

# MicroSoilSystem

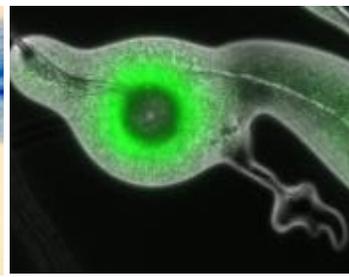
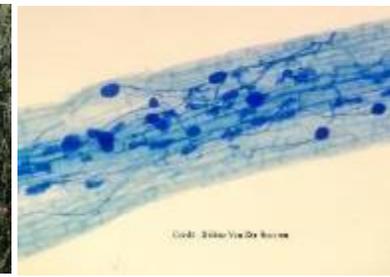
**Réduction d'intrants par application de consortia microbiens formulés à finalité biostimulante et de biocontrôle adaptés au fonctionnement des sols en agriculture biologique, conventionnelle et de conservation.**

Principaux contributeurs:

- CRA-W: **Hardy, B.**, Motet, A., Huyghebaert, B.
- UCLouvain: Calonne, M., Declerck, S.
- Uliege: Goudot, F., Ongena, M., Jacques, P.

# Objectifs du projet

Les microorganismes pour réduire les intrants de synthèse



## Objectif général

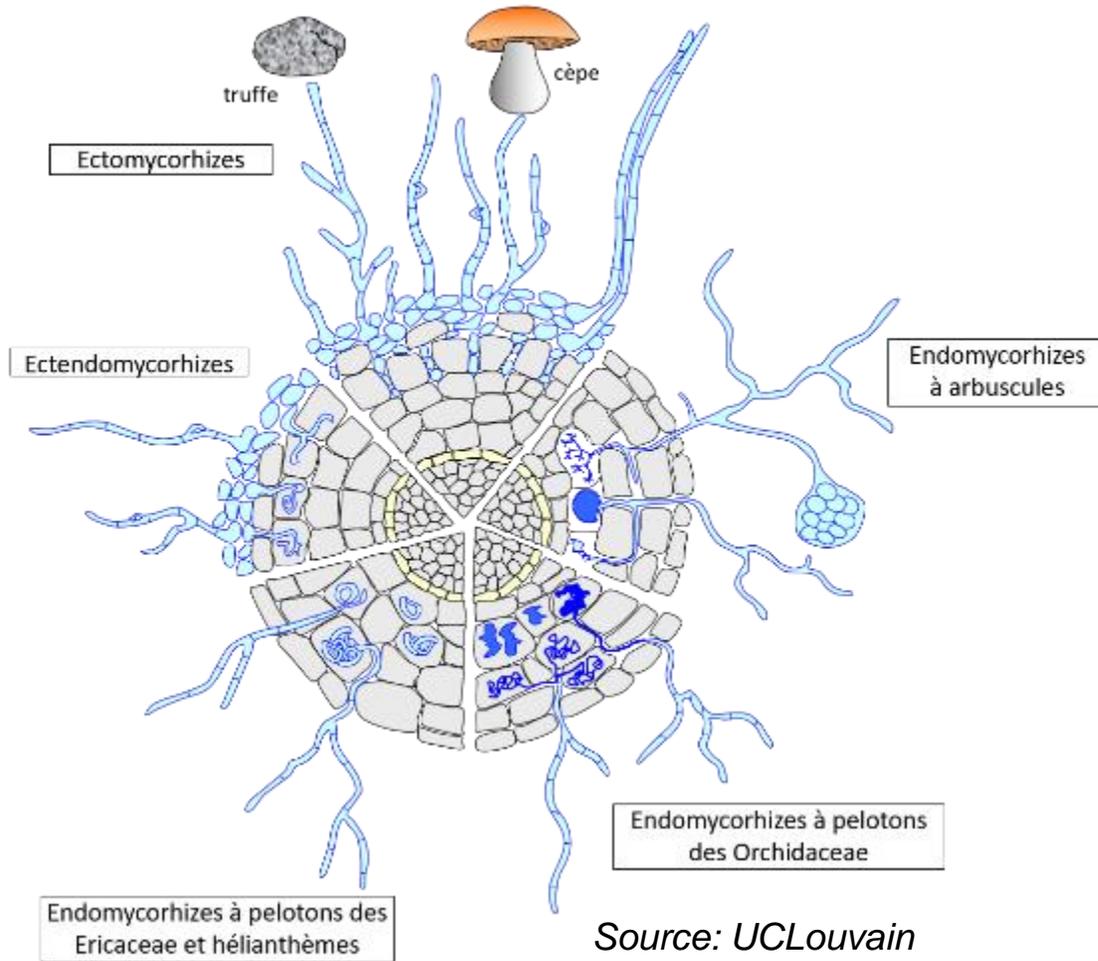
L'objectif est de **développer un nouveau biostimulant microbien** (consortium bactérie-champignon mycorhizien) éco-compatible **permettant de réduire les intrants chimiques**, en priorité dans le contexte de l'agriculture biologique mais aussi avec une vision concrète d'application en lutte intégrée pour les cultures conventionnelles.

## Objectifs opérationnels du CRA-W

- 1) **Identifier les principaux facteurs agronomiques** et pédoclimatiques **favorables ou défavorables aux CMA** et aux bactéries bénéfiques au froment d'hiver.
- 2) **Evaluer la compatibilité de consortia microbiens avec les enrobages de semences.** Il s'agira de vérifier la compatibilité du consortium microbien avec les principaux traitements de semences autorisés en agriculture biologique et conventionnelle.
- 3) **Mener des essais au champ afin de tester l'efficacité des consortia microbiens** formulés (enrobage de semences) en conditions de champ et dans différents contextes agronomiques

# Les champignons mycorhiziens à arbuscule

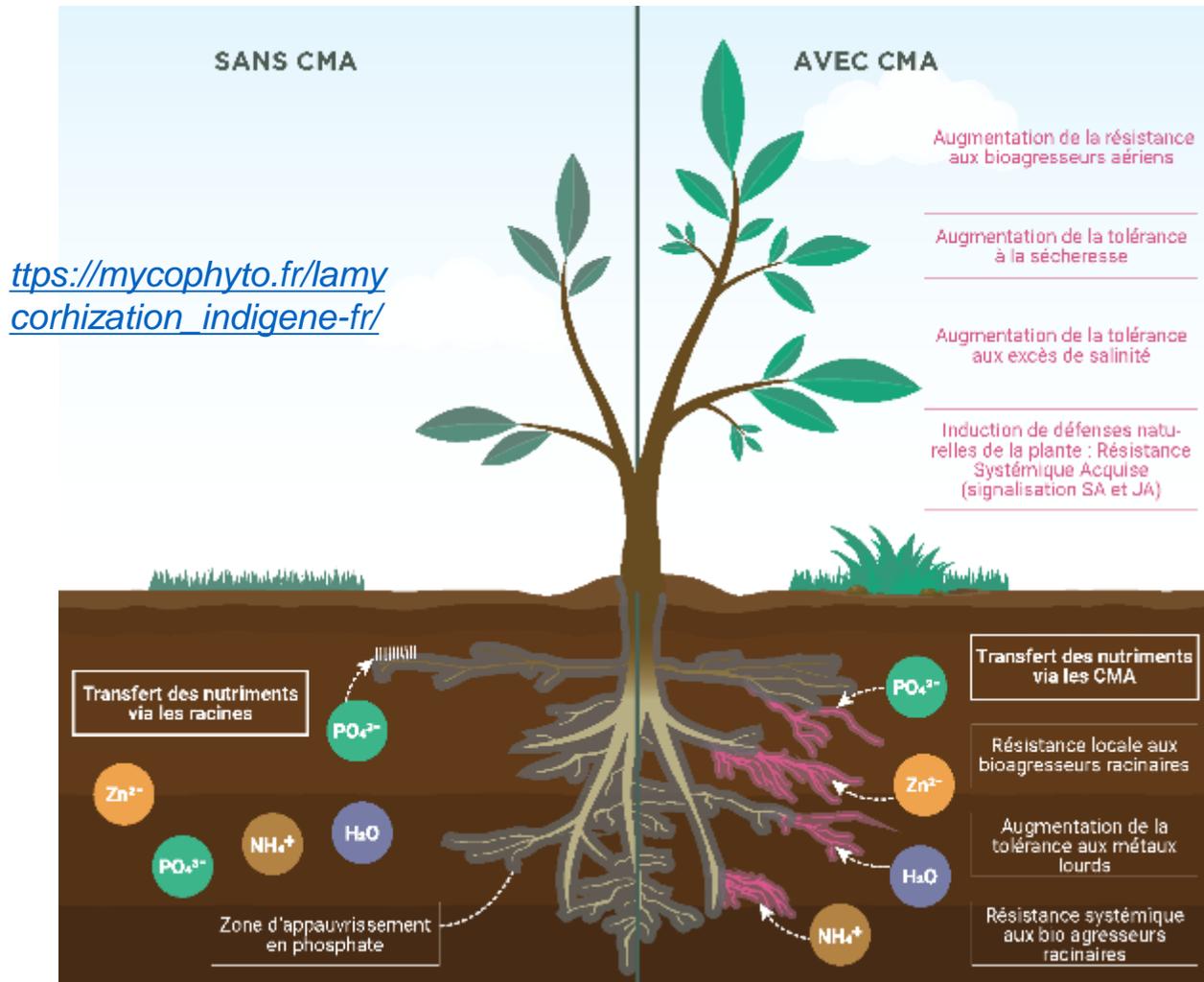
## Généralités et classification



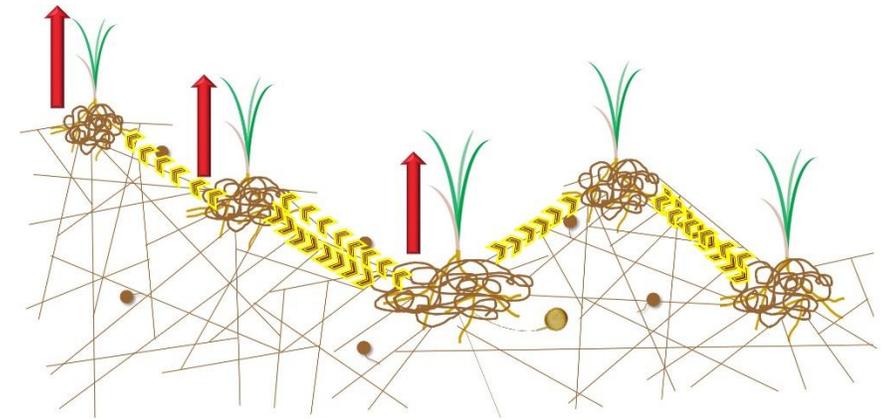
- Les champignons mycorhiziens sont des symbiotes obligatoires
- Ils reçoivent du carbone de la plante, en échange de nutriments
- Ils sont apparus il y a environ 450 millions d'années, et ont évolués avec les plantes
- Il existe plusieurs classes de champignons mycorhiziens.
- Les plus représentés sont les champignons endomycorhiziens à arbuscules, qui entrent en symbiose avec > 70 % des plantes vasculaires terrestres

# Les champignons mycorhiziens à arbuscule

Une extension du système racinaire des plantes



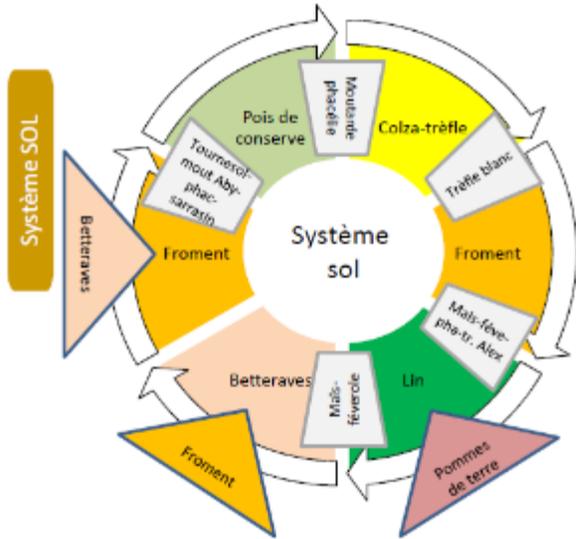
- Amélioration de la nutrition minérale (P, N, microéléments)
- Amélioration de la nutrition hydrique
- Amélioration de la résistance aux stress biotiques et abiotiques
- Structure du sol (glomaline, réseau d'hyphes)



Song et al., 2014

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Parmi les facteurs d'impacts, lesquels dominent à l'échelle du système ?



	CMA	CONV	AB	AC
Tvl du sol	☹️	++	+++	+
Pulvérisation	☹️	+++	+	++
Diversification	😊	+	++	+++
Couverts	😊	+	+	+++
Ferti min	☹️	+++	-	+++
Ferti orga	😊	+	+++	+

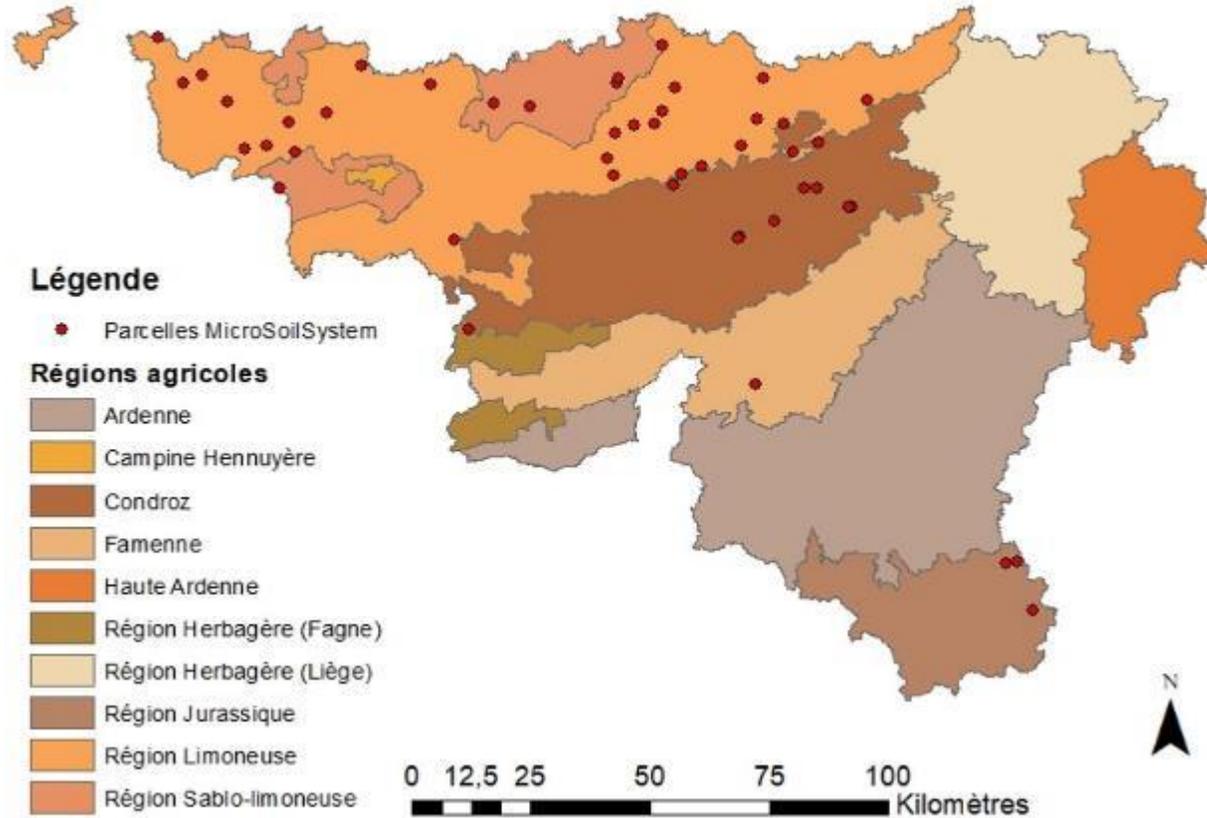
- Beaucoup de références acquises en conditions contrôlées ou via la mise en place d'essais factoriels au champ
- En conditions réelles, quels sont les facteurs qui prédominent ?

→ **Objectif : hiérarchiser les facteurs d'impact au niveau du système de culture**

© CRAW: SYCI - 2019

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Résultats d'une étude dans un réseau de parcelles en ferme



## Légende

• Parcelles MicroSoilSystem

## Régions agricoles

- Ardenne
- Campine Hennuyère
- Condroz
- Famenne
- Haute Ardenne
- Région Herbagère (Fagne)
- Région Herbagère (Liège)
- Région Jurassique
- Région Limoneuse
- Région Sablo-Ilmoneuse

Localisation des parcelles du réseau MicroSoilSystem sur la carte des régions agricoles de Wallonie.

- 48 parcelles en froment d'hiver
- Mixité bio-conventionnel
- Saison 2019-2020
- Taux de mycorhization des racines à deux dates (tallage, floraison)
- Analyse de la diversité des CMA par métagénomique (en cours)

→ Mise en lien avec les analyses de sol, l'historique cultural et la gestion phytotechnique des parcelles

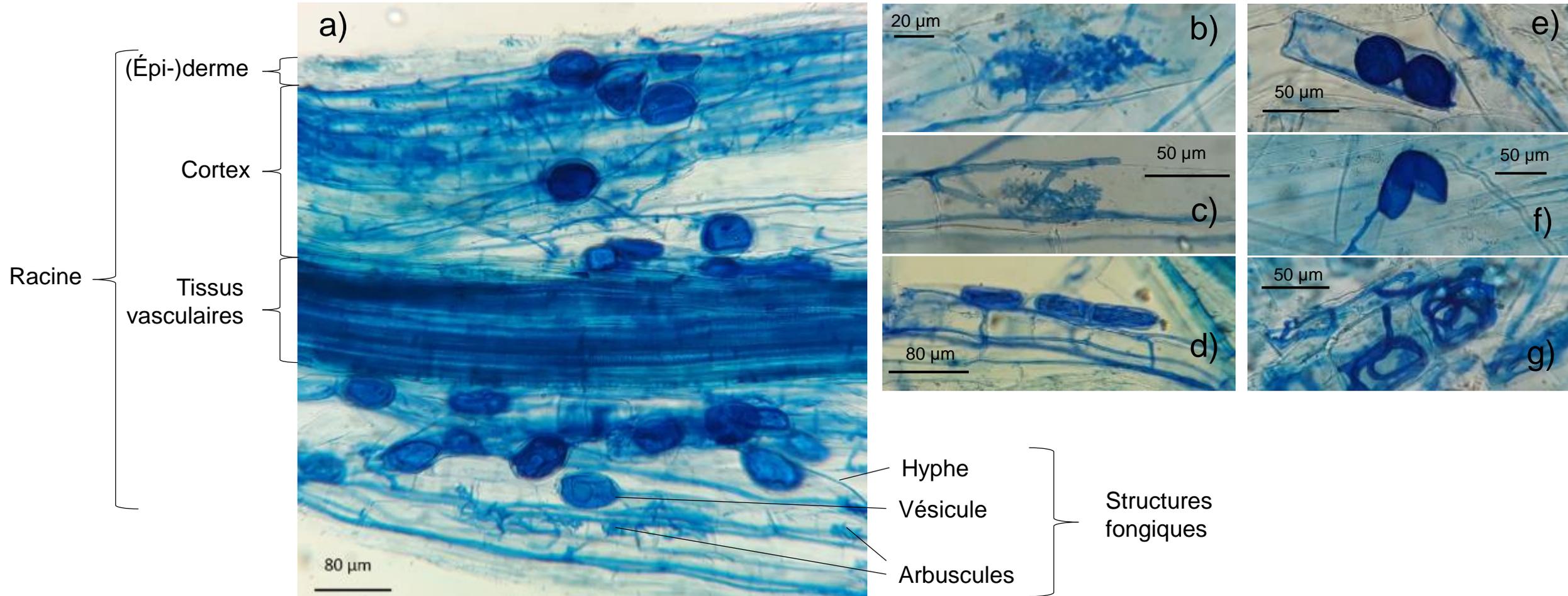
- Les fumures minérales en excès sont défavorables aux CMA
- Le travail du sol intensif est défavorable aux CMA
- Les applications d'herbicides et de fongicides sont défavorables aux CMA
- Les cultures non-mycorhizogènes sont défavorables

Méthodes

Hypothèses

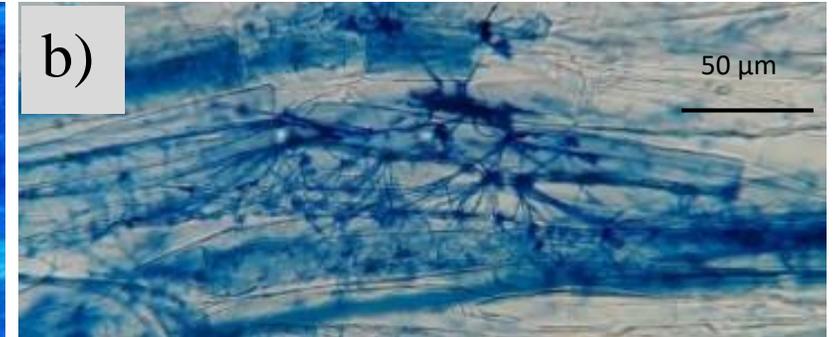
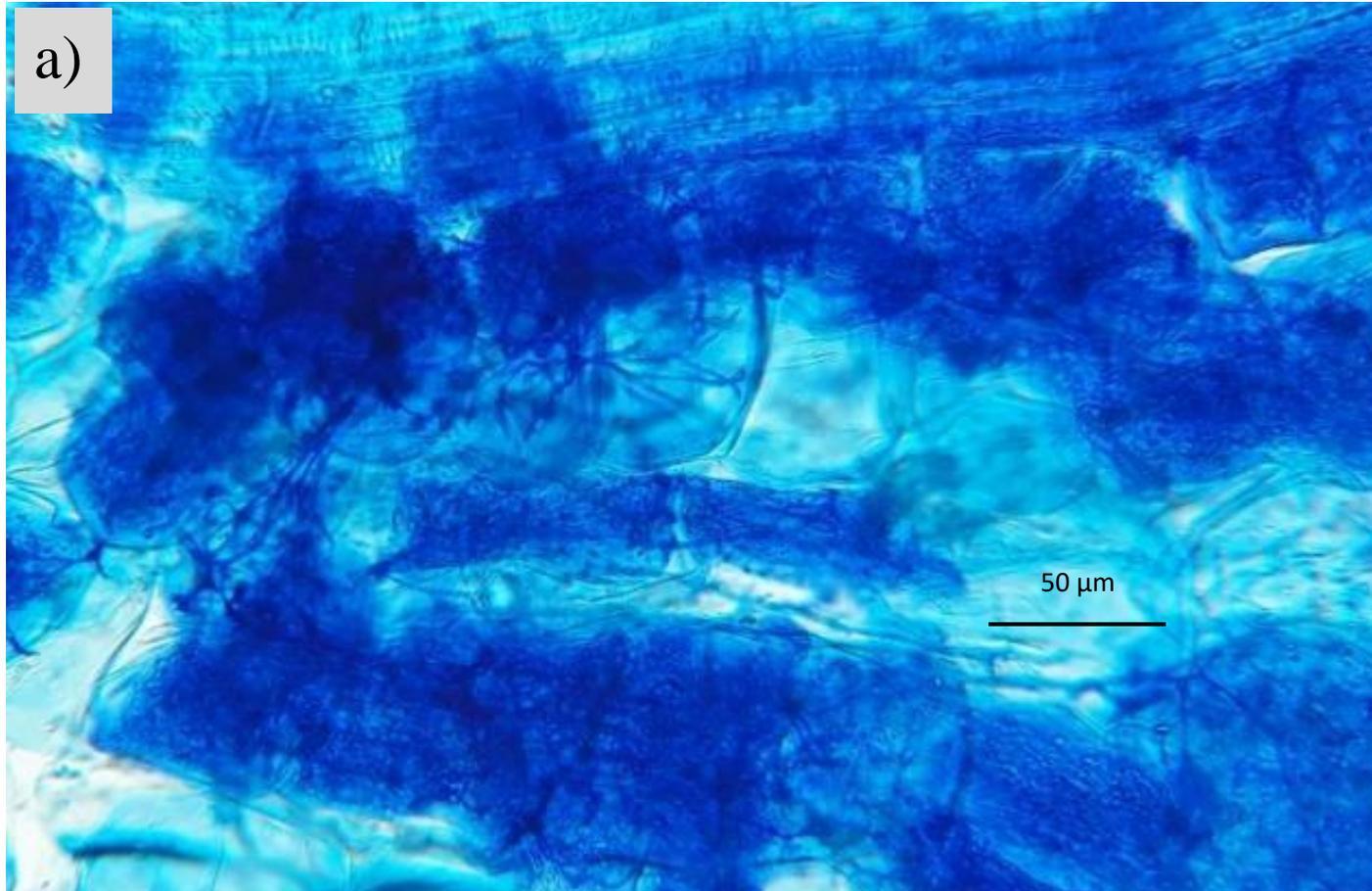
# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Structures mycorhiziennes dans les racines de froment



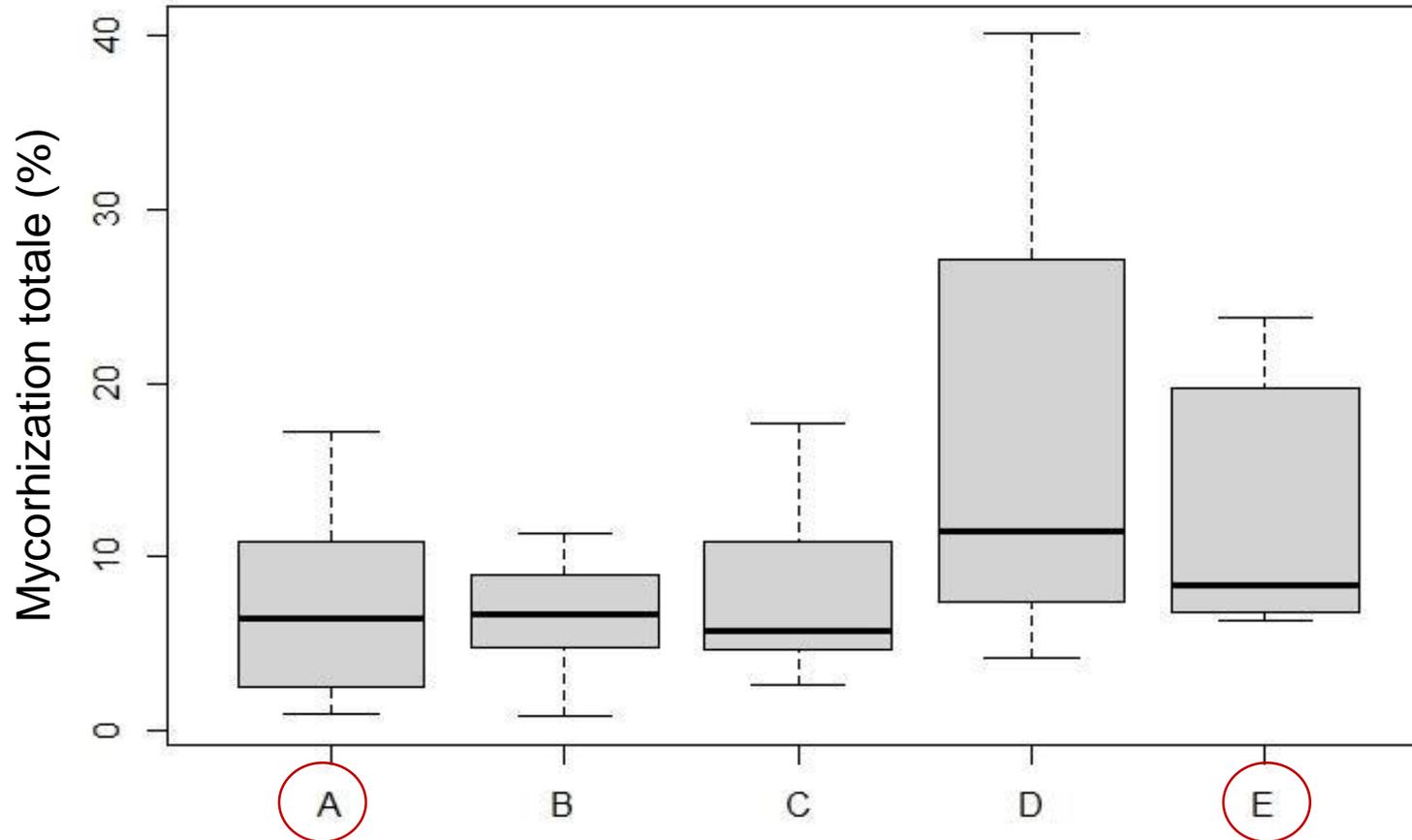
# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Les endophytes fins des racines (*Planticonsortium tenue*) : des mycorhizes particulières



# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

## L'effet du labour



Graphes en boîte à moustaches du taux de mycorhization des racines de froment d'hiver en fonction de l'intensité de travail du sol. Classe A = non-labour strict depuis plus de 5 ans ; classe B=labour peu fréquent (1 fois en 5 ans), classe C = labour occasionnel ; classe D = labour fréquent ; classe E = labour annuel.

→ Pas de lien clair entre taux de mycorhization des racines et fréquence de labour

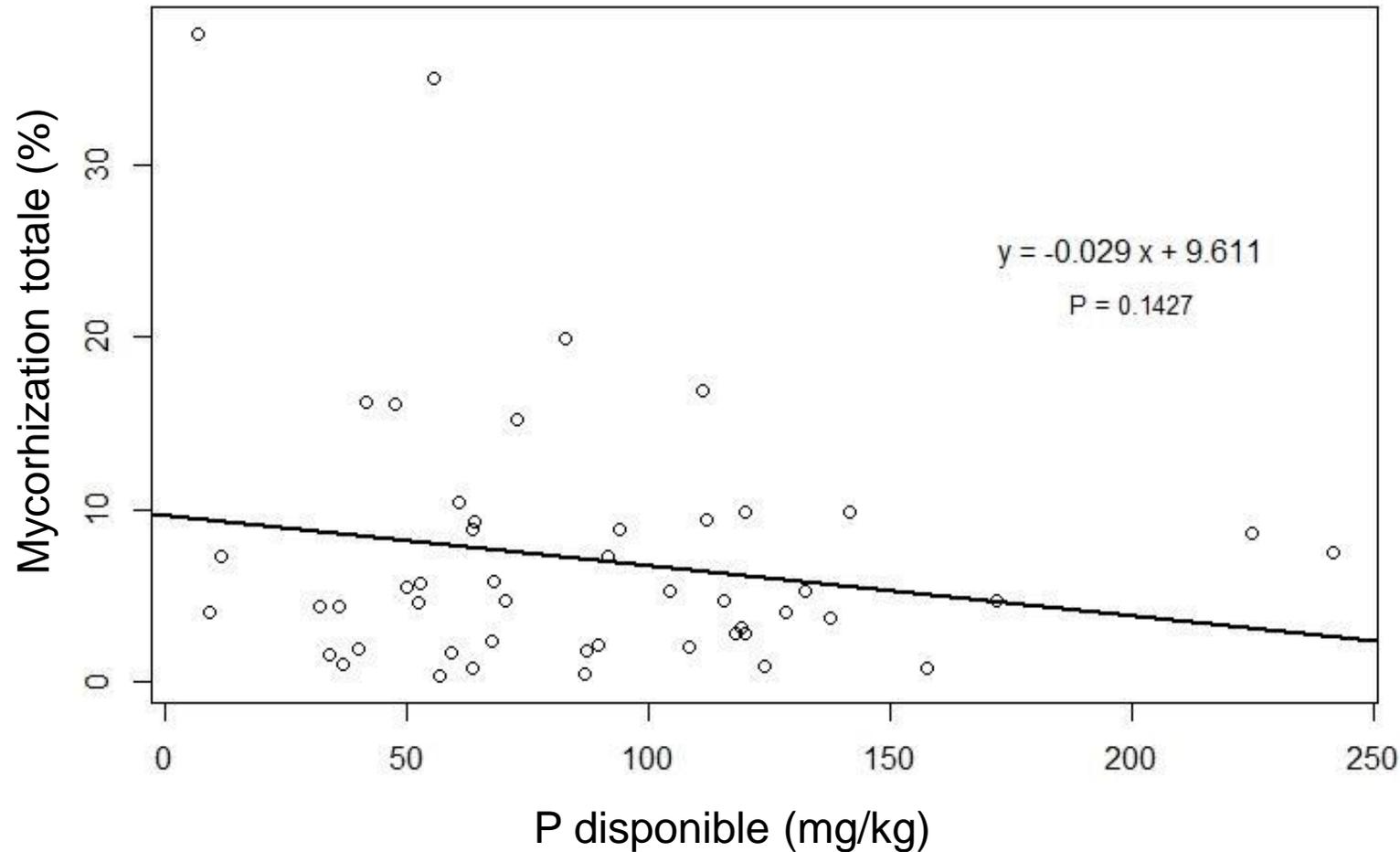
NL strict depuis plus de 5 ans

Classe d'intensité de travail du sol

Labour annuel

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

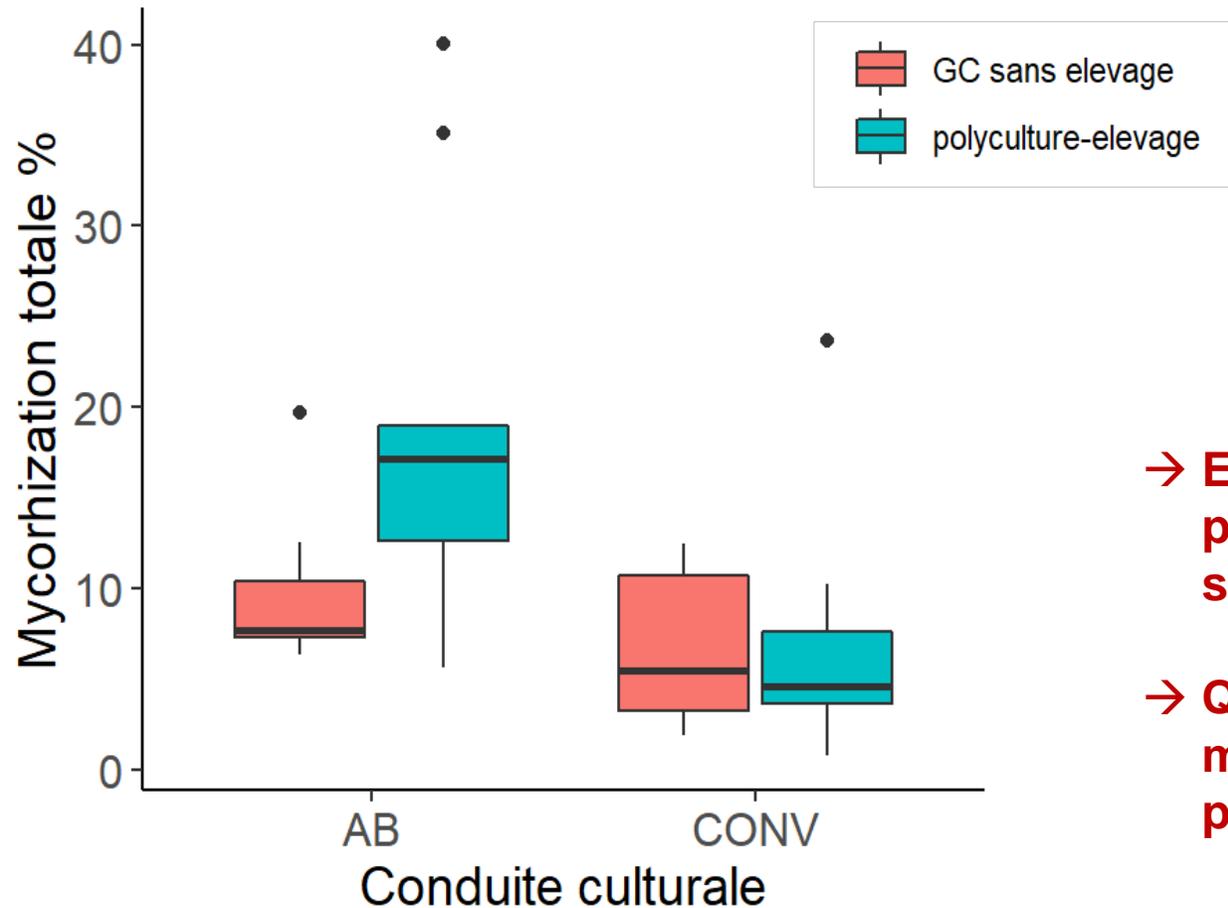
L'effet des conditions de sol



→ Pas de lien clair entre taux de mycorhization des racines et paramètres de sol

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

L'effet de l'agriculture biologique



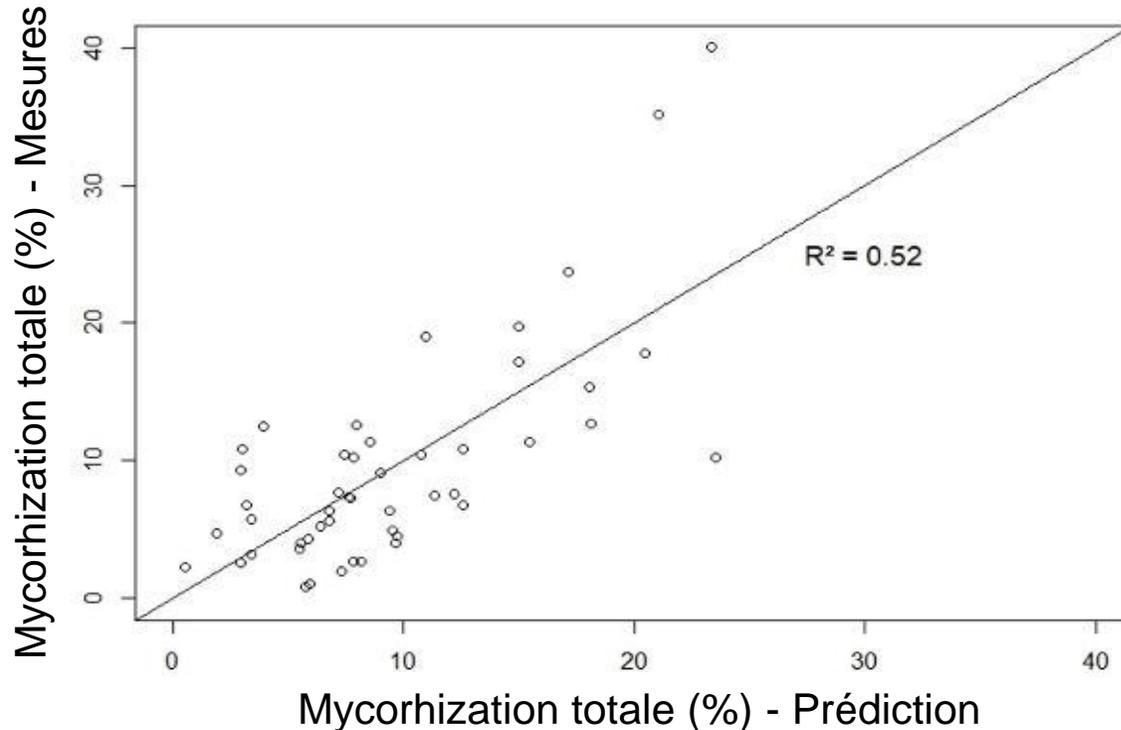
- 9 des 10 parcelles les plus mycorhizées sont cultivées en AB
- Parmi les fermes en AB, les fermes de polyculture-élevage se distinguent

→ En agriculture conventionnelle, la plupart des services rendus par les CMA sont remplacés par la phytotechnie

→ Quel facteur se cache derrière les meilleurs scores des fermes bio en polyculture-élevage?

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Derrière la typologie des fermes, la rotation...

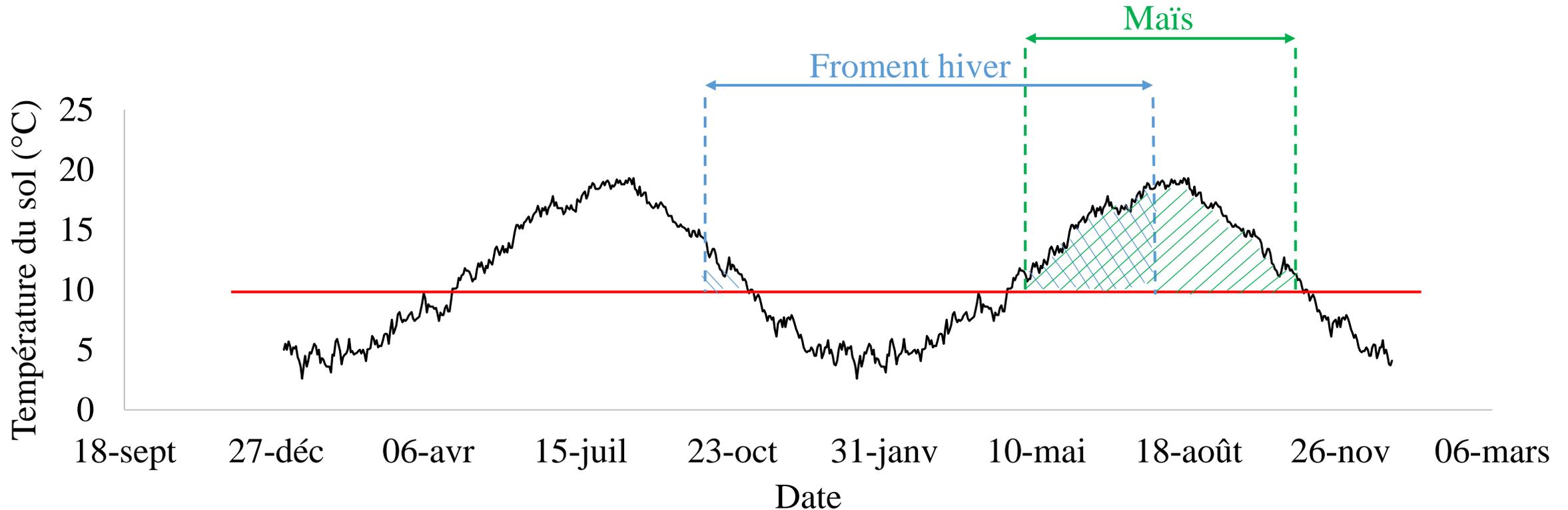


- 4 périodes de l'historique:
  - 0-2 ans
  - 3-5 ans
  - 6-10 ans
  - 11-20 ans
- Cultures favorables (+1):
  - Prairie
  - Maïs
- Cultures défavorables (-1):
  - Betteraves
  - Colza
  - Quinoa
  - Épinard (-0.5)
- Intercultures défavorables (-0.5):
  - Moutarde (- phacélie)

- **En considérant les extrêmes (cultures affaiblissantes et cultures améliorantes), on explique une part importante de la variance**
- **L'historique récent a le plus d'impact**

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Derrière les cultures améliorantes, le cycle cultural

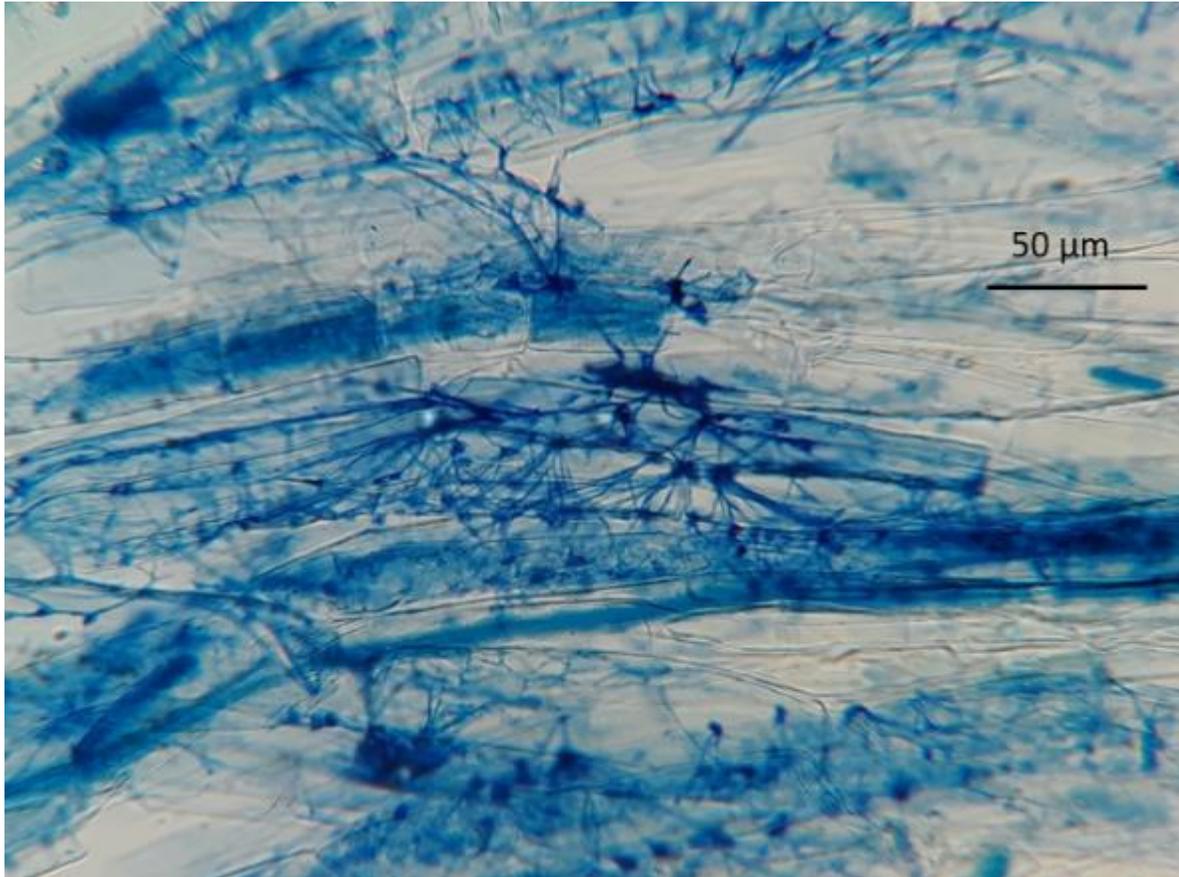


→ Couverture de la période utile au développement mycorhizien

→ Rapidité des enchaînements entre deux cultures

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Et les endophytes fins des racines?



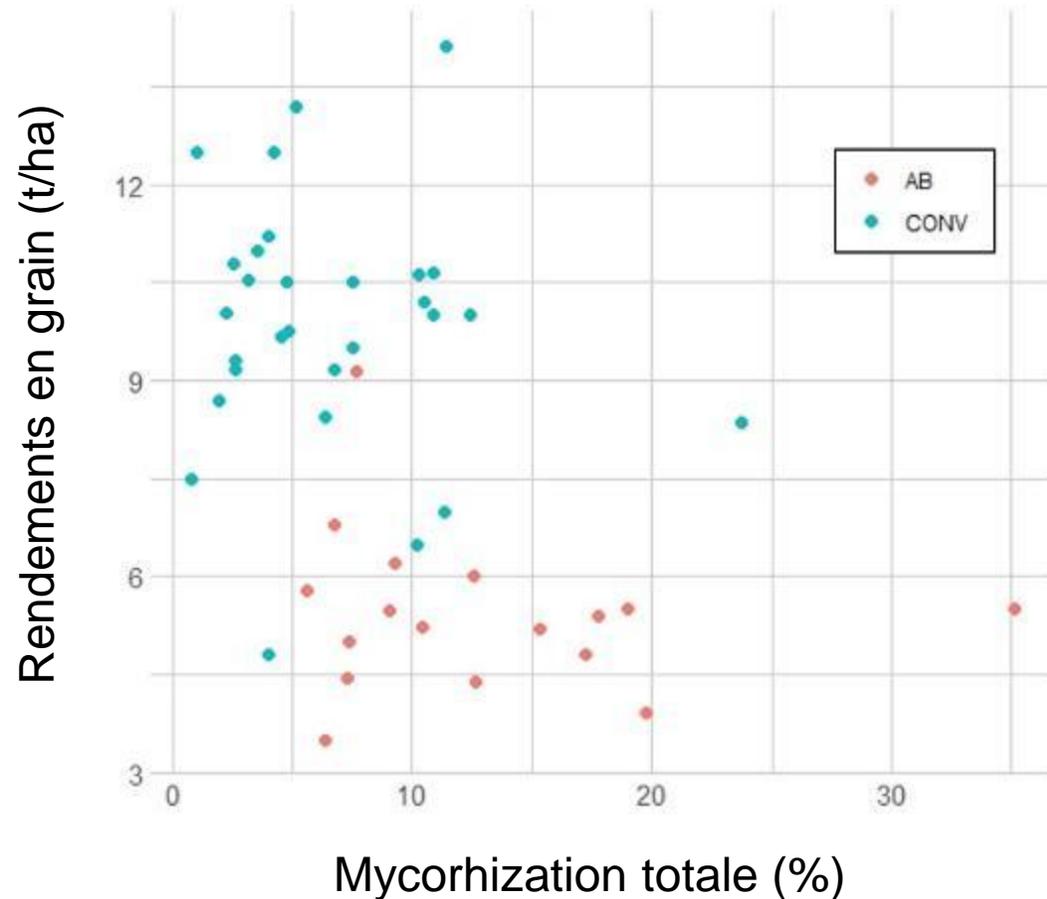
- La proportion d'endophytes fins des racines augmente dans les parcelles qui possèdent un **historique cultural défavorable aux CMA**
- Ces parcelles sont généralement gérées en **techniques culturales simplifiées** et possèdent un statut nutritif relativement **pauvre en P, K ou Mg** assimilable.

→ **Substitution des CMA dans les environnements défavorables, meilleure résistance aux stress induits par l'agriculture ?**

→ **Implication dans le prélèvement d'N ?**

# L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Qu'en est-il du rendement?



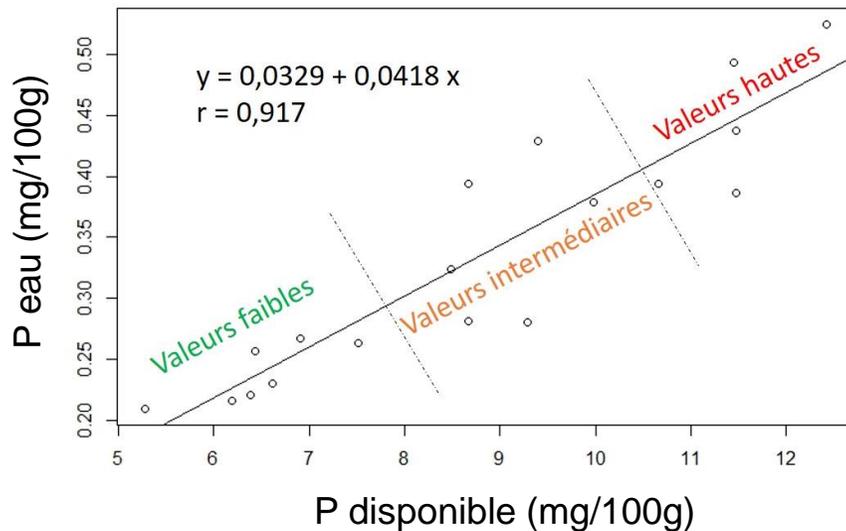
- L'effet du **mode de conduite cultural** est très significatif ( $p < 0.0001$ ), ce qui est un effet attendu et accentué par les performances variétales d'arminius (AB) et chevignon (CONV).
  - Par contre, le lien entre **taux de colonisation** des racines par les CMA et rendement n'est pas significatif ( $p = 0.48$ )
- Il est rare d'observer un lien entre mycorrhization et rendement dans les environnements riches en P
- La construction du rdt est complexe et multifactorielle
- Au-delà du taux de mycorrhization totale, certaines souches de CMA sont plus bénéfiques que d'autres

# Essai des consortia microbiens au champ

Essai 2021-2022



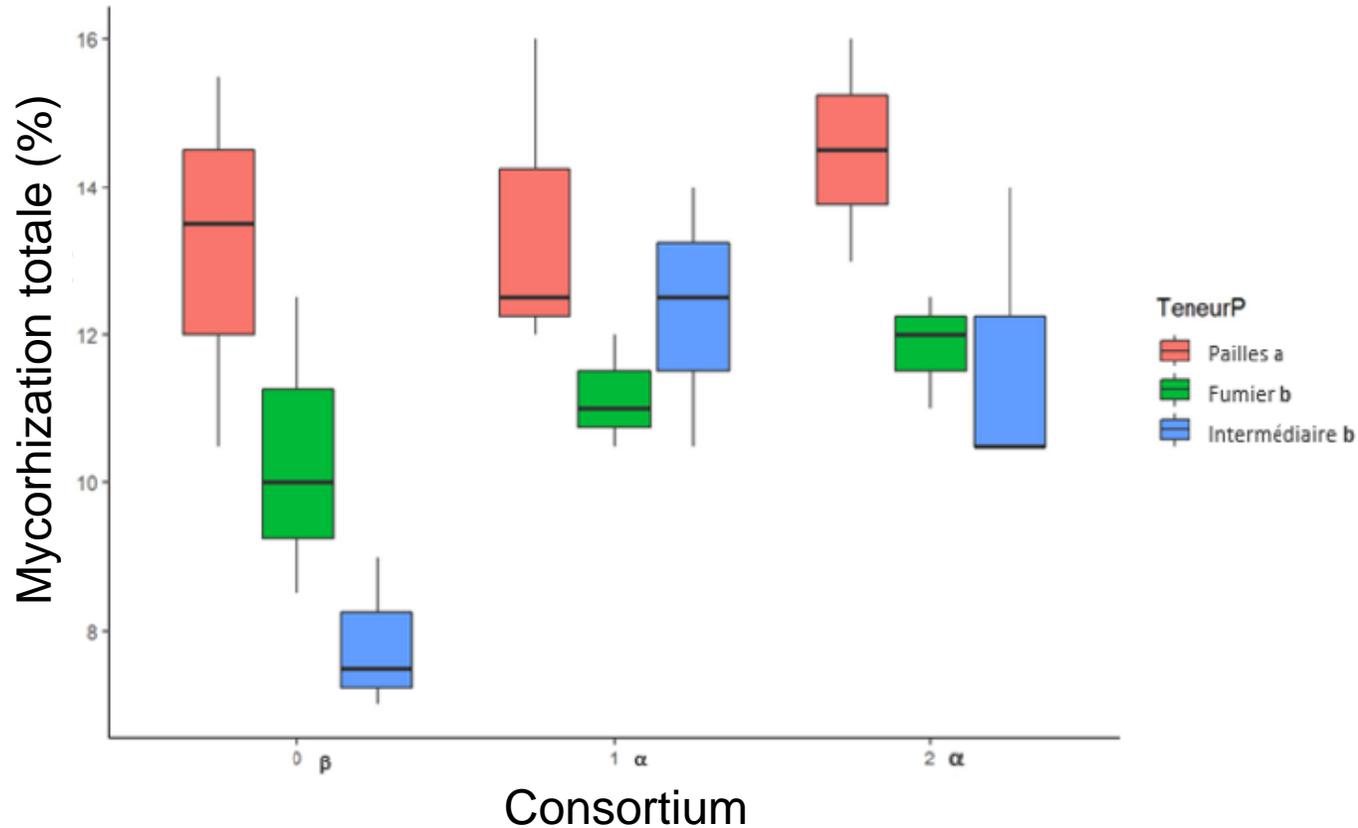
	P disponible (mg/100g)	P soluble à l'eau (mg/100g)	Niveau de P
Restitution des pailles	7,4	0,29	Faible
Pailles + lisier + CIPAN	9,8	0,35	Moyen
Fumier	10,8	0,47	Elevé



- Essai « matières organiques » du CRA-W
- Traitements :
  - *Témoin*
  - *Rhizophagus Irregularis MUCL 43194 x Bacillus velenzensis GA1 (1)*
  - *Rhizophagus Irregularis MUCL 43194 x Pseudomonas putida BTP1 (2)*
- Enrobage solide (maltodextrine, gomme arabique et kaolin)
- Croisement avec trois niveaux de fumure P
- Variété: ANAPOLIS
- Semis le 9/11/2021, 325 grains /m<sup>2</sup>
- Préparation de sol: labour + vibroculteur, rotative-semoir
- Essai mené en protection complète

# Essai des consortia microbiens au champ

La mycorhization est inversement proportionnelle au niveau de fertilisation

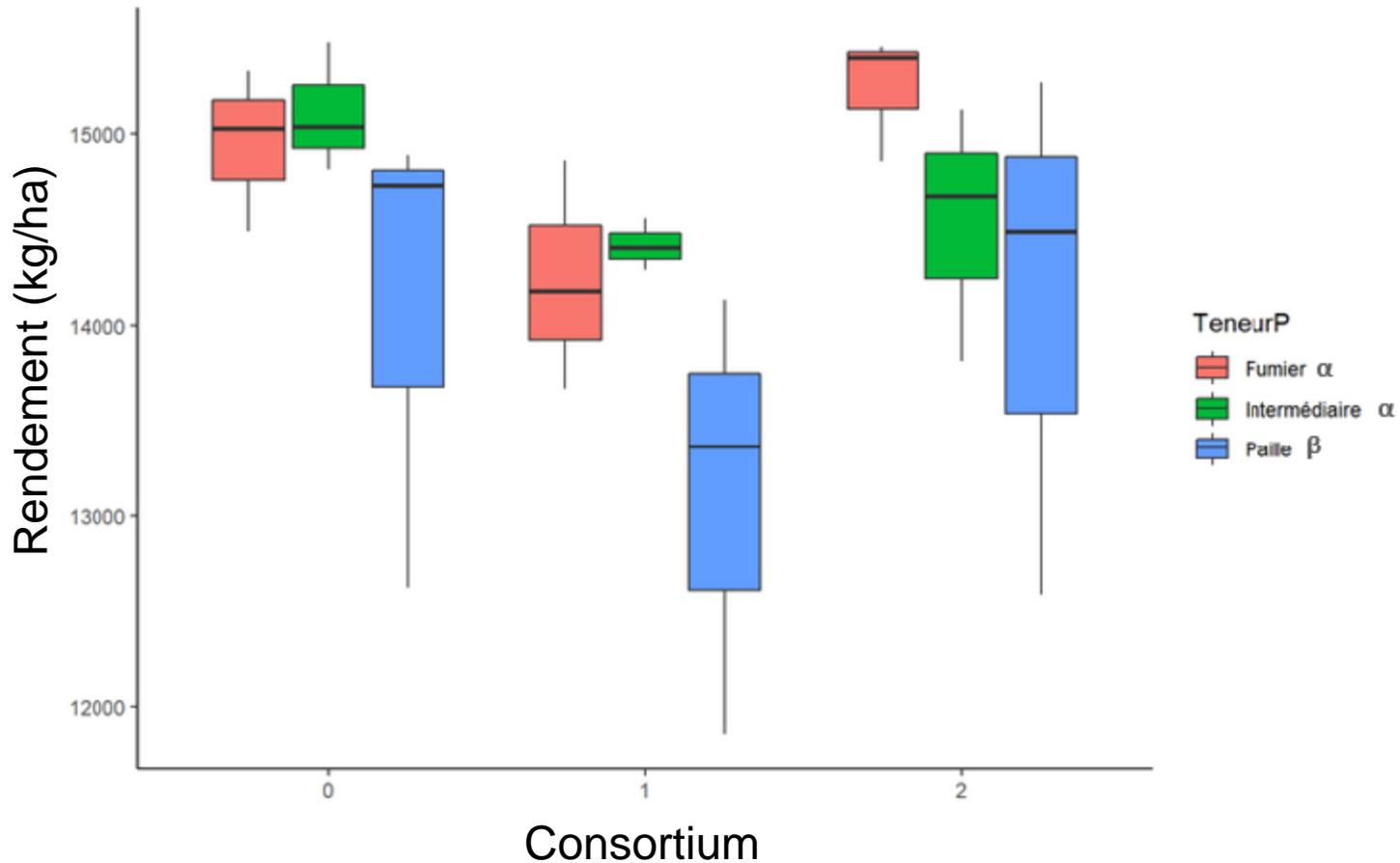


- Pour le témoin, le taux de mycorhization est inversement proportionnel à la teneur en P disponible du sol
- Le taux de mycorhization augmente avec l'inoculum d'autant plus que le niveau de départ est faible

→ **La mycorhize: une assurance pour la plante?**

# Essai des consortia microbiens au champ

L'effet sur le rendement



- Pas d'effet systématique des consortia sur le rendement, mais:
  - Double fumure N (erreur du domaine agricole)
  - Essai mené en protection complète
  - Année 2022 très favorable

→ **Effet bénéfique sous des conditions culturales plus contraignantes?**

# Essai des consortia microbiens au champ

Essais 2022-2023

Essais

- Assesse (BIO)
- Gembloux (BIO)
- Terwagne (AC)
- Thorembeis (conventionnel traité et NT)

Traitements

- Témoin
- CMA
- CMA + Bacillus Velenzensis GA1
- CMA + lipopeptides

Suivis

- Caractérisation du sol
- Potentiel mycorhizogène de la parcelle (MPN)
- Taux de colonisation des racines
- Rendements
- Qualité du grain

T0	Temoin	T3	CMA lipopeptides
T1	CMA	T2	CMA Bacillus
T2	CMA Bacillus	T1	CMA
T3	CMA lipopeptides	T0	Temoin
T1	CMA	T2	CMA Bacillus
T3	CMA lipopeptides	T0	Temoin
T0	Temoin	T3	CMA lipopeptides
T2	CMA Bacillus	T1	CMA

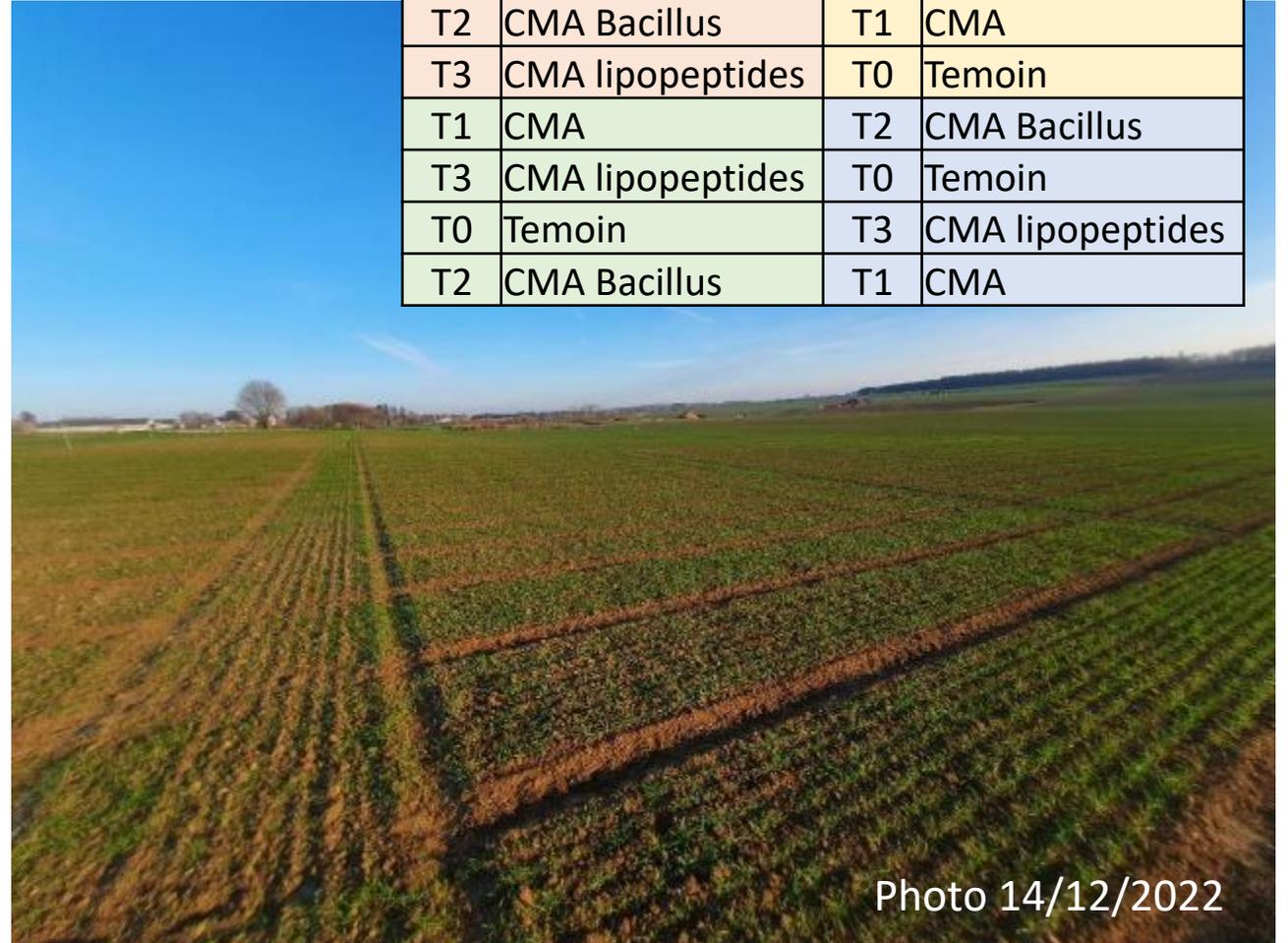
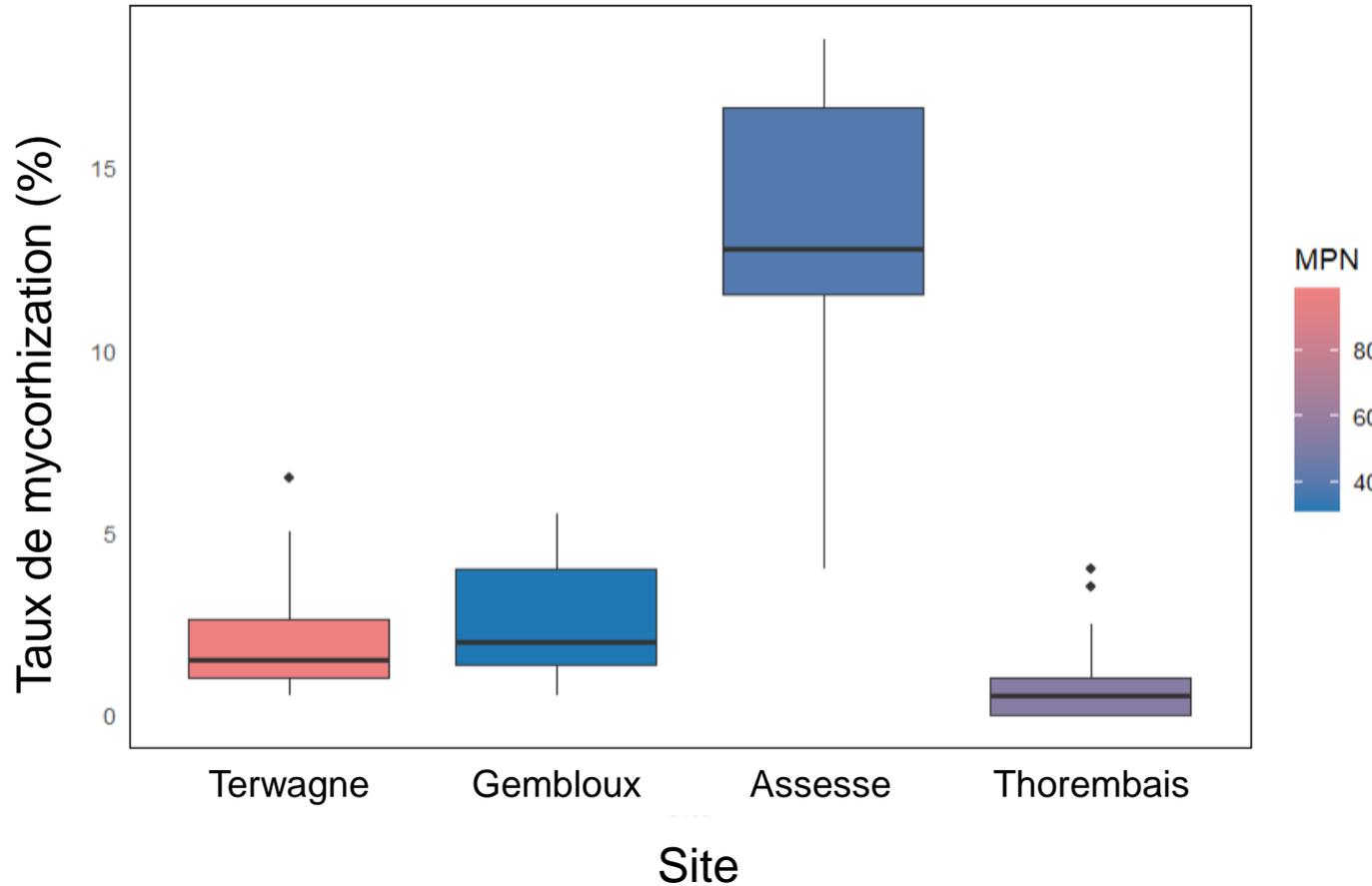


Photo 14/12/2022

# Essai des consortia microbiens au champ

Potentiel (MPN) vs expression (mycorhization)

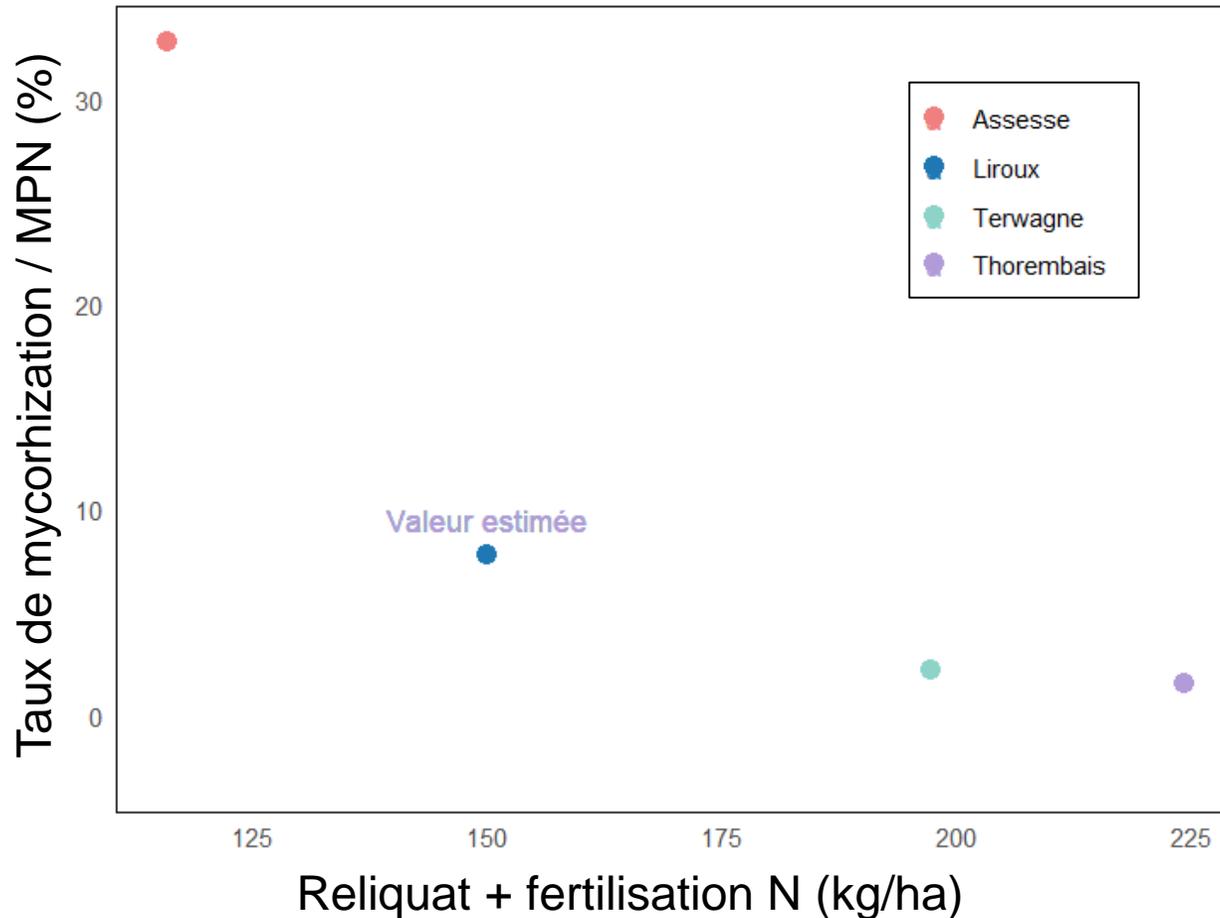


- Le **MPN** mesure le potentiel mycorhizogène du sol
- Le **taux de mycorhization** des racines mesure l'expression de la symbiose

→ **Les deux paramètres n'ont pas la même signification, et il ne sont pas corrélés positivement!**

# Essai des consortia microbiens au champ

La quantité d’N disponible semble inhiber la symbiose

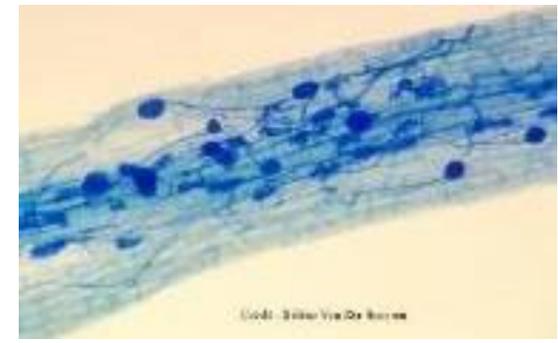


- Le rapport taux de mycorrhization/MPN diminue de manière exponentielle avec la fertilisation azotée

→ **La mycorrhize: une assurance pour la plante?**

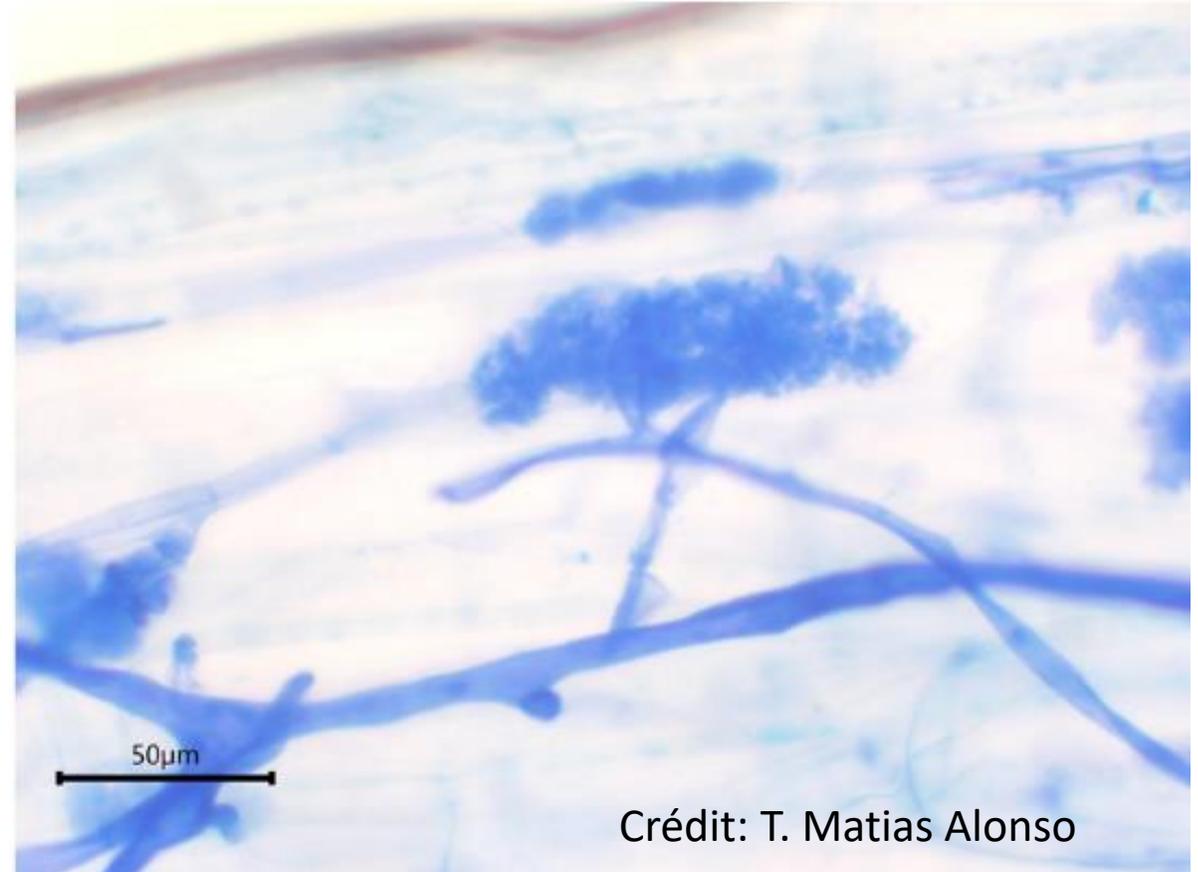
# Synthèse des principaux acquis

- La **succession culturale** contrôle largement l'abondance de CMA dans les sols agricoles
- Les principales **cultures régénérantes** sont la prairie temporaire et le maïs
- Les principales **cultures défavorables** sont les plantes de la famille des **chénopodiacées** (betterave, épinard, quinoa) et des **crucifères** (colza, moutarde). Il est probable que la **phacélie** (hydrophyllacée) ne mycorhize pas du tout ou très peu
- Contrairement aux idées reçues, la **quantité de P disponible** dans le sol et **l'intensité de travail du sol** ne sont pas des variables dominantes à l'échelle du réseau de parcelles
- **Un herbicide comme un labour** rompt le cycle des plantes hôte. La symbiose s'installera dans la culture d'après si les propagules de CMA rencontrent les conditions requises, notamment une température du sol suffisante (>10-12 °C)
- Le développement des CMA étant intimement lié à l'activité des plantes hôtes, les **engrais verts** multi-espèces ainsi que les **plantes compagnes** dans les cultures non-mycorhizogènes peuvent faire office de « relais mycorhize ».
- La mycorhize semble représenter une « **assurance** » pour la plante. Si les services rendus sont remplacés par la phytotechnie, la plante investit moins dans la symbiose
- Tous les **traitements de semence retardent la mycorhization**, même ceux agréés en agriculture biologique (vinaigre, Cerall) malgré une protection incomplète contre les maladies de la semence. La recherche de méthodes d'assainissement des semences alternatives (ex. traitement vapeur) nous semble nécessaire.



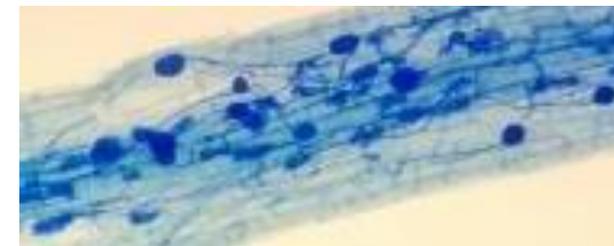
# Perspectives

- Affiner l'**effet de la succession culturale** sur l'évolution dynamique des populations de CMA.
- Etudier l'effet des pratiques agricoles sur la **diversité totale et fonctionnelle** des CMA à l'échelle du réseau de parcelles.
- **Essais 2022-2023**: Analyse des données de rendement et de qualité du grain
- Application des consortia microbiens sur des **cultures de printemps**



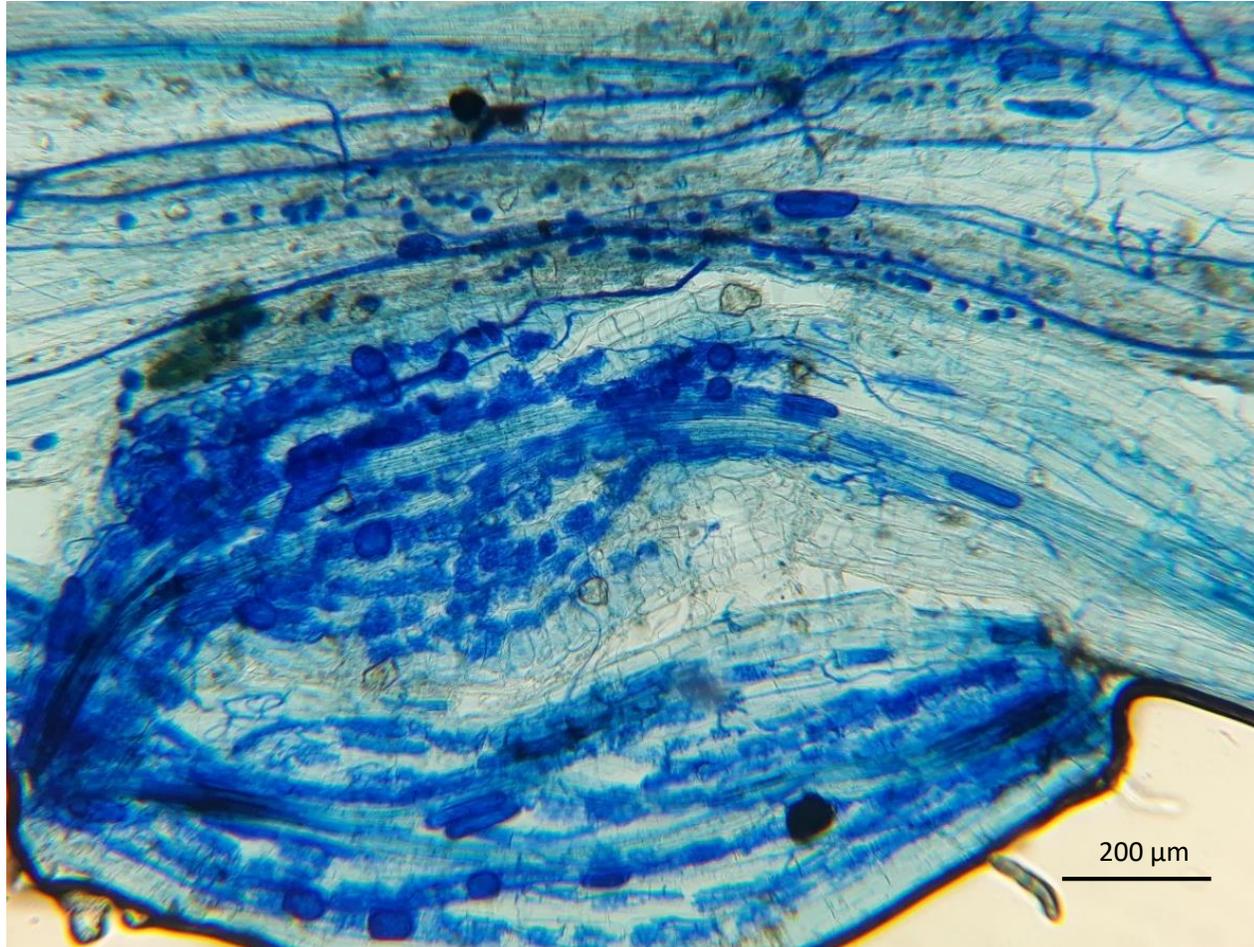
Crédit: T. Matias Alonso

# Références des travaux présentés



- Hardy, B. , Belvaux, E. , Calonne-Salmon, M. , Huyghebaert, B. & Declerck, S. (2023). L'effet des traitements de semence sur la mycorhization du froment d'hiver *Livre Blanc Céréales* 222-226. <https://www.livre-blanc-cereales.be/wp-content/uploads/2023/03/2023-02-4.-Perspectives.pdf>
- Hardy, B. , Calonne-Salmon, M. , Huyghebaert, B. & Declerck, S. (2023). L'effet des pratiques agricoles sur la mycorhization du froment d'hiver *Itinéraires BIO* (70), 47-53. [https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2023/05/Brochure-A4-Itinéraires-BIO-70\\_web.pdf](https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2023/05/Brochure-A4-Itinéraires-BIO-70_web.pdf)
- Matias Alonso, T. (2023). *Evaluation de l'effet biostimulant d'un consortium bactérie : champignon sur le froment d'hiver sous différentes conduites culturales*. Prom. : Declerck, Stephan ; Hardy Briec. Louvain-la-Neuve, UCLouvain, Master thesis, <http://hdl.handle.net.proxy.bib.uclouvain.be/2078.1/thesis:43429>
- D'Haene, J. (2022). *Évaluation de l'effet biostimulant de consortia microbiens sur le développement du froment d'hiver en fonction de la variété (en serres) et du niveau de fumure organique (au champ)*. Prom. Declerck, S. & Hardy, B. Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain, Master Thesis, [https://dial.uclouvain.be/downloader/downloader\\_thesis.php?pid=thesis:37883&datastream=PDF\\_01&key=2bc7876bafdc28a91b75d0fd32b8e027](https://dial.uclouvain.be/downloader/downloader_thesis.php?pid=thesis:37883&datastream=PDF_01&key=2bc7876bafdc28a91b75d0fd32b8e027)

# Merci de votre attention!



## Unité Sols, Eaux & Productions Intégrées



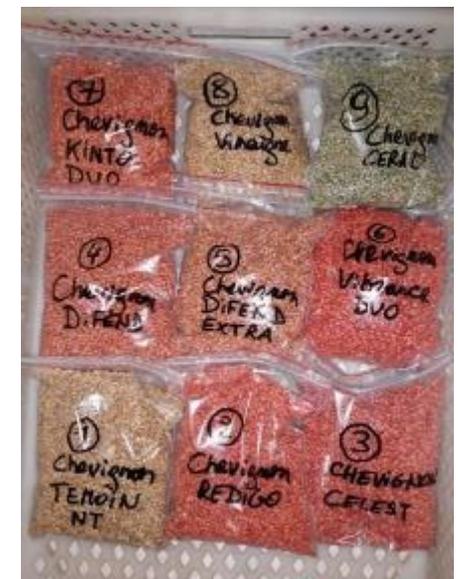
rue du bordia 4, 5030  
Gembloux  
Belgique

Brieuc Hardy  
[b.hardy@cra.wallonie.be](mailto:b.hardy@cra.wallonie.be)  
081/874340

# L'effet des Traitements de semences

Huit formulations couramment utilisées

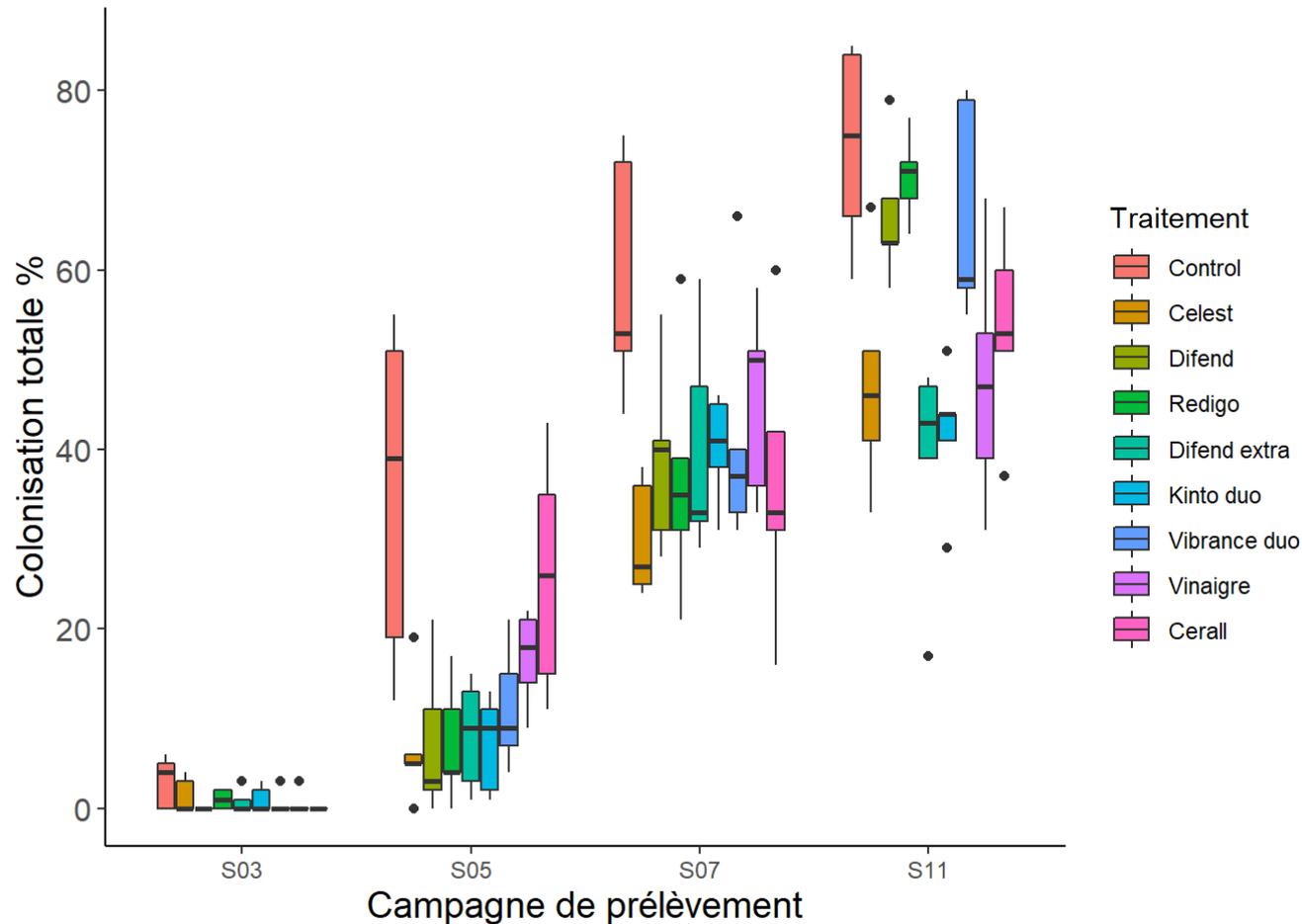
Traitement	Substance(s) active(s)	Groupe chimique	Concentration	Dose (ml/100 kg)	Maladies ciblées
Redigo	Prothioconazole	Triazolinthione	100 g/l	100	carie, charbon nu, fusariose
Celest	Fludioxonil	Phenylpyrrole	25 g/l	200	carie, fusariose, septoriose
Difend	Difenoconazole	Triazole	30 g/l	200	carie
Difend extra	Difenoconazole Fludioxonil	Triazole Phenylpyrrole	25 g/l 25 g/l	200	carie, fusariose
Vibrance duo	Sedaxane Fludioxonil	Pyrazole Phenylpyrrole	25 g/l 25 g/l	200	carie, fusariose, septoriose charbon nu
Kinto duo	Prochloraz Triticonazole	Imidazole Triazole	60 g/l 20 g/l	200	carie, charbon nu, fusariose
Vinaigre	Acide acétique	Acide organique	4 %	1000	carie
Cerall	Pseudomonas chlororaphis (MA 342)	Bactérie	10 <sup>9</sup> -10 <sup>10</sup> CFU/ml	1000	carie, (septoriose)



- Essai en serre (Inoculum)
- Essai au champ (mycorhizes indigènes)
- Les traitements de semence impactent-ils la mycorhization?
- L'effet dépend-t-il du principe actif ?

# L'effet des Traitements de semences

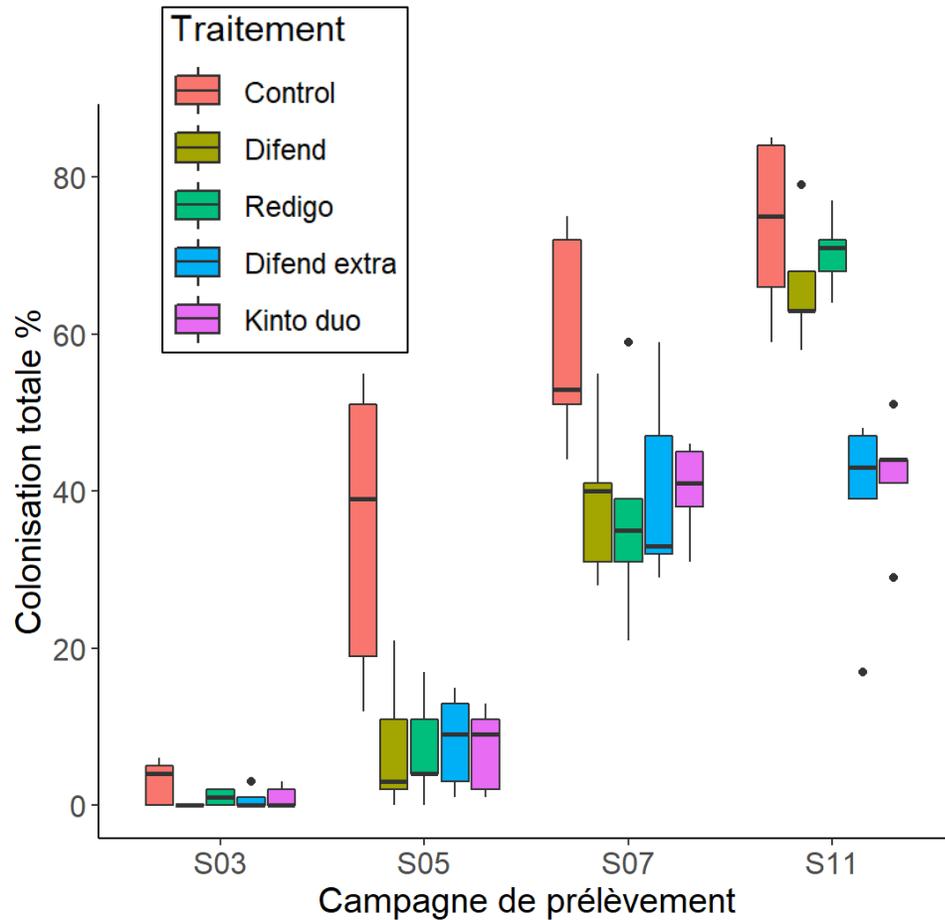
Tous les traitements affectent la mycorhization



- Toutes les semences traitées accusent un **retard de colonisation**, quel que soit le traitement
- Un phénomène de **rattrapage** est observé ou non en fonction du traitement

# L'effet des Traitements de semences

## Traitements contenant des triazoles

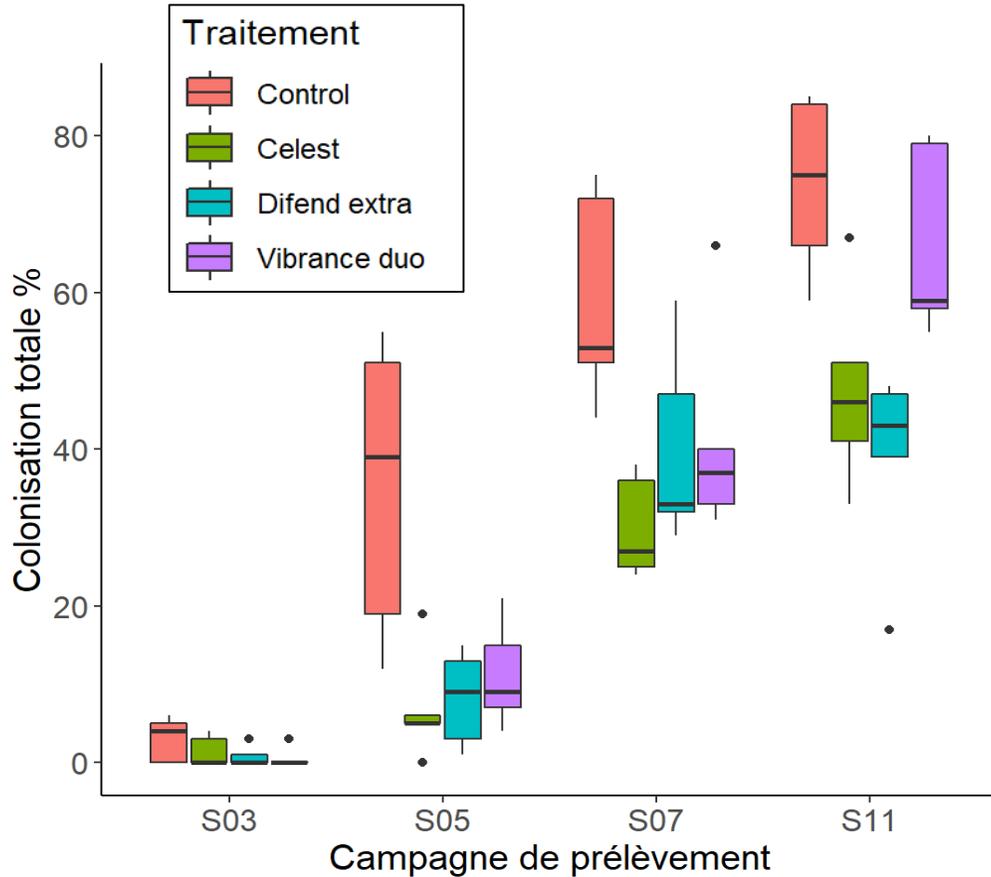


- Toutes les traitements accusent un retard de colonisation après 5 semaines
- Un rattrapage complet ou presque s'observe pour les **produits simples** (difend, redigo)
- Les **produits composés** (Difend extra, Kinto duo) décrochent

→ La combinaison de principes actifs inhibant la formation des membranes cellulaires empêche le CMA de contourner la toxicité via des voies métaboliques alternatives

# L'effet des Traitements de semences

## Traitements contenant du fludioxonil



- Toutes les traitements accusent un retard de colonisation après 5 et 7 semaines
- Un rattrapage complet ou presque s'observe pour Vibrance duo (fludioxonil + sedaxane)

→ Le sedaxane atténue l'effet délétère du fludioxonil

→ Amélioration de la croissance racinaire induite par le sedaxane?

# L'effet des Traitements de semences

## Conclusions

- Tous les traitements testés retardent la mycorhization du froment d'hiver, même les produits agréés en AB
- Un phénomène de rattrapage est observé ou non en fonction du traitement
- Les formulations contenant une combinaison de principes actifs peuvent aggraver le retard (difend extra, kinto duo) ou le diminuer (vibrance duo)
- Puisque les traitements de semence agréés en agriculture biologique (vinaigre, Cerall) retardent la mycorhization malgré une protection partielle contre les maladies de la semence, la recherche de méthodes d'assainissement des semences alternatives (ex. traitement vapeur) nous semble nécessaire

