

Evènement de clôture du projet MicroSoilSystem: « Utilisation de microorganismes en agriculture dans un but de réduction des intrants ». Louvain-la-Neuve, 28 février 2024



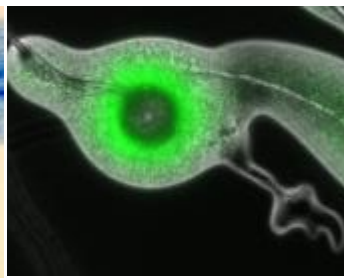
Effets des pratiques agricoles sur la mycorhization du froment d'hiver, et résultats des essais de biostimulation

Principaux contributeurs:

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

Les actions du CRA-W

Les microorganismes pour réduire les intrants de synthèse

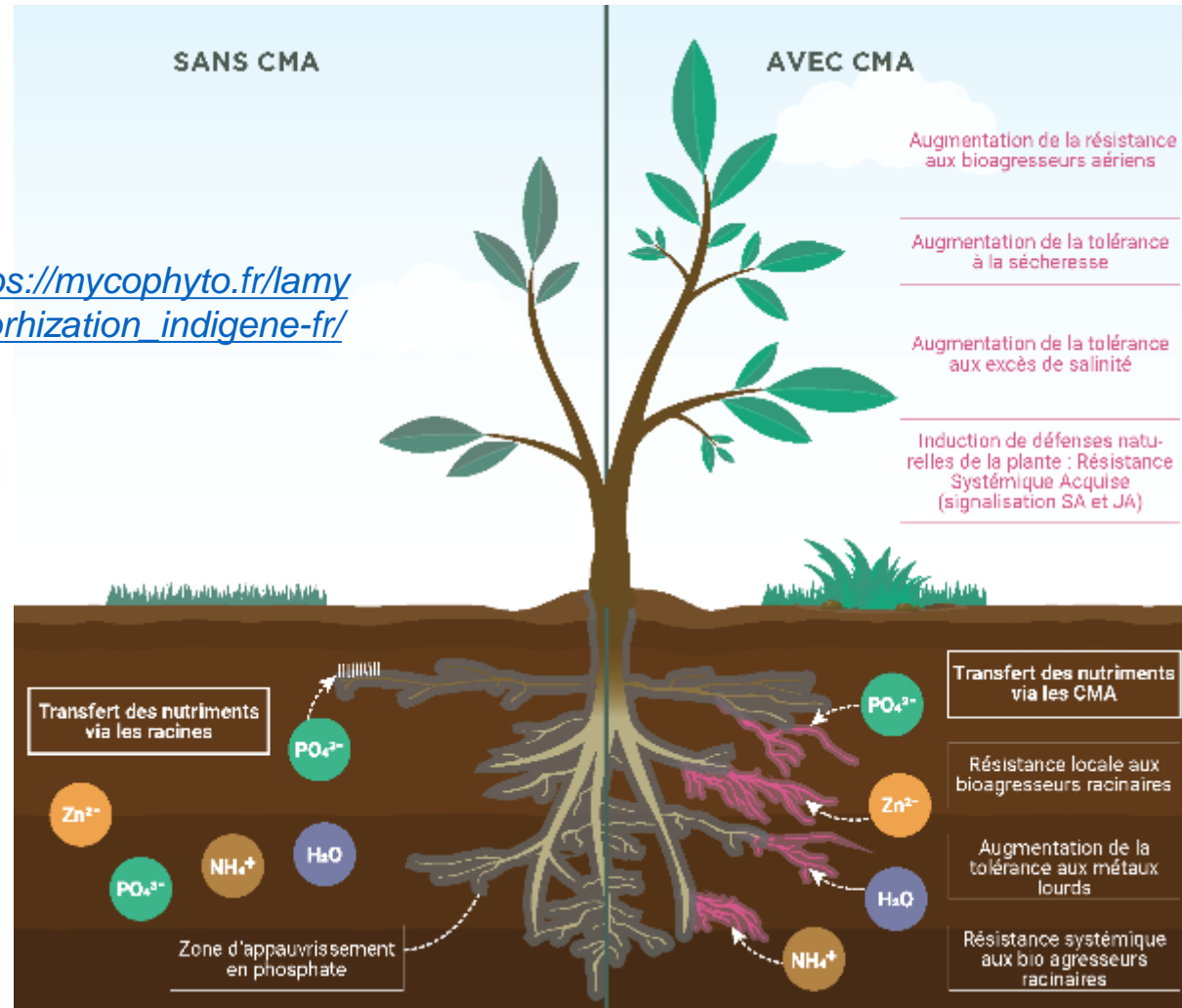


- 1) **Identifier les principaux facteurs agronomiques** et pédoclimatiques **favorables ou défavorables aux CMA** et aux bactéries bénéfiques au froment d'hiver.
- 2) **Evaluer la compatibilité de consortia microbiens avec les enrobages de semences.** Il s'agira de vérifier la compatibilité du consortium 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

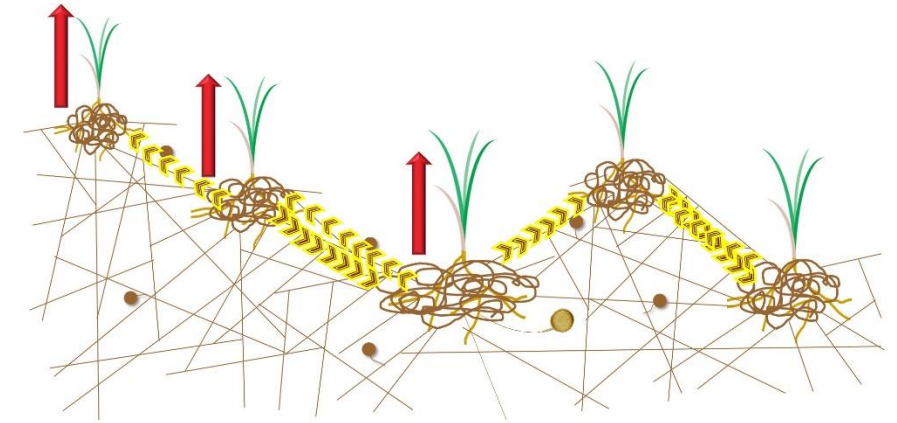
Les champignons mycorhiziens à arbuscule

Une extension du système racinaire des plantes

https://mycophyto.fr/lamy/corhization_indigene-fr/



- 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)

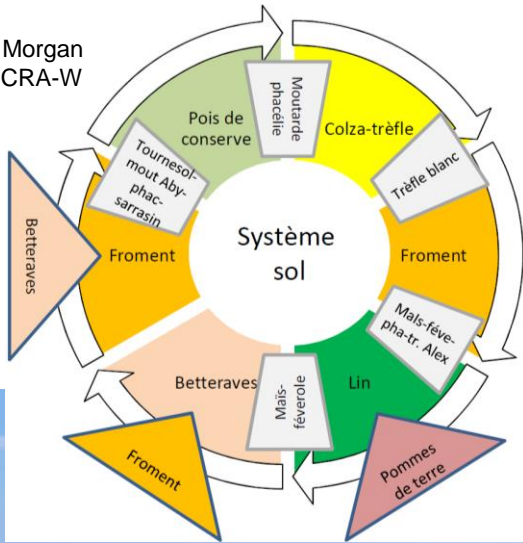


Song et al., 2014

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

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

Crédit: Morgan
Abrás, CRA-W



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

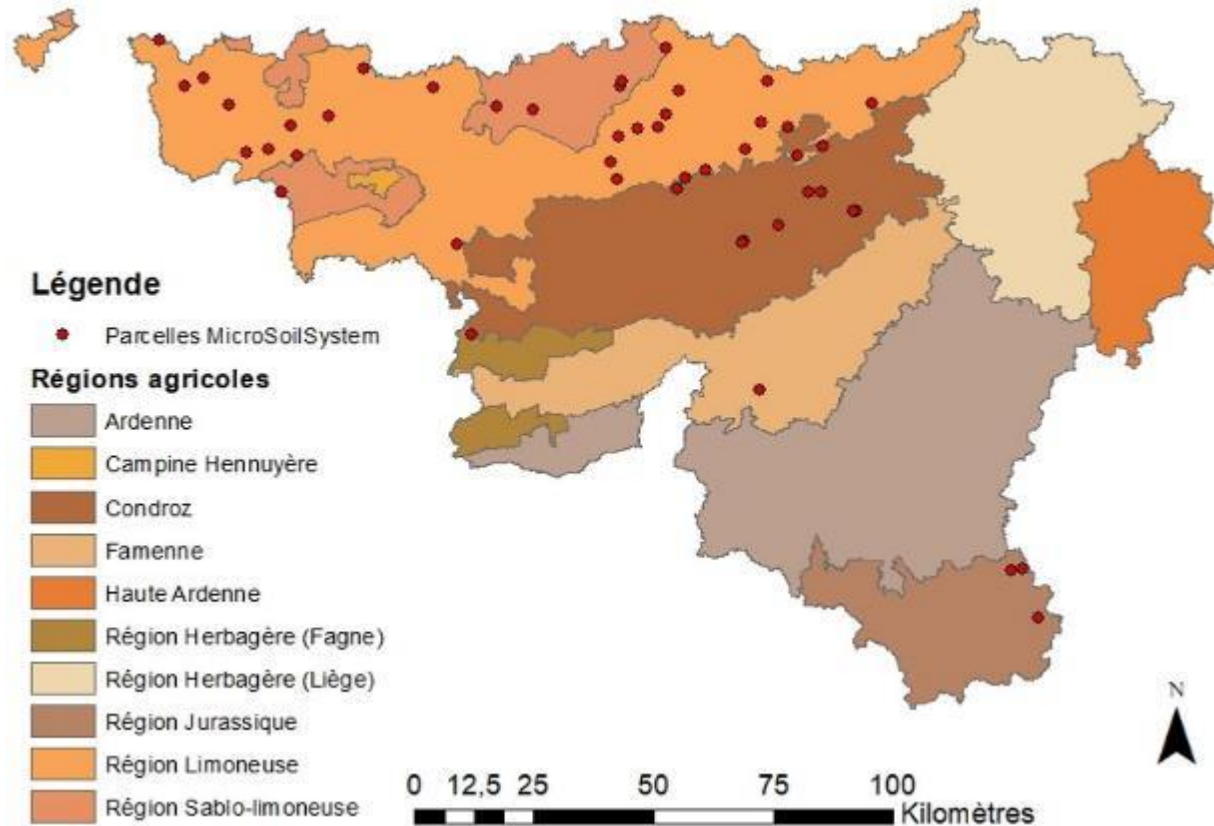
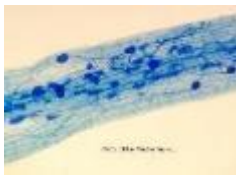
- Beaucoup de références acquises en conditions contrôlées ou via la mise en place d'essais factoriels au champ
- En conditions réelles, quels sont les facteurs qui prédominent ?

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

© CRAW: SYCI - 2019

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

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



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) par la méthode de Trouvelot (1986), 60 fragments racinaires par parcelle
- Analyse de la diversité des CMA par métagénomique (inachevé)

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

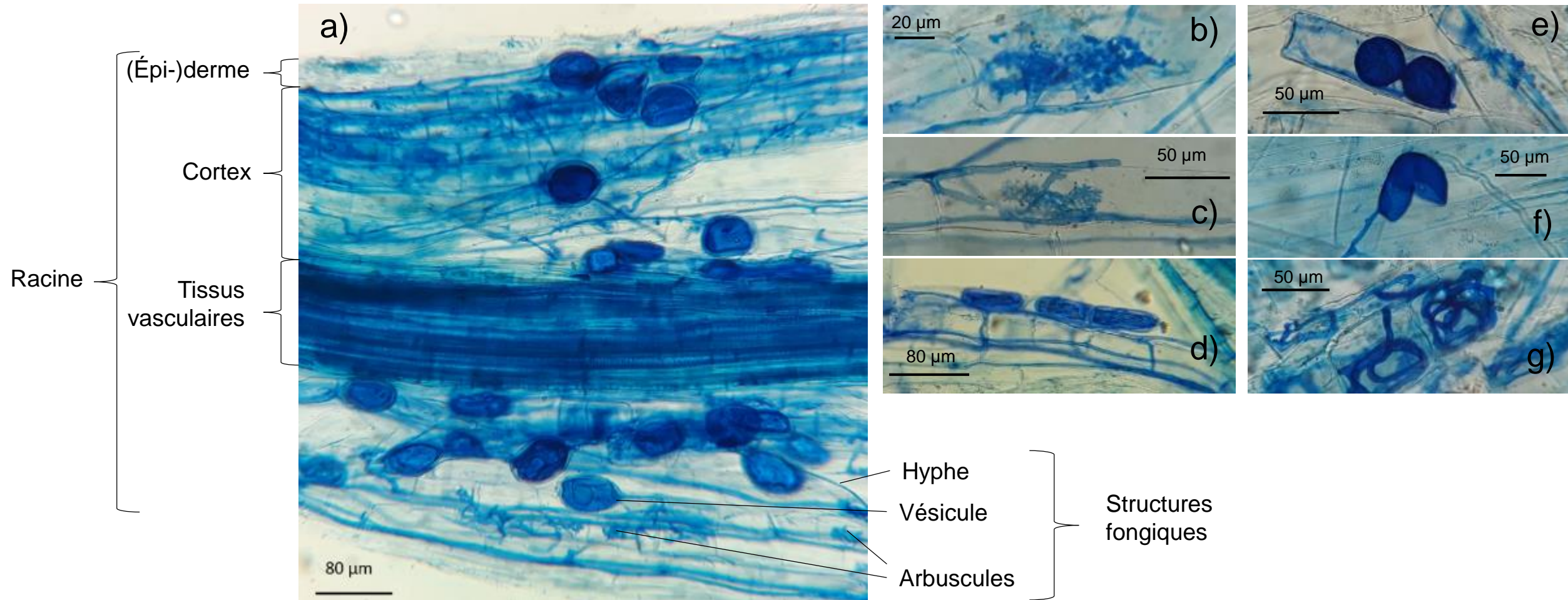
- Les fumures minérales en excès sont défavorables
- Le travail du sol intensif est défavorable aux CMA
- Les applications d'herbicides et de fongicides sont défavorables
- Les cultures non-mycorhizogènes sont défavorables

Méthodes

Hypothèses

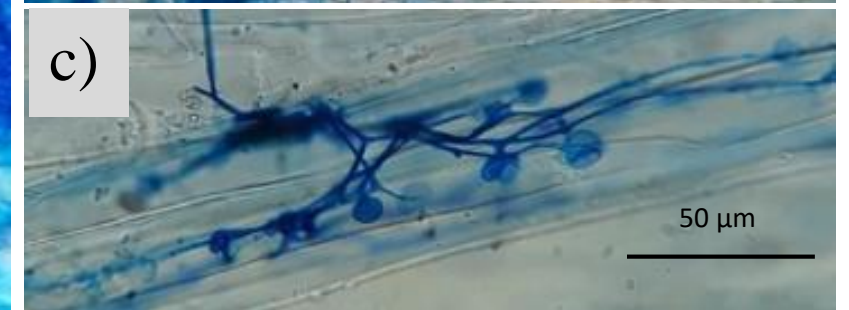
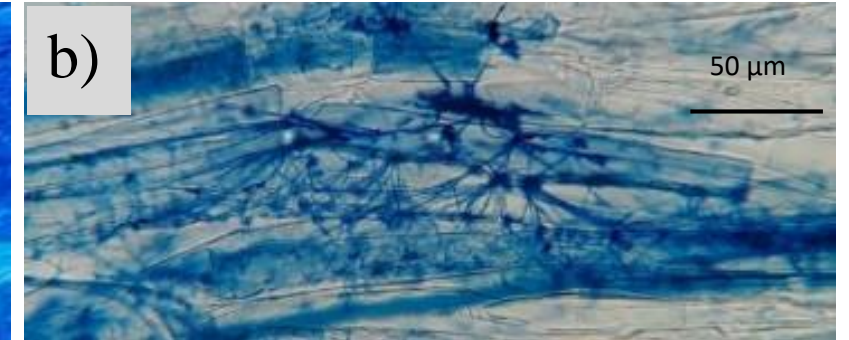
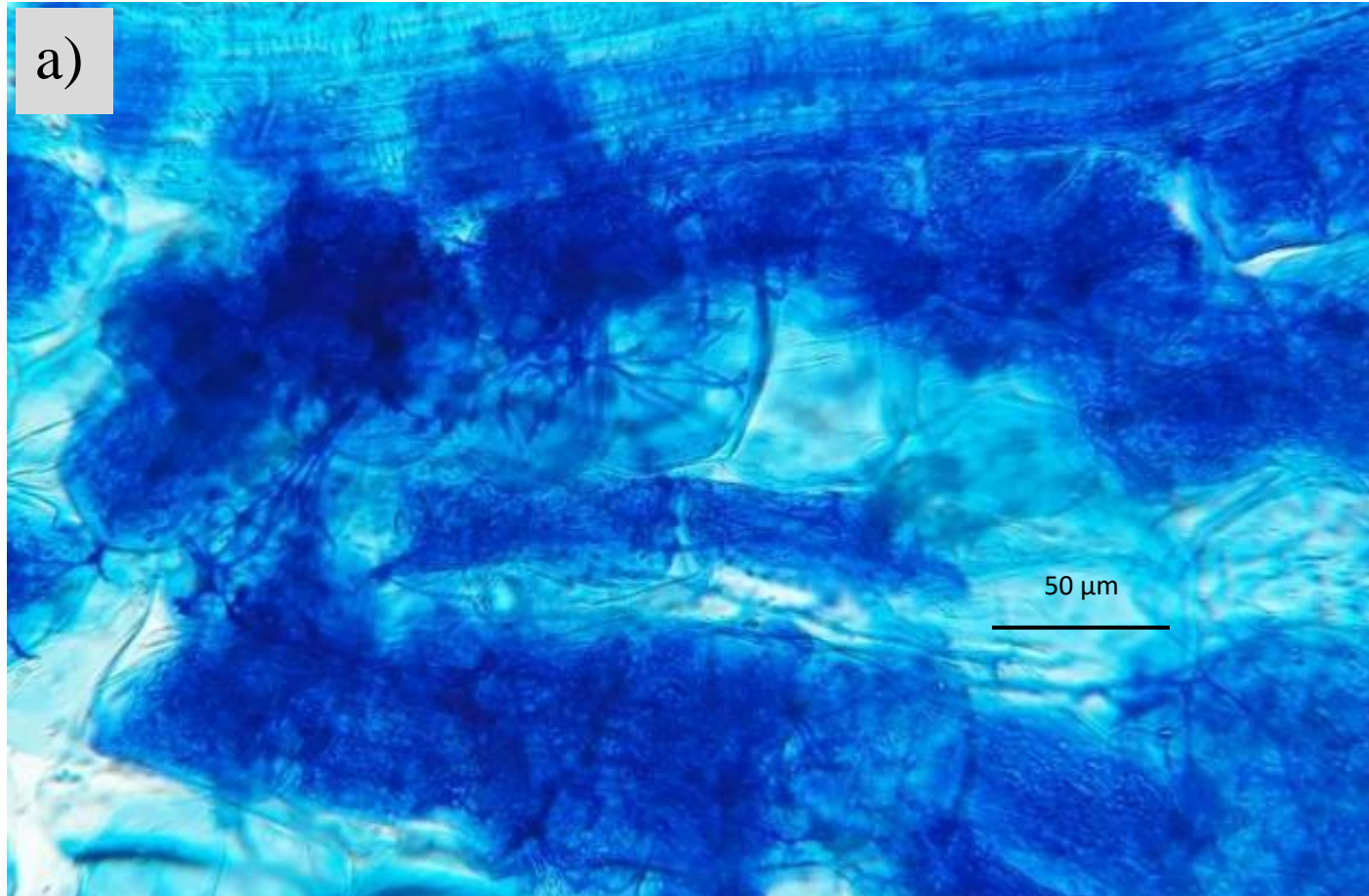
1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Structures mycorhiziennes dans les racines de froment



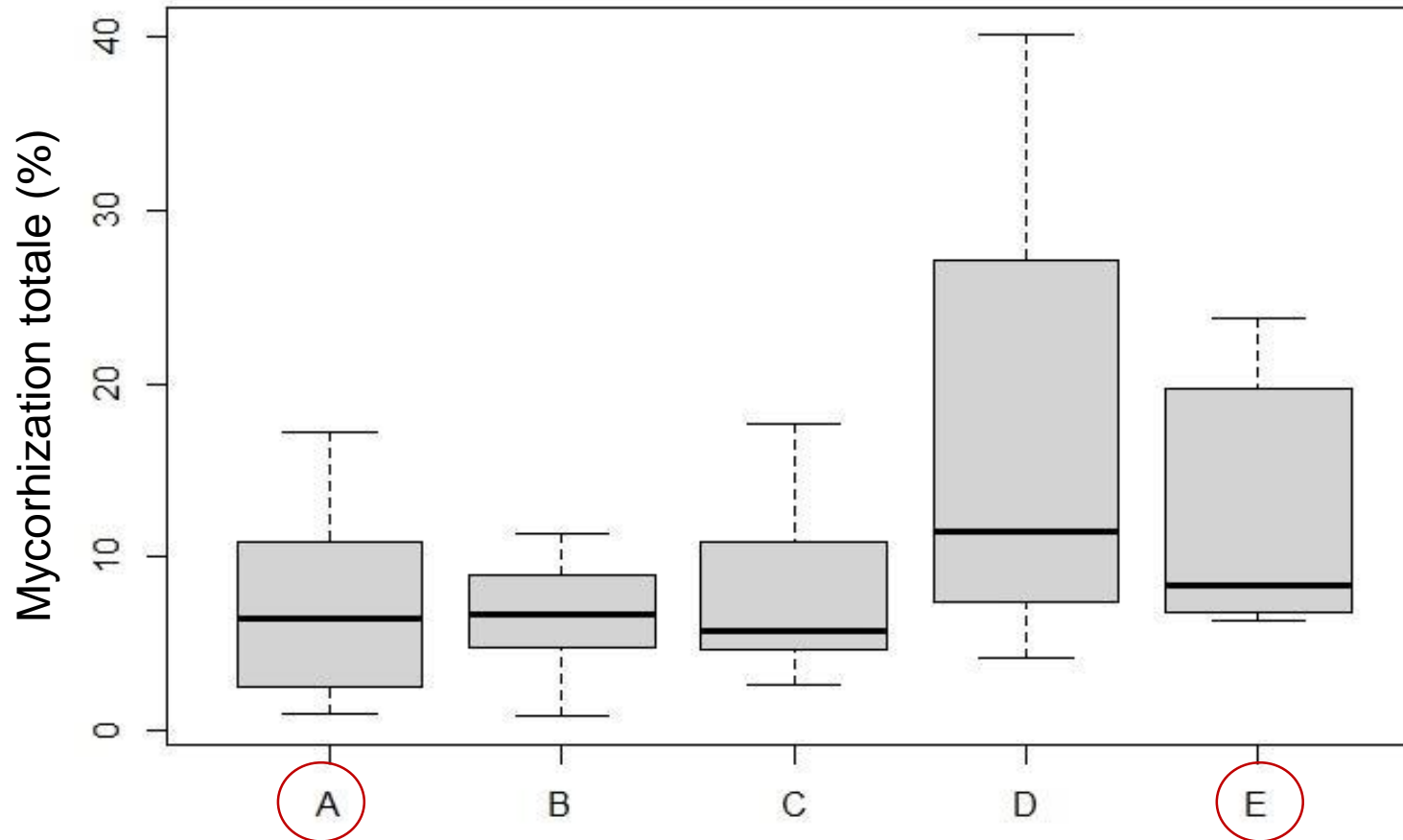
1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

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



1. 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.

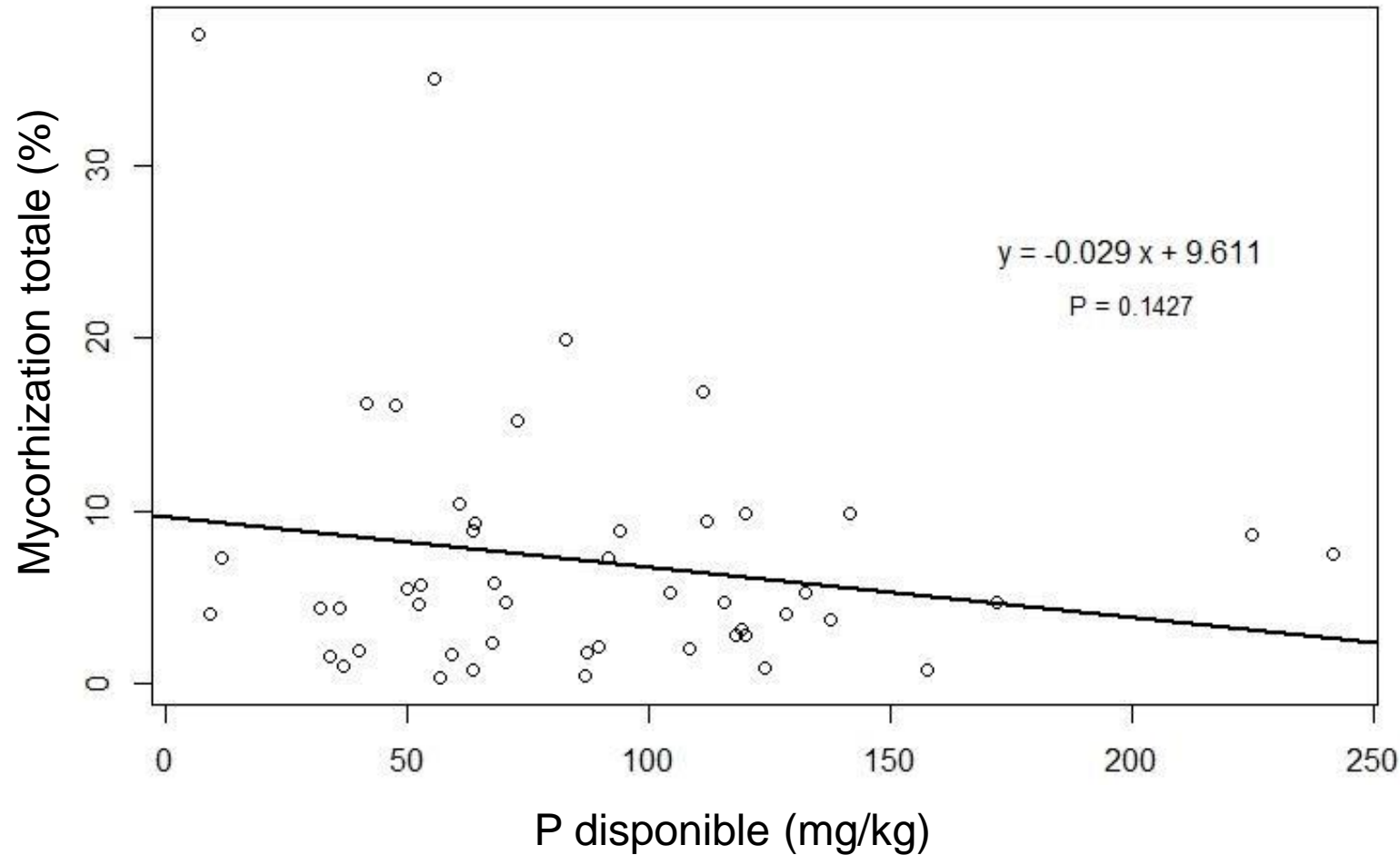
→ Pas de lien clair entre taux de mycorhization des racines et fréquence de labour

Classe d'intensité de travail du sol

Labour annuel

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

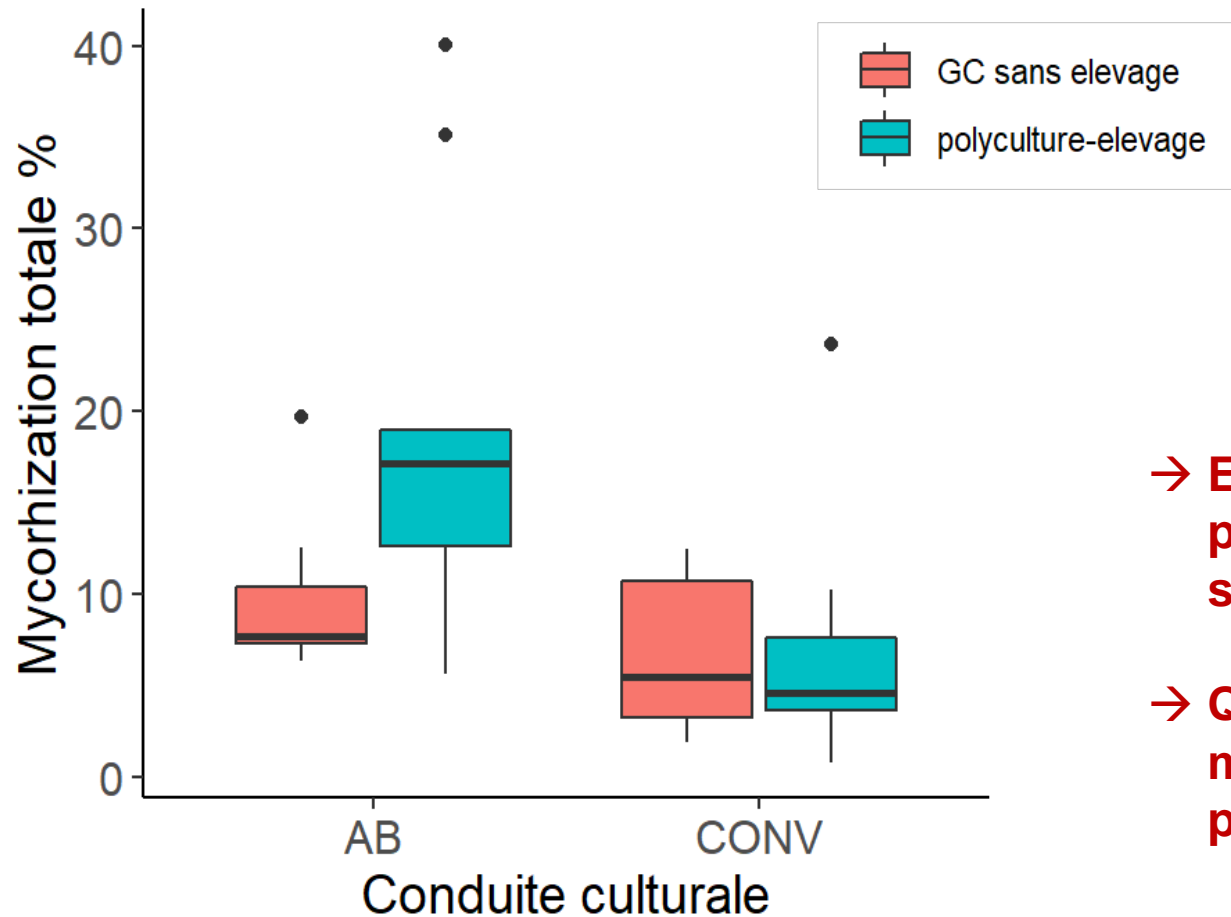
L'effet des conditions de sol



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

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

L'effet de l'agriculture biologique



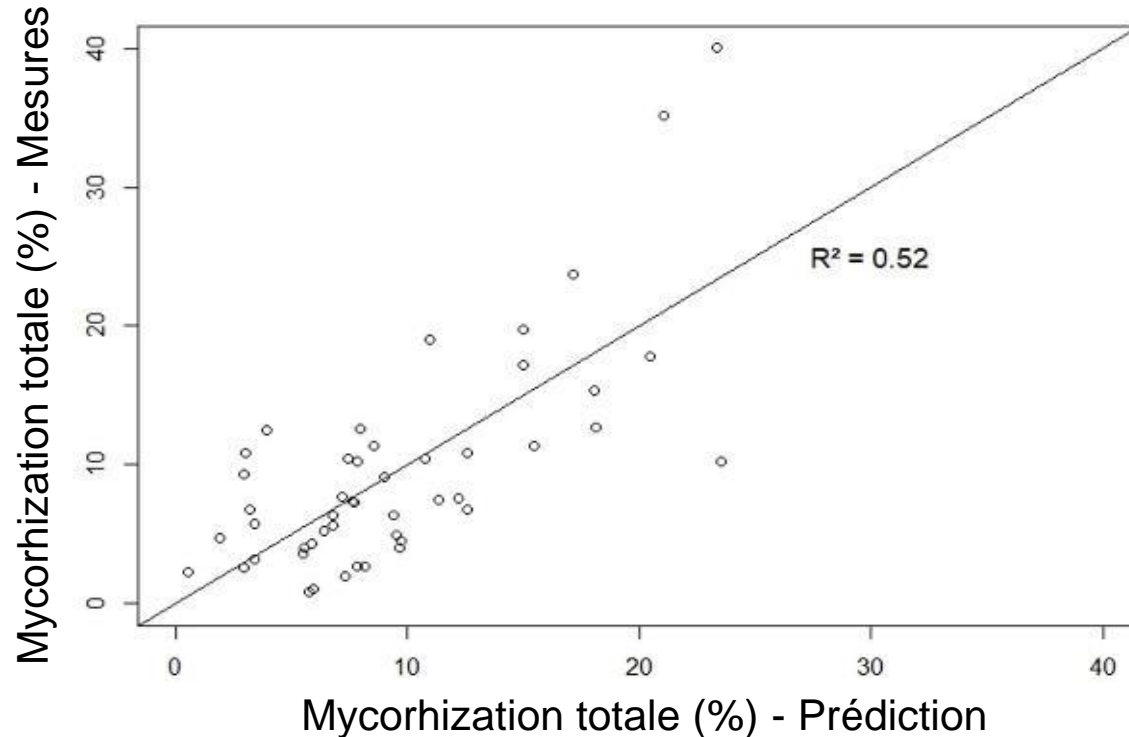
- 9 des 10 parcelles les plus mycorhizées sont cultivées en AB
- Parmi les fermes en AB, les fermes de polyculture-élevage se distinguent

→ 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?

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Derrière la typologie des fermes, la succession culturale...



- 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 (< 5 ans)

1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Derrière la typologie des fermes, la rotation...

Modèle:

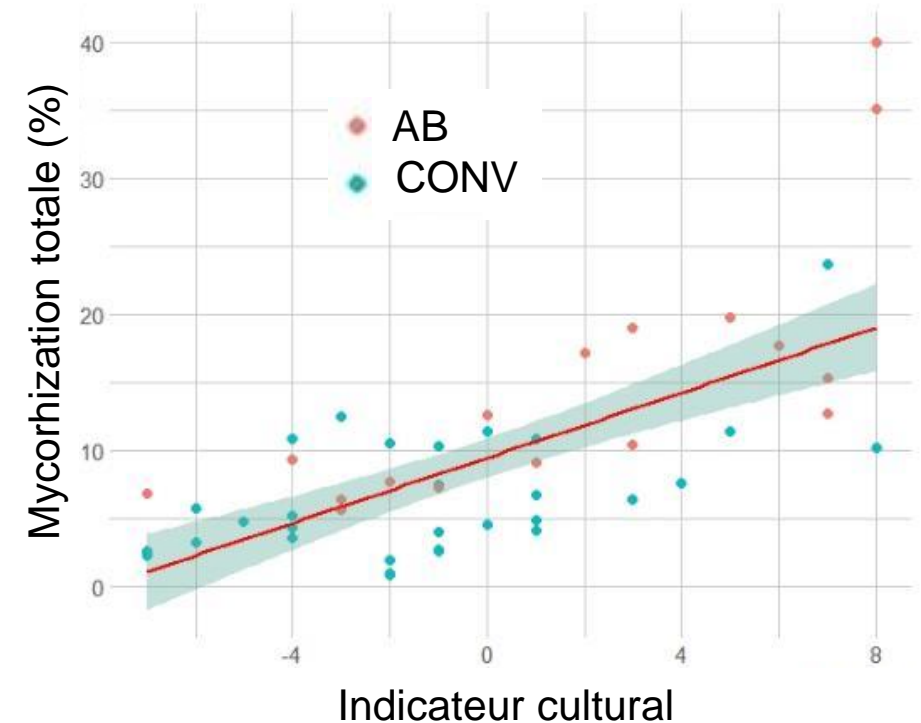
CMA f (historique cultural, AB, tvl du sol)

F-valeur et p-valeur:

- **Historique** : $F=51$, $p<0.001^{***}$
- **AB** : $F=7$, $p=0.01^{**}$
- Tvl du sol: $F=0.36$, $p=0.55$

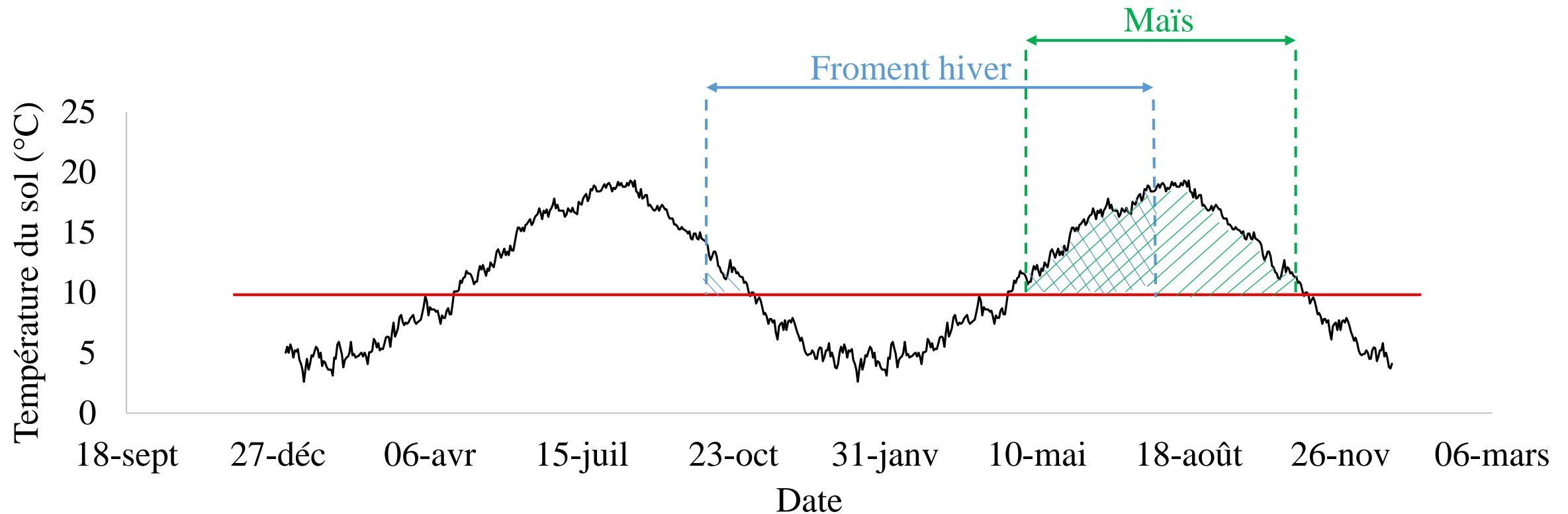
→ Après soustraction de l'effet « historique cultural », il reste **un effet significatif de l'AB mais pas de la fréquence de labour**

→ **Facteurs favorables en AB**: rotations longues sans betterave ni colza, arrêt ou diminution des PPP et fumures organiques, avec l'N limitant pour la culture



1. L'effet des pratiques agricoles sur les CMA

Derrière les cultures améliorantes, le cycle végétatif



→ Couverture de la période utile au développement mycorhizien ($T^{\circ} \text{ sol} > \sim 10^{\circ} \text{C}$)

→ Rapidité des enchaînements entre deux cultures

2. L'effet des traitements de semences

Huit formulations couramment utilisées

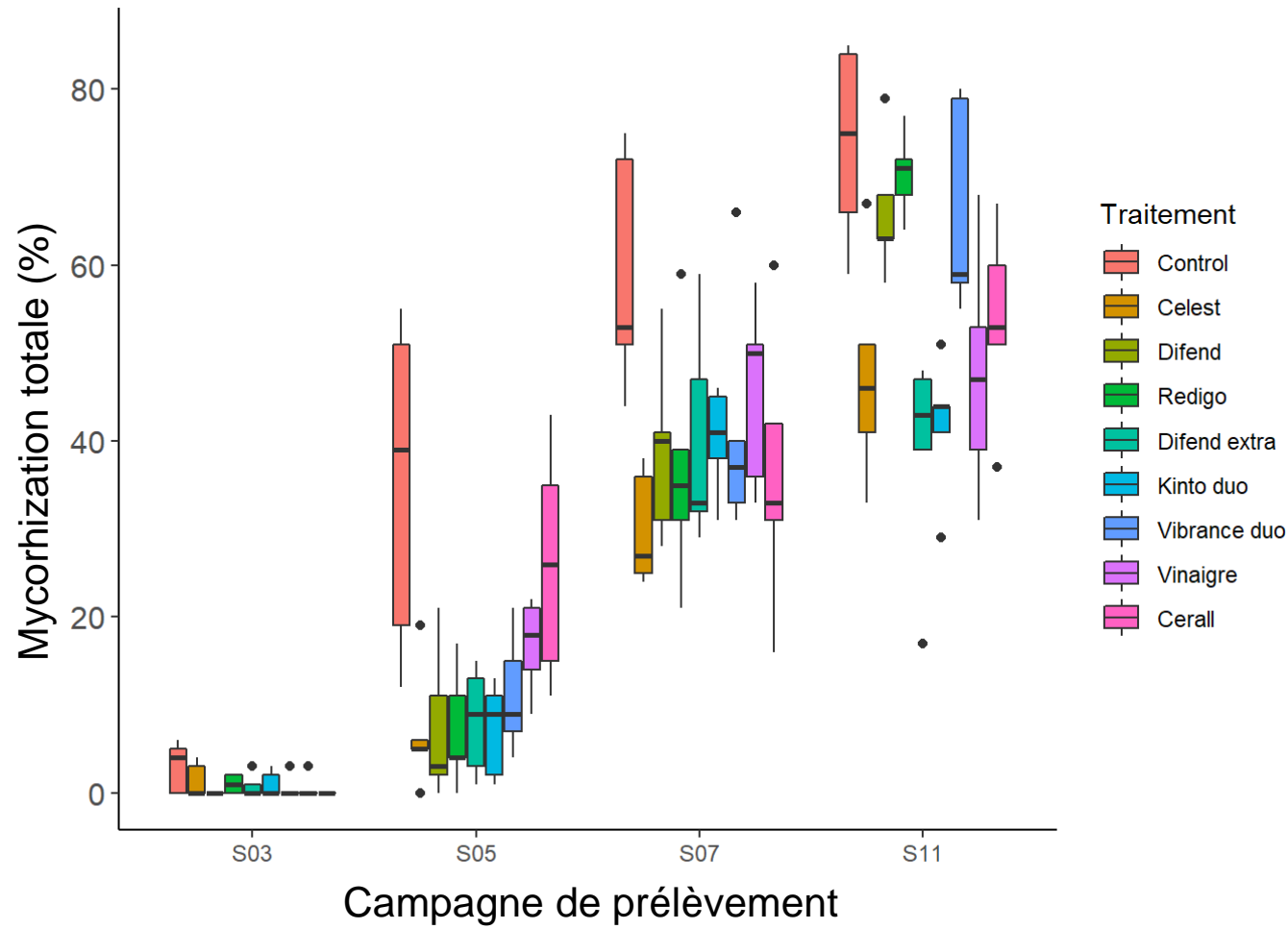
Traitement	Substance(s) active(s)	Groupe chimique	Concentration	Dose (ml/100 kg)	Maladies ciblées
Redigo	Prothioconazole	Triazolinthione	100 g/l	100	carie, charbon nu, fusariose
Celest	Fludioxonil	Phenylpyrrole	25 g/l	200	carie, fusariose, septoriose
Difend	Difenoconazole	Triazole	30 g/l	200	carie
Difend 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 ⁹ -10 ¹⁰ 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 ?

2. L'effet des traitements de semences

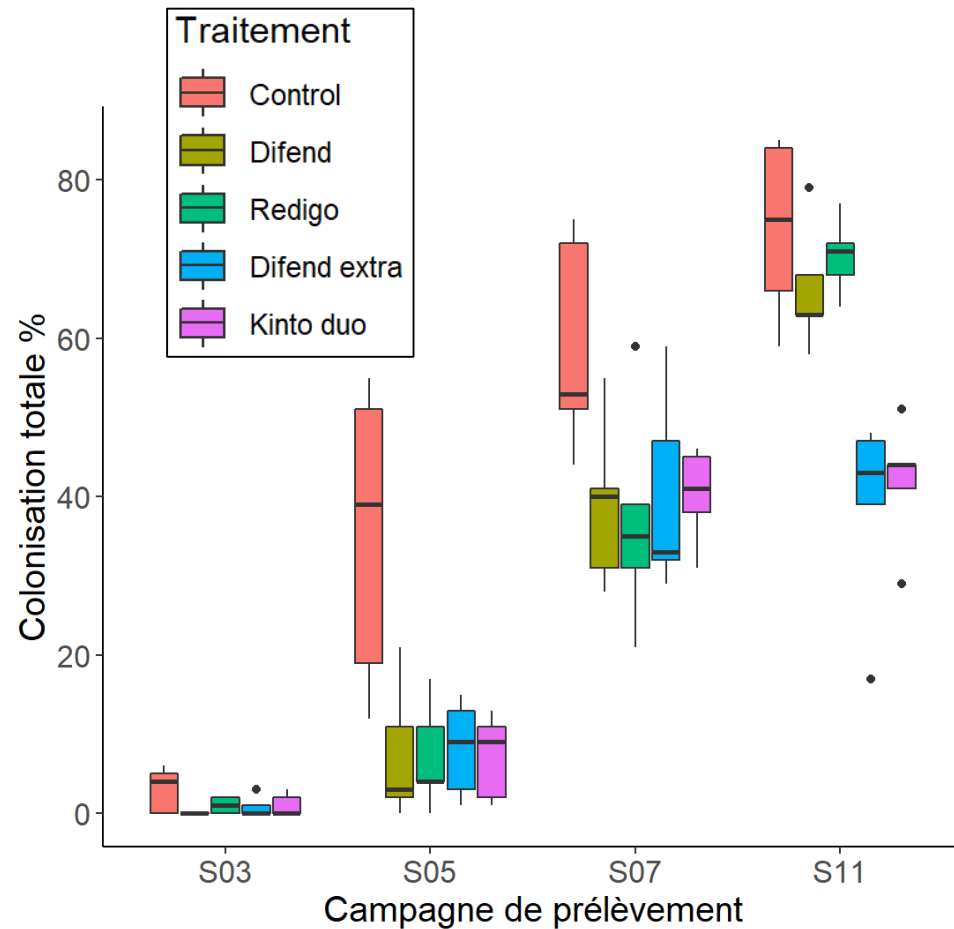
Tous les traitements affectent la mycorhization



- 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

2. L'effet des traitements de semences

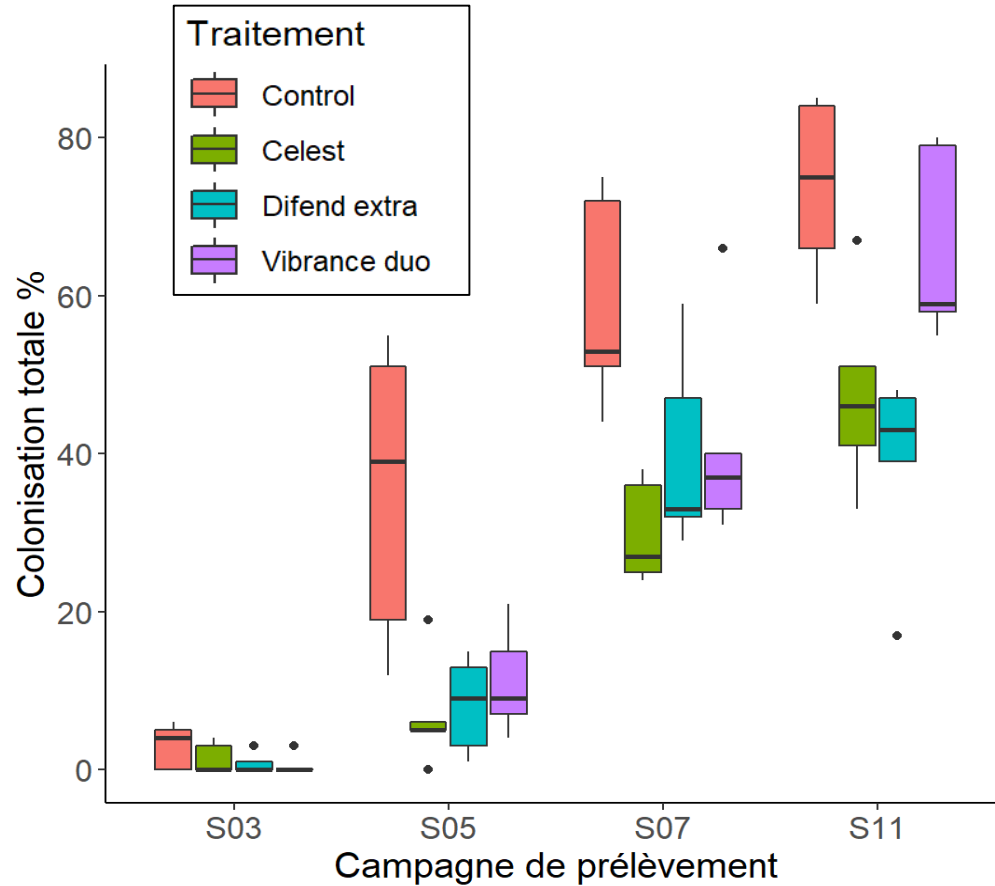
Traitements contenant des triazoles



- 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 empêchent le CMA de contourner la toxicité via des voies métaboliques alternatives

2. 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?**

2. L'effet des traitements de semences

Conclusions

- Tous les traitements testés retardent la mycorhization du froment d'hiver (non-significatif pour CERALL)
- 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



3. Essai des consortia microbiens au champ

Essais 2022-2023

Essais

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

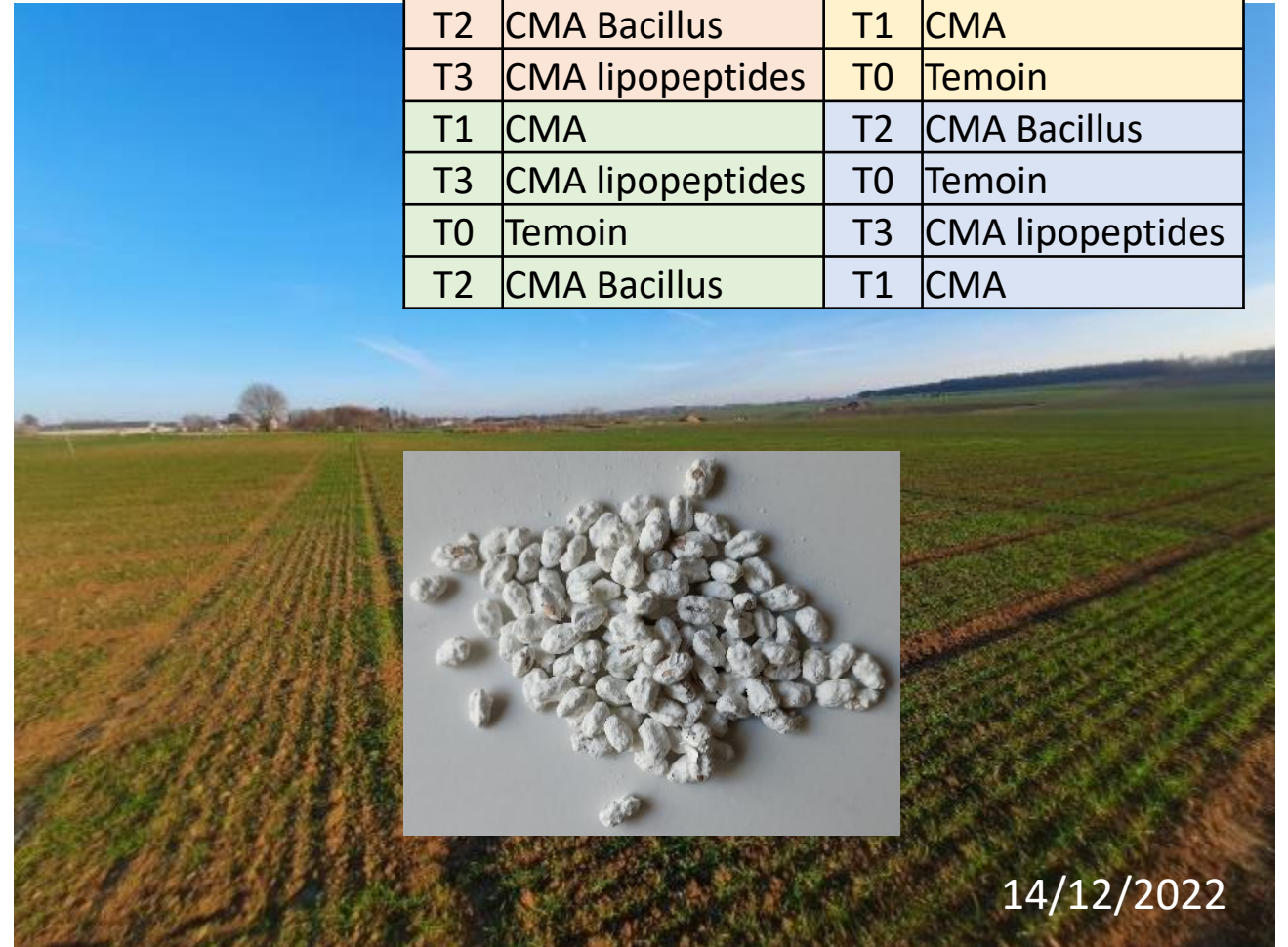
Traitements

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

Suivis

- Caractérisation du sol
- Potentiel mycorrhizogène 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



14/12/2022

3. Essai des consortia microbiens au champ

Caractéristiques des essais

Tableau 1. Principales caractéristiques des cinq essais. Le potentiel mycorhizogène est une estimation du nombre de propagules de mycorhizes viables dans le sol. Le taux de mycorhization correspond au pourcentage de la longueur racinaire mycorhizée. Les chiffres sont des valeurs moyennes (\pm écart-type) pour chaque essai, tous traitements confondus.

	Assesse	Gembloux	Terwagne	Thorembais (NT)	Thorembais (PC)
Conduite culturale	AB	AB	AC	CONV	CONV
Précédent cultural	Pois	Jachère	Betterave	Lin	Lin
Potentiel mycorhizogène (propagules/100g de sol)	39	31	99	54	54
Mycorhization (%) au 14/05/2023	16.5 \pm 4.5	5.4 \pm 2.7	4.9 \pm 2.0	1.2 \pm 0.9	1.0 \pm 0.7
Rendement (t/ha)	6.2 \pm 0.2	8.7 \pm 0.1	9.4 \pm 0.2	10.4 \pm 0.1	11.2 \pm 0.2
Reliquat + fertilisation N (kg/ha)	131	189	205	228	228
P disponible (mg/100g)	7.0	17.4	7.2	9.0	9.0
C organique (mg/100g)	1.11	0.94	1.22	0.95	0.95

^[1] Valeur non pas mesurée mais estimée à partir de la relation étroite existant entre le rendement en grain et la quantité d’N (reliquat + fertilisation)

3. Essai des consortia microbiens au champ

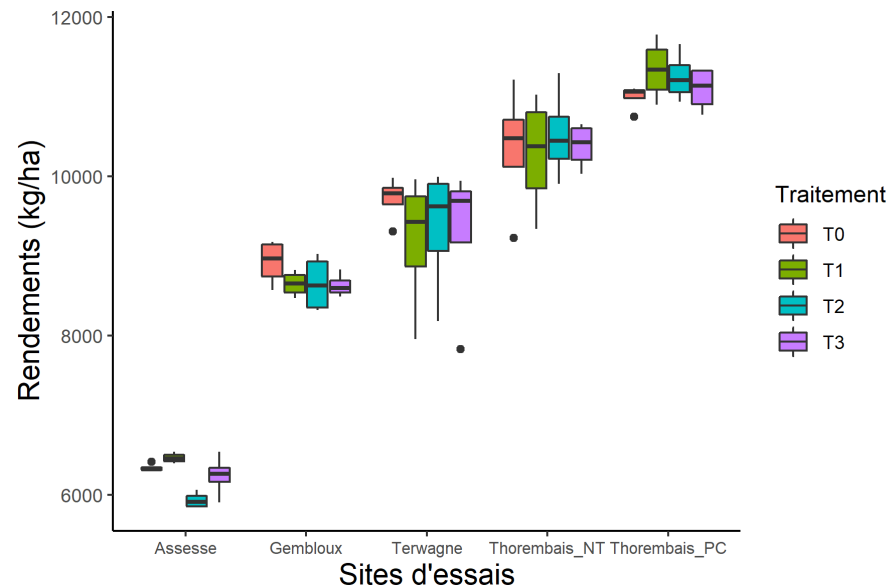
Absence d'effet des consortia microbiens

Rendement et qualité du grain

p-valeur	Rendement	Poids à l'hectolitre	Teneur en protéines	Indice de Hagberg	Indice de Zélény	Z/P
Essai	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.04
Traitement	0.82	0.51	0.81	0.28	0.65	0.69
Traitement * Site	0.86	0.36	0.99	0.59	0.39	0.30

Taux de mycorhization

	%CMA+FRE
Assesse (BIO)	16,5 ± 4,5a
Gembloux (BIO)	5,4 ± 2,7b
Terwagne (AC)	4,9 ± 2b
Thorembais (CONV)	1,1 ± 1,1c
T0 - Témoin	6,6 ± 7,2
T1 - CMA	4,8 ± 5,4
T2 - CMA*BACT	6,3 ± 6,8
T3 - CMA*LIPO	5,4 ± 5,6
p-valeur	
Site	≤ 0.0001
Traitement	0.9557
Traitement * Site	0.9844

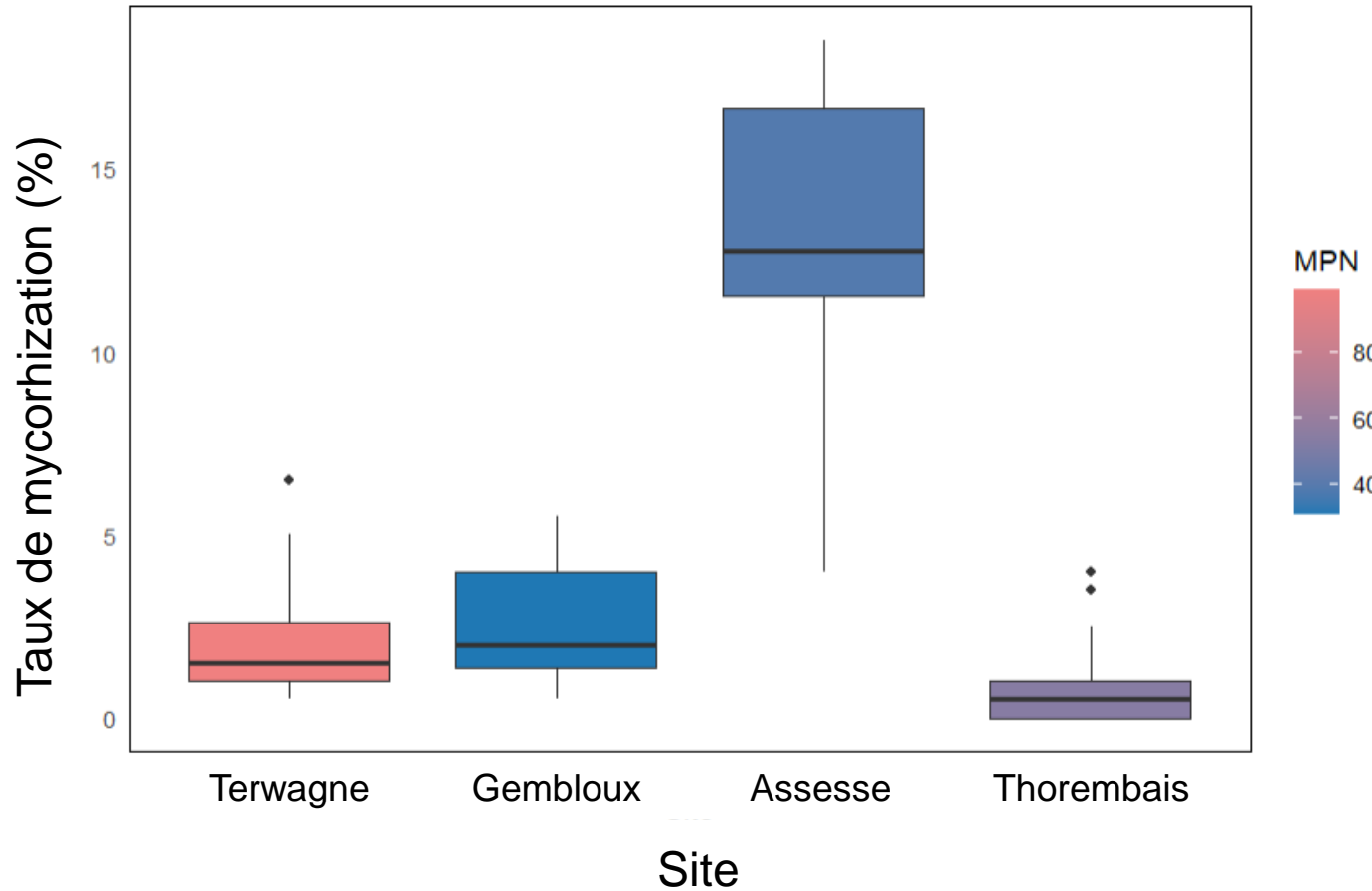


- Taux de survie nul de la mycorhize
- Taux de survie très faible de la bactérie
 - 99.1 % à l'enrobage
 - 30 % au séchage

➔ **Résultat infructueux des essais de biostimulation**

3. Essai des consortia microbiens au champ

Potentiel (MPN) vs expression (mycorhization)

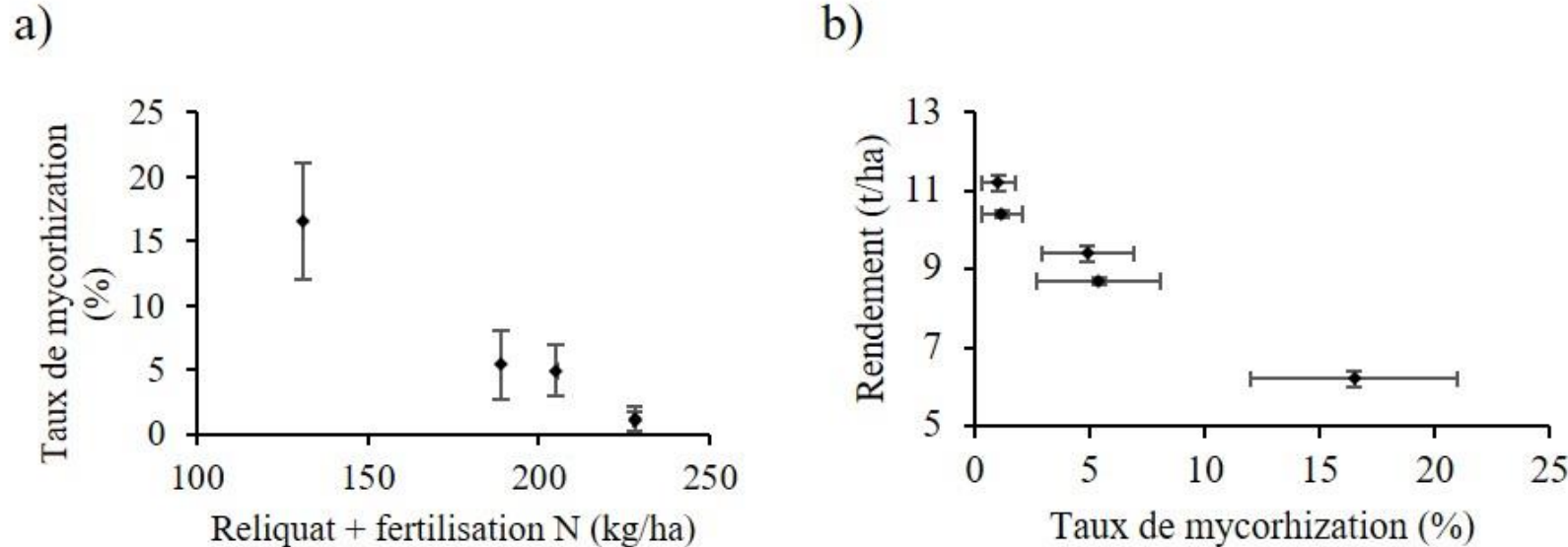


- Le **MPN** mesure le potentiel mycorhizogène du sol
- Le **taux de mycorhization** des racines mesure l'expression de la symbiose

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

3. Essai des consortia microbiens au champ

La quantité d’N disponible semble inhiber la symbiose



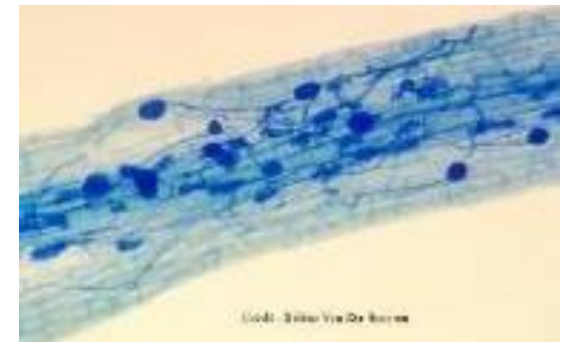
- Le taux de mycorhization diminue avec la quantité d’N disponible à la culture !

→ La mycorhize: une assurance pour la plante?

Figure 2. a) Taux de mycorhization moyen en fonction de l’apport d’N à la culture (reliquat en sortie d’hiver + fertilisation) ; b) Rendements moyen des cinq essais en fonction du taux de mycorhization des racines de froment. Les barres d’erreur correspondent à un écart-type (Hardy et al., 2024 - IB 74).

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 ($>10-12\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 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.

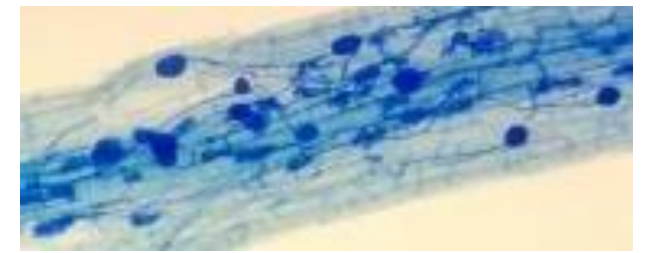


Remerciements

- Aux **agriculteurs** partenaires qui ont donné accès à leurs terres et ont partagé leurs pratiques
- Aux **étudiants** qui ont contribué via leurs TFE (Eléonore Belvaux, Justine D'Haene, Thibault Matias Alonso)
- Aux **collègues du CRA-W** qui ont directement contribué à l'étude :
 - **CtRAB** (Cellule transversale de Recherche en AB),
 - **U4** (Productions végétales), et en particulier l'OBEV (Office Belge d'examen des variétés),
 - **U7** (Eaux, Sols & Productions Intégrées)
 - **U3** (Santé des plantes et forêts)
 - **U11** (Valorisation des produits, de la biomasse et du bois)
- Un projet financé par le **Plan d'action BIO2030** (CRA-W/Wallonie) et la **DGO3** (Agriculture, Ressources naturelles et Environnement) du Service Public de Wallonie (MicroSoilSystem, **Subventions D31-1388 et D65-1414**)

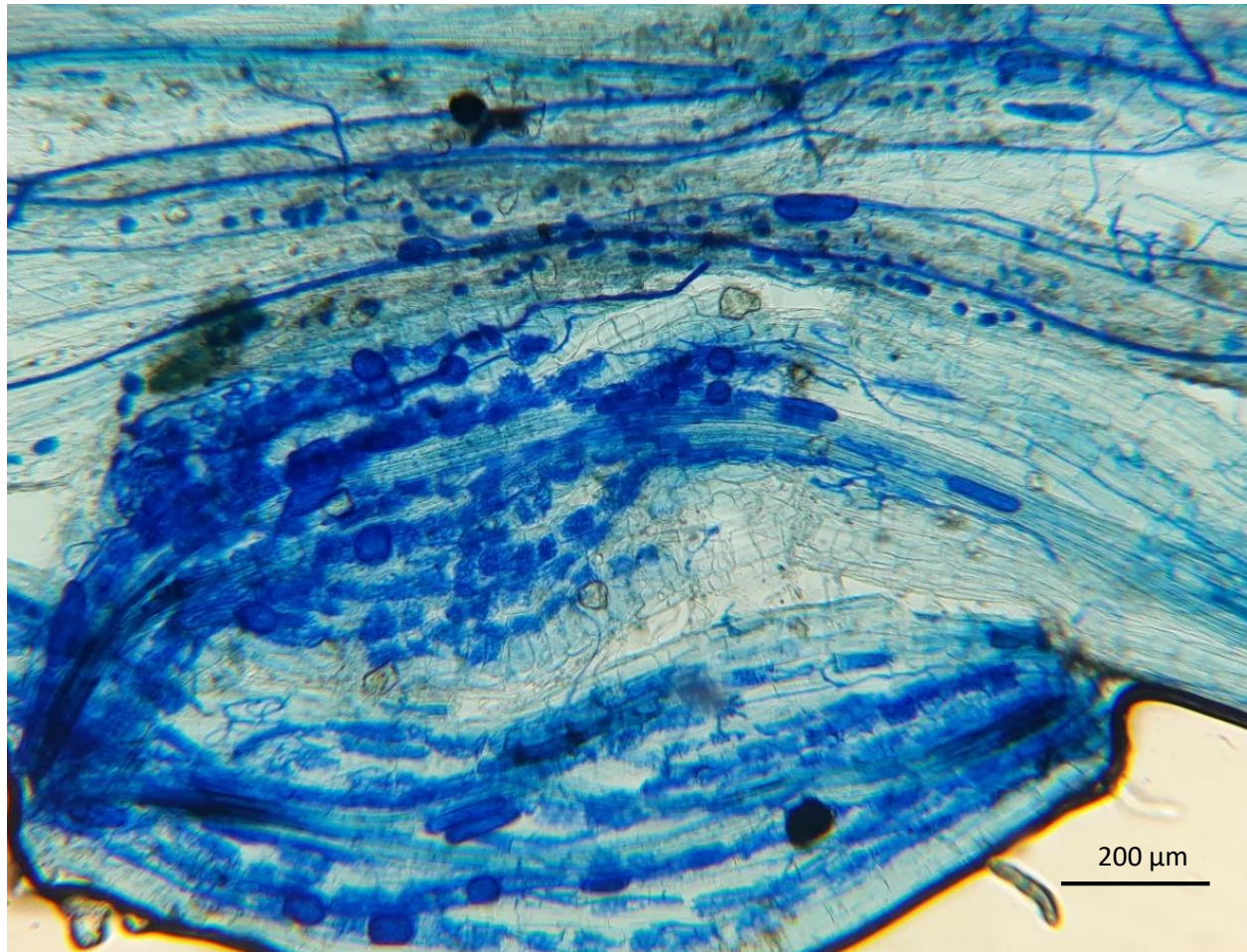


Références des travaux présentés



- 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-Itineraires-BIO-70_web.pdf
- Hardy, B. , Calonne-Salmon, M., Motet, A., Declerck, S. & Huyghebaert, B. (2024). la symbiose mycorhizienne de la culture de froment d'hiver : les principaux acquis du projet MicroSoilSystem. *Itinéraires BIO* (74), 49-52. [Brochure A4 Itineraires-BIO74 V6-DEF-web.pdf \(biowallonie.com\)](https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2024/03/Brochure-A4-Itineraires-BIO74_V6-DEF-web.pdf)

Merci de votre attention!



Unité Sols, Eaux & Productions Intégrées



rue du bordia 4, 5030
Gembloux
Belgique

Brieuc Hardy
b.hardy@cra.wallonie.be
081/874340