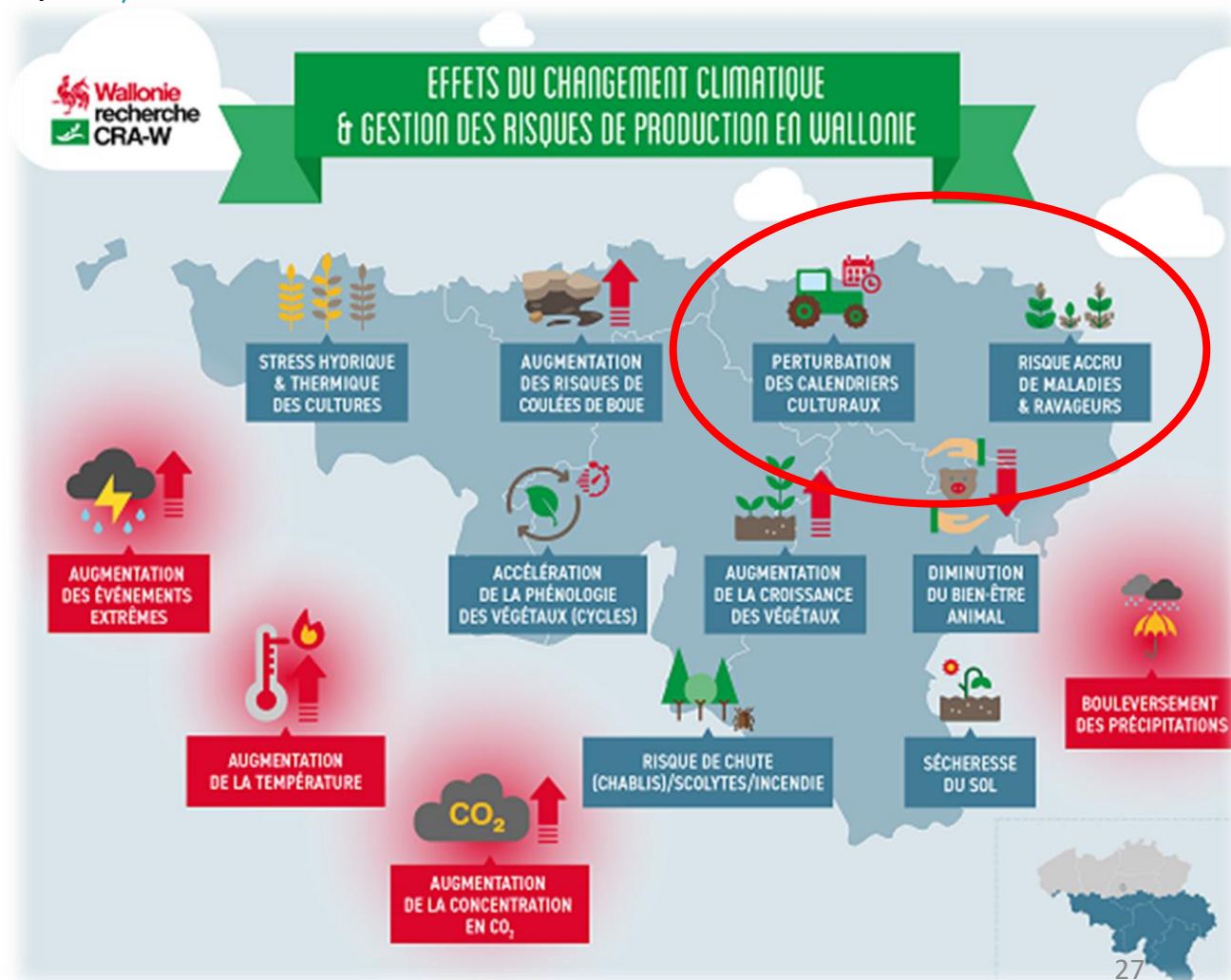
# Contexte: l'agriculture au centre des problématique de changement climatique



www.cra.wallonie.be

Réchauffement climatique = 1,5 à 2 °C d'ici 2050

Besoin d'intrants et de pesticides accru



# Genèse de MSS: les projets précédents

## SMARTBIOCONTROL



SMARTBIOCONTROL

Nouvelles molécules biosourcées et multifonctionnelles pour le contrôle des agents phytopathogènes des cultures de la région transfrontalière

Nouvelles stratégies de production et de formulation de biopesticides faiblement toxiques

Essais à petite et grande échelle des produits de biocontrôle et produits innovants issus de SmartBioControl

Outils innovants de suivi des pathogènes et des produits de biocontrôle au champ

<http://www.smartbiocontrol.eu/fr>

2016-2020

Projet soutenu par  
Project ondersteund door



Recherche  
et innovation  
Onderzoek  
en innovatie

Plus d'infos  
Meer info

[www.interreg-fwvl.eu](http://www.interreg-fwvl.eu)  
@InterregFWVL

Avec le soutien du Fonds  
européen de développement  
régional  
Met steun van het Europees  
Fonds voor Regionale  
Ontwikkeling



## Bioprotection du blé



Octobre à décembre 2023

Pré-test : 2 variétés + 6  
souches fongiques de *Z. tritici*  
Plantes 3 semaines et 6  
semaines

Sélection de la variété la plus  
sensible + la souche fongique la  
plus virulente

Janvier – avril 2024

Expérience 1: étude de  
l'impact des  
microorganismes  
bénéfiques sur la  
résistance du blé dur à la  
septoriose  
- CMA  
- Bactérie  
- CMA + bactérie

Expérience 2: étude de  
l'effet curatif ou préventif  
des lipopeptides

Avril - Juin 2024

Expérience 3: étude de  
l'impact des  
microorganisme(s)  
bénéfique(s) sélectionnés  
et l'application des  
lipopeptides en préventif  
ou curatif sur la  
résistance du blé dur à la  
septoriose

Expérience 4: réduction  
des pesticides



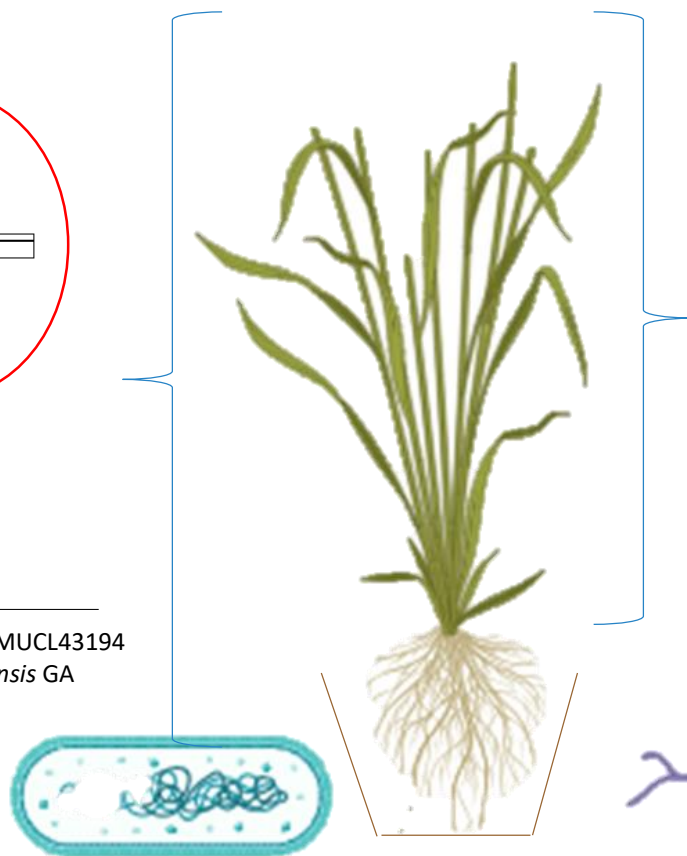
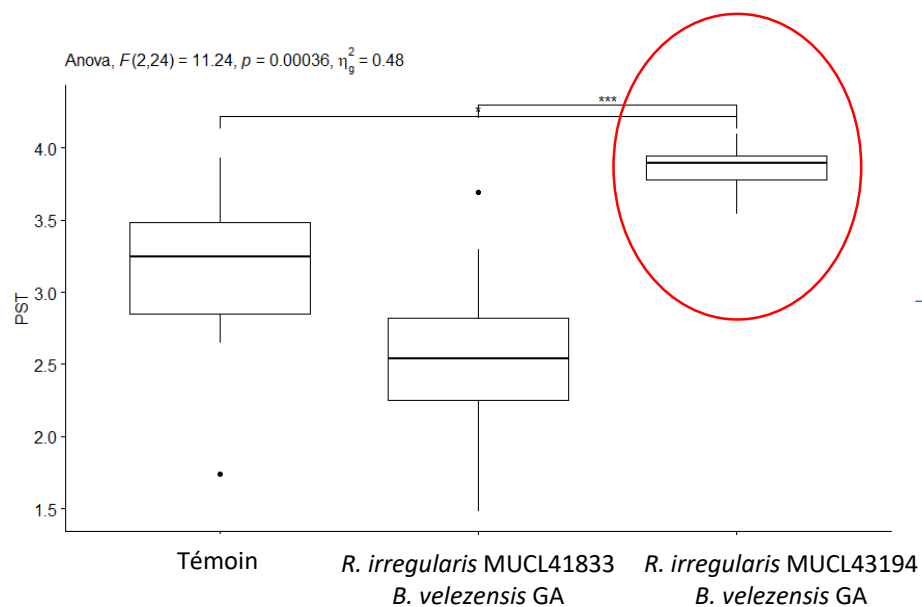




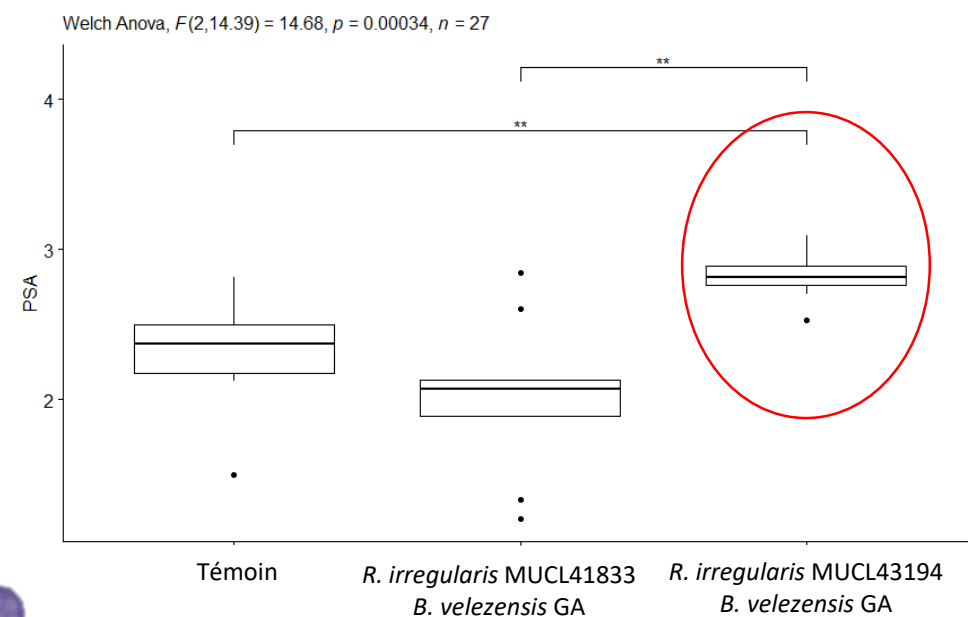
## Croissance du blé



### Poids sec total



### Poids sec aérien



Stimulation de la croissance des plantes par le consortium *R. irregularis* MUCL43194 / *B. velezensis*



## EVÈNEMENT DE CLÔTURE DU PROJET MICROSOILSYSTEM

28 FÉVRIER  
**2024**



**SALLE OCÉAN**  
Louvain-La-Neuve



**Wallonie  
recherche  
CRA-W**

Crédit : Hélène Van Der Stuyven

# Genèse de MSS: les projets précédents

DGA D31-1246  
DGA D31-10411  
CRA-W et UCLouvain

Buysens et al., 2016

Alaux et al., 2018

Medicago: plante très mycotrophe



En cas de faible  
pression de la  
maladie

Champignon mycorhizien à arbuscules



@Sillon Belge, 2018

<https://www.schilliger.com/fr/catalogue/articles/63577-pomme-de-terre-bintje-25kg/>

@Fertilisation.edu.fr

<https://www.agro-league.com/luzerne-cultivee>