

Valorisation des ressources microbiennes telluriques et conception de Biofertilisants et Biopesticides

Claire Prigent-Combaret (DR2 CNRS)

Equipe Rhizosphère

UMR CNRS 5557 Ecologie Microbienne, Villeurbanne, France



Fertilité des sols agricoles



- Dans les agrosystèmes, fertilité = capacité d'un sol à permettre la productivité agricole
- Composantes physique, chimique et biologique
- Importance de la biodiversité du sol

Diversité des microorganismes telluriques associés aux plantes

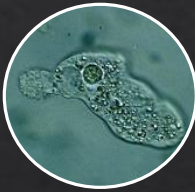
Nématodes

$10^1 - 10^2 \text{ g}^{-1}$



Protozoaires

$10^3 - 10^5 \text{ g}^{-1}$



Champignons

$10^3 - 10^6 \text{ g}^{-1}$

(100 m² de
mycélium/m² sol)



Algues

$10^3 - 10^6 \text{ g}^{-1}$



**RHIZO
MICROBIOTE**



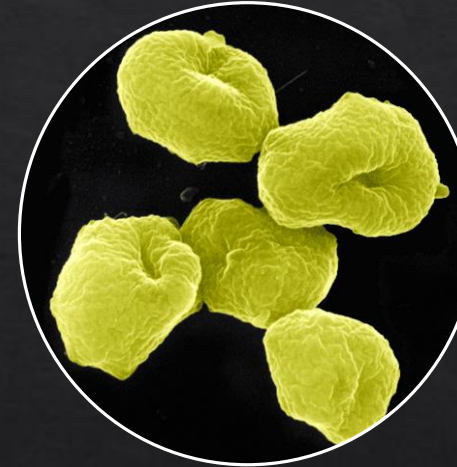
Bactéries

$10^8 - 10^9 \text{ g}^{-1}$
(10^6 espèces)



Archées

$10^7 - 10^8 \text{ g}^{-1}$

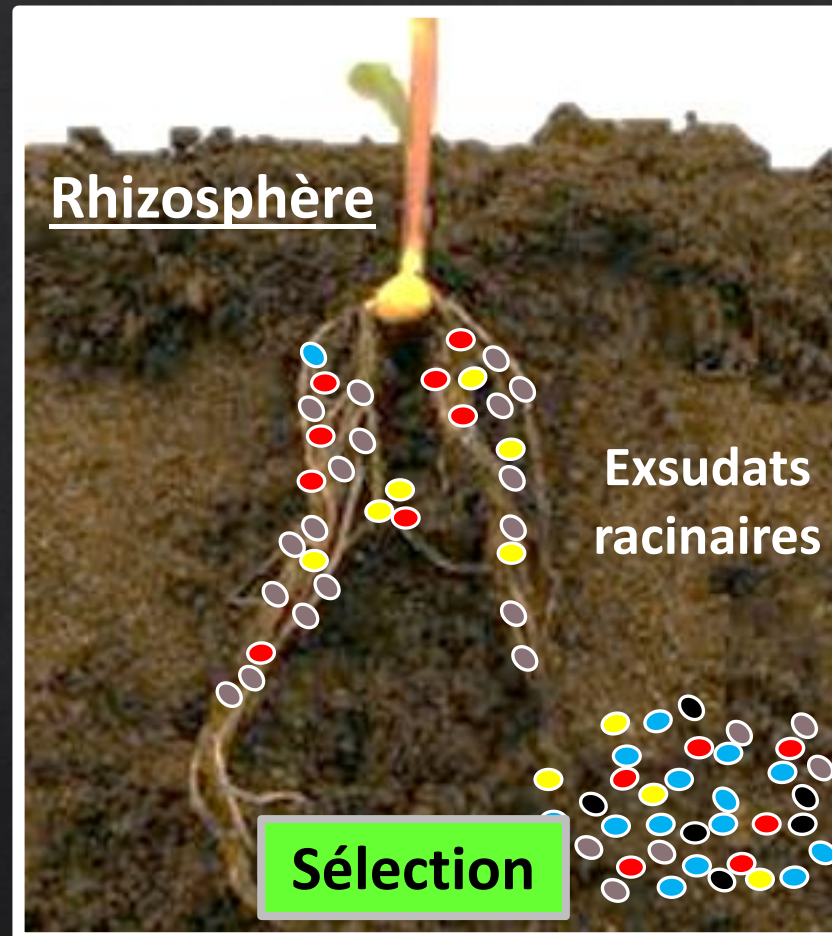


Virus

$10^7 - 10^9 \text{ g}^{-1}$



Microorganismes sélectionnés par la plante



Exsudation racinaire

Jusqu'à 20 % des produits de la photosynthèse libérés par la plante dans le sol

Composition

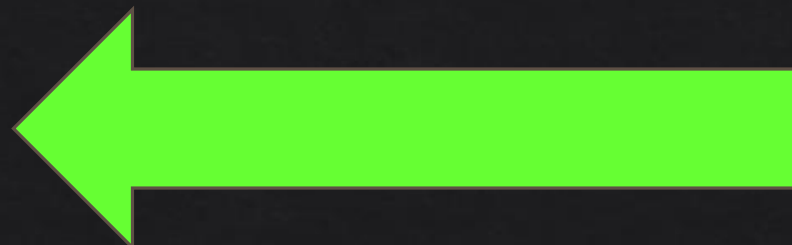
Sucres, acides aminés, vitamines



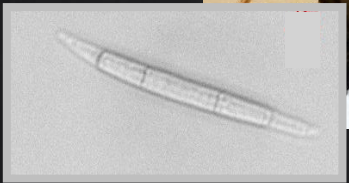
Sélection des microorganismes par la plante

Microbiote racinaire

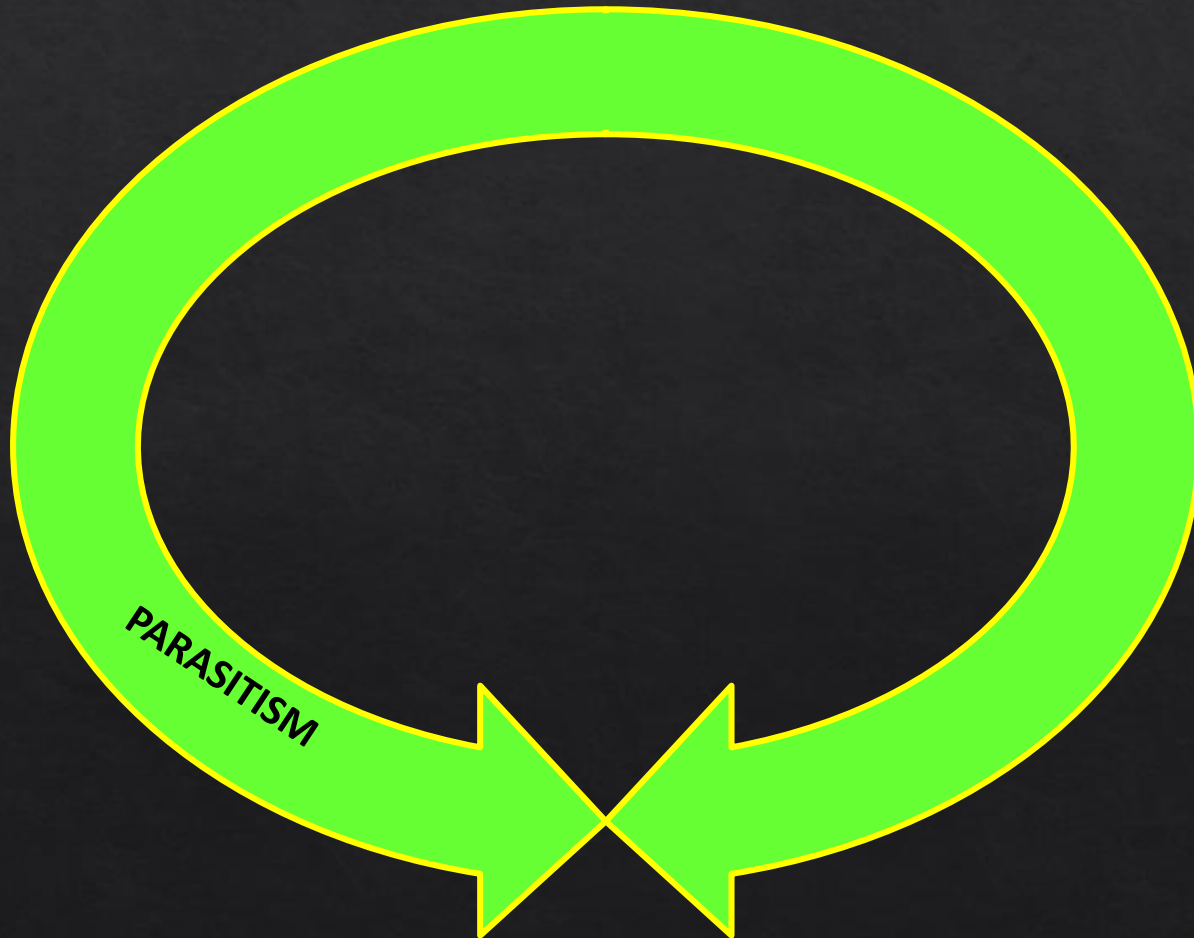
Ensemble des microorganismes présents dans la rhizosphère



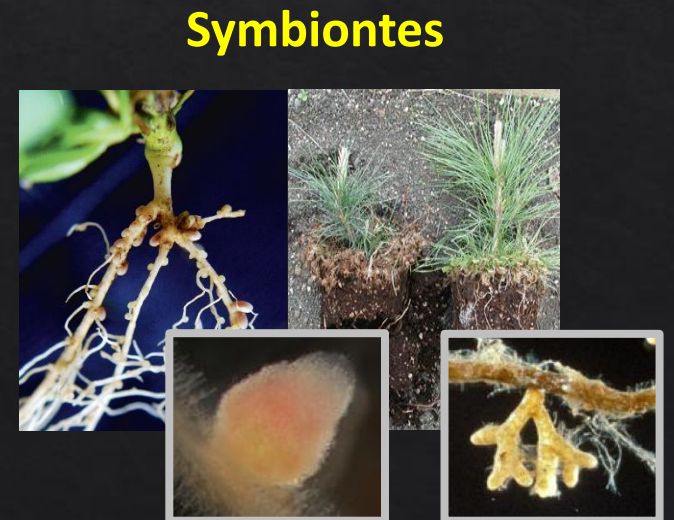
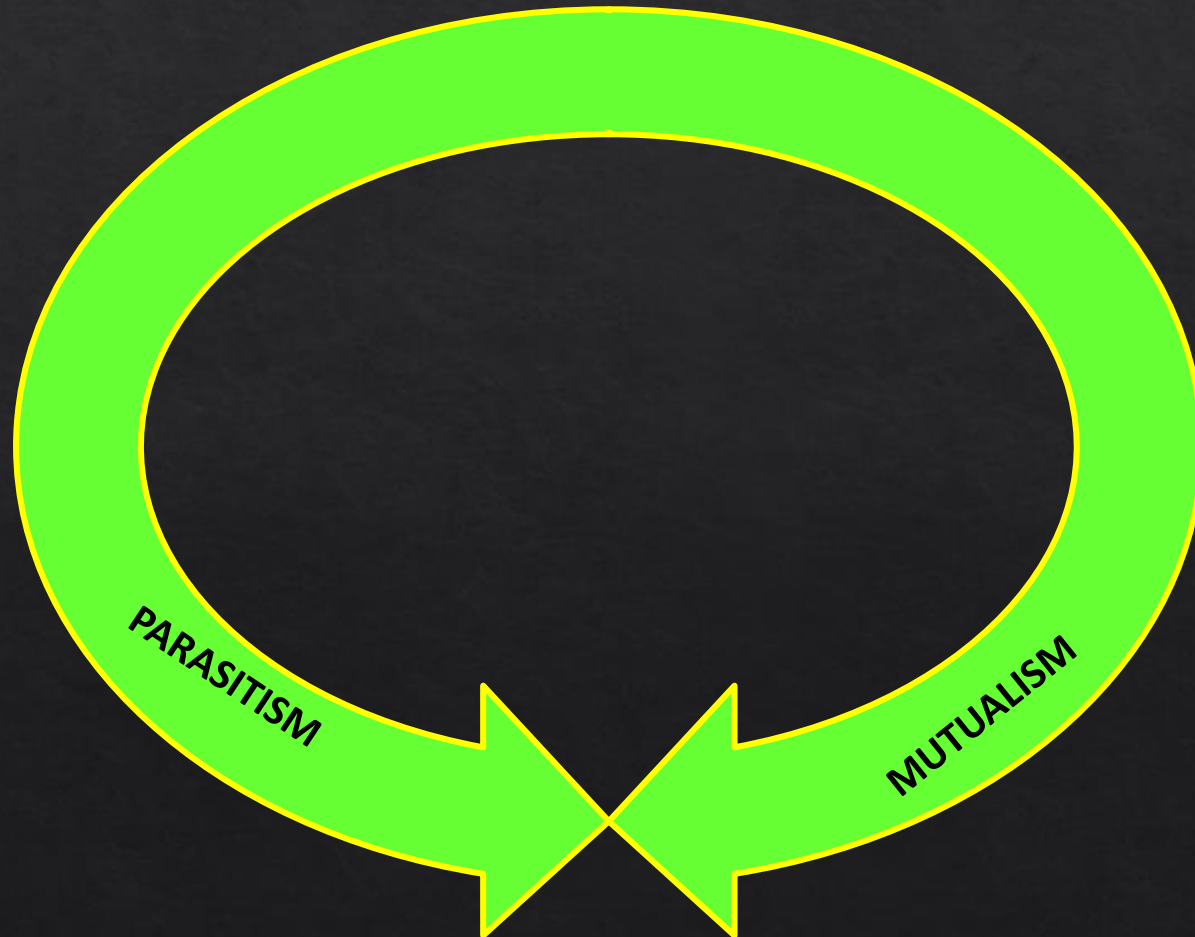
Interactions biotiques influençant la croissance des plantes



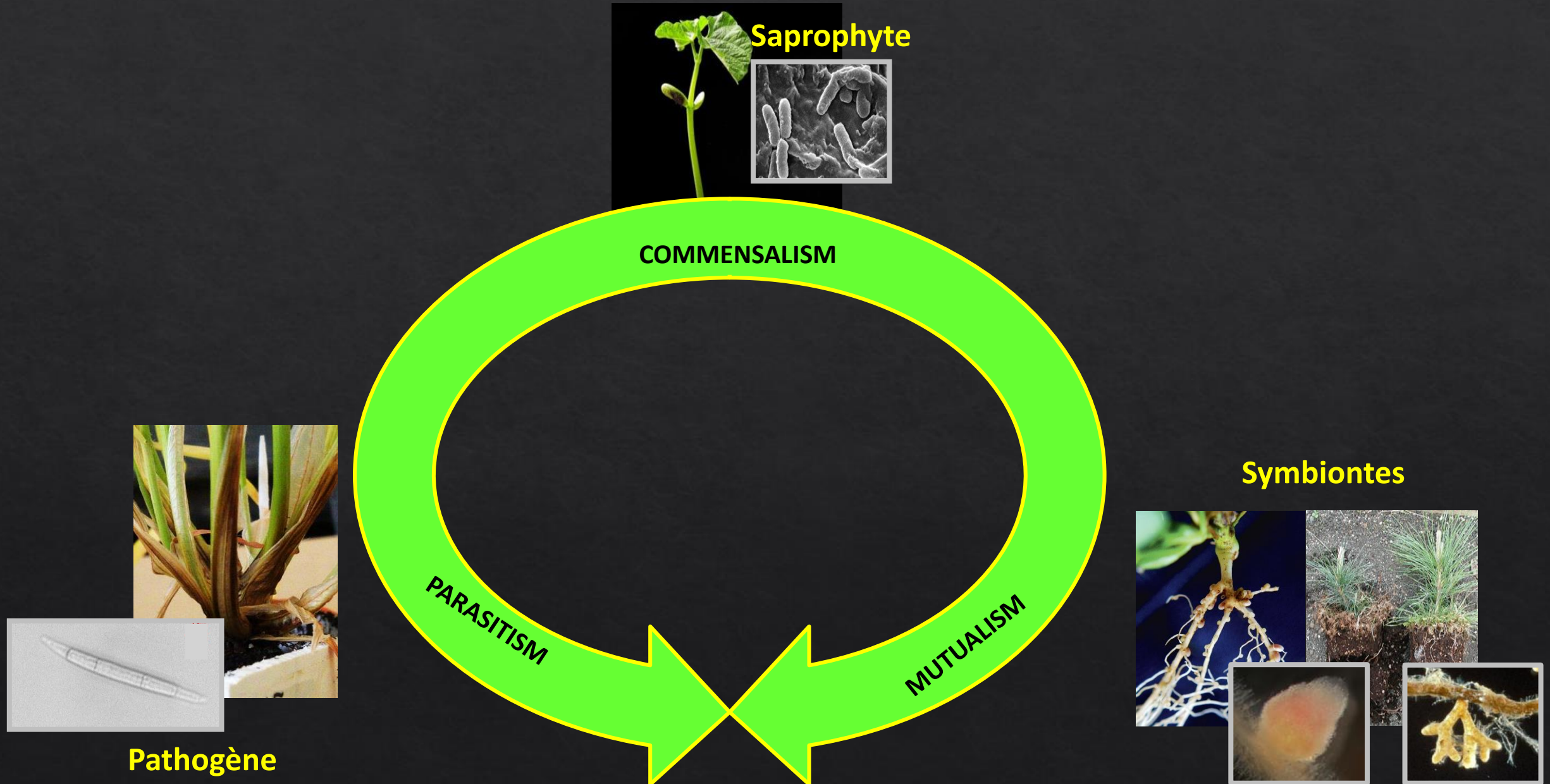
Pathogène



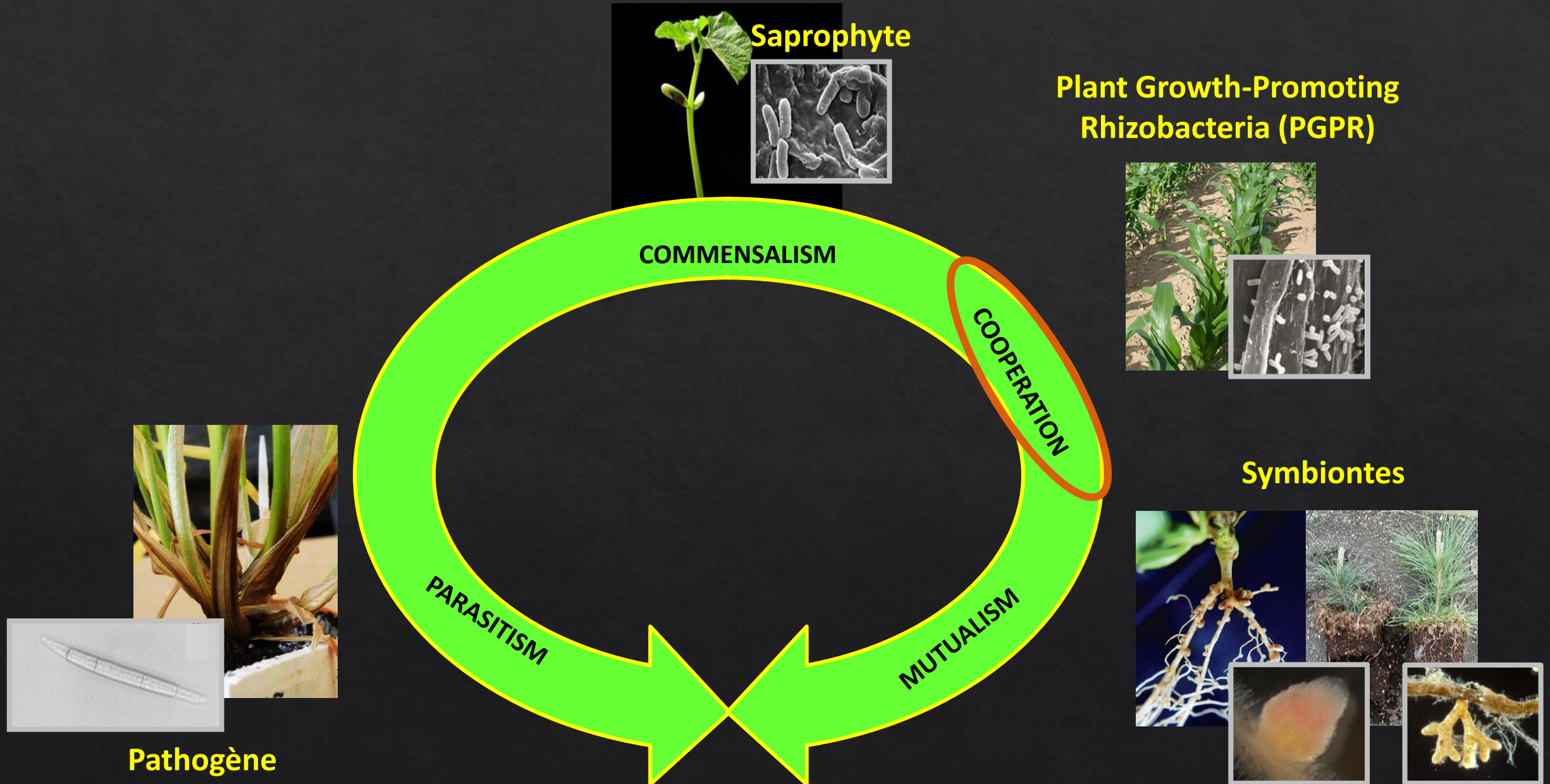
Interactions biotiques influençant la croissance des plantes



Interactions biotiques influençant la croissance des plantes



Interactions biotiques influençant la croissance des plantes



Agriculture et dégradation des sols



Agriculture traditionnelle sur abattis-brûlis

- Impact sur la santé des agriculteurs
- Réduction de la biodiversité des écosystèmes agricoles



Agriculture et réchauffement climatique

Agriculture intensive



NO_3^+

N_2O

Gaz à effet de serre

Eutrophisation

Pollution (Pesticides)

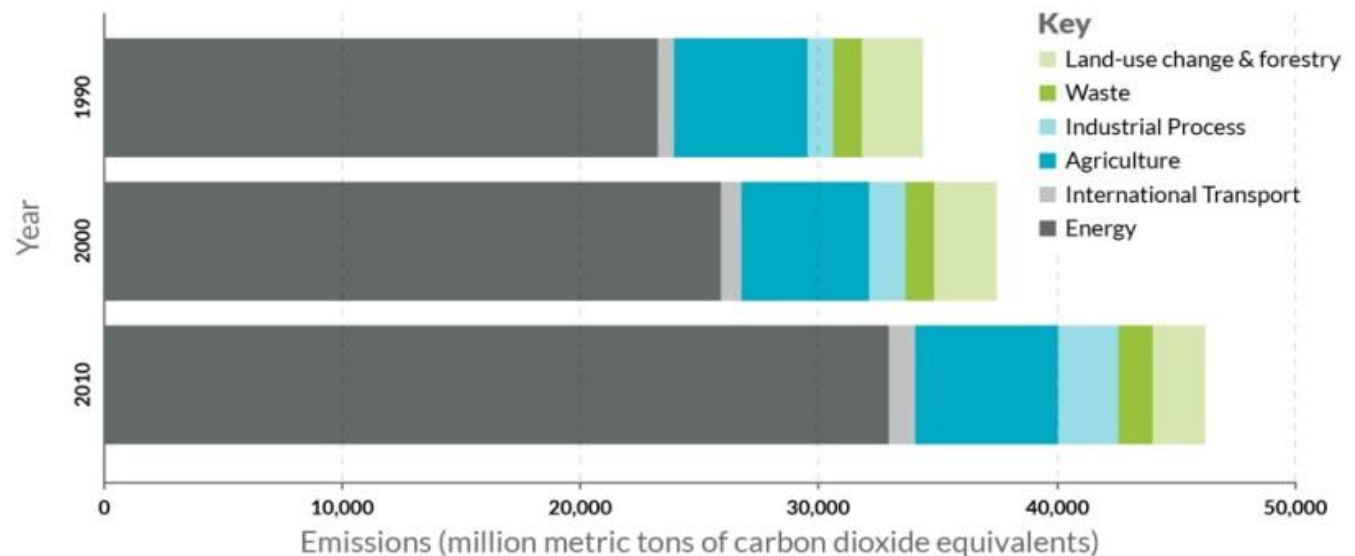


COP24 • KATOWICE 2018
UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE CONFERENCE

Agriculture contribue à 20% de
l'émission des gaz à effets de serre

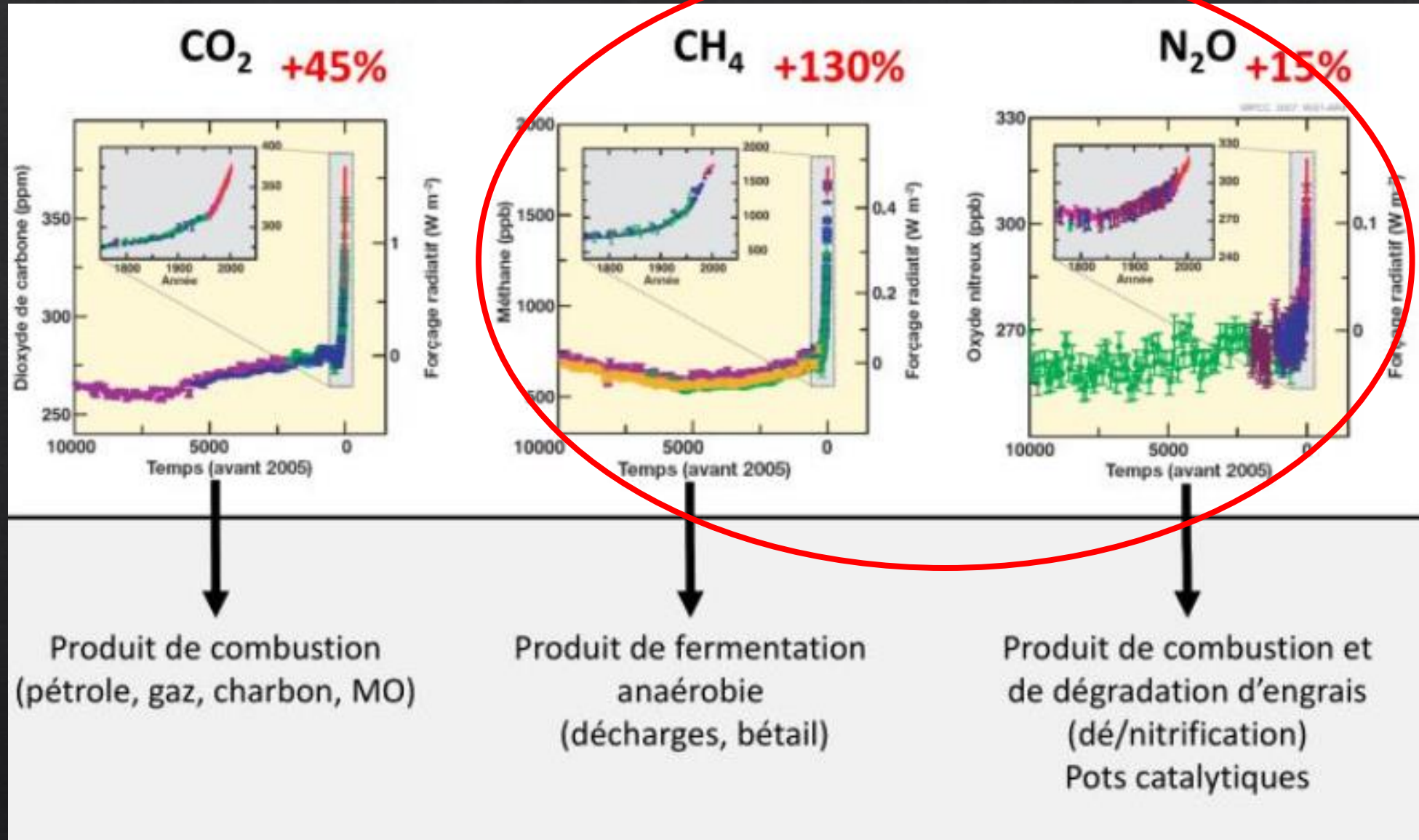
Global Greenhouse Gas Emissions by Sector

1990-2010



Source: WRI, 2014; FAO, 2014.

Agriculture et réchauffement climatique



Impact du réchauffement climatique sur les plantes



Plus de sécheresse

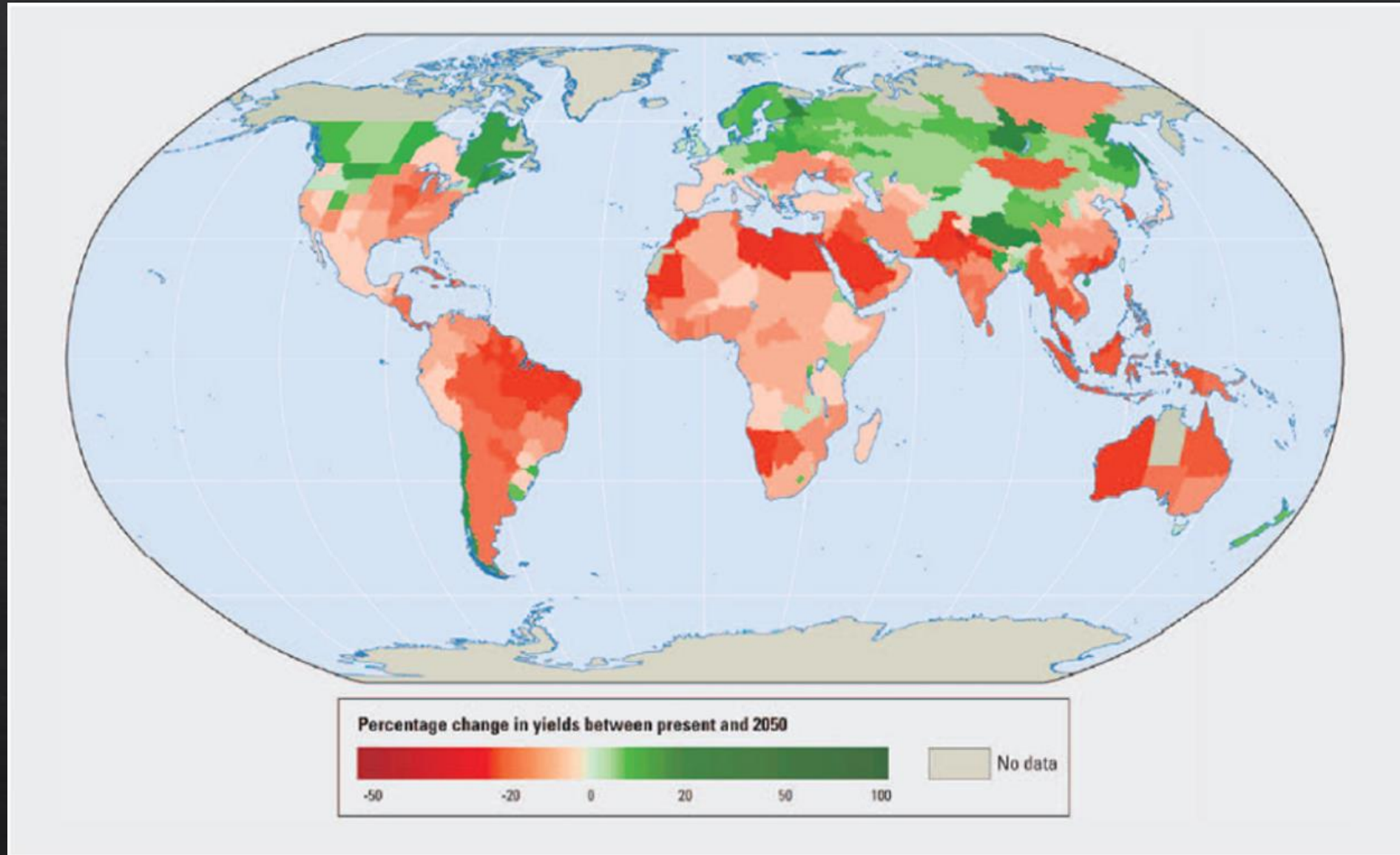


Plus d'insectes nuisibles



Plus de maladies cryptogamiques

Impact du réchauffement climatique sur la productivité végétale



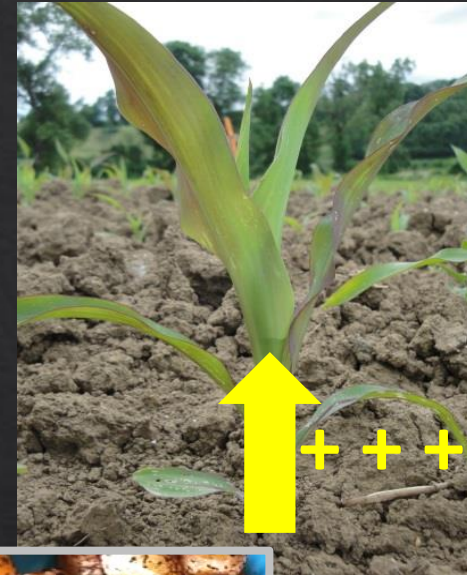
Besoin de développement d'une Agriculture plus durable



Exploiter les ressources
microbiennes des sols



BIOINOCULANTS



Les microorganismes au défi !

Développer une **agriculture raisonnée** est primordiale

→ optimiser les rendements des productions agricoles en prenant en compte la protection de l'environnement et en **maitrisant** les quantités d'intrants utilisées

Pour cela, il faut stimuler les **interactions naturelles bénéfiques** des plantes avec les organismes bénéfiques: microorganismes du sol, auxiliaires...



https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/quand-monsanto-se-met-au-bio-paris-s-inquiete_12273

Les Bioinoculants

Biofertilisant

Produit contenant des micro-organismes vivants ou des molécules issues du vivant qui contribuent à améliorer la croissance des plantes



en augmentant l'apport en nutriments, via des processus naturels comme la fixation de l'azote, la solubilisation du phosphore



en stimulant la croissance des plantes via la synthèse de régulateurs de croissance (phytohormones).

Biopesticide

Défini comme l'ensemble des méthodes de protection des végétaux par l'utilisation de mécanismes naturels....

... pour éradiquer les pathogènes

Biocontrôle

... pour contrôler les niveaux de populations des pathogènes et parasites sans les éradiquer complètement

Il existe quatre grands types de produits de biocontrôle

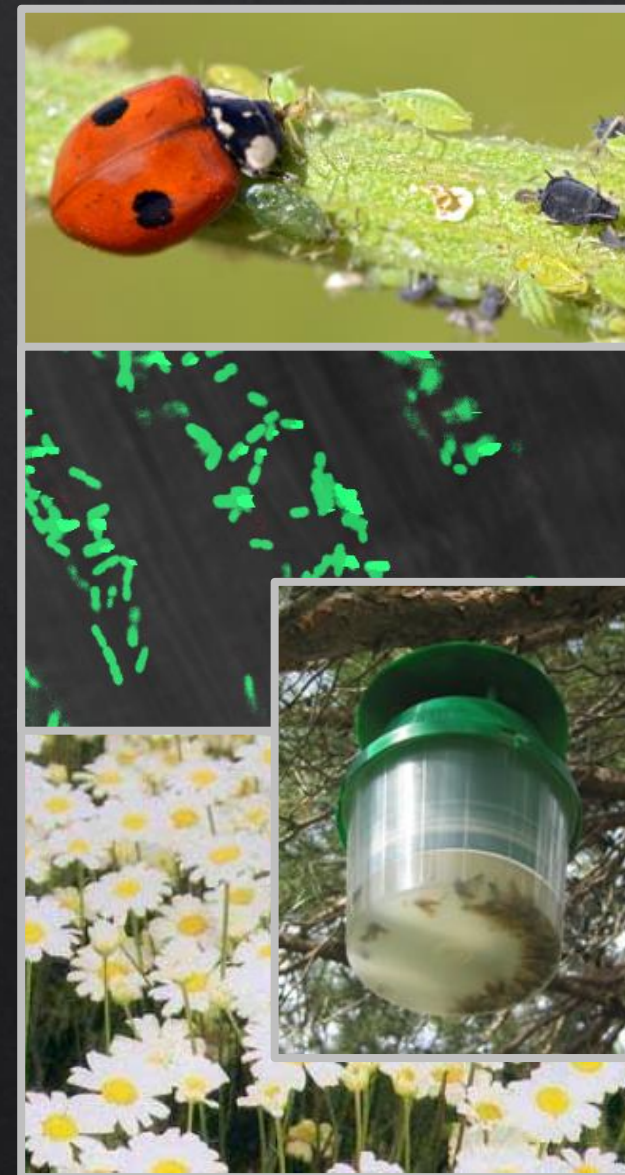
Les types d'agents de Biocontrôle

Macro-organismes: invertébrés, insectes, acariens ou nématodes utilisés pour protéger les cultures contre des bio-agresseurs.

Micro-organismes: champignons, bactéries et virus utilisés pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies ou stimuler la vitalité des plantes.

Médiateurs chimiques: phéromones d'insectes et les kairomones, pour contrôler les populations d'insectes par la méthode de confusion sexuelle et le piégeage.

Substances naturelles: composées de substances présentes dans le milieu naturel; d'origine végétale, microbienne, animale, ou minérale



La lutte intégrée

Le biocontrôle s'insère dans une approche globale de **Protection Intégrée**. Ces stratégies dites IPM (*Integrated Pest Management*) mettent en œuvre à la fois des produits de Biocontrôle, des produits conventionnels de protection des plantes et toutes pratiques agronomiques ou culturelles permettant une bonne gestion de la **biodiversité**.

La lutte intégrée



Privilégier l'activité des moyens d'action biologiques qui existent dans l'agroécosystème



Choisir des cultures et des variétés qui minimisent la pression des organismes nuisibles



Mettre en œuvre des agents de lutte vivants (macroorganismes, microorganismes, espèces et variétés cultivées) ou issus du vivant (substances naturelles, médiateurs chimiques, éliciteurs)

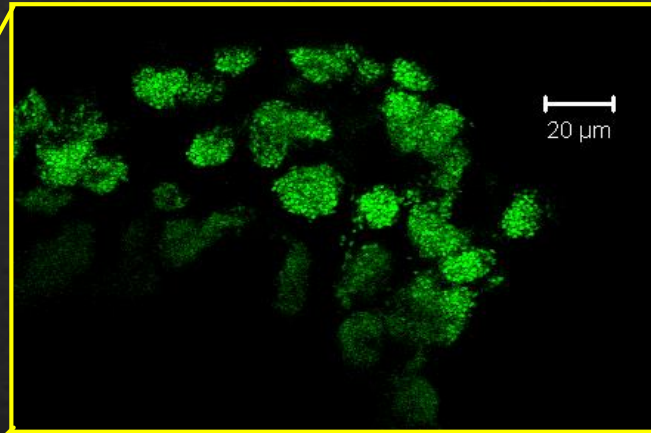
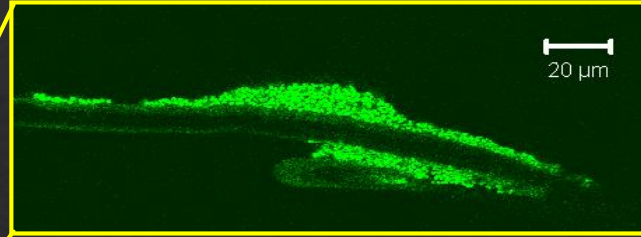
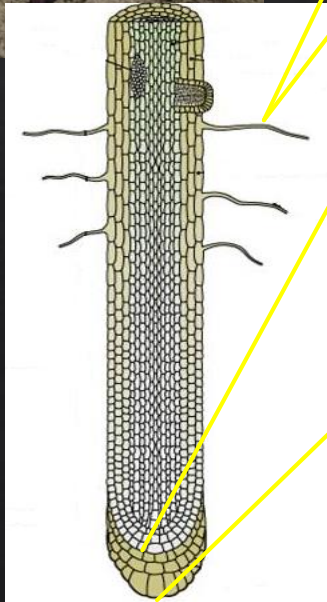


Utiliser des pratiques agricoles adaptées (gestion des résidus des cultures, rotation des cultures, limitation de la monoculture)

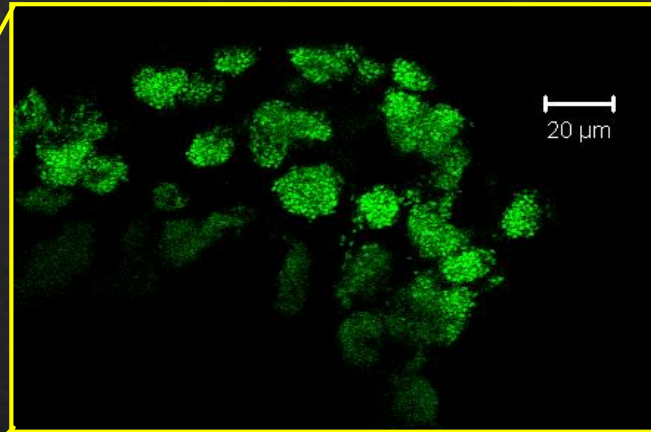
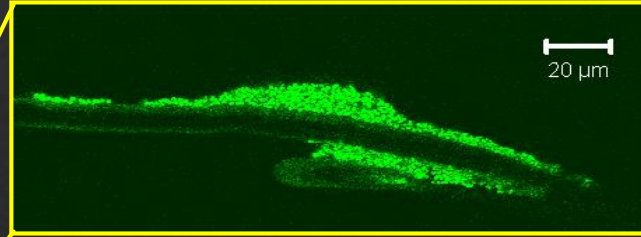
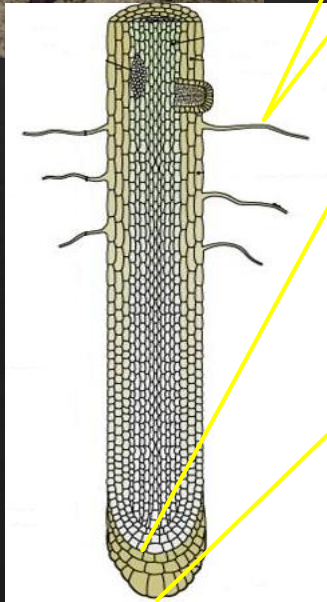


Pour diminuer les doses de produits phytosanitaires

Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

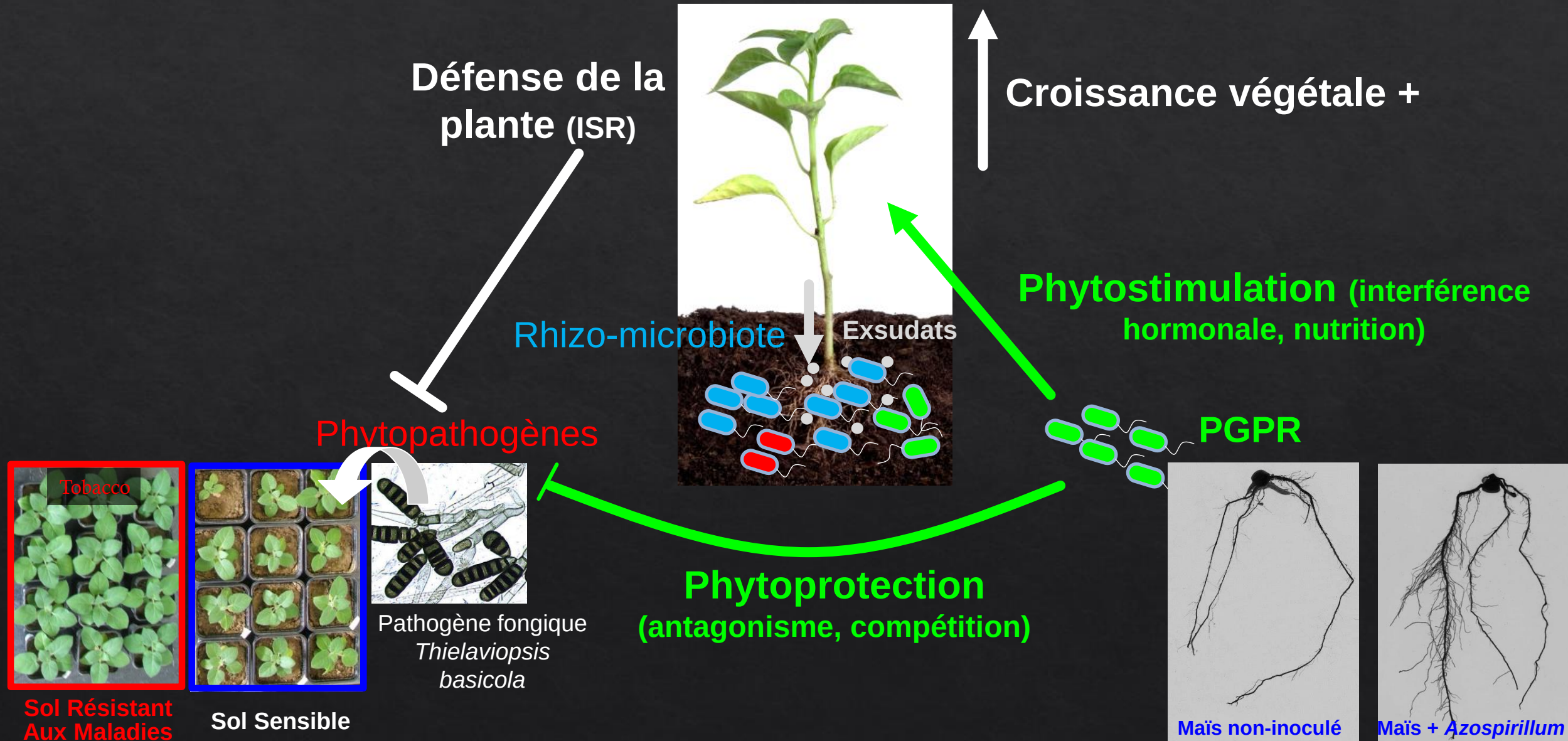


Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

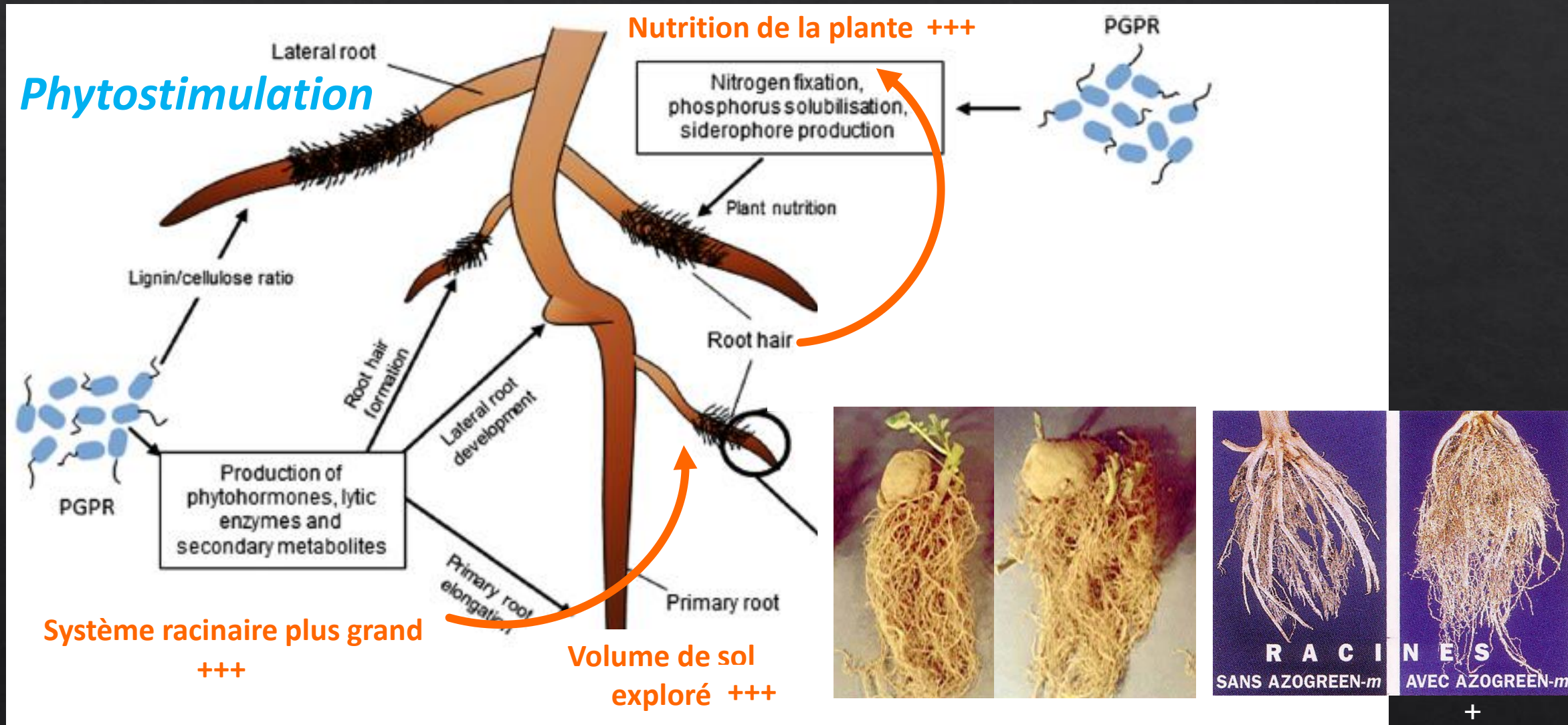


- Pas de structures spécifiques dédiées à la coopération
- Grande diversité de taxa :
 - Proteobacteria*
 - Firmicutes*
 - Actinobacteria*
- Toutes les plantes peuvent être associées à des PGPR

Etude des effets directs et indirects des PGPR sur la plante



Effet direct des PGPR sur les racines des plantes



Effet biofertilisant
sur la pomme de terre

Effet biofertilisant
sur le maïs

Effet indirect des PGPR sur les racines des plantes

Phytoprotection

2 mécanismes principaux

Défenses



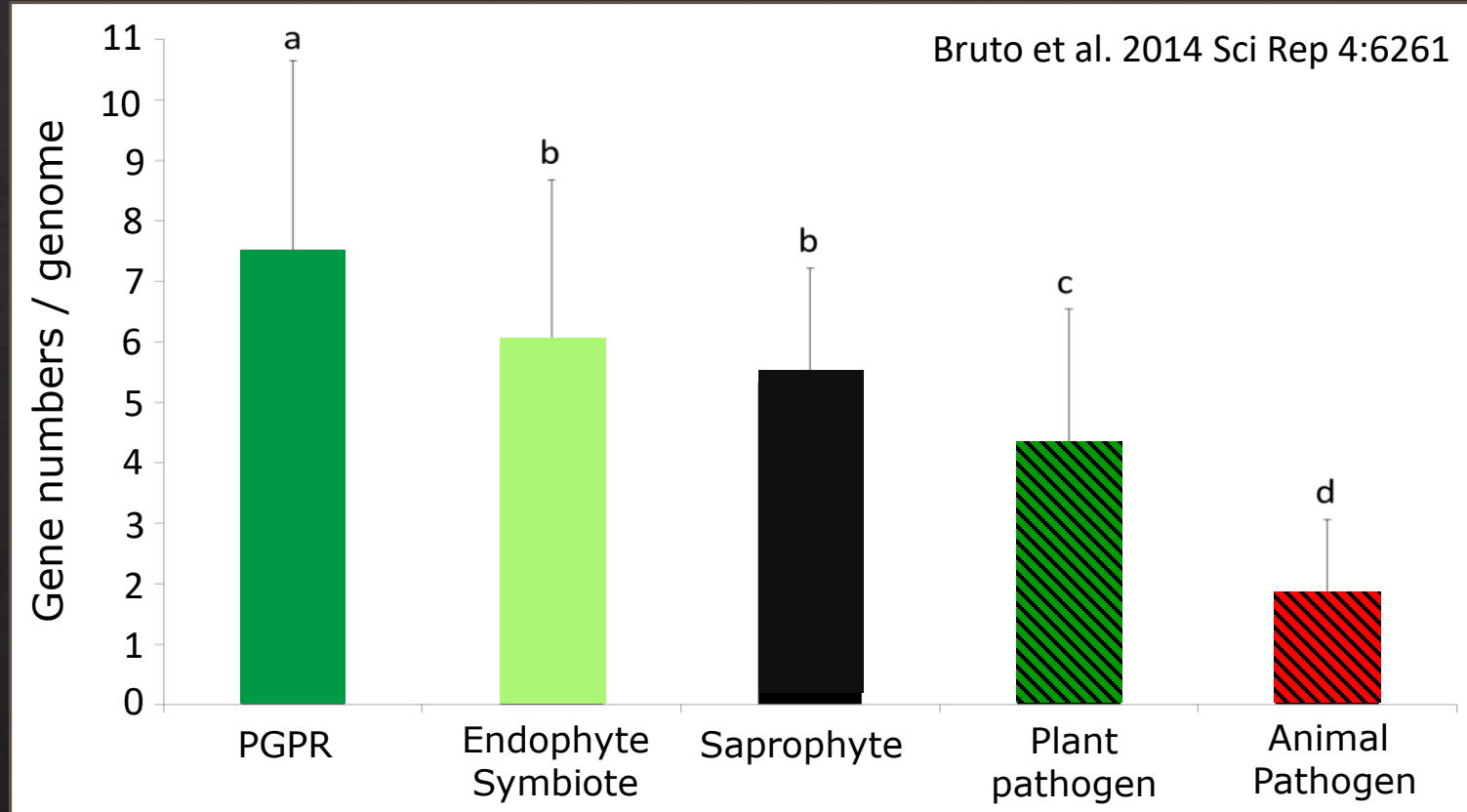
Pathogène

Induction d'une
résistance
systémique

Antagonisme/
compétition

Agent biocontrôle

Distribution des gènes codant des propriétés phytobénéfiques chez les bactéries



➡ Le plus grand nombre de gènes codant des fonctions phytobénéfiques co-occurents dans les génomes est présent chez les PGPR

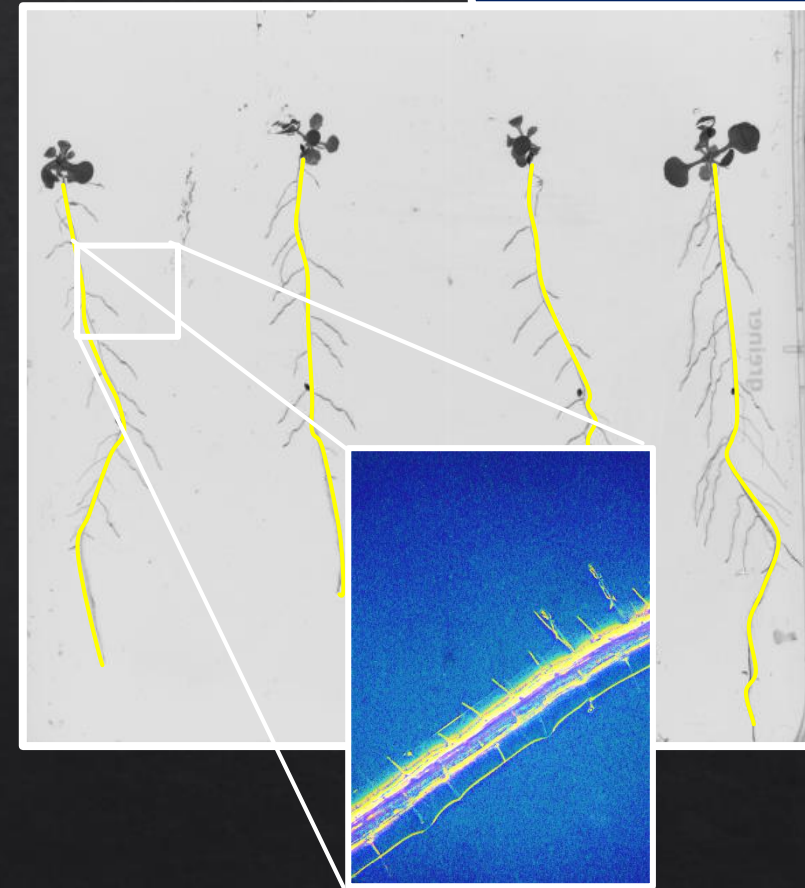
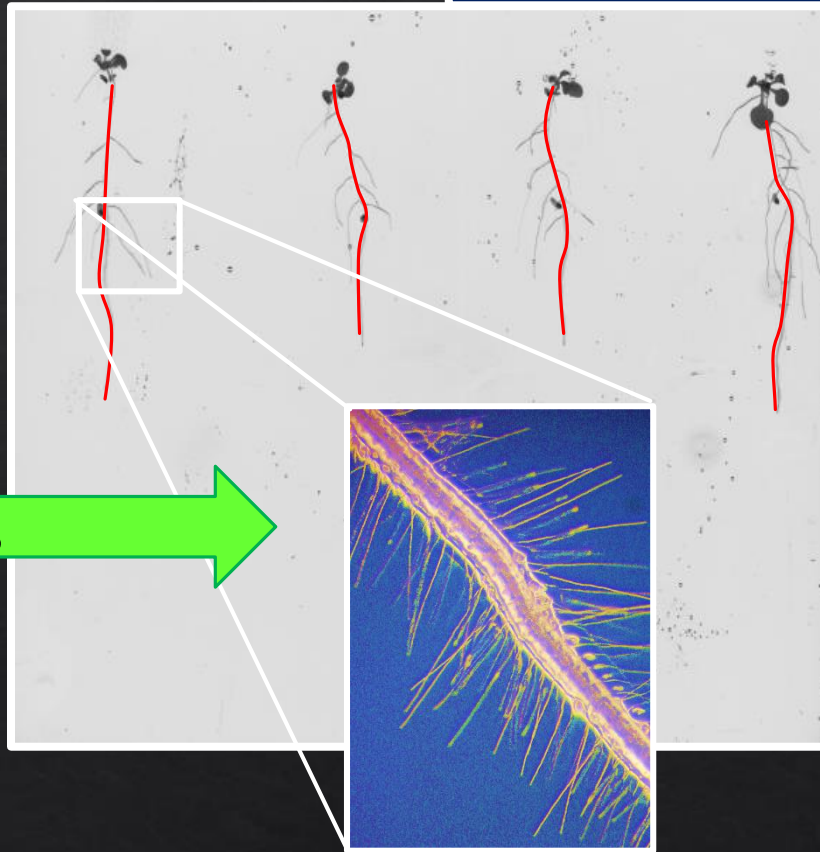
Quelle contribution des fonctions co-occurentes aux effets PGPs?

Exemple de l'interaction *Pseudomonas kilonensis* F113/ *Arabidopsis thaliana*



F113

Non inoculé



Principale

Poils

Principale

Poils

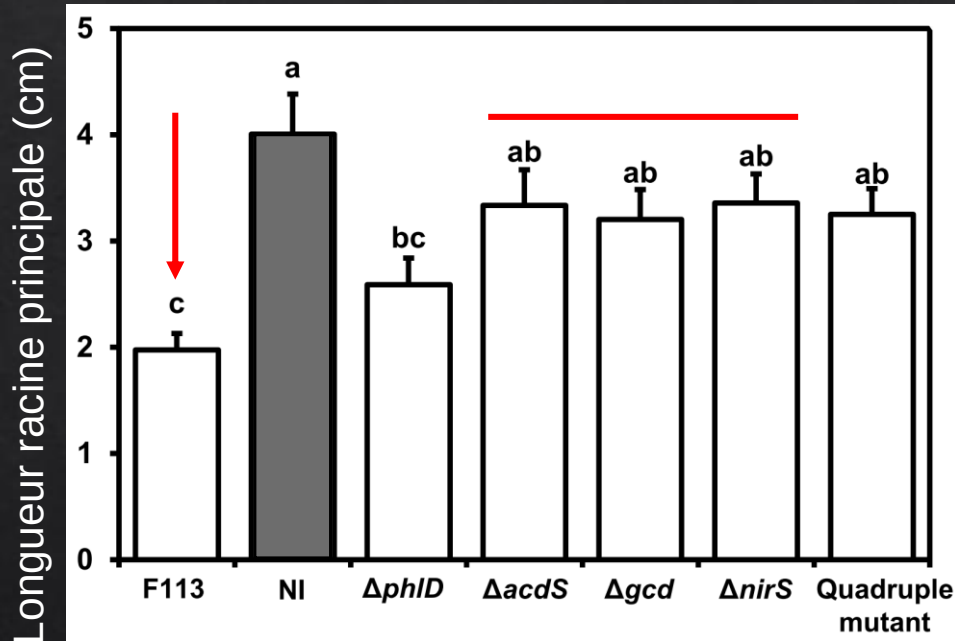
➤ Effets de types « auxiniques » de F113 sur l'architecture racinaire

Quelle contribution des fonctions co-occurentes aux effets PGPs?

phlD → Production de DAPG
acdS → Désamination de l'ACC

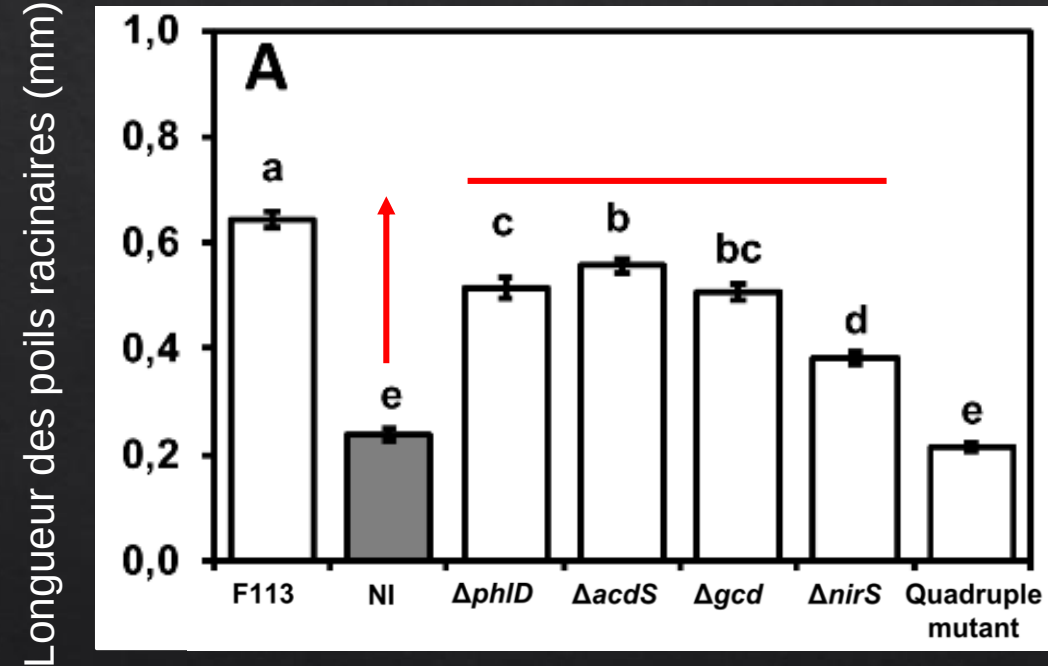
gcd → Solubilisation du P
nirS → Production de NO

Impact sur la longueur de la racine principale



3 sur 4 des fonctions phyto-bénéfiques étudiées contribuent à l'inhibition de l'élongation de la racine principale.

Impact sur la longueur des poils racinaires

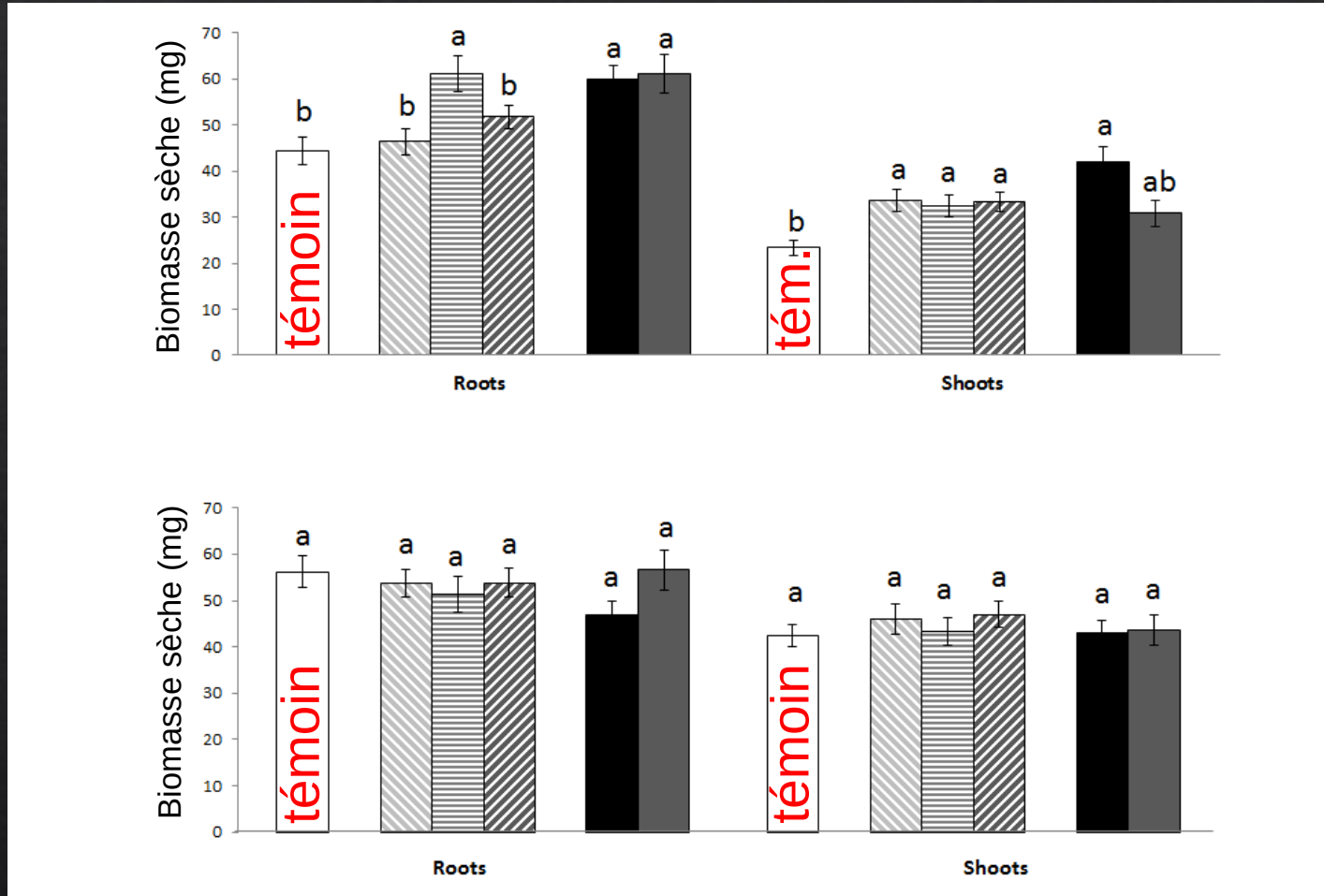


Les 4 fonctions phyto-bénéfiques étudiées contribuent à l'allongement des poils racinaires.

➤ Contribution des multiples fonctions co-occurentes aux effets PGPs

Importance de la génétique de l'hôte végétal

✓ **Constat fréquent** → certaines variétés ont une meilleure capacité d'interaction avec les PGPR



Maïs PR37Y15:
Réponse précoce
aux PGPR

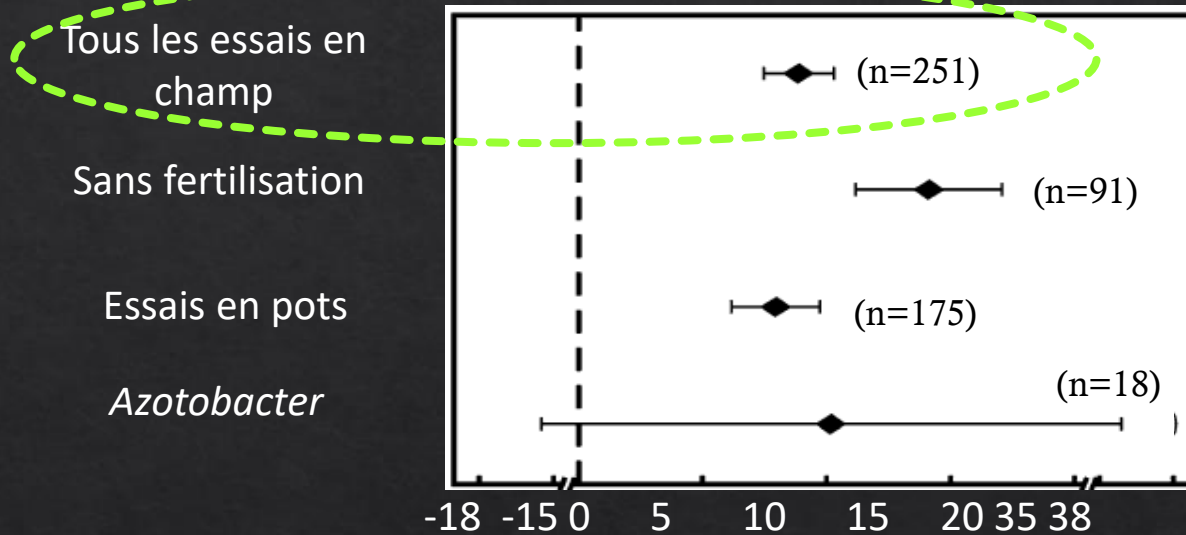


Maïs DK315:
Répond peu
aux PGPR



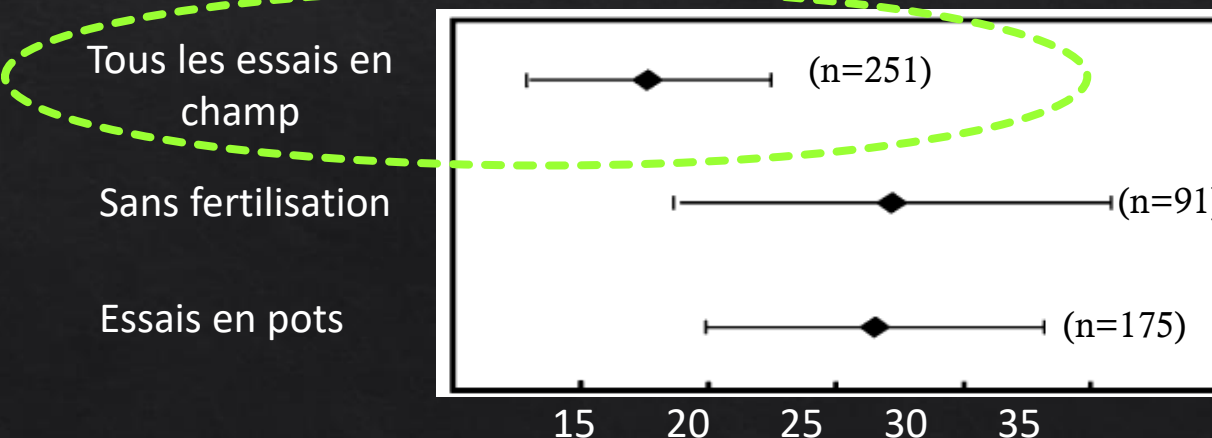
Efficacité de Biofertilisants du genre *Azospirillum* en champs

Rendement (% augmentation)



Méta-analyse (1981-2008)
sur résultats d'inoculation
d'*Azospirillum* sp.

Biomasse sèche (% augmentation)



➡ Seulement 10%
d'augmentation de
croissance

Efficacité des bioinoculants sur les plantes, une histoire compliquée...

Résulte d'un réseau d'interactions multi-partenaires

Effet phytobénéfique



=



**Variété
Plante**

X

Bioinoculant



X

**Rhizo-
microbiome**

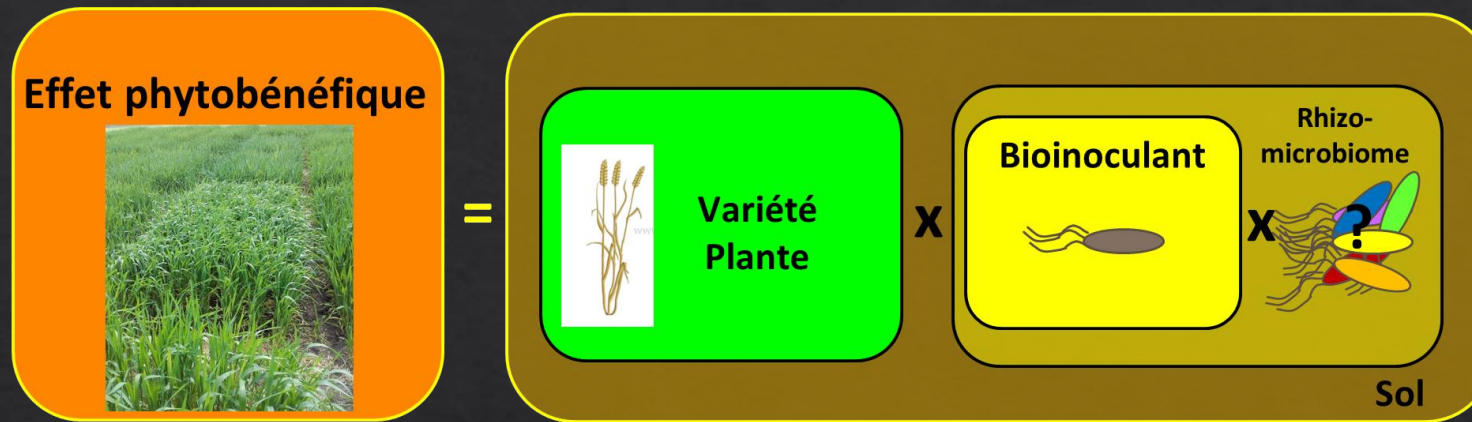


Sol



Contraintes environnementales

Efficacité des bioinoculants sur les plantes, une histoire compliquée...



Quels verrous levés pour augmenter l'efficacité des bioinoculants?



Connaitre les mécanismes clés contrôlant l'établissement des bioinoculants dans la rhizosphère



Combiner plusieurs microorganismes et / ou substances pour améliorer l'efficacité



Identifier les génotypes et les traits végétaux qui favorisent les interactions de la plante avec les bactéries phyto-bénéfiques inoculées ou indigènes du sol



**Comment améliorer l'établissement
des bioinoculants dans la
rhizosphère?**

Plusieurs modes d'application des Bioinoculants

✓ Inoculation sur la graine (enrobage)



✓ Application foliaire (spray)



✓ Application dans le sol



Technologies d'inoculation des Bioinoculants



Trouver la ou les souches microbiennes efficaces dans leur colonisation de la rhizosphère et dans leurs effets bénéfiques sur la plante



Utiliser la meilleure technique de formulation de la souche qui soit favorable à sa survie et adaptée à la plante traitée



Utiliser les meilleurs modes d'application du bioinoculant ($\pm$ support)

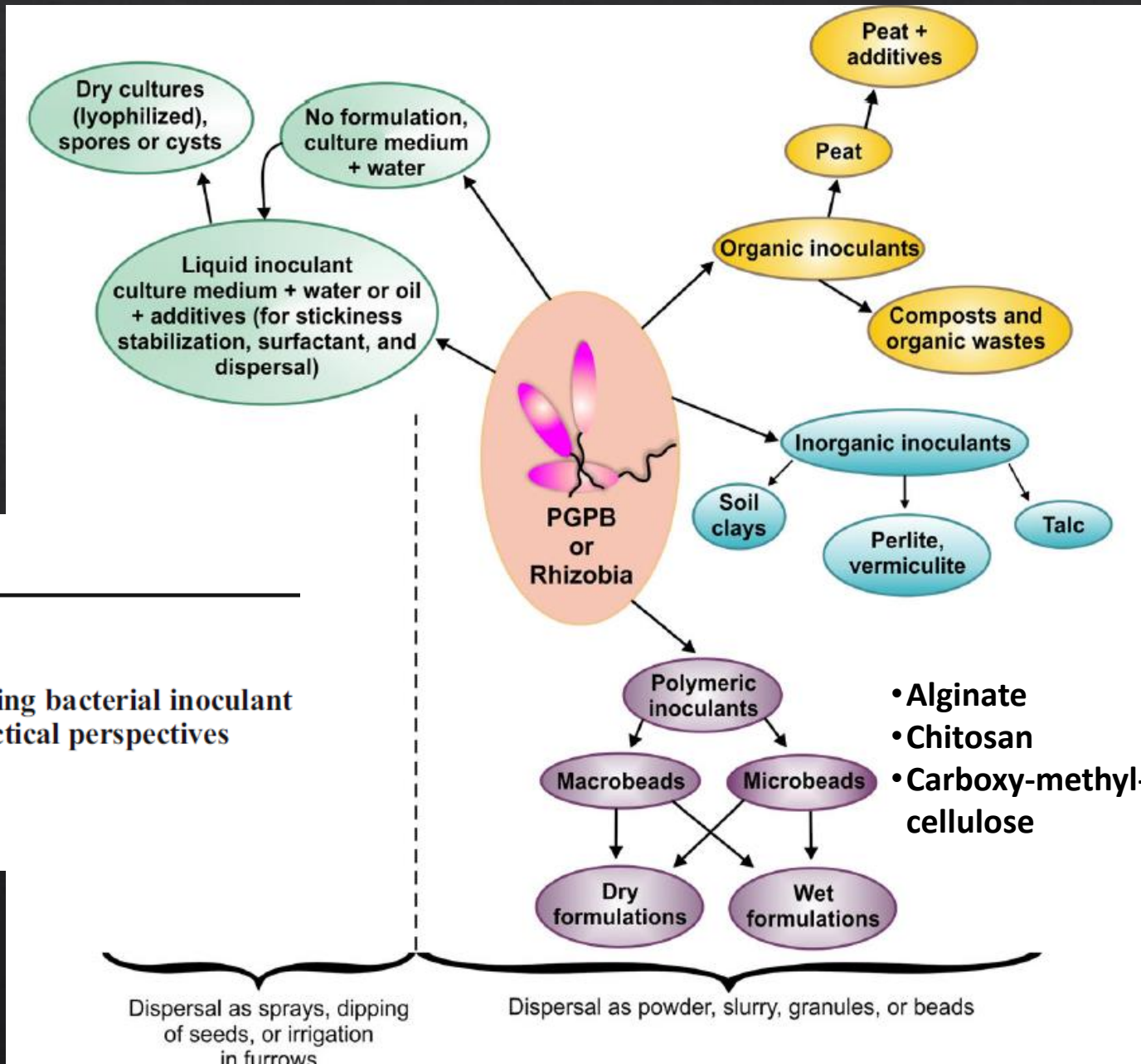


Support de culture minéral: vermiculite, perlite...



Support de culture organique: tourbe, biochar, boues de station d'épuration, débris végétaux...

Formulation des Bioinoculants



Plant Soil (2014) 378:1–33
DOI 10.1007/s11104-013-1956-x

MARSCHNER REVIEW

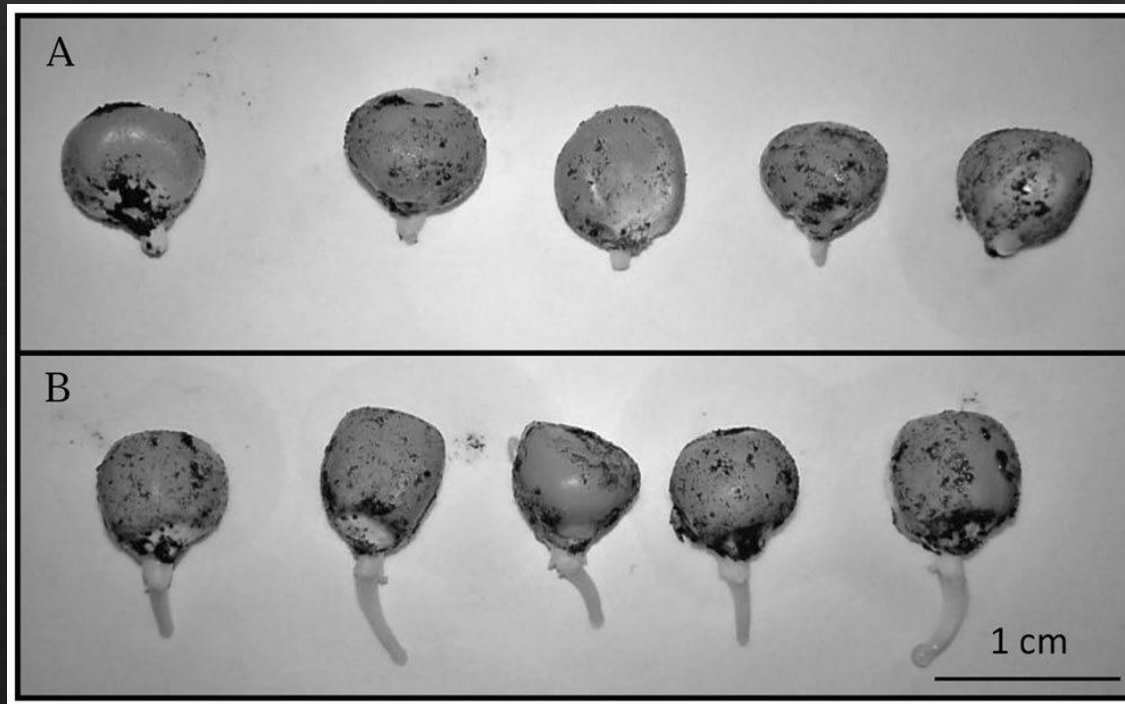
Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013)

Yoav Bashan • Luz E. de-Bashan • S. R. Prabhu • Juan-Pablo Hernandez

- Alginate
- Chitosan
- Carboxy-methyl-cellulose

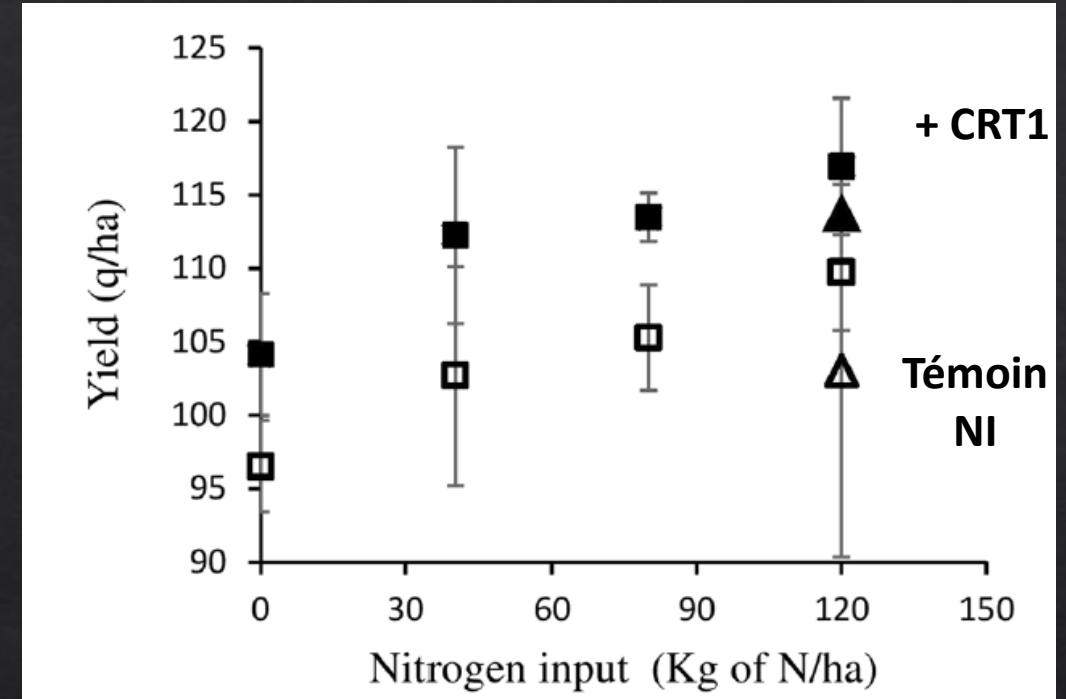
Impact positif sur la croissance du maïs d'un inoculum d'*Azospirillum lipoferum* CRT1 à base de tourbe

Témoin
NI



+ CRT1

Comparaison du stade de germination des grains de maïs 48-h après l'inoculation par CRT1

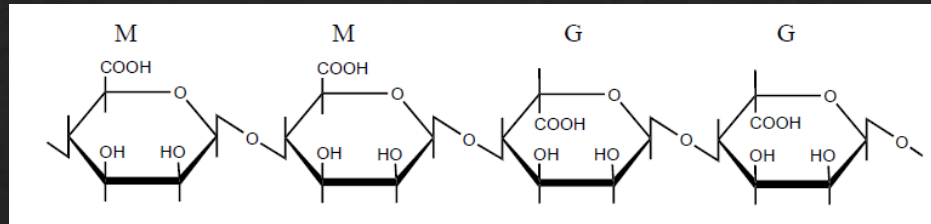


% de graines plantées au champ qui ont donné une plante mature à la récolte

Year	FC		L	
	NI	I	NI	I
2014	71.4 ± 5.8 ^a	85.9 ± 6.4 ^b	80.3 ± 9.4 ^a	81.7 ± 3.0 ^a
2015	92.3 ± 8.0 ^a	99.4 ± 5.4 ^a	75.1 ± 8.0 ^a	89.5 ± 6.2 ^b

Formulation d'*Azospirillum* dans des micro-billes d'alginate

Polymère naturel produit par des *Pseudomonas* et des algues

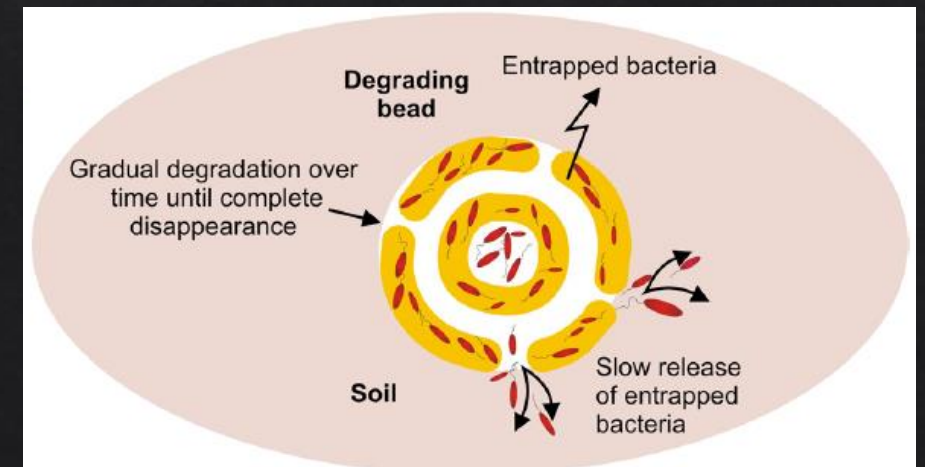


M= acide β -D-mannuronique

G= acide α -L-gulonique

➔ Permet la libération des microorganismes de façon progressive dans le temps

Azospirillum dans des micro-billes d'alginate



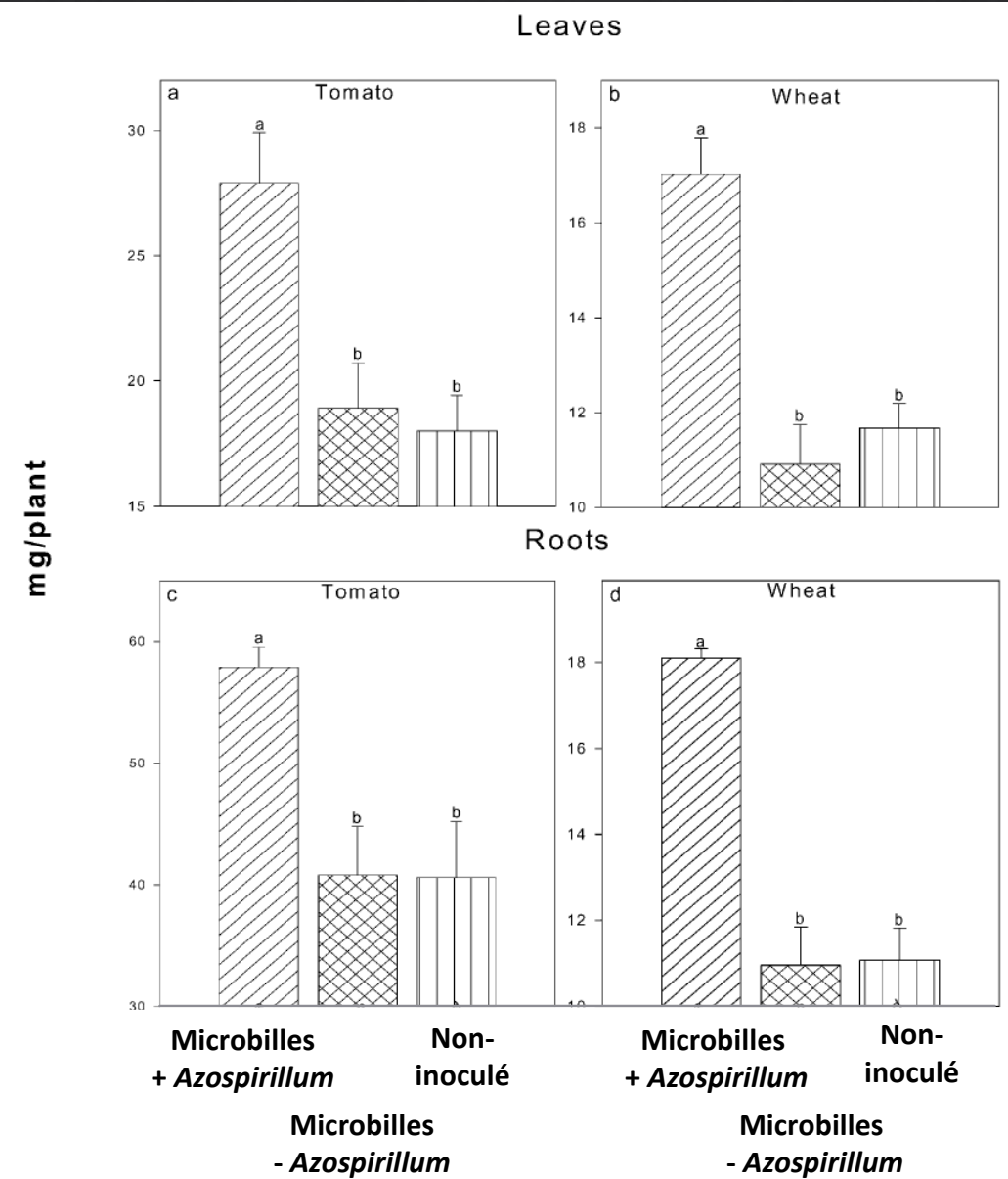
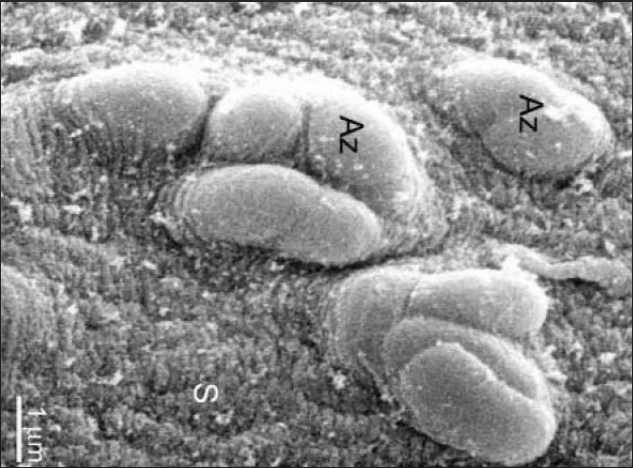
Impact positif sur la croissance des plantes de l'inoculation d'*Azospirillum* dans des microbilles d'alginate

Biol Fertil Soils (2002) 35:359–368
DOI 10.1007/s00374-002-0481-5

ORIGINAL PAPER

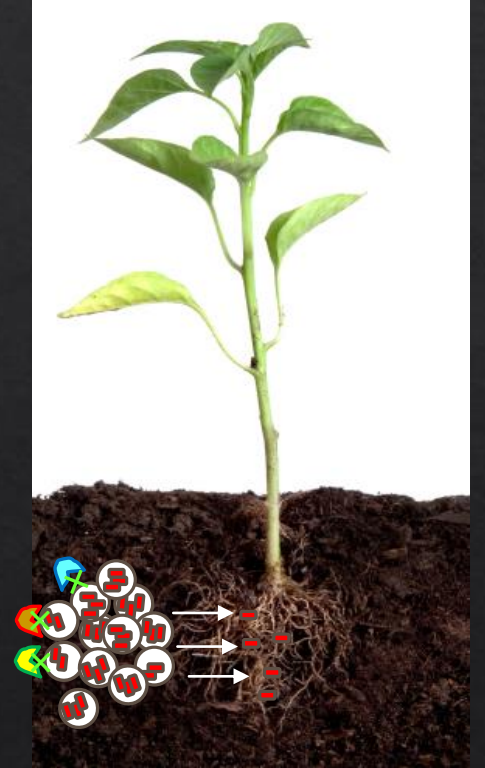
Yoav Bashan · Juan-Pablo Hernandez
Luis A. Leyva · Macario Bacilio

Alginate microbeads as inoculant carriers for plant growth-promoting bacteria



Intérêt de l'encapsulation des Bioinoculants dans des polymères organiques

- ✓ Absence de toxicité pour l'utilisateur et l'environnement
- ✓ Milieu hydraté et microenvironnement favorable aux bactéries encapsulées
- ✓ Bonne stabilité des bioinoculants dans le temps
- ✓ Protection des microorganismes encapsulés face aux conditions environnementales et à la compétition par les microorganismes indigènes du sol
- ✓ Maintien d'une densité cellulaire importante: **BIOFILM**
- ✓ Libération progressive dans le temps des microorganismes encapsulés



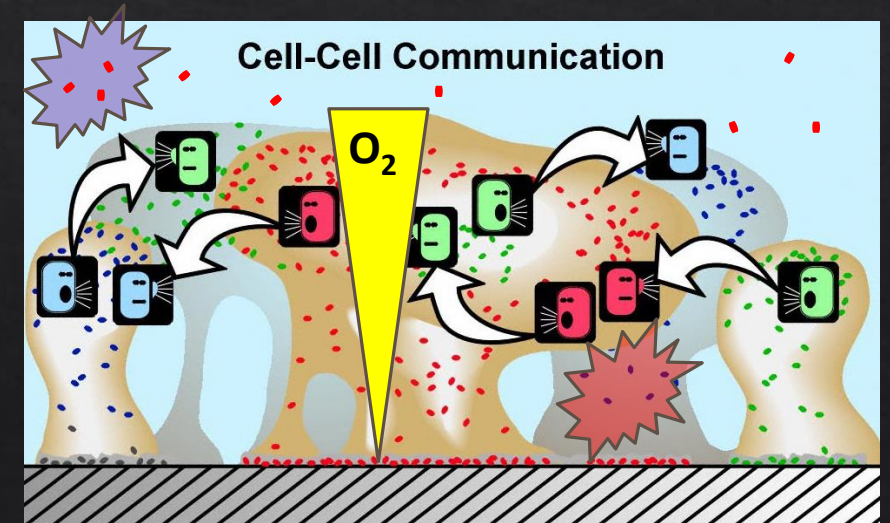
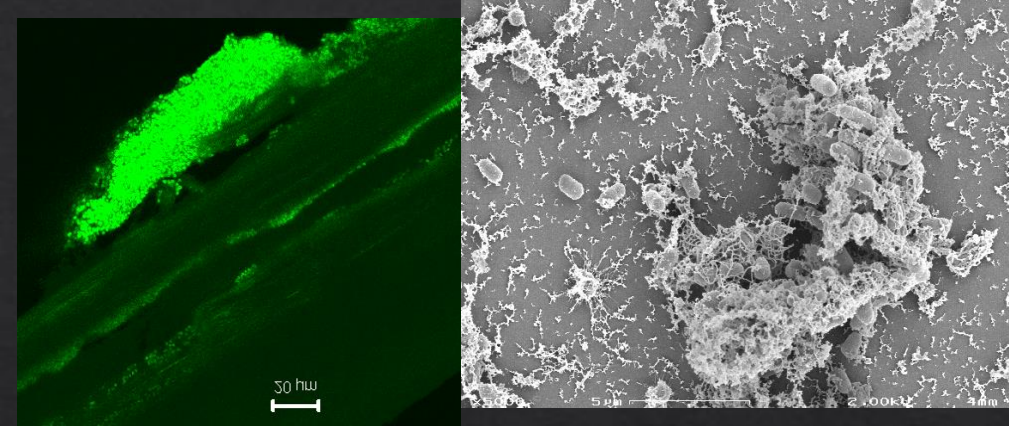
Bioinoculants Biofilms

Un biofilm est un **film biologique** constitué de microorganismes (bactéries, champignons, virus etc.) adhérents les uns aux autres et fixés à une surface.

Les populations microbiennes du biofilm sécrètent une **matrice protectrice** constituée d'exopolymères (polysaccharides, protéines et acides nucléiques).

En biofilm, les microorganismes sont protégés vis-à-vis de conditions environnementales défavorables et expriment un **programme génétique** différent de celui des bactéries libres (Quorum sensing).

→ Quels traits génétiques bactériens impliqués dans la formation des biofilms racinaires??

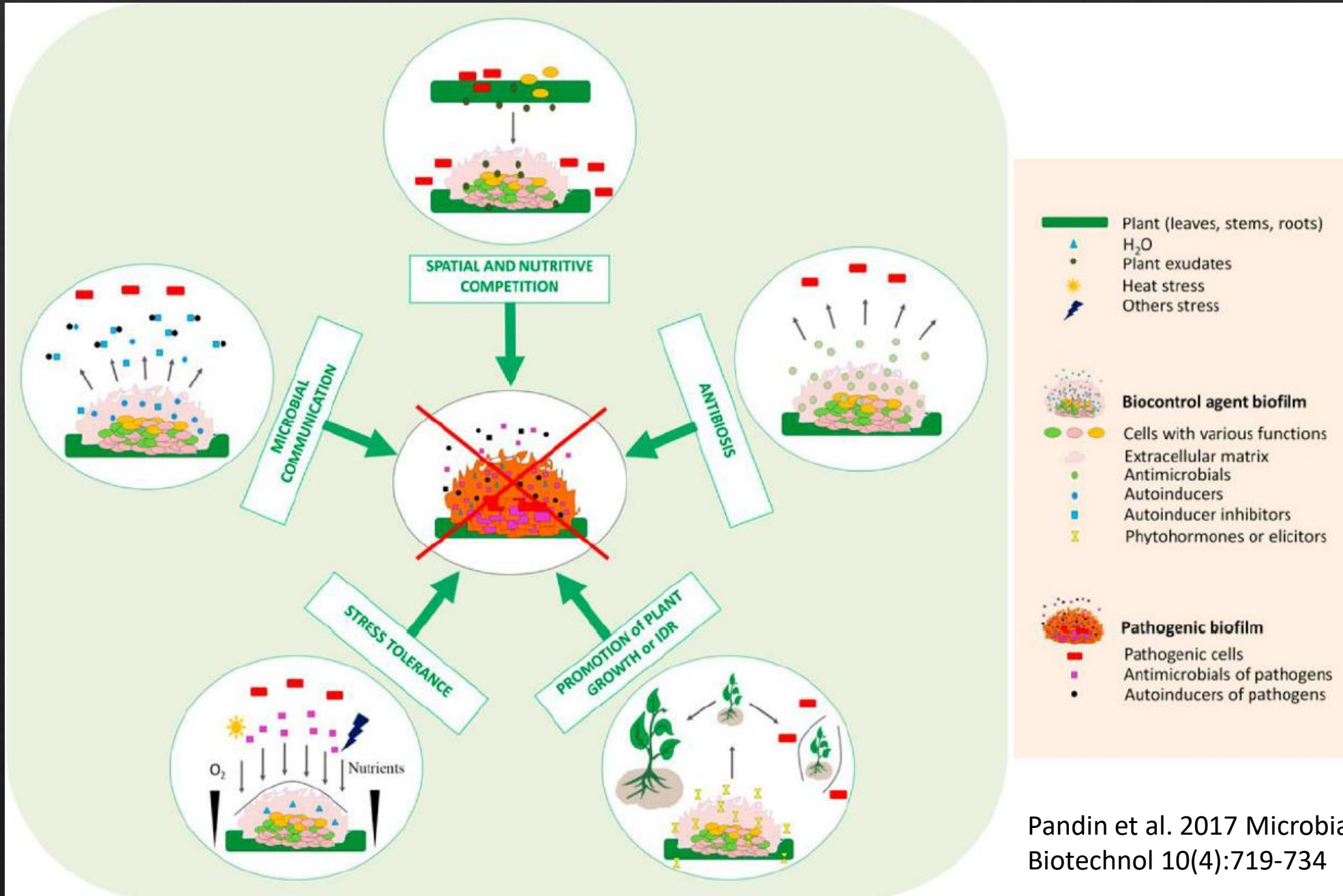


microorganismes

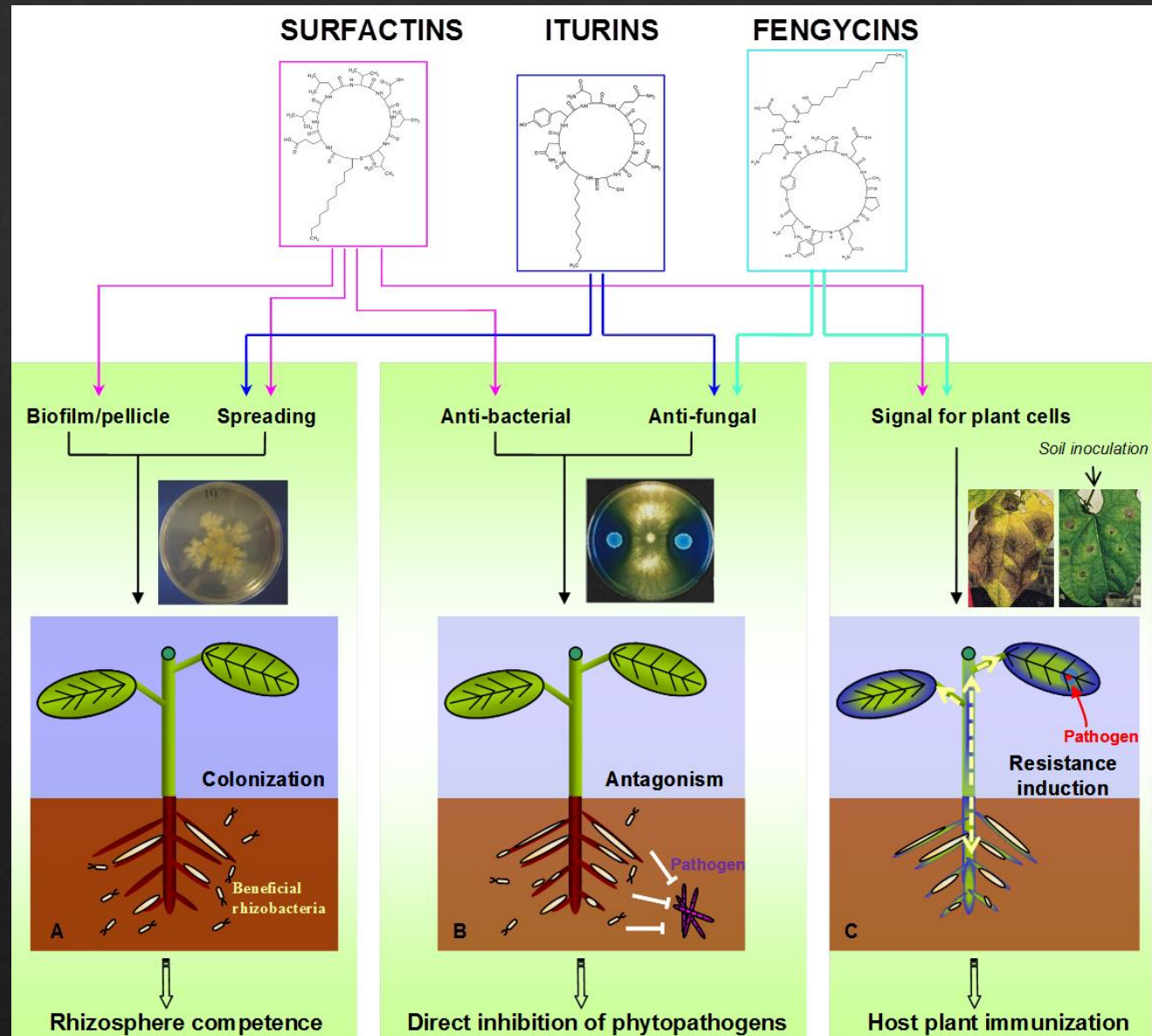


programme
génétique exprimé

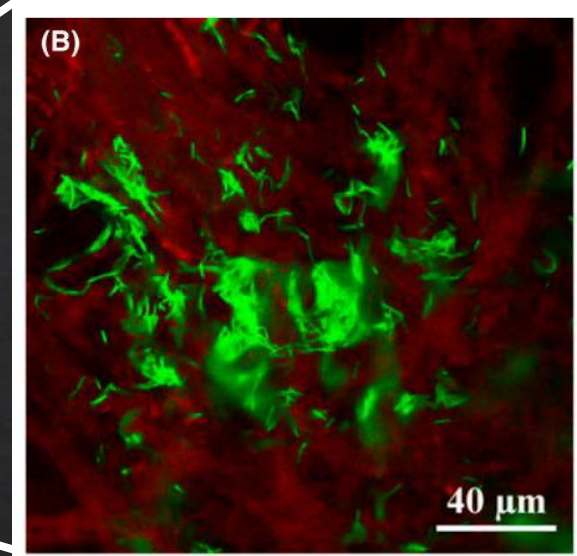
Bioinoculants Biofilms



Exemple du Rôle des lipopeptides de *Bacillus*



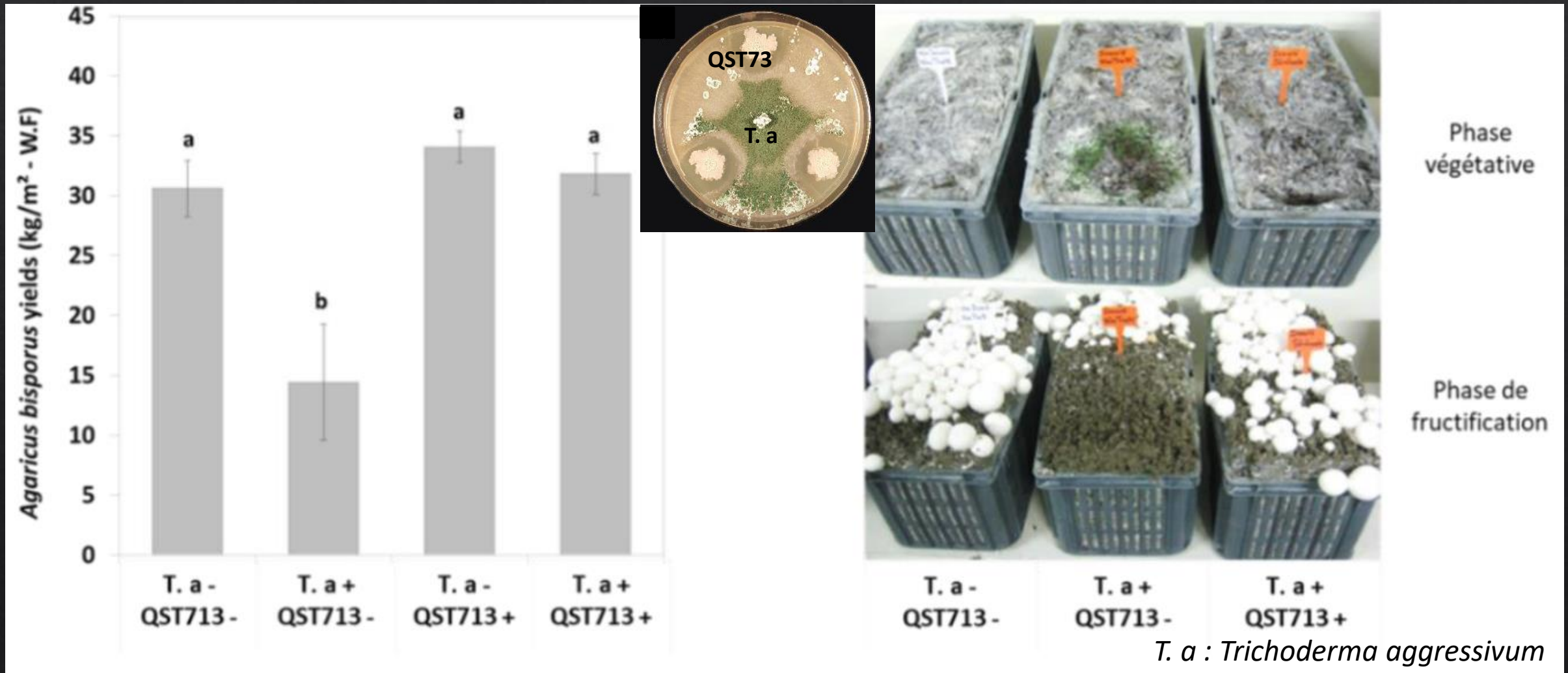
Protection de la culture du champignon de Paris par des biofilms de *Bacillus*



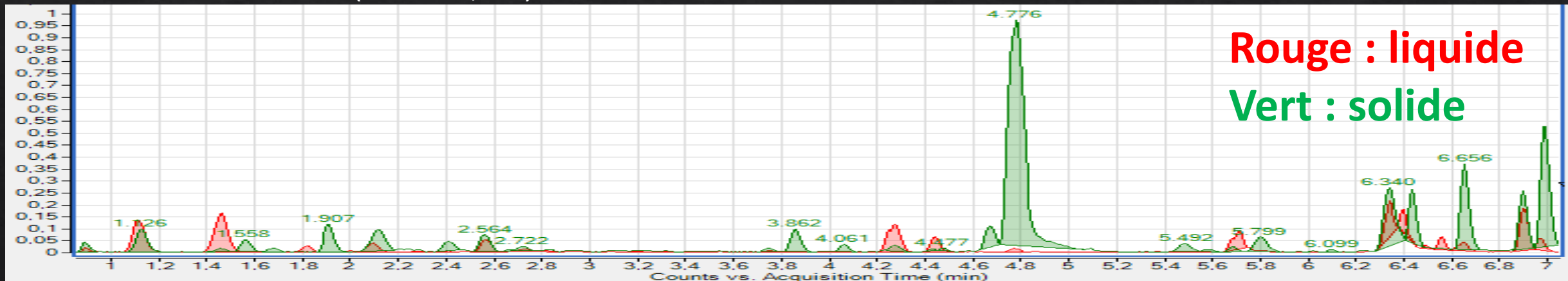
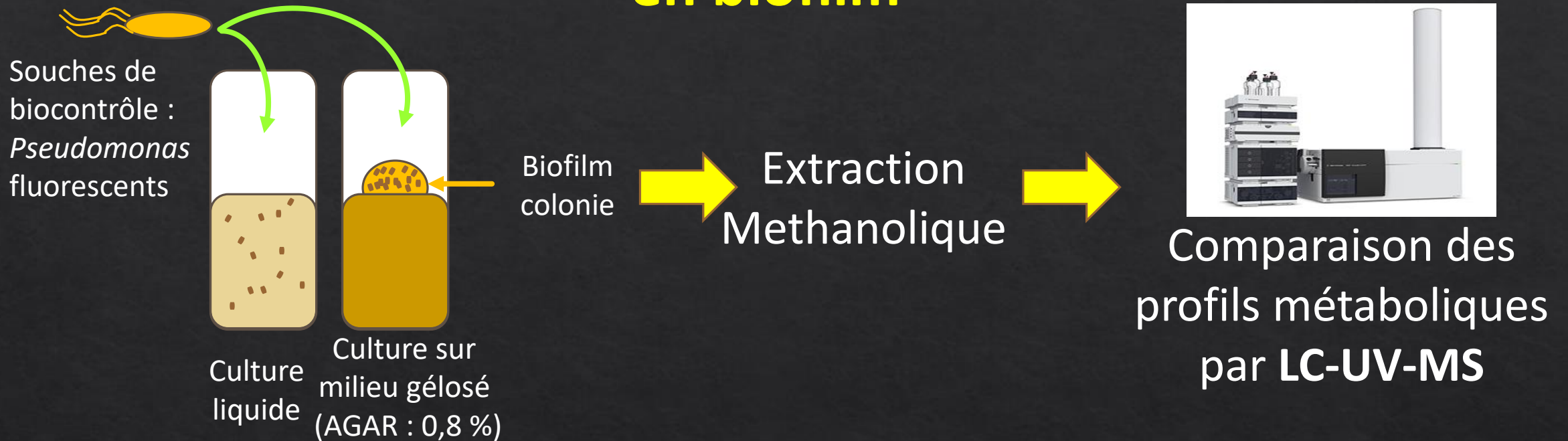
Biofilm de *B. velezensis* QST713 (verte) sur le mycélium d'*A. bisporus* (rouge)

Bioprotection d'*Agaricus bisporus* par les biofilms de *Bacillus velezensis* QST713 vis-à-vis d'un pathogène fongique *Trichoderma aggressivum* (moisissure verte).

Protection de la culture du champignon de Paris par des biofilms de *Bacillus*

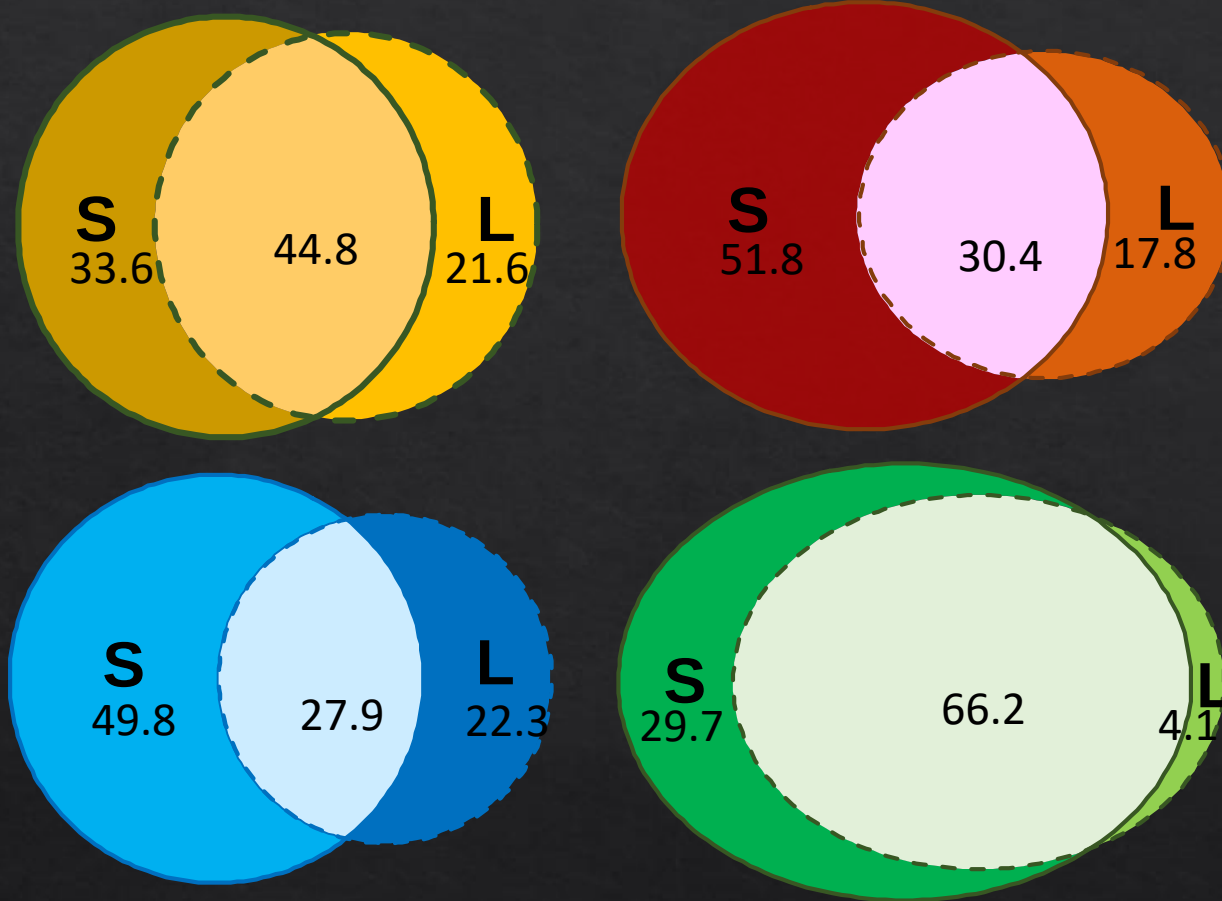


Métabolisme secondaire des *Pseudomonas* fluorescents en biofilm



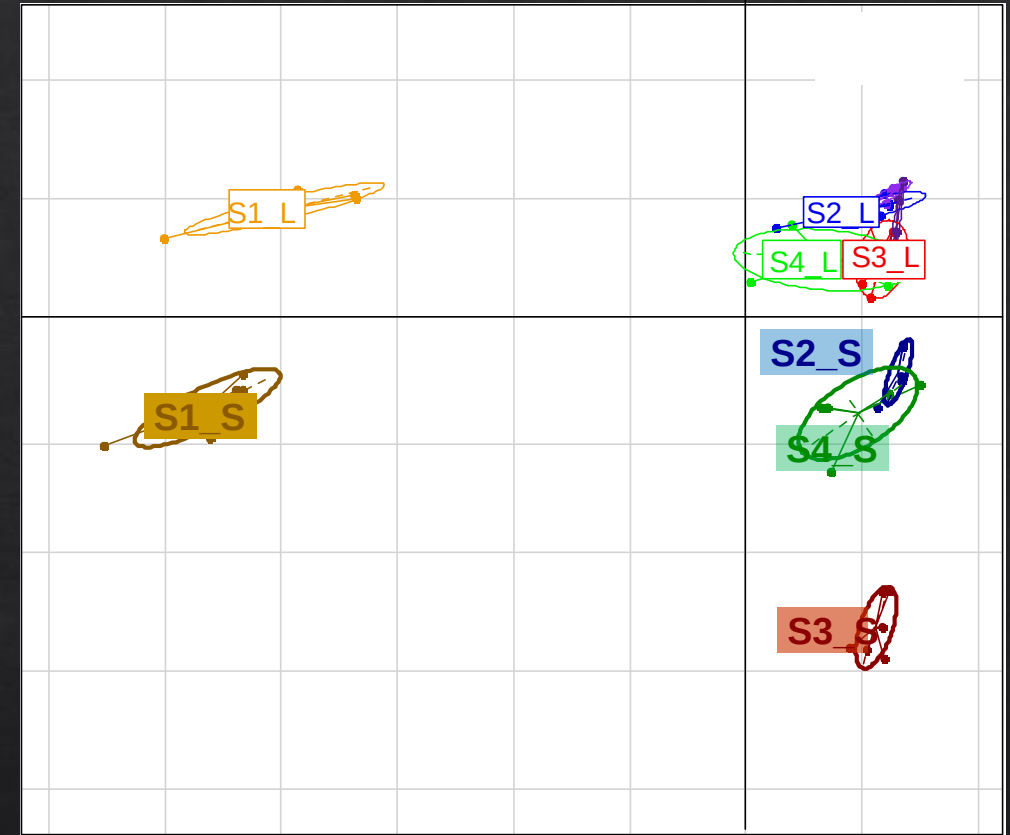
Métabolisme secondaire des *Pseudomonas* fluorescents en biofilm

Doctorat en cours de L. Rieusset



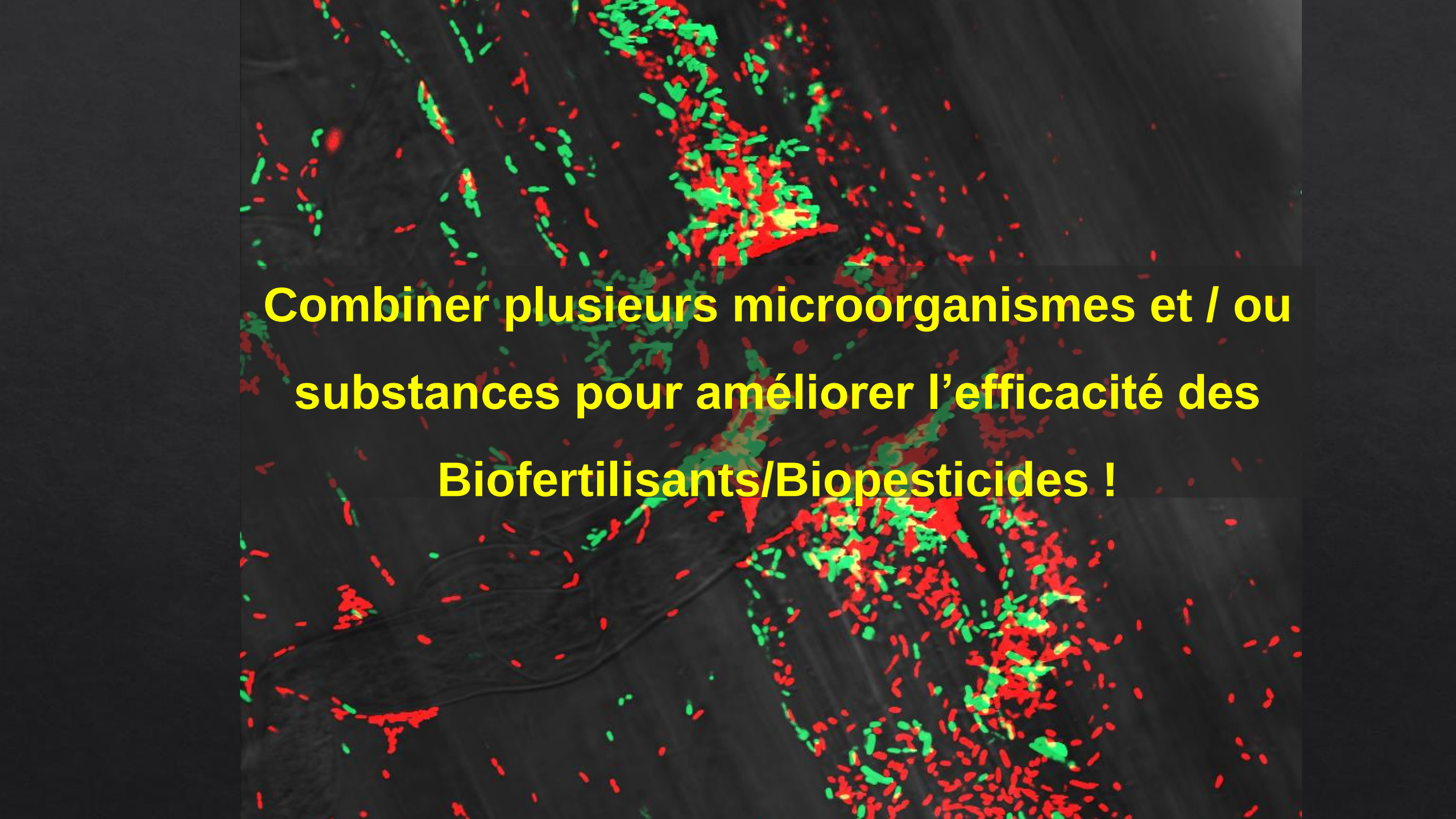
Axe 3 : 12,7 %

MS - NEGATIF



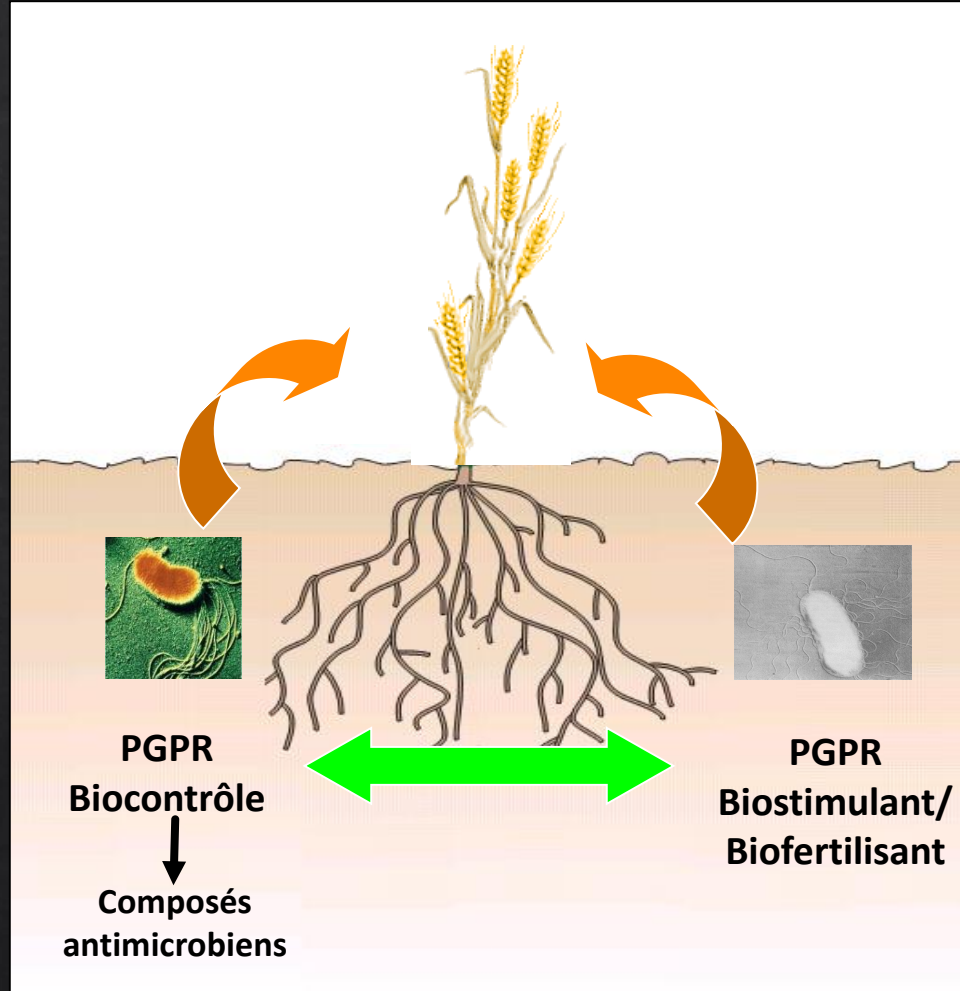
Axe 1 : 25,8 %

➔ Forte modification du métabolisme secondaire des souches du groupe des *Pseudomonas* fluorescents en biofilm, avec la **sur-production de métabolites** aux propriétés anti-microbiennes. Analyse en cours des mécanismes de régulation impliqués.

A microscopic image showing plant roots with numerous small, rod-shaped bacteria. The bacteria are fluorescent, with some appearing red and others green, indicating different species or strains. They are clustered around the roots, suggesting a symbiotic or biocontrol relationship.

**Combiner plusieurs microorganismes et / ou
substances pour améliorer l'efficacité des
Biofertilisants/Biopesticides !**

Interactions biotiques entre PGPR colonisant le même système racinaire d'une plante

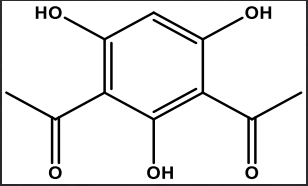


- ✓ Dans la majorité des études, les coopérations PGPR-plante sont étudiées en utilisant une seule souche et une seule plante
- ✓ Pourtant, les plantes interagissent avec une grande diversité de rhizobactéries et de microorganismes bénéfiques colonisant un même système racinaire

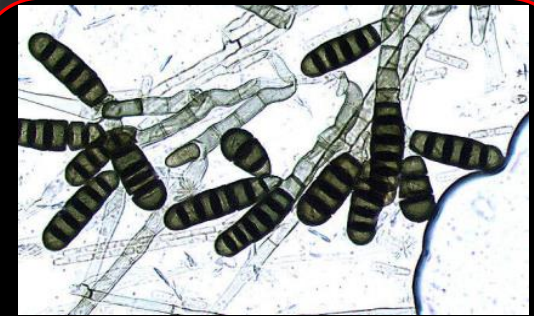
➡ **Quelle compatibilité entre une PGPR biocontrôle et une PGPR biostimulatrice lors de la colonisation du système racinaire ?**

Le 2,4-diacétyl-phloroglucinol (DAPG) un antimicrobien à large spectre d'activité, produit par des *Pseudomonas* fluorescents

DAPG



- ✓ DAPG, **antimicrobien** à large spectre d'activité agissant aussi bien sur des phytopathogènes procaryotes qu'eucaryotes (bactéries, champignons, nématodes, protozoaires...)
- ✓ Inhibe la croissance ou l'activité de phytopathogènes
- ✓ Stimule les réponses immunitaires des plantes via l'induction de la résistance systémique induite (ISR)



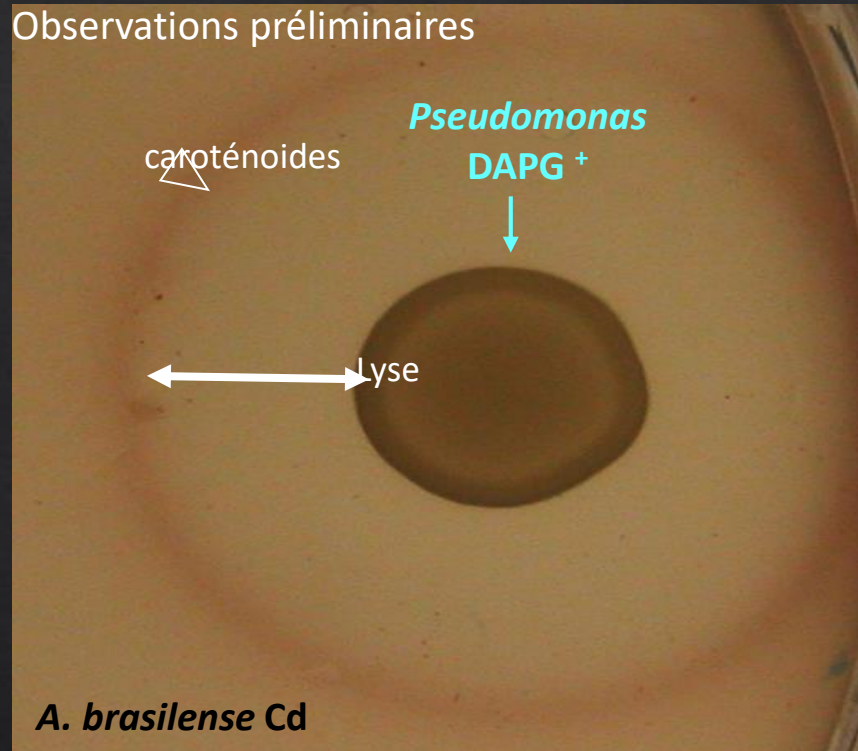
Thielaviopsis basicola



Pourriture
noire du tabac

Interactions *in vitro* entre une souche biostimulatrice du genre *Azospirillum* et une souche de biocontrôle du genre *Pseudomonas*

Observations préliminaires



↔ Inhibition de la croissance d'*Azospirillum* par *Pseudomonas* productrice de DAPG ➡ **antibiose**

▷ Modification de la pigmentation des cellules d'*Azospirillum* à distance ➡ **signalisation**

➡ Interactions microbiennes complexes (antagonisme, synergie) entre *Azospirillum* et *Pseudomonas* en fonction de la **distance** physique séparant les cellules d'*Azospirillum* et de *Pseudomonas*.

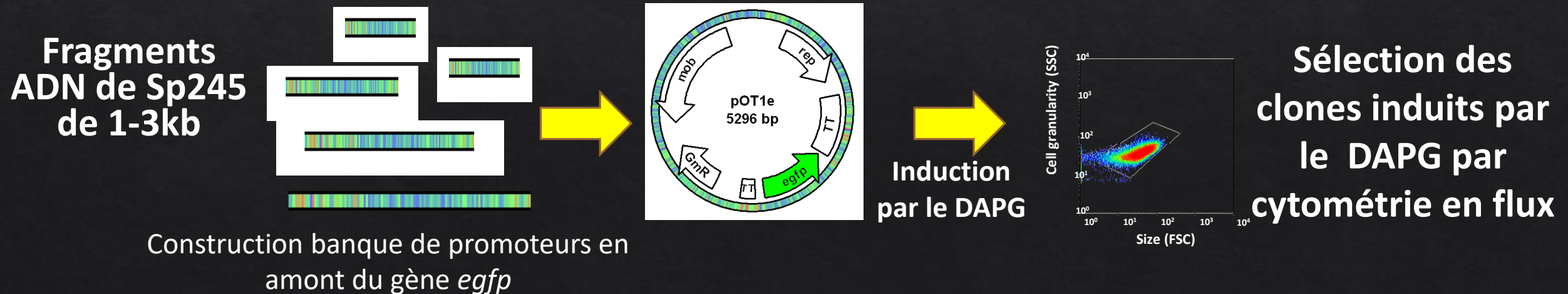
Quel impact potentiel du DAPG à faible concentration sur Azospirillum ? Quelles conséquences sur la plante ?

Effet signal de faibles concentrations en DAPG sur *Azospirillum*

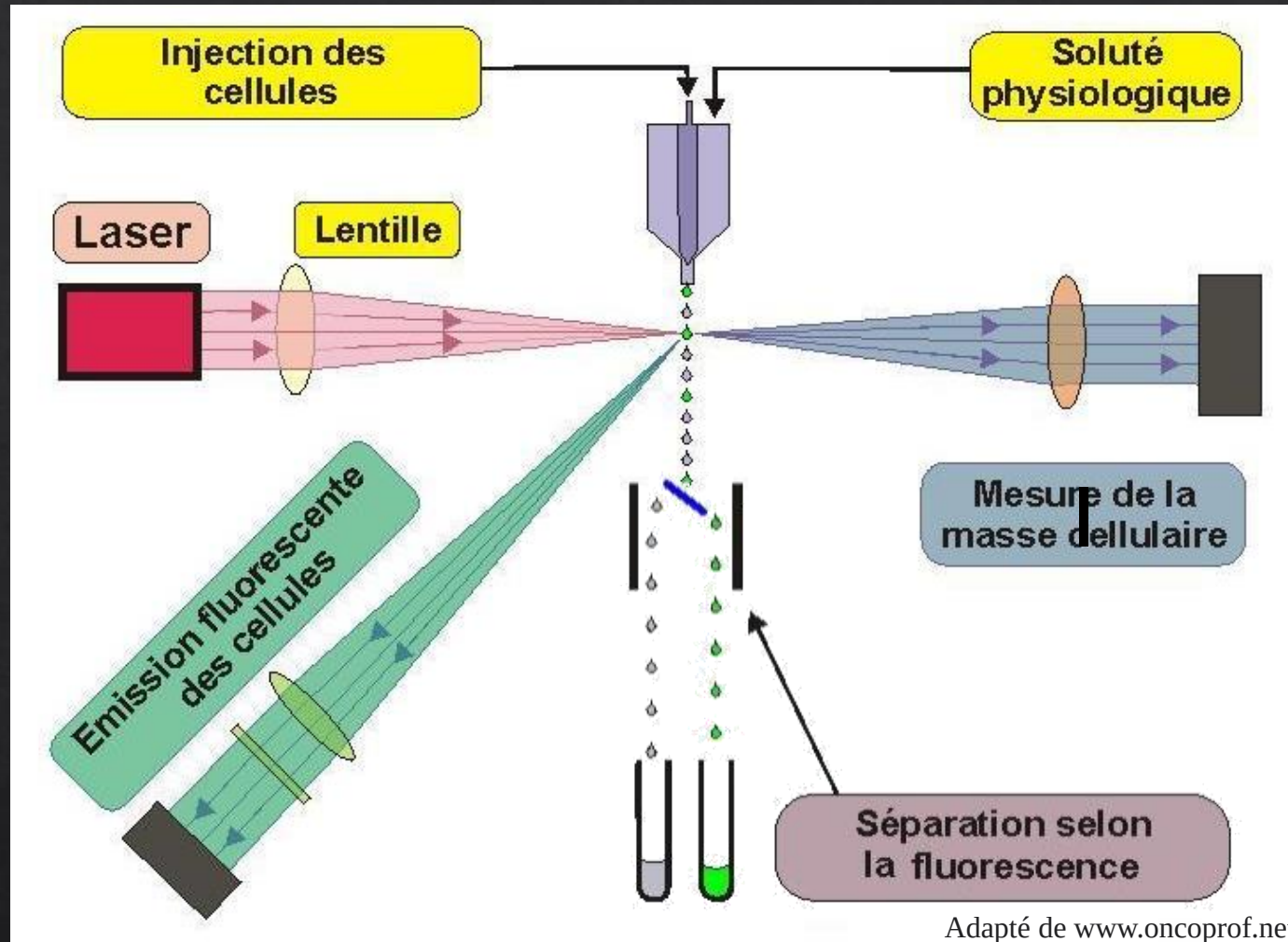
→ Evaluer effet signal potentiel du DAPG sur *A. brasilense* Sp245

Recherche sans *a priori* des promoteurs de Sp245 au niveau d'expression augmenté en présence de faibles concentrations en DAPG

- Criblage des promoteurs par induction différentielle de fluorescence (DFI) à l'aide d'un cytomètre en flux



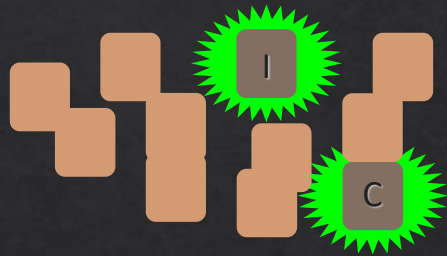
Principe de la cytométrie en flux



➔ Technique qui permet de faire défiler des particules à grande vitesse devant un faisceau laser, de les compter et les trier en fonction de leur taille et fluorescence

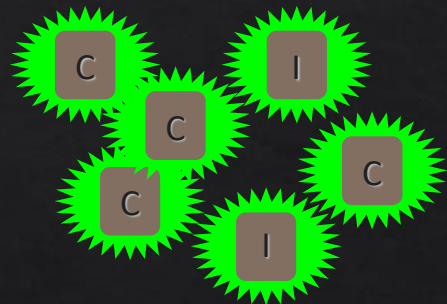
Criblage par cytométrie en flux d'une banque DFI

1. Culture avec induction
DAPG

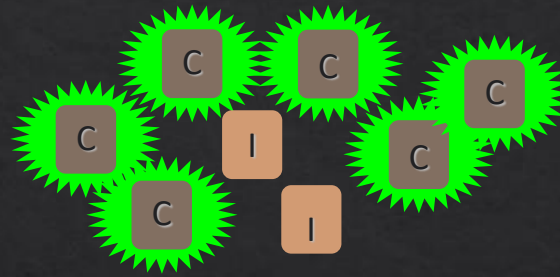


I = fusion inducible
C = fusion constitutive

2. Tri des cellules
fluorescentes



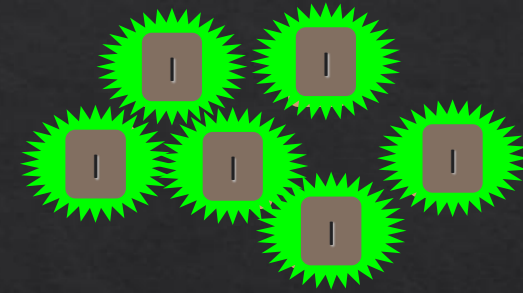
3. Culture sans
induction



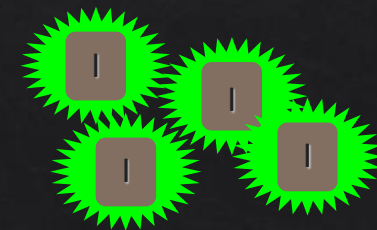
4. Tri des cellules
non fluorescentes



5. Culture avec induction

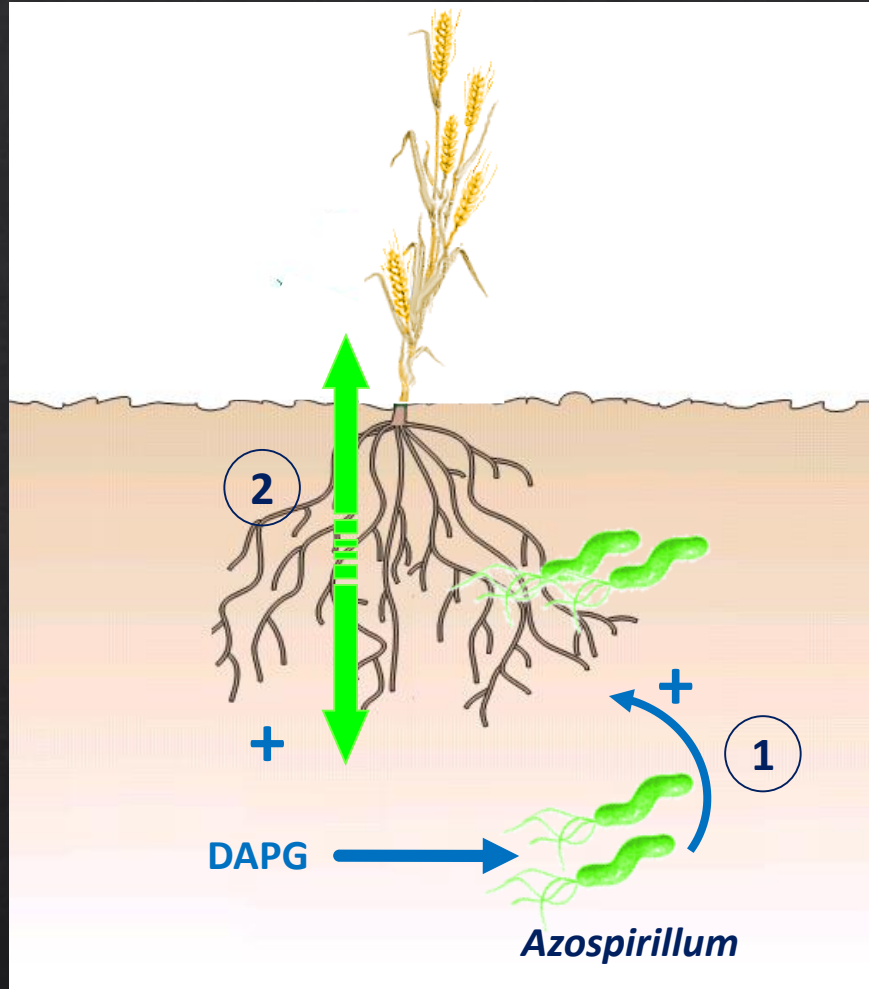


6. Tri des cellules
fluorescentes



Séquençage
des
promoteurs

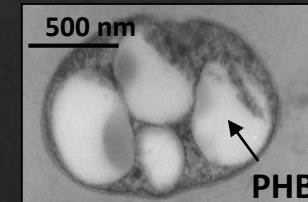
Induction des gènes de Sp245 requis pour son interaction avec la plante



1- Colonisation racinaire et adaptation à la rhizosphère

- *ppk* et *flgE* : mobilité et adhésion racinaire
- induction de la production de granules de réserves

PHB: poly-hydroxy-butyrates

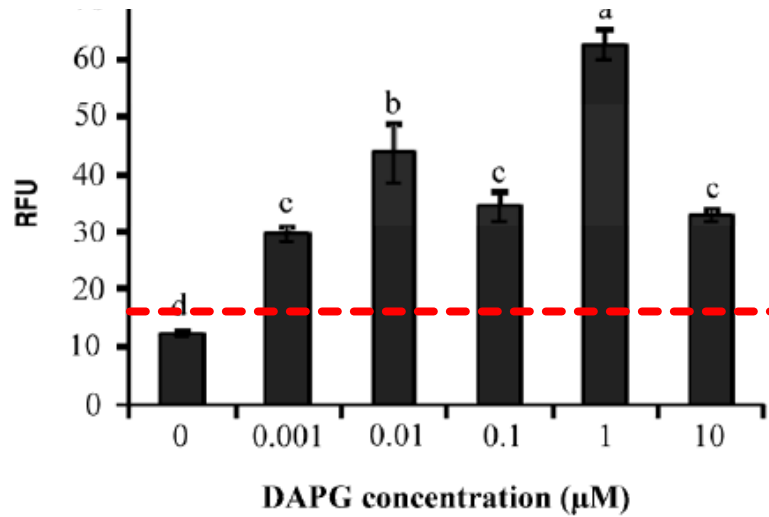


2- Fonctionnement de la coopération PGPR-plante

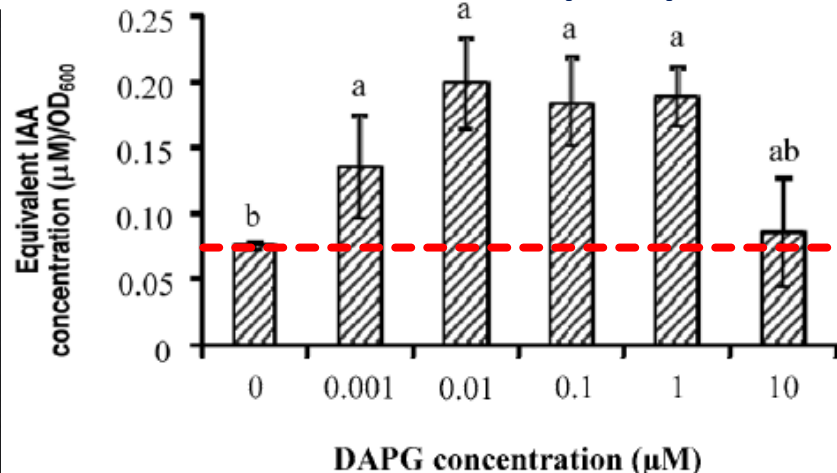
- *nifX*: fixation d'azote
- *ppdC* (phénylpyruvate décarboxylase): production d'acide indole-3 acétique (AIA)
- *nirK* (nitrite réductase): production de NO

Induction de la production d'auxine chez Sp245

Expression de la fusion *ppdC-egfp* chez Sp245



Production d'AIA par Sp245



✓ *In vitro*, biosynthèse d'auxine, trait phytobénéfique majeur de Sp245, induite en présence de DAPG de 1nM à 1 μM.

Témoin non-inoculé + Sp245 5.10⁷CFU.ml⁻¹ + Sp245 5.10⁸CFU.ml⁻¹

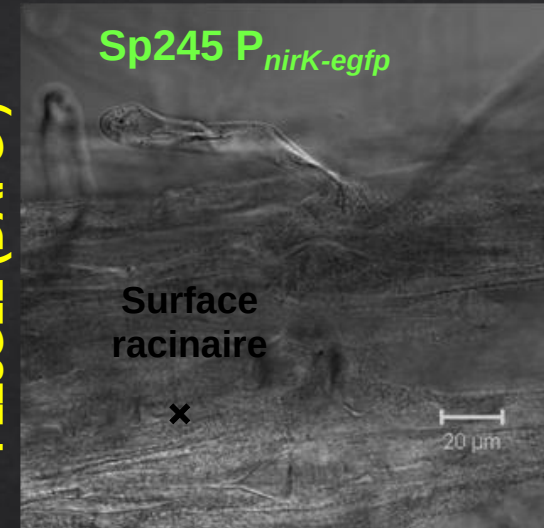
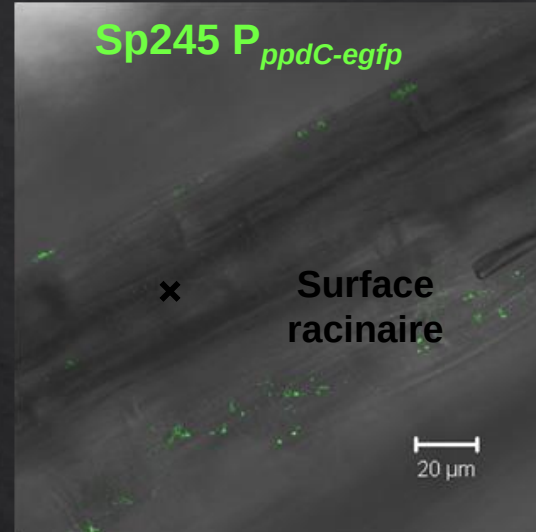
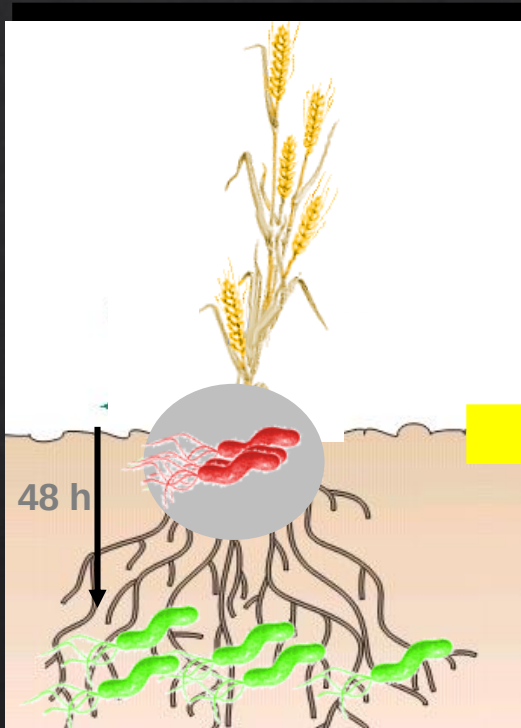


Dobbelaere et al. Plant Soil 212: 155

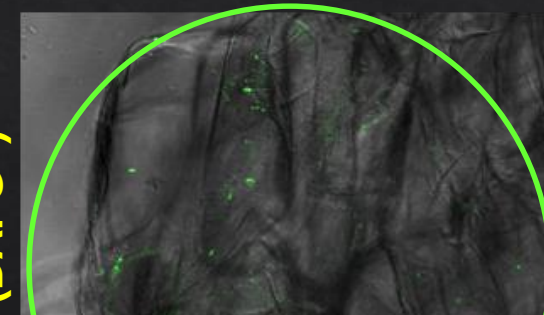
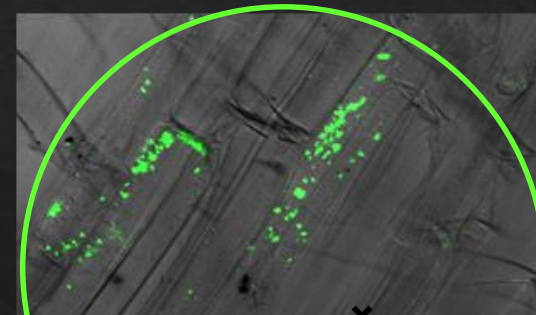
✓ Régulation à un niveau transcriptionnel

Impact de F113 sur l'expression de gènes phytobénéfiques de Sp245 dans le biofilm racinaire

Inoculation successive sur blé de Sp245 puis de F113



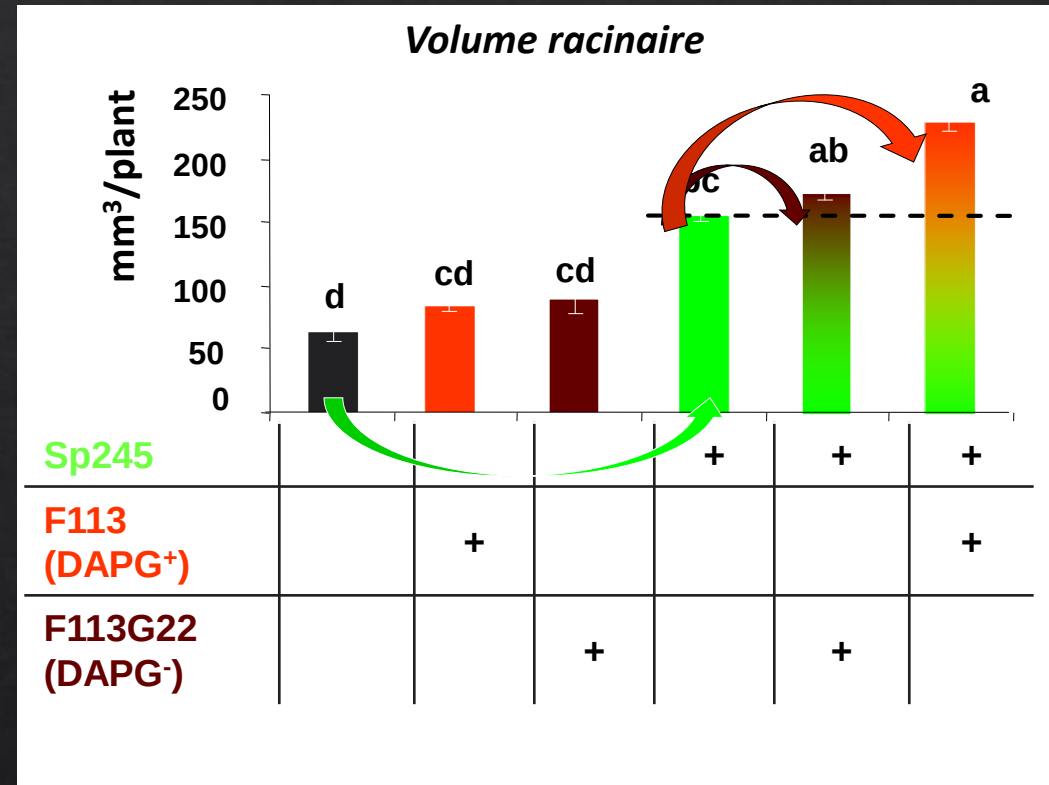
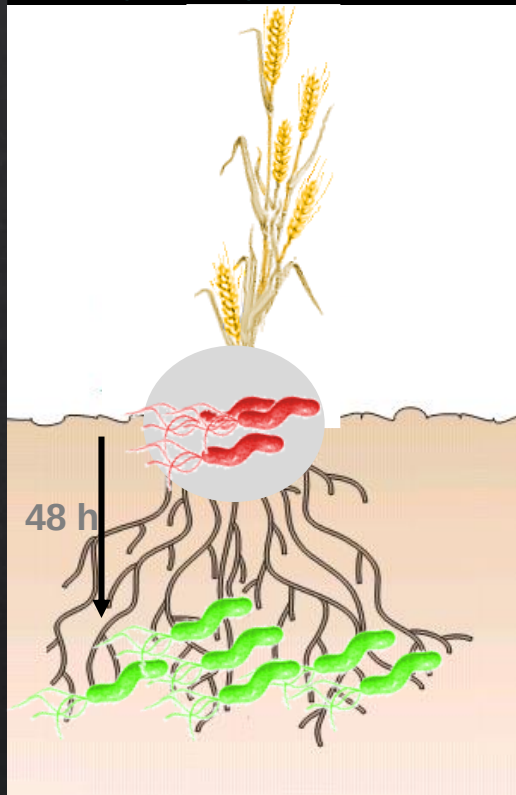
F113G22 (DAPG-)



➔ Dans des conditions expérimentales qui favorisent l'effet signal du DAPG produit par F113 sur Sp245, induction chez *Azospirillum* de l'expression de gènes impliqués dans le fonctionnement de la coopération PGPR-plante.

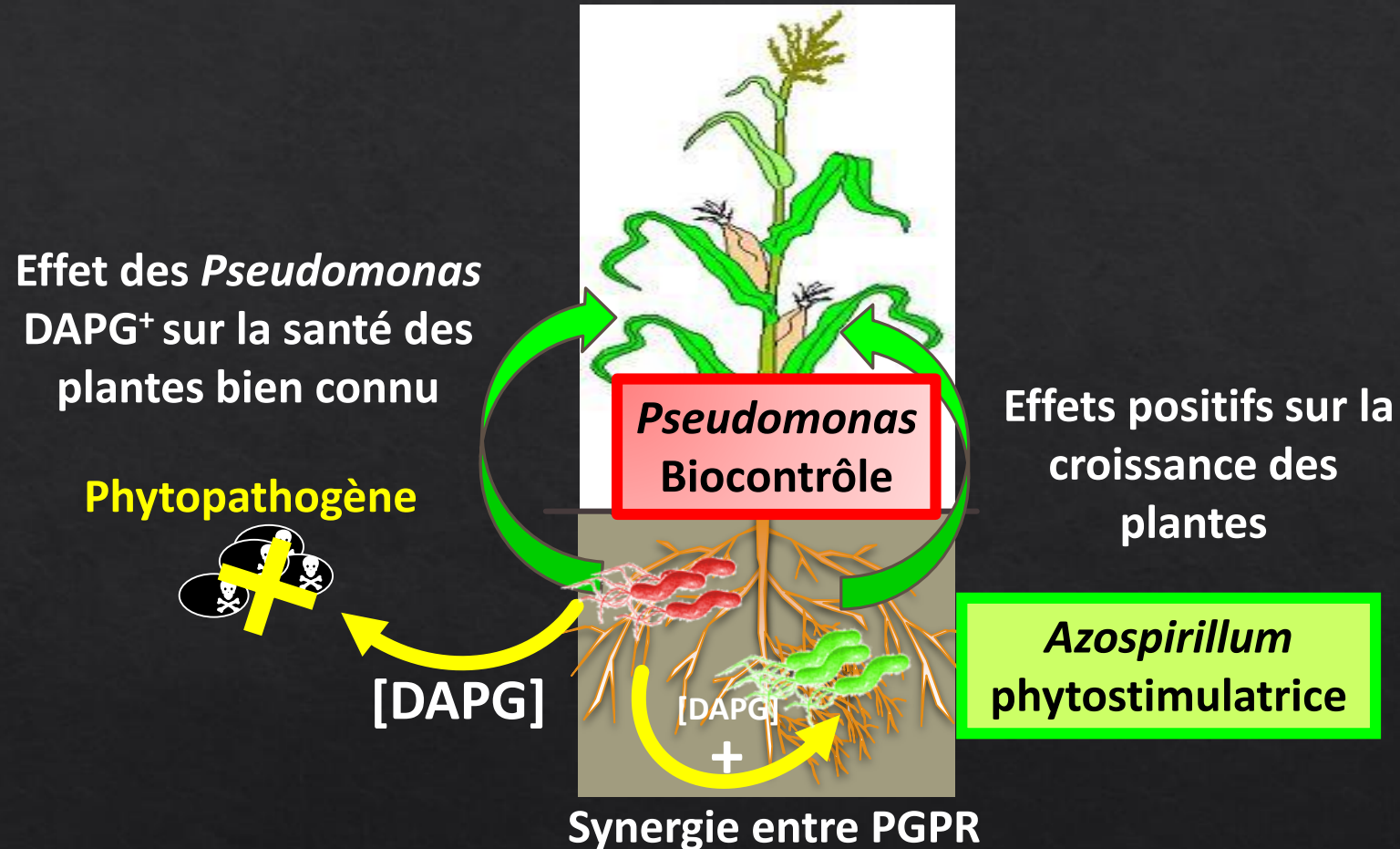
Impact de l'inoculation successive de Sp245 puis de F113 et sur la croissance du blé

Inoculation successive sur blé
de Sp245 puis de F113



Les souches de *Pseudomonas* productrices de DAPG peuvent avoir des effets positifs indirects sur la croissance des plantes en **contrôlant le fonctionnement** de la coopération entre une PGPR phytostimulatrice et sa plante hôte.

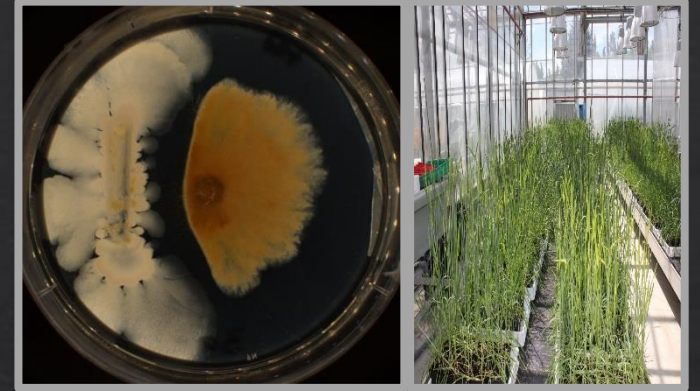
Importance des interactions biotiques entre microorganismes phytobénéfiques dans la rhizosphère



➔ D'autres **interactions de coopération** doivent exister entre des PGPR dans la rhizosphère ou entre des PGPR et d'autres microorganismes du microbiote rhizosphérique, mais elles restent rarement étudiées et **exploitées**.

Des consortia microbiens comme agent de biocontrôle ?

- Analyse de l'effet de la **combinaison de 8 souches** appartenant à différents genres bactériens, présentant individuellement une activité de biocontrôle contre *Fusarium graminearum* *in vitro* et/ou *in planta*



Approche combinatoire

255 combinaisons possibles testées

Croissance bactérienne
des # combinaisons



Surnageant



Culture de spores
de *F. graminearum*

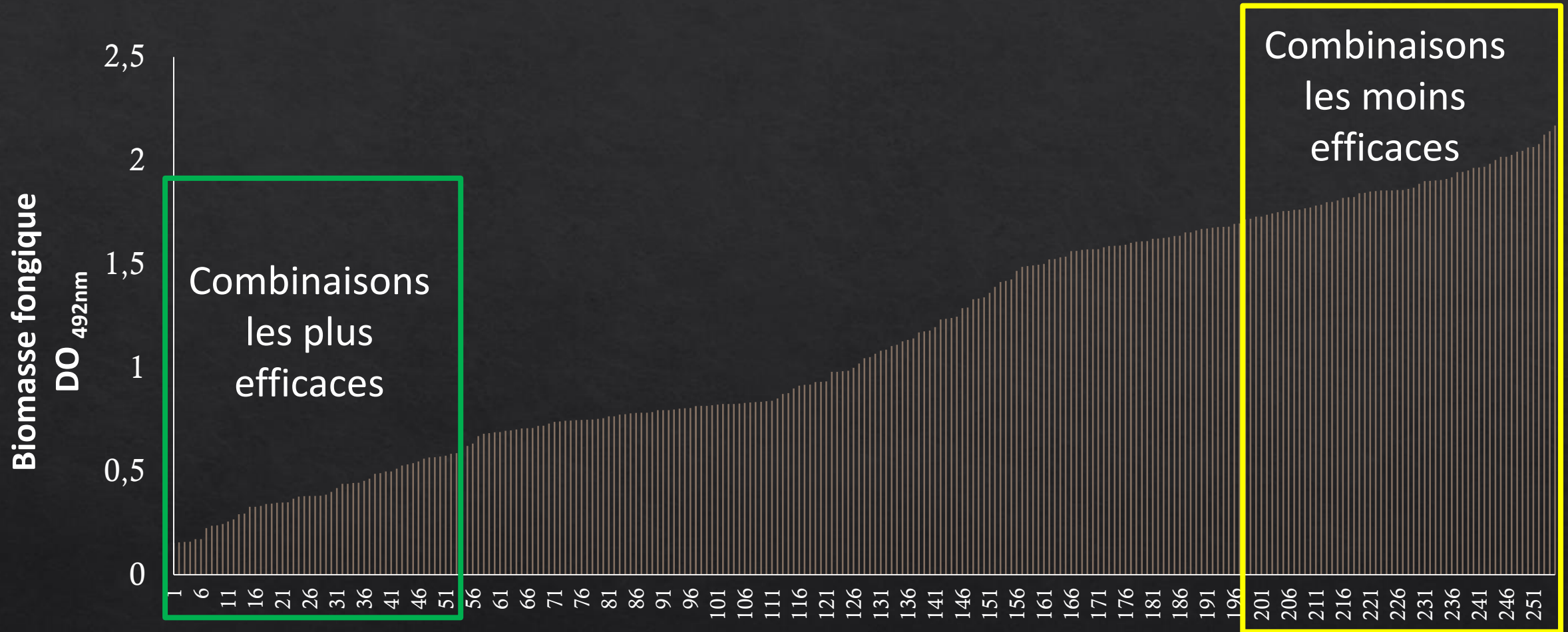


Mesure quantitative de la
croissance mycélienne

Quantification (%) de l'Inhibition
de la germination des spores par
rapport à une culture non-traitée



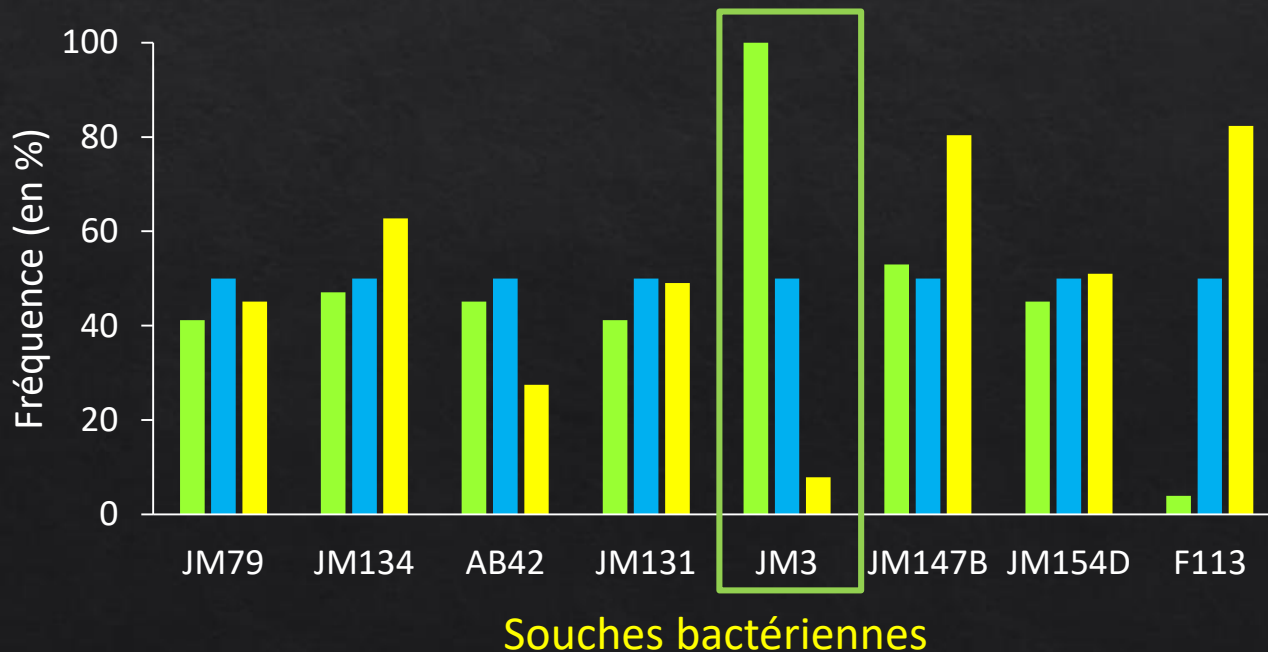
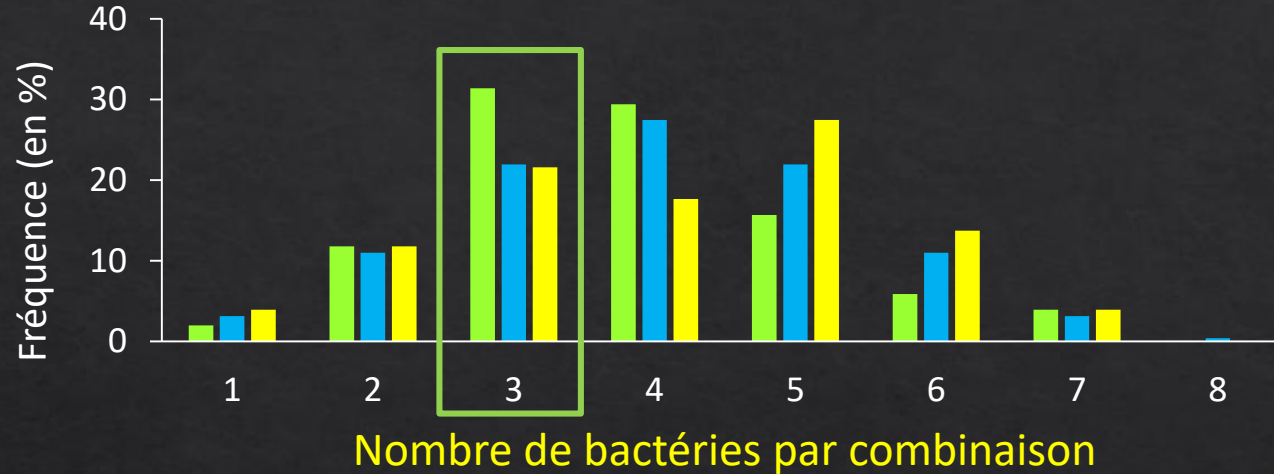
Des consortia microbiens comme agent de biocontrôle ?



- La croissance fongique du pathogène *F. graminearum* est **différentiellement affectée** en présence des 255 combinaisons testées → Analyse des 51 meilleures et des 51 moins bonnes combinaisons

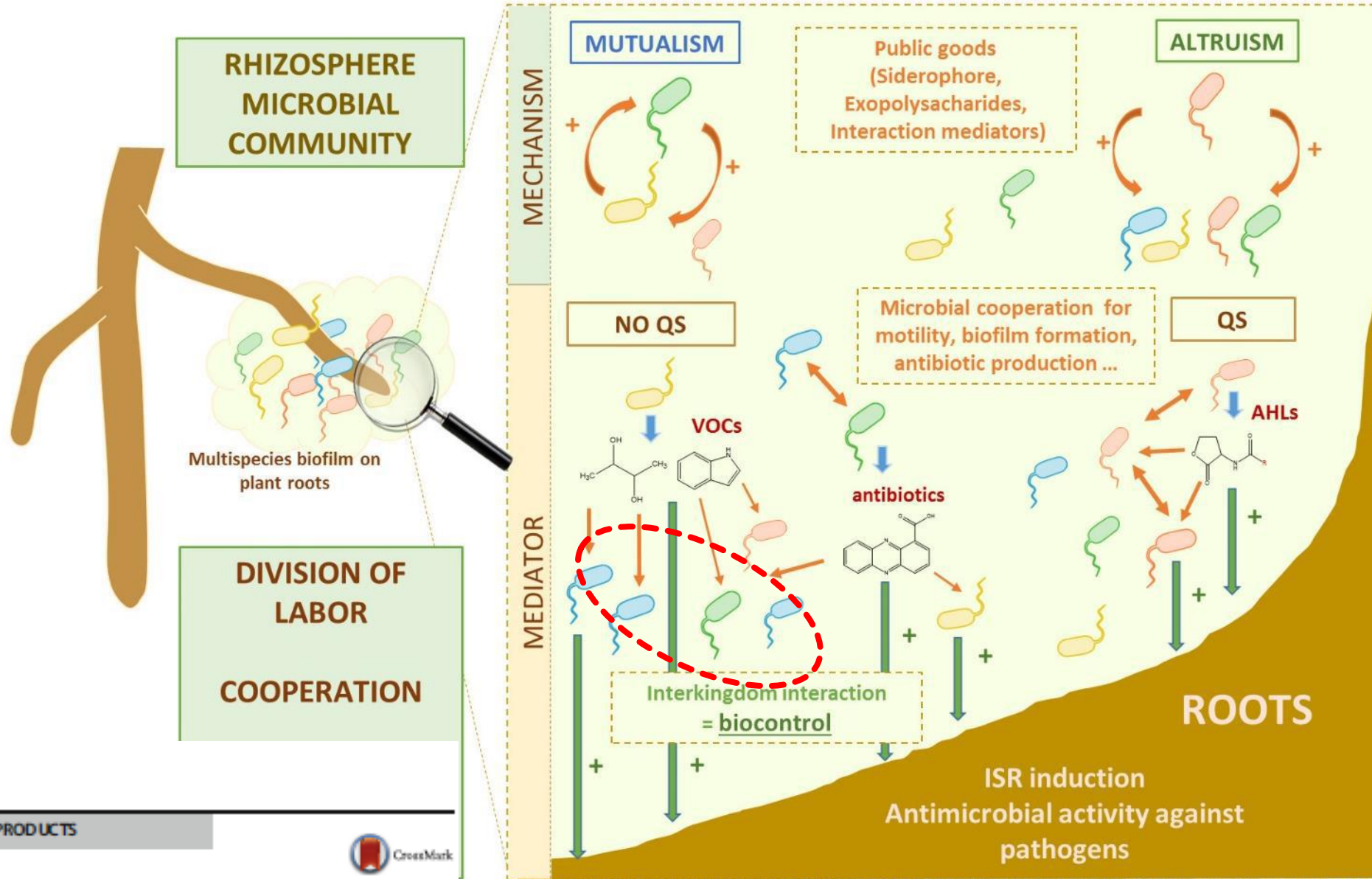
Des consortia microbiens comme agent de biocontrôle ?

■ Combinaisons efficaces ■ Combinaisons non-efficaces ■ Fréquence théorique



- Parmi les combinaisons efficaces, on retrouve plus de combinaisons avec **3 souches** bactériennes qu'attendues
- Une souche bactérienne est également plus fréquemment retrouvée. Il s'agit d'une souche de *Bacillus velezensis* productrice d'une grande diversité de métabolites secondaires anti-microbiens

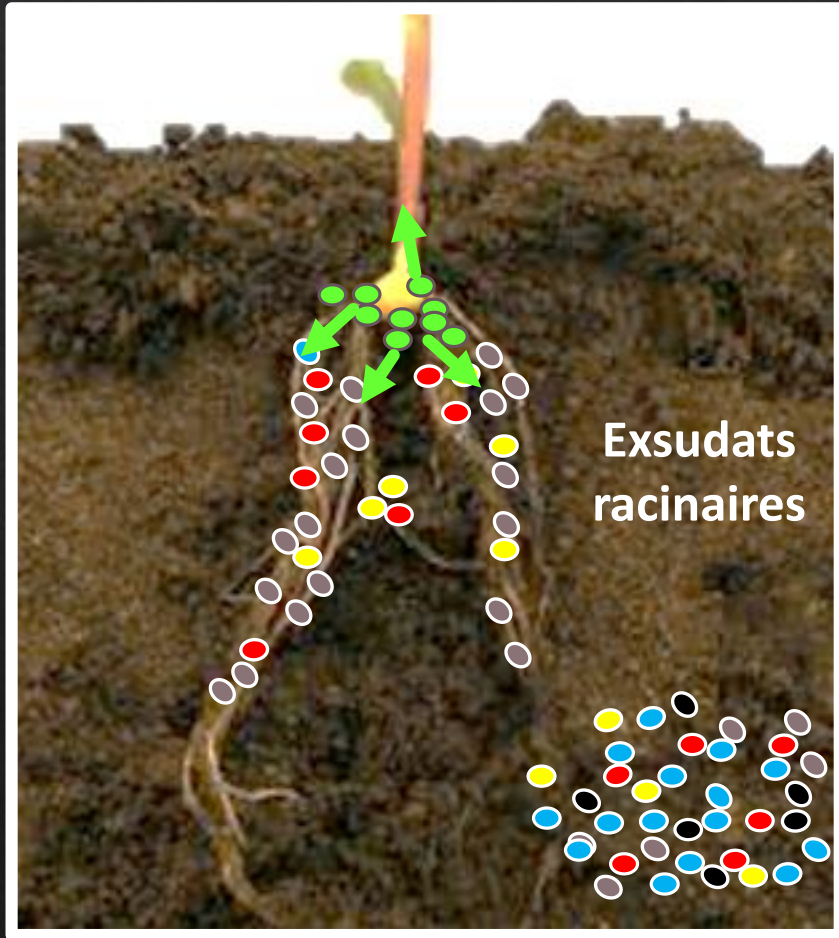
A permis de mettre en lumière une souche de biocontrôle d'intérêt
→ **Consortium** mais réglementation actuelle contraignante





**Quel impact de la génétique de l'hôte végétal
sur les interactions avec les PGPR?**

Importance de la génétique de l'hôte végétal

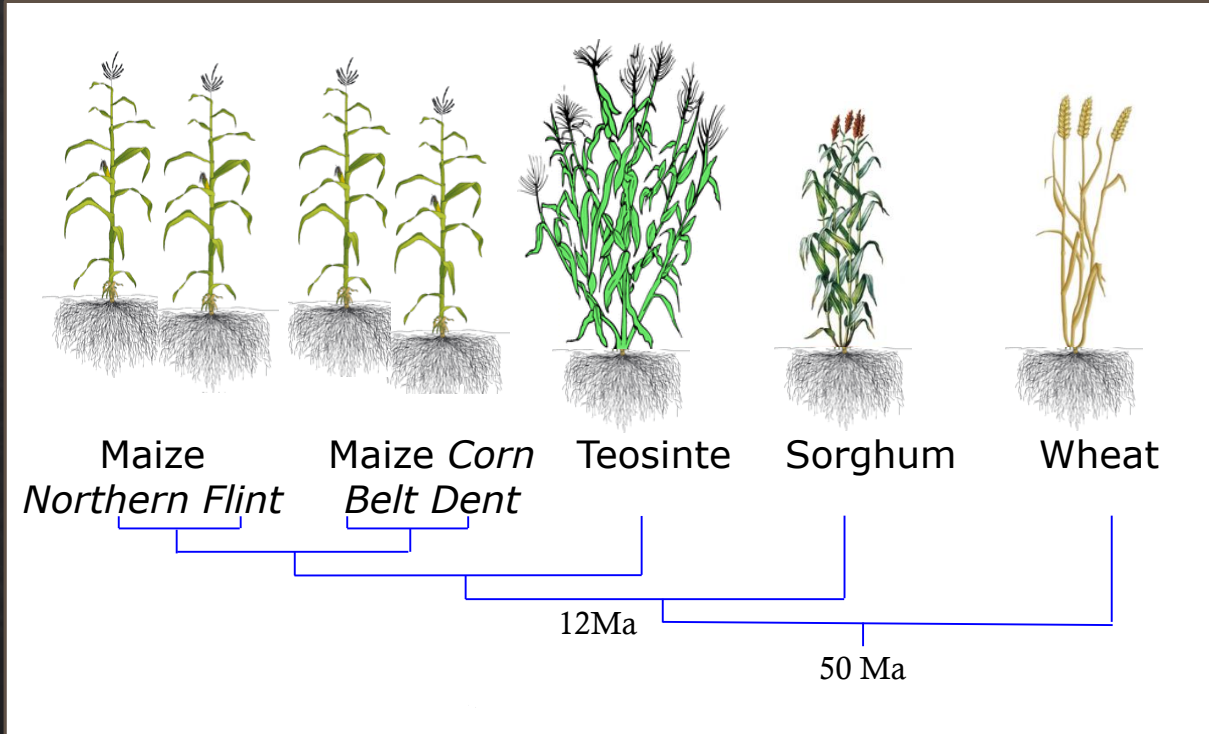


Génétique de l'hôte détermine la composition des exsudats racinaires

Bais *et al.* 2006; Lesuffleur *et al.* 2007 ; Haichar *et al.* 2014

- Sélection par la plante des microorganismes capables de cataboliser le carbone organique libéré

Importance de la génétique de l'hôte végétal

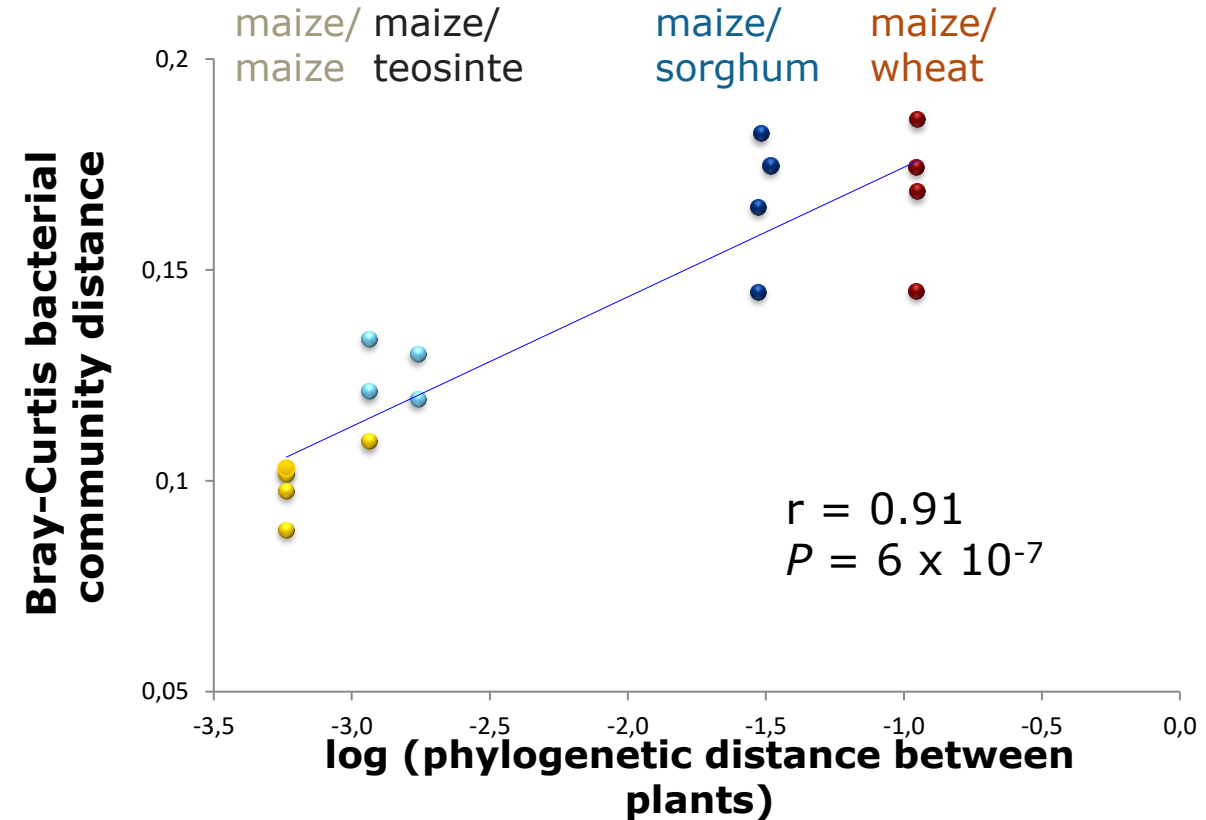


Echelle des Poacées ~ 70 millions années d'évolution

Impact sur la composition des groupes fonctionnels

Composition des communautés rhizobactériennes

Bouffaud et al. 2014 Environ Microbiol. 16:2804-14



➡ Impact de l'histoire évolutive des Poacées sur les communautés microbiennes

Importance de la génétique de l'hôte végétal

- ✓ Comparaison de 198 génotypes de blé vis-à-vis de la colonisation des racines par une PGPR

Collaboration avec le GDEC de Clermont-Ferrand

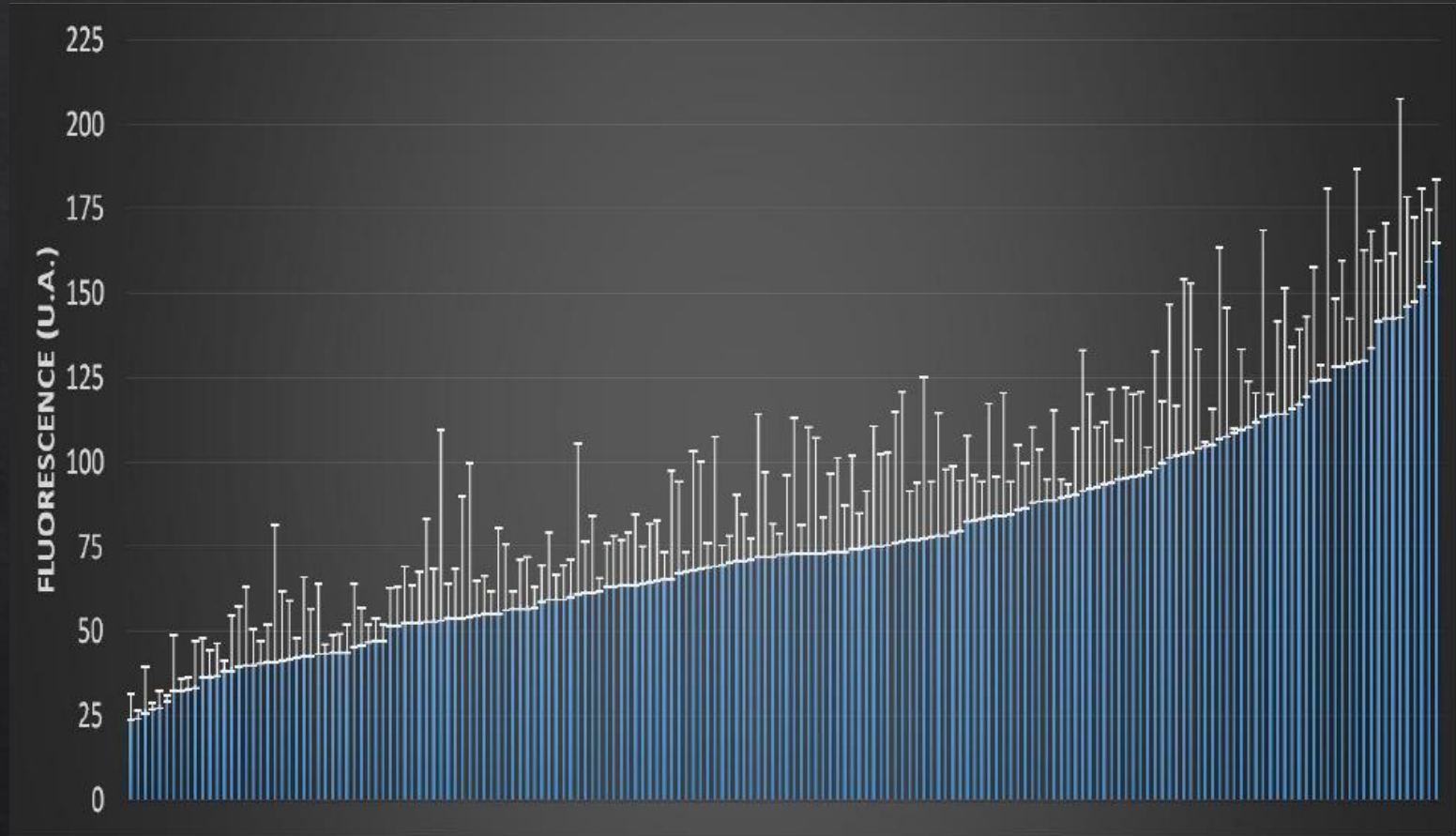


Inoculation avec une souche fluorescente verte (marquage constitutif)

A 7j, cellules bactériennes décrochées des racines



Analyse de la fluorescence émise

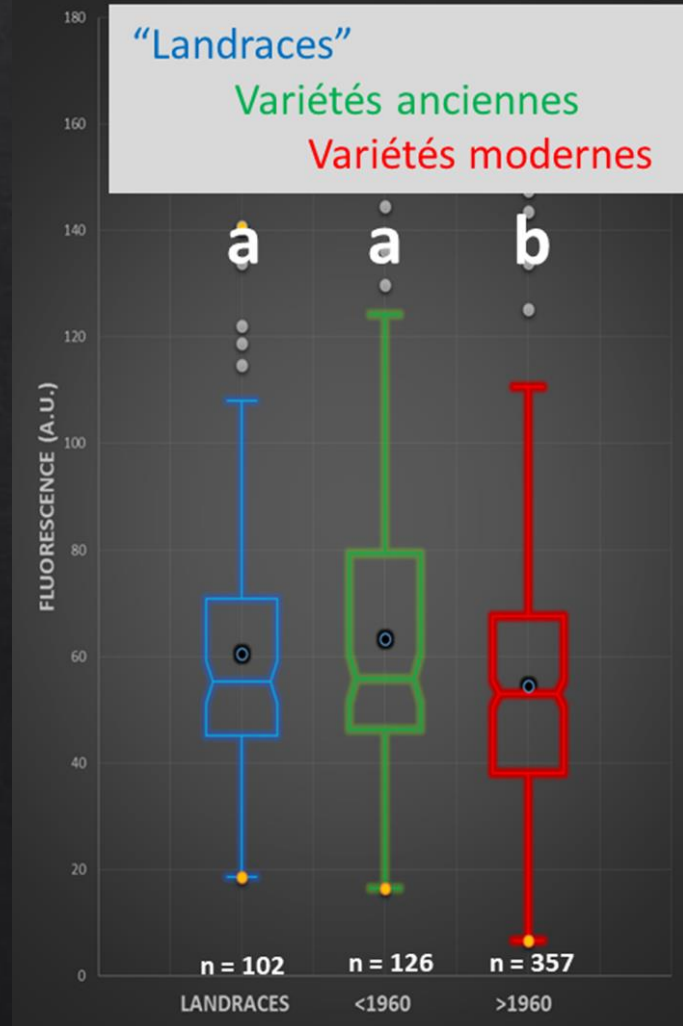


➡ Tous les génotypes de blé n'ont pas la même capacité à interagir avec une PGPR

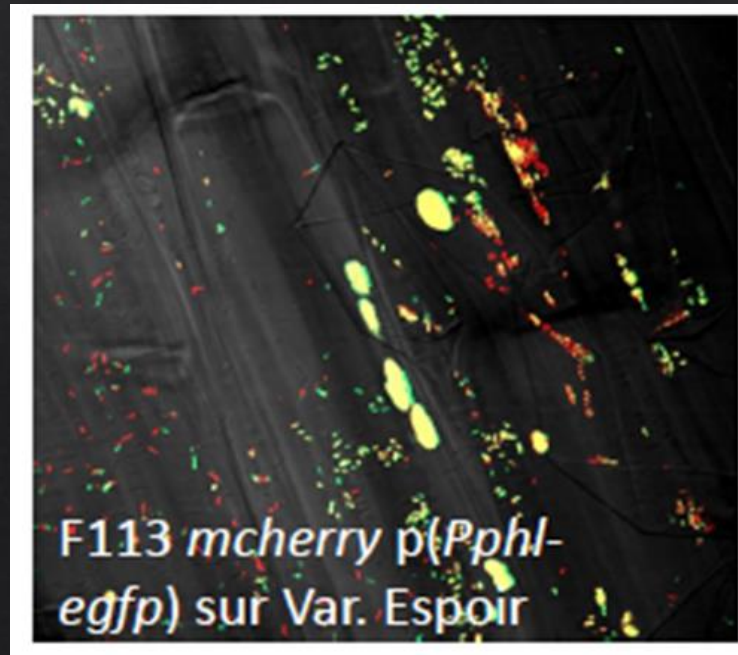
Importance de la génétique de l'hôte végétal

✓ Quelle capacité de variétés anciennes et modernes à interagir avec les PGPR?

➡ Analyse des données en fonction de la date d'apparition des accessions (% 1960)



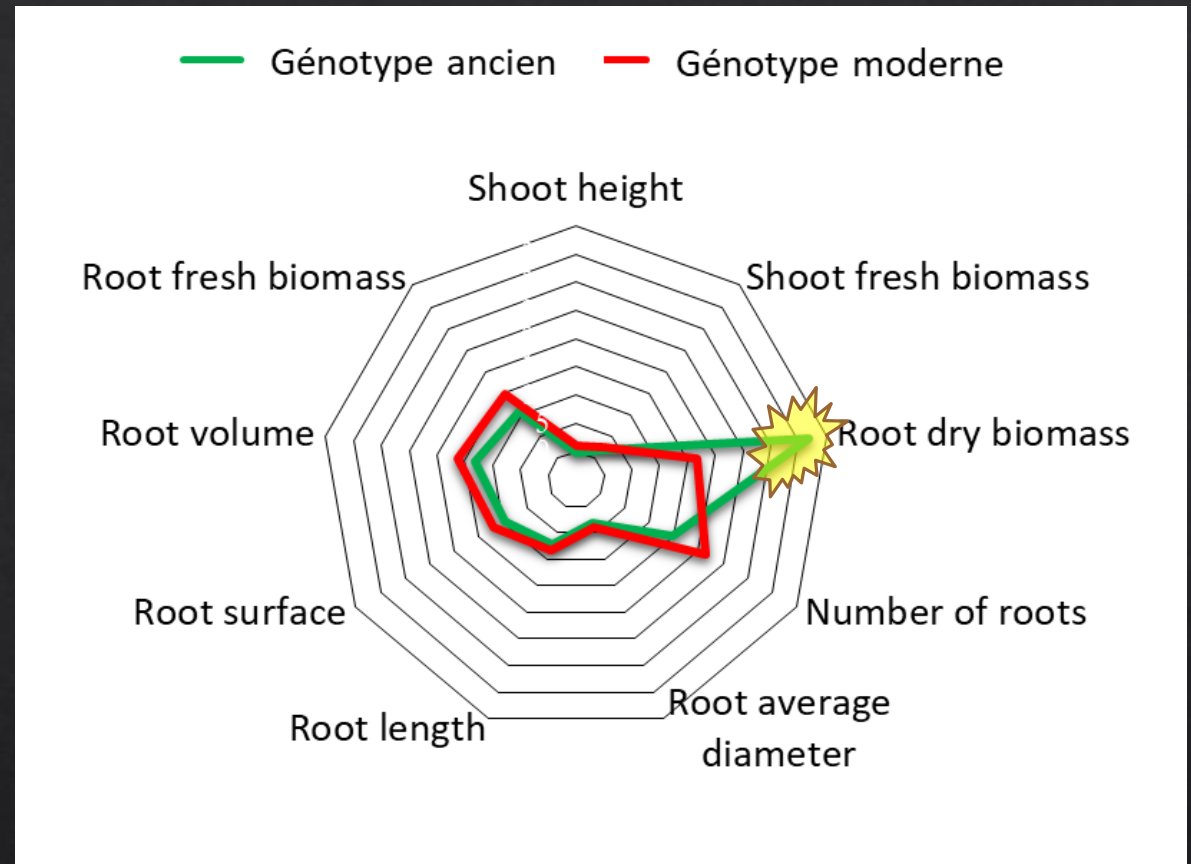
Cultivar Espoir (ancien)



Microscopie confocale

➡ Meilleure interaction d'une souche de PGPR inoculée avec des blés anciens

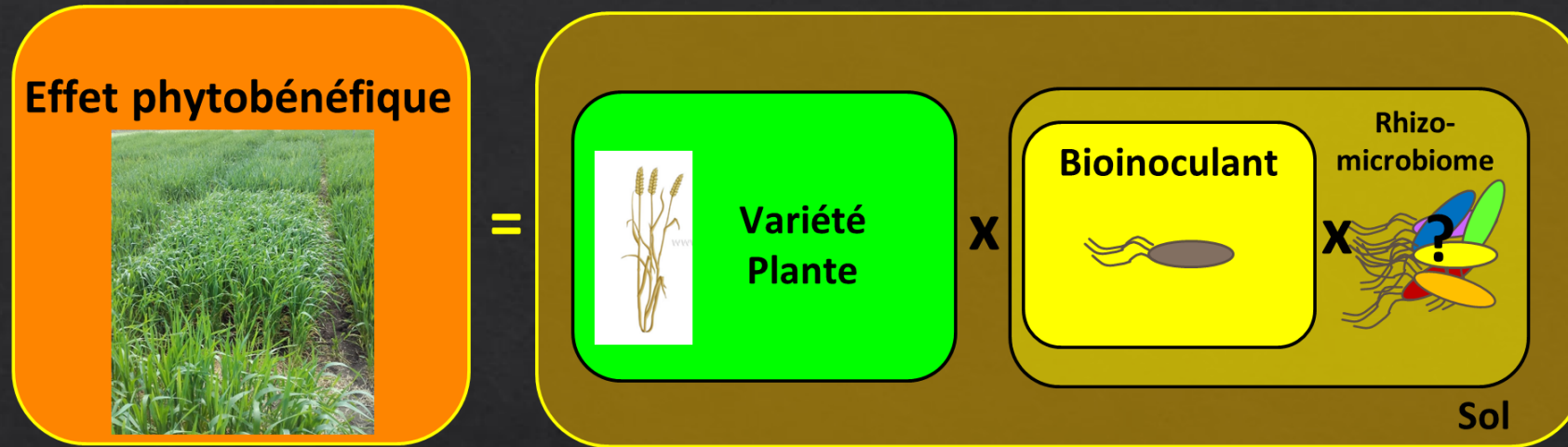
Importance de la génétique de l'hôte végétal



- ➡ Impact positif d'une souche de PGPR inoculée sur des blés anciens
- ➡ Identifier les **gènes de blé impliqués (QTL)** dans ces réponses différentielles (génétique d'association en cours)

Privilégier les génotypes anciens, les variétés de pays !!

Pour conclure



➔ Améliorer l'efficacité des Biofertilisants et Biopesticides nécessite de **mieux décrypter** le **réseau d'interactions biotiques** complexe que ces produits seront amenés à établir avec des **partenaires multiples** lors de leur application sur les plantes cultivées

➔ Stimuler la croissance et protéger les plantes contre les maladies, en limitant les effets négatifs sur l'environnement nécessite **la Recherche publique** et le développement de **partenariats privé-public**

Consortium Biocontrôle



Partenariat privé-public créé par l'INRA associant la communauté travaillant dans le domaine du Biocontrôle dont les objectifs sont de:

- (i) Favoriser l'usage à grande échelle des produits et agents du biocontrôle insérés dans des systèmes de culture relevant de la protection intégrée des cultures
- (ii) Développer une industrie française du biocontrôle sur le territoire national).



Le Biocontrôle en France

Des Associations



www.academiedubiocontrôle.org

Association créée en 2013 et présidée par Cédric Bertrand



<https://www.ibmafrance.com/ibma-france/>

IBMA France = Association française des entreprises de produits de biocontrôle, créée en 1999, présidée par Antoine Meyer

Des Ouvrages



Des Congrès



Pesticides organiques d'origine naturelle

Des Lettres mensuelles



Patrice Marchand

Remerciements

Equipe Rhizosphère



Partenaires

BIOVITIS, BASF, LESAFFRE, ROUILLIER

Financement



SymbioMaize

ANR- 12-JSV7-0014-01

Azodure

ANR-12-AGRO-0008

BacterBlé

ANR-14-CE19-0017



Projet EC2CO 2018

Collaborateurs

- B. Gouesnard - UMR 1334 AGAP (Montpellier)
- C. Palaffre - UE de Saint Martin de Hinx
- G. Desbrosses – BPMP (Montpellier)
- J. Le Gouis et T. Langin – GDEC (Clermont-Ferrand)
- B. Hirel – IJPB (Paris)
- C. Keel – UNIL (Suisse)
- O. Babalola – NWU South Africa



Merci pour votre attention