



INRAE



# Impact de la diversification du blé sur les interactions bénéfiques avec les bactéries du sol

**Yvan Moëgne-Loccoz**

*UMR CNRS 5557 Ecologie Microbienne,  
INRAE, VetAgro Sup  
Université Lyon 1, 69622 Villeurbanne*



**Jordan  
Valente**



**Cécile  
Gruet**

# Les interactions bénéfiques avec les bactéries du sol

## Les interactions plante-microorganismes, ça peut être compliqué:

- Beaucoup de microorganismes différents dans les sols.
- Les caractéristiques de la communauté microbienne fluctuent dans l'espace (selon pédologie, climat, pratiques culturales, etc.). →
- Pas tout le monde a des effets bénéfiques sur la plante.

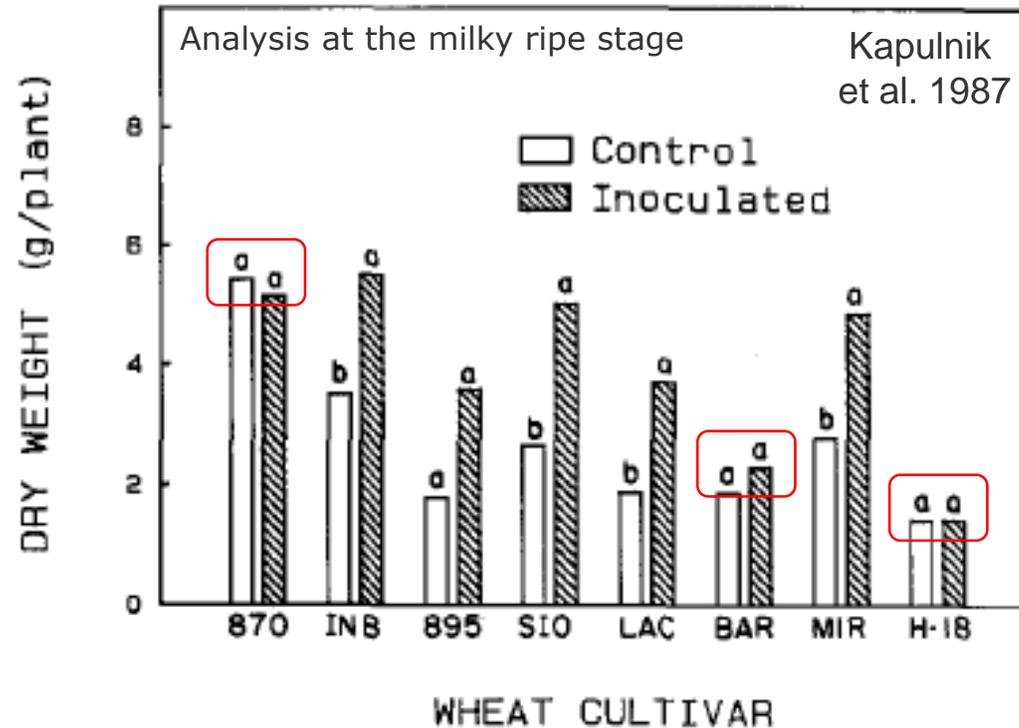
*Haliangium* (1.07%)



Biogeography of soil bacteria and archaea across France

Battle Karimi<sup>1\*</sup>, Sébastien Terrat<sup>1\*</sup>, Samuel Dequiedt<sup>1</sup>, Nicolas P. A. Saby<sup>2</sup>, Walid Horrigue<sup>1</sup>, Mélanie Lelièvre<sup>3</sup>, Virginie Nowak<sup>1</sup>, Claudy Jolivet<sup>2</sup>, Dominique Arrouays<sup>2</sup>, Patrick Wincker<sup>4</sup>, Corinne Cruaud<sup>4</sup>, Antonio Bispo<sup>2</sup>, Pierre-Alain Maron<sup>1</sup>, Nicolas Chemidlin Prévost-Bouré<sup>1</sup>, Lionel Ranjard<sup>1†</sup>

# Quelle variabilité génétique pour les interactions microorganisme-plante ?



Certaines variétés de blé tendre sont stimulées par les bactéries, d'autres pas.  
(Inoculation au champ avec un mélange de 3 souches d'*Azospirillum brasilense*).

# Notamment, les capacités symbiotiques ont-elles été contre-sélectionnées ?

Environmental Microbiology (2000) 2(2), 131–141

## Preferential occurrence of diazotrophic endophytes, *Azoarcus* spp., in wild rice species and land races of *Oryza sativa* in comparison with modern races

Margret Engelhard,<sup>1†</sup> Thomas Hurek<sup>1</sup> and Barbara Reinhold-Hurek<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Arbeitsgruppe Symbioseforschung, Karl-von-Frisch-Str., D-35043 Marburg, Germany.

<sup>2</sup>University of Bremen, Faculty of Biology and Chemistry, Postfach 33 04 40, D-28334 Bremen, Germany.

modern-type *O. sativa* plant: in clone libraries of root-associated nitrogenase (*nifH*) gene fragments, the diazotrophic diversity was lower in the wild rice species. New lineages of *nifH* genes were detected, e.g. one deeply branching cluster within the *anf* (iron) nitrogenases. Our studies demonstrate that the natural host range of *Azoarcus* spp. extends to rice, wild rice species and old varieties being preferred over modern cultivars.

# Le cas particulier du blé

## Un historique compliqué:

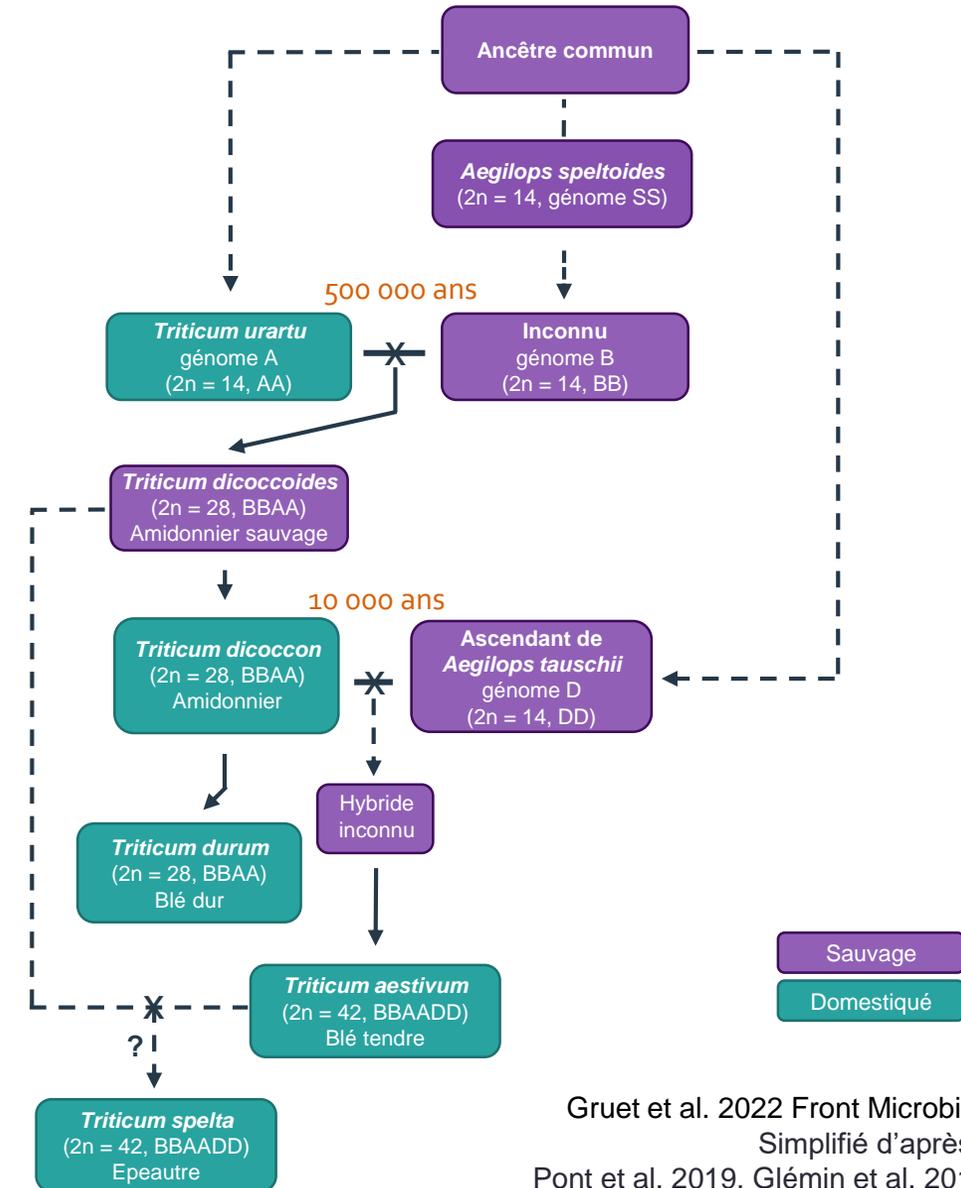
- Plusieurs genres et espèces
- Plusieurs domestications
- Plusieurs hybridations, avec polyploïdie
- Pas tout bien connu

## Mais:

- Très étudié
- Des représentants actuels de ces espèces sont souvent disponibles

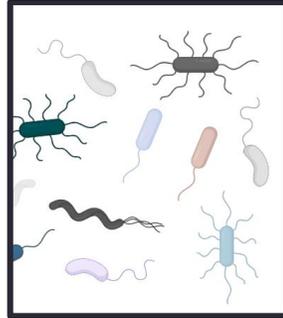
## Hypothèse:

- Variabilité des interactions avec les bactéries
- Avec des effets à la fois spécifiques et intra-spécifiques



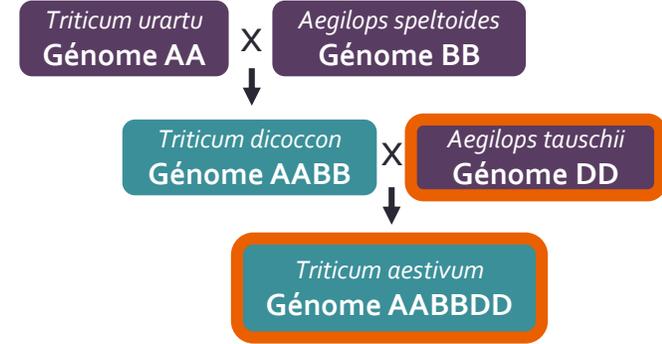
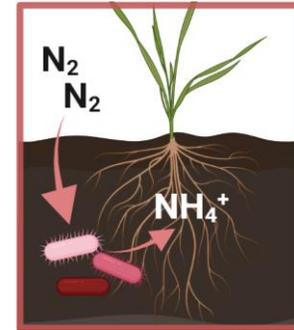
# Les espèces de blé recrutent différemment (avec une variabilité entre lignées)

Expérience en serre  
Luvisol  
(40 jours)

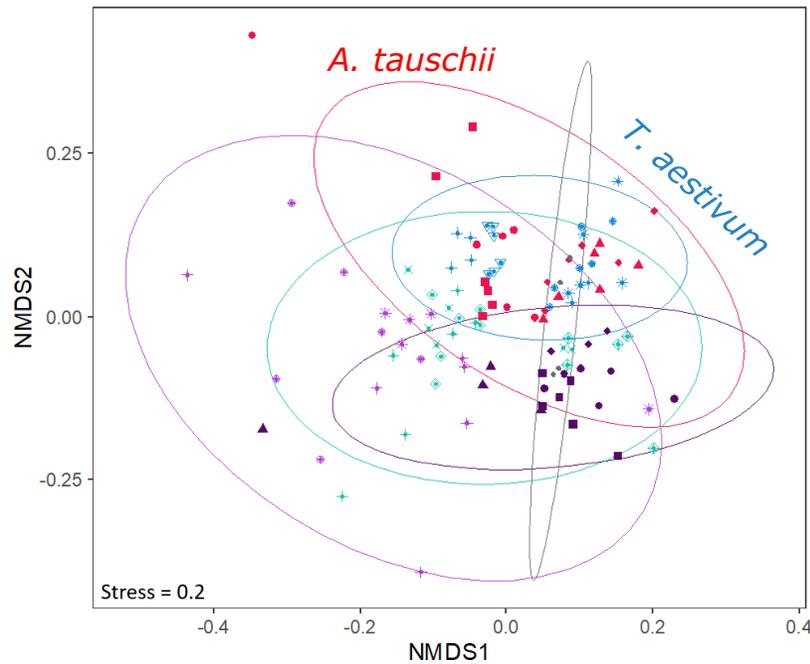


Communauté bactérienne  
**(16S)**

Fixateurs d'azote  
(*nifH*)

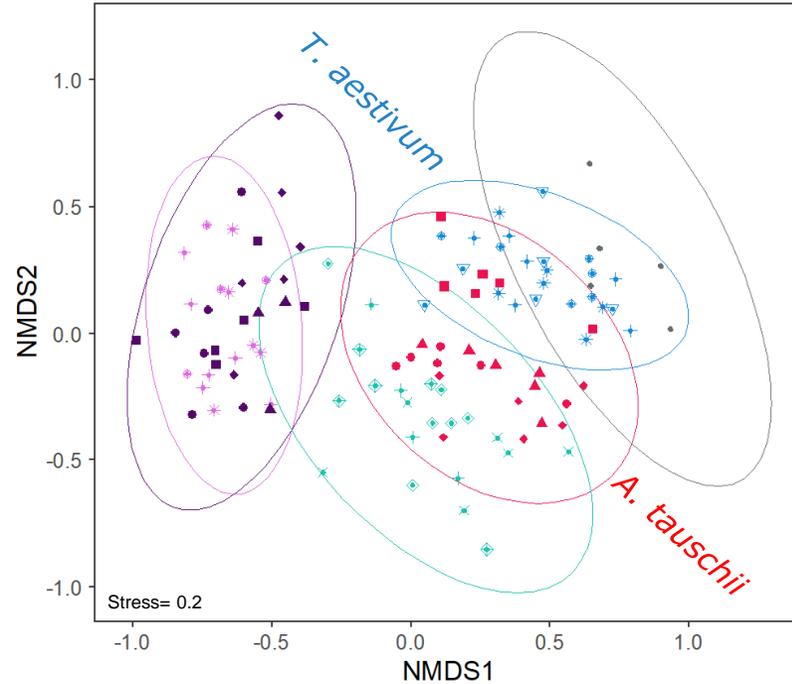


En approximation



- Line
- |   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| + | TU2 | x | TD1 |
| * | TU7 | ◇ | TD3 |
| + | TU8 | + | TD9 |
| ■ | AS1 | + | AE2 |
| ● | AS3 | * | AE4 |
| ▲ | AS7 | + | AE5 |
| ● | AS8 | + | AE6 |
| ■ | AT0 | ◇ | BS  |
| ▲ | AT1 |   |     |
| ● | AT5 |   |     |
| ● | AT9 |   |     |
| ◇ | TD0 |   |     |
- *T. urartu* AA  
■ *A. speltoides* BB  
■ *A. tauschii* DD  
■ *T. dicoccon* AABB  
■ *T. aestivum* AABBDD  
■ Sol non planté

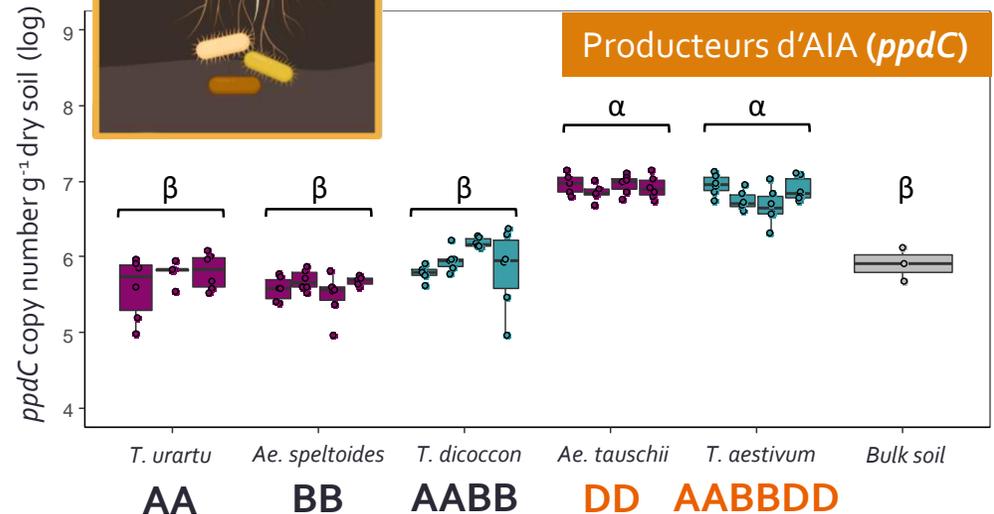
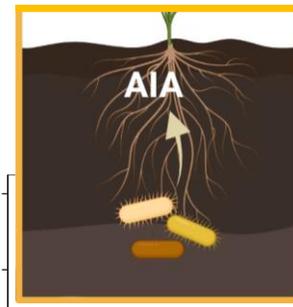
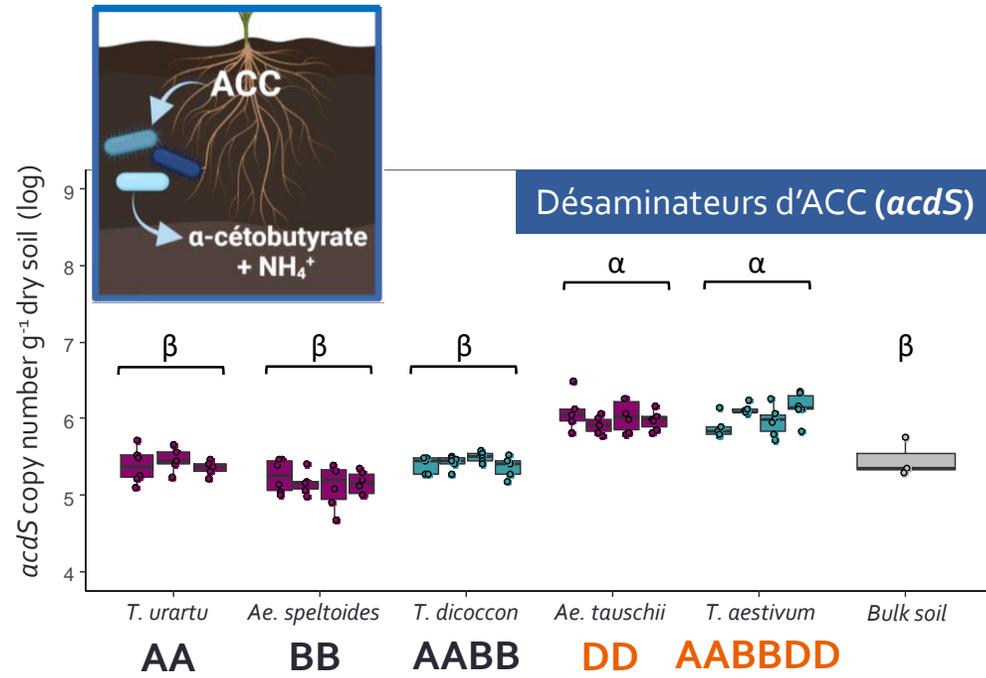
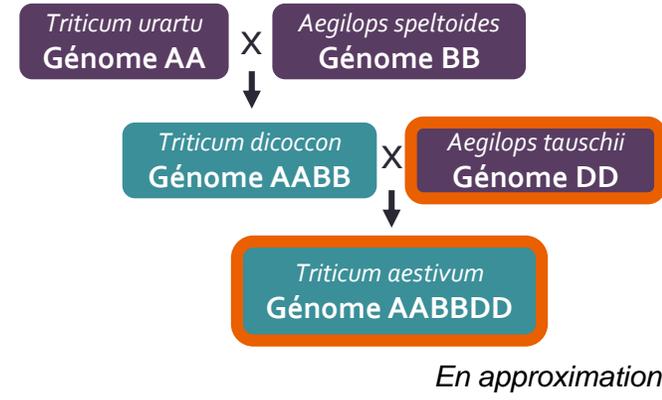
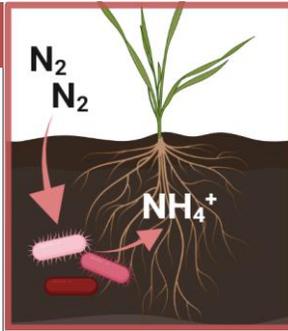
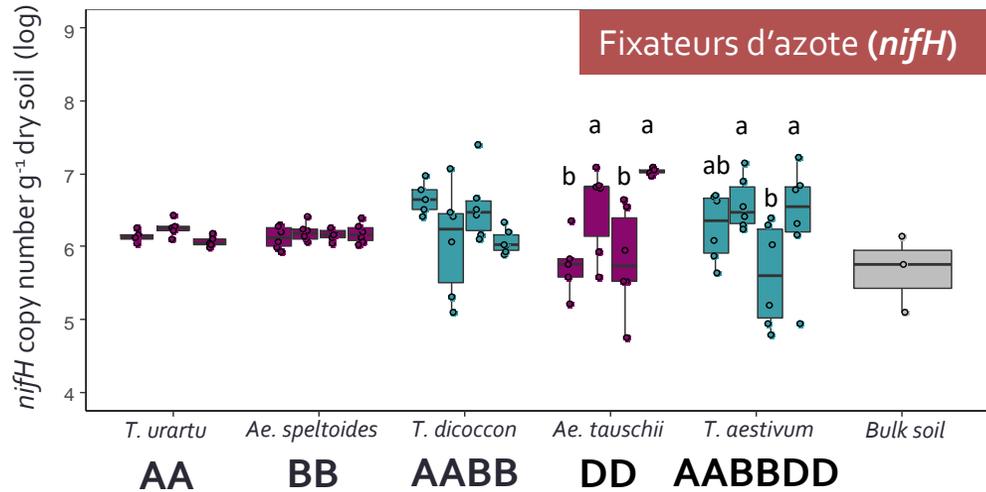
a  
b  
cd  
e  
c  
d



- Line
- |   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| + | TU2 | x | TD1 |
| * | TU7 | ◇ | TD3 |
| + | TU8 | + | TD9 |
| ■ | AS1 | + | AE2 |
| ● | AS3 | * | AE4 |
| ▲ | AS7 | + | AE5 |
| ● | AS8 | + | AE6 |
| ■ | AT0 | ◇ | BS  |
| ▲ | AT1 |   |     |
| ● | AT5 |   |     |
| ● | AT9 |   |     |
| ◇ | TD0 |   |     |
- *T. urartu* AA  
■ *A. speltoides* BB  
■ *A. tauschii* DD  
■ *T. dicoccon* AABB  
■ *T. aestivum* AABBDD  
■ Sol non planté

a  
a  
b  
a  
b  
b

# Les espèces de blé recrutent différemment



# Potentiel d'interaction de 331 lignées de 8 espèces de blé avec la PGPR *Pseudomonas ogarae* F113

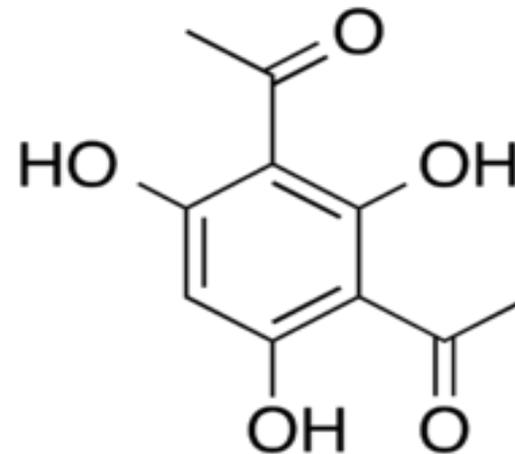
Bactérie PGPR *Pseudomonas ogarae* F113:

- Génotype bien représenté dans les sols arables (Costa et al. 2007)
- Inhibition de phytopathogènes
- Stimule la croissance de plusieurs espèces de céréales (polyvalence), dont le blé.

Opéron *phl* : 2,4-Diacétylphloroglucinol (DAPG)

DAPG:

- Antimicrobien
- Induit des réponses ISR
- Rhizogénèse en interagissant avec la voie de signalisation des auxines

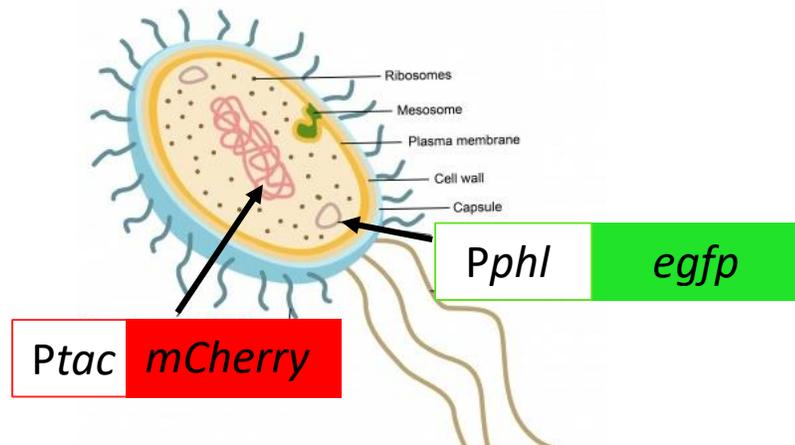


Shanahan et al. 1992, 1993  
Fenton et al. 1992  
Carroll et al. 1995  
Brazil et al. 1995  
Russo et al. 1996  
Fedi et al. 1996, 1997  
Cronin et al. 1997ab  
Barea et al. 1998  
Dunne et al. 1998  
Andrade et al. 1998  
Sharifi-Tehrani et al. 1998  
Moëne-Loccoz et al. 1998, 1999  
Smith et al. 1999  
Naseby et al. 1998, 1999  
Duffy et al. 1999  
Brimecombe et al. 1998, 1999ab  
Iavicoli et al. 2003  
Brazelton et al. 2008  
Couillerot et al. 2011, 2013  
De Werra et al. 2011  
Redondo-Nieto et al. 2013  
Rivilla et al. 2013  
Bruto et al. 2014  
Oteino et al. 2015  
Vacheron et al. 2016, 2018  
Besset-Manzoni et al. 2019  
Valente et al. 2020  
Rieusset et al. 2020, 2021, 2022  
Blanco-Romero et al. 2023

# Analyse des interactions moléculaires de la PGPR *Pseudomonas ogarae* F113

Criblage en conditions simplifiées

- **Constitutif** : colonisation F113
- **Inductible** : expression *p<sub>hl</sub>*



Croissance in vitro (7 j)



Fluorescence measurements  
(+ confocal microscopy)

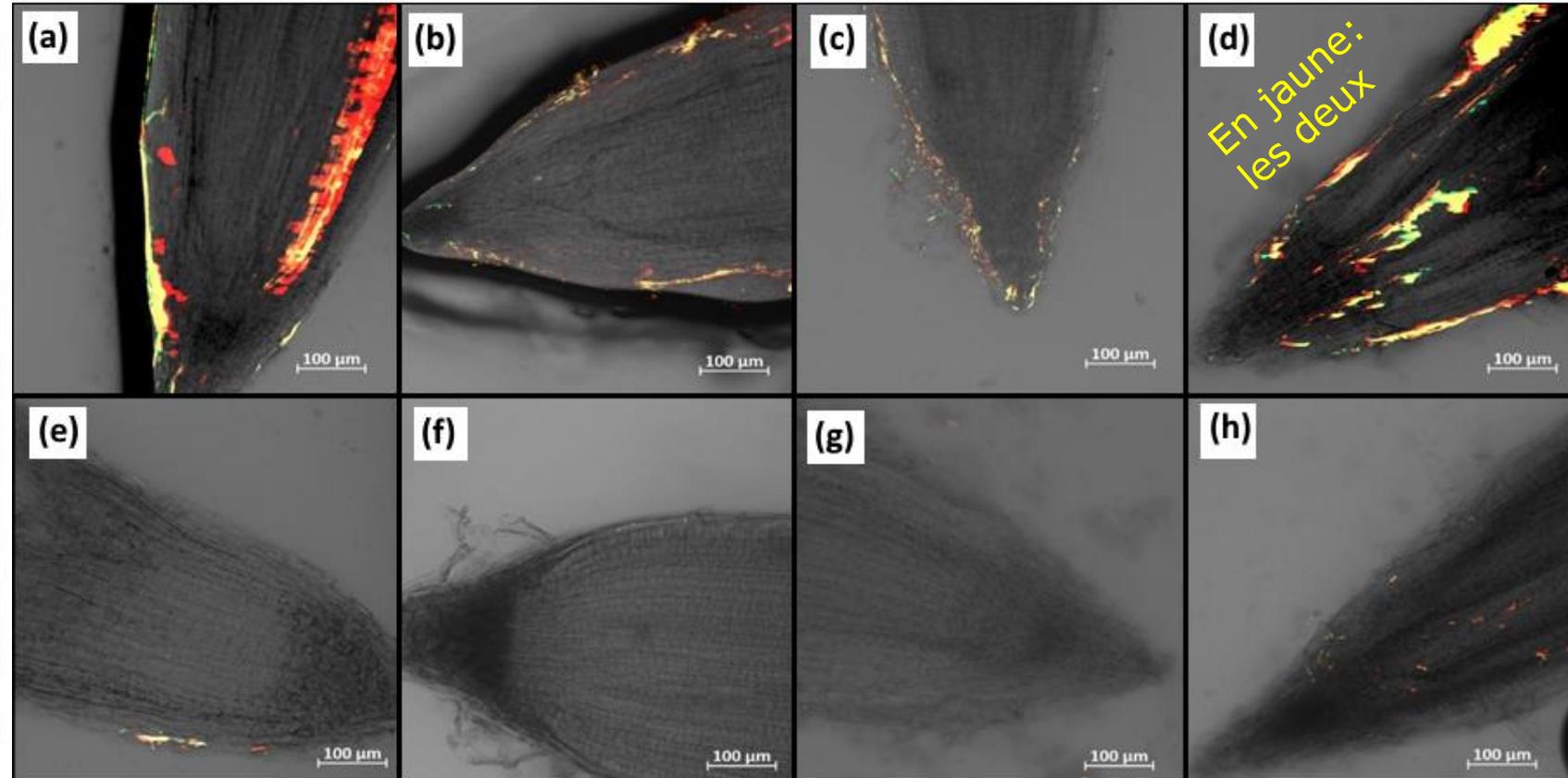
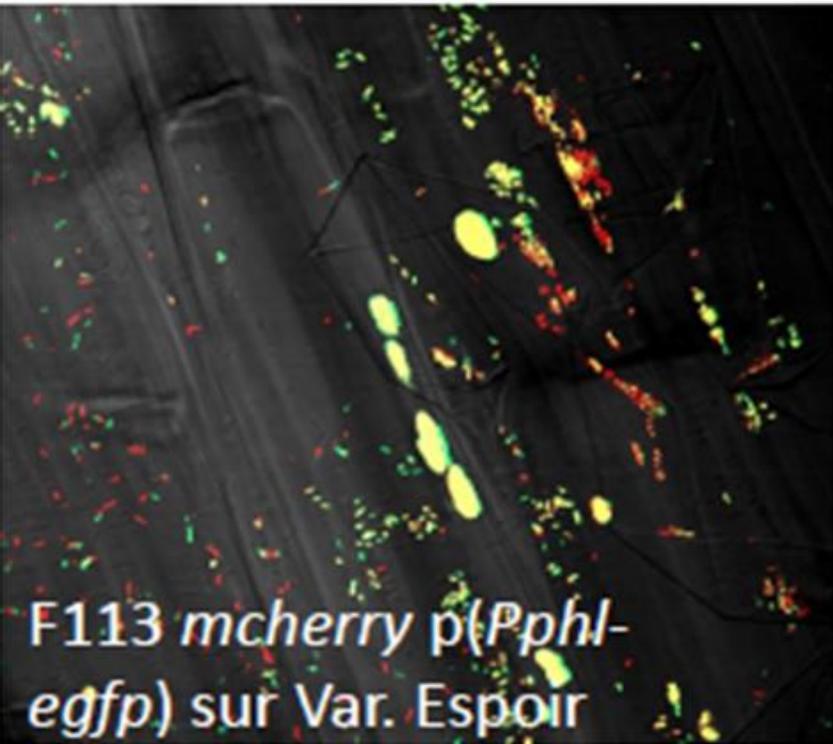


7 j: broyage des racines

# Mesures de fluorescence (spectrofluorimètre) validées par microscopie confocale

Colonisation F113 / Expression *phl*

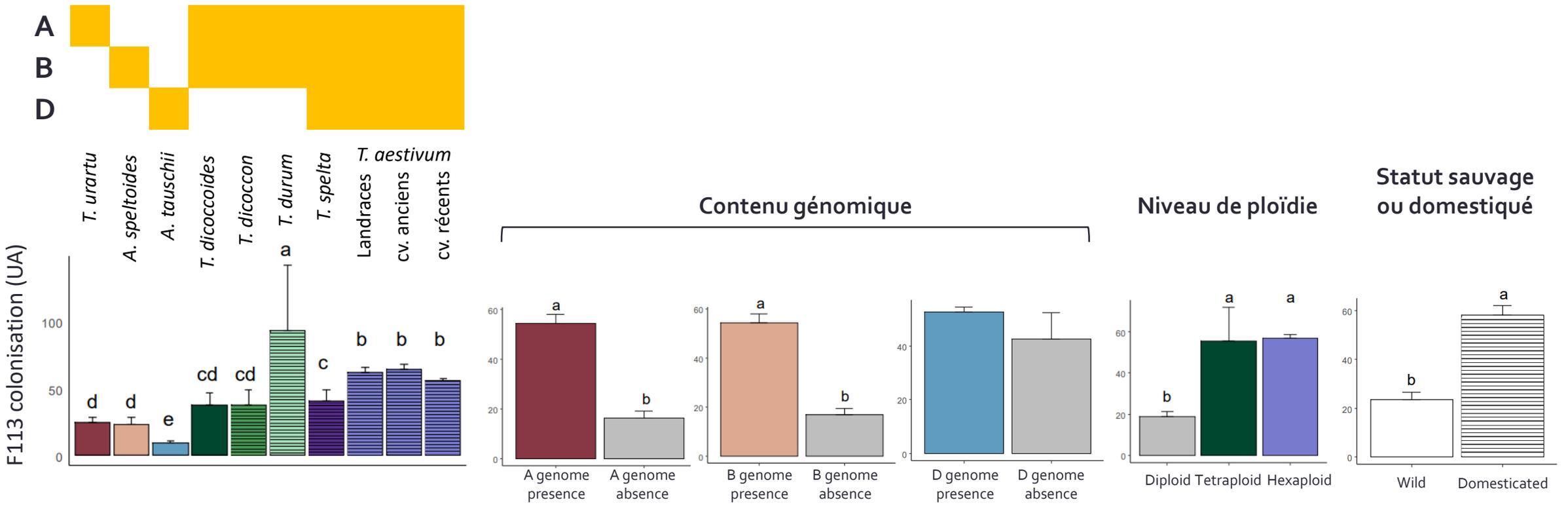
Interactions



Peu d'interaction

# Potentiel d'interaction du blé avec *Pseudomonas ogarae* F113

- Colonisation



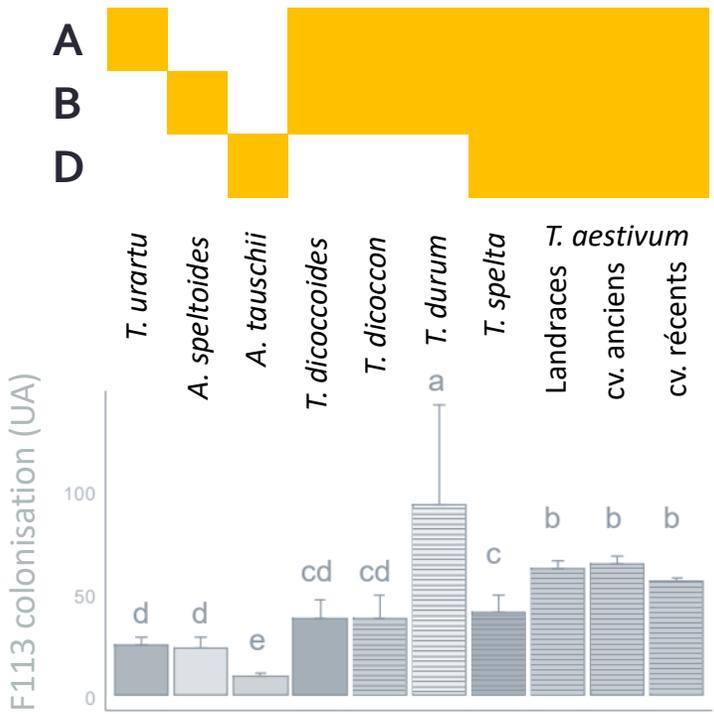
Davantage de colonisation par *P. ogarae* F113 pour les blés tétraploïdes et hexaploïdes.

Colonisation du blé par *P. ogarae* F113 : importance des génomes A et B.

Davantage de colonisation par *P. ogarae* F113 pour les blés domestiqués.

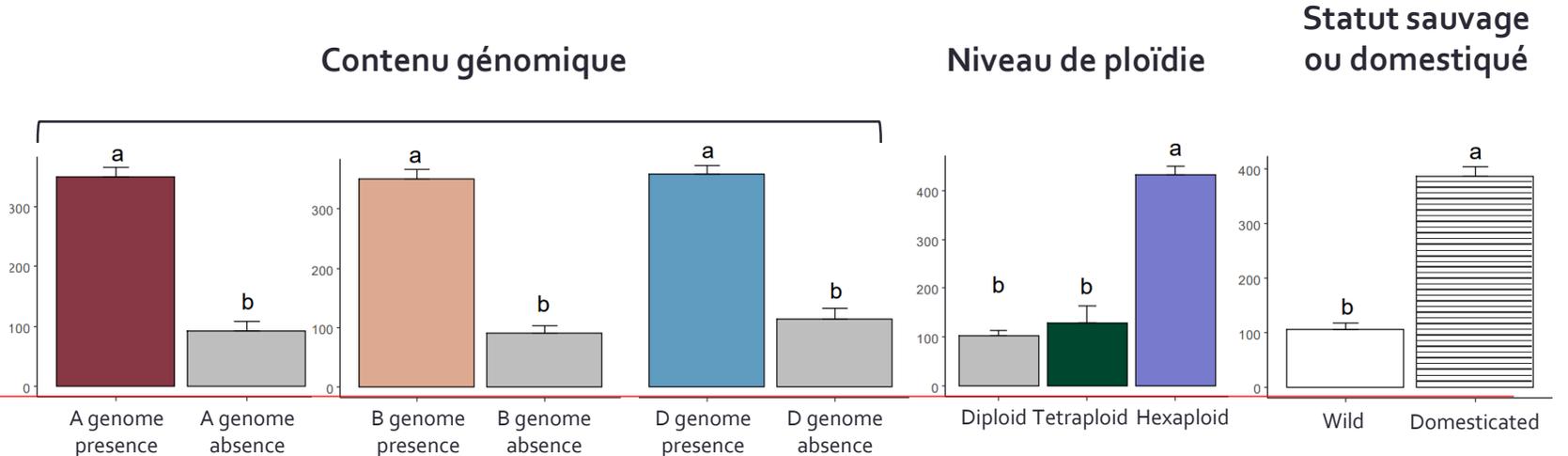
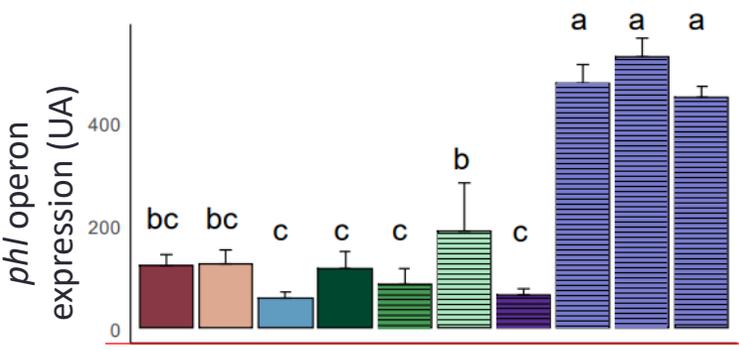
# Potentiel d'interaction du blé avec *Pseudomonas ogarae* F113

- Expression *phl*



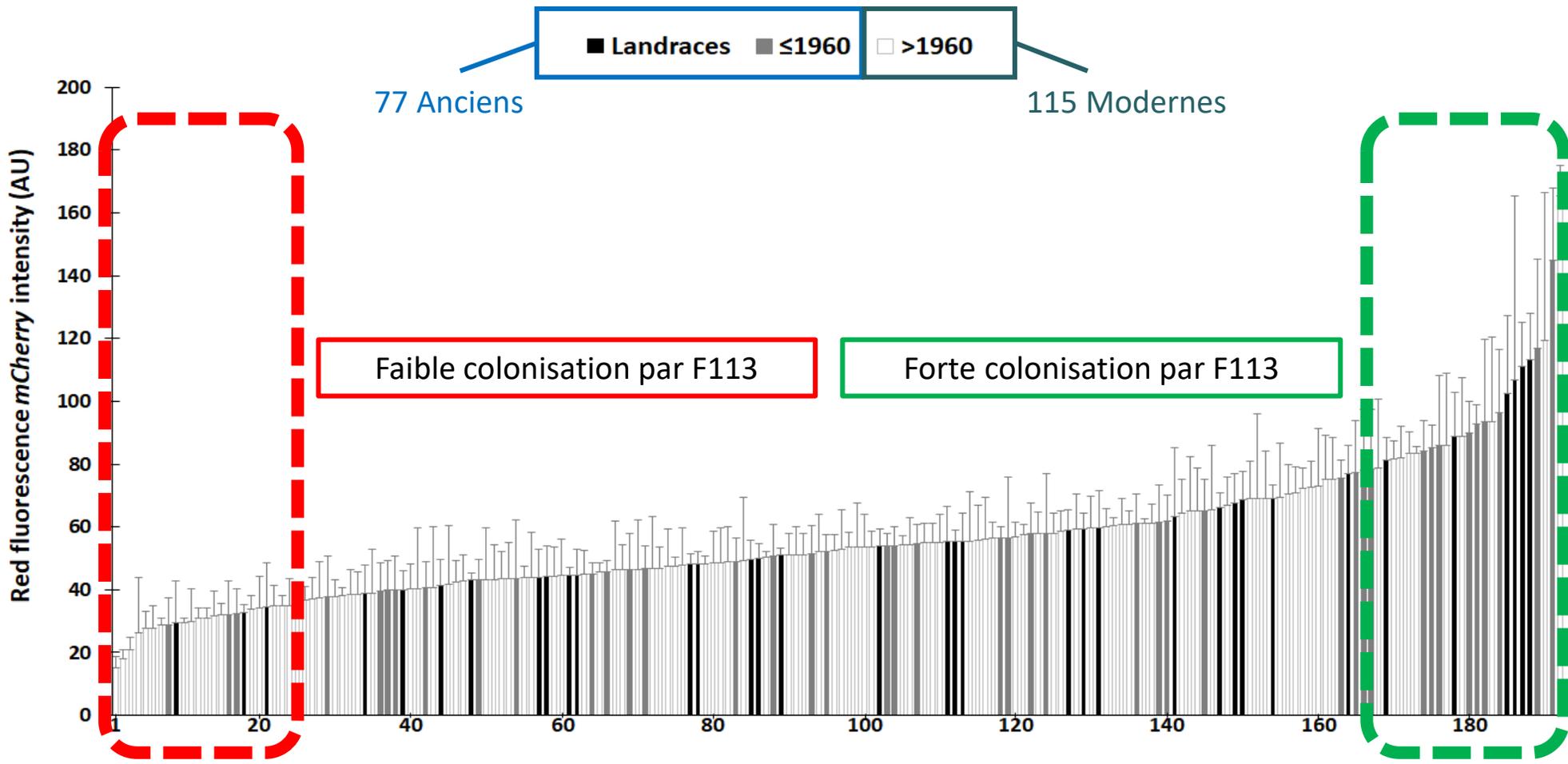
Davantage d'expression de l'opéron *phl* de *P. ogarae* F113 avec *Triticum aestivum* (mais pas pour l'autre hexaploïde *T. spelta*).

Mais ce n'est pas associé à la présence d'un génome en particulier.



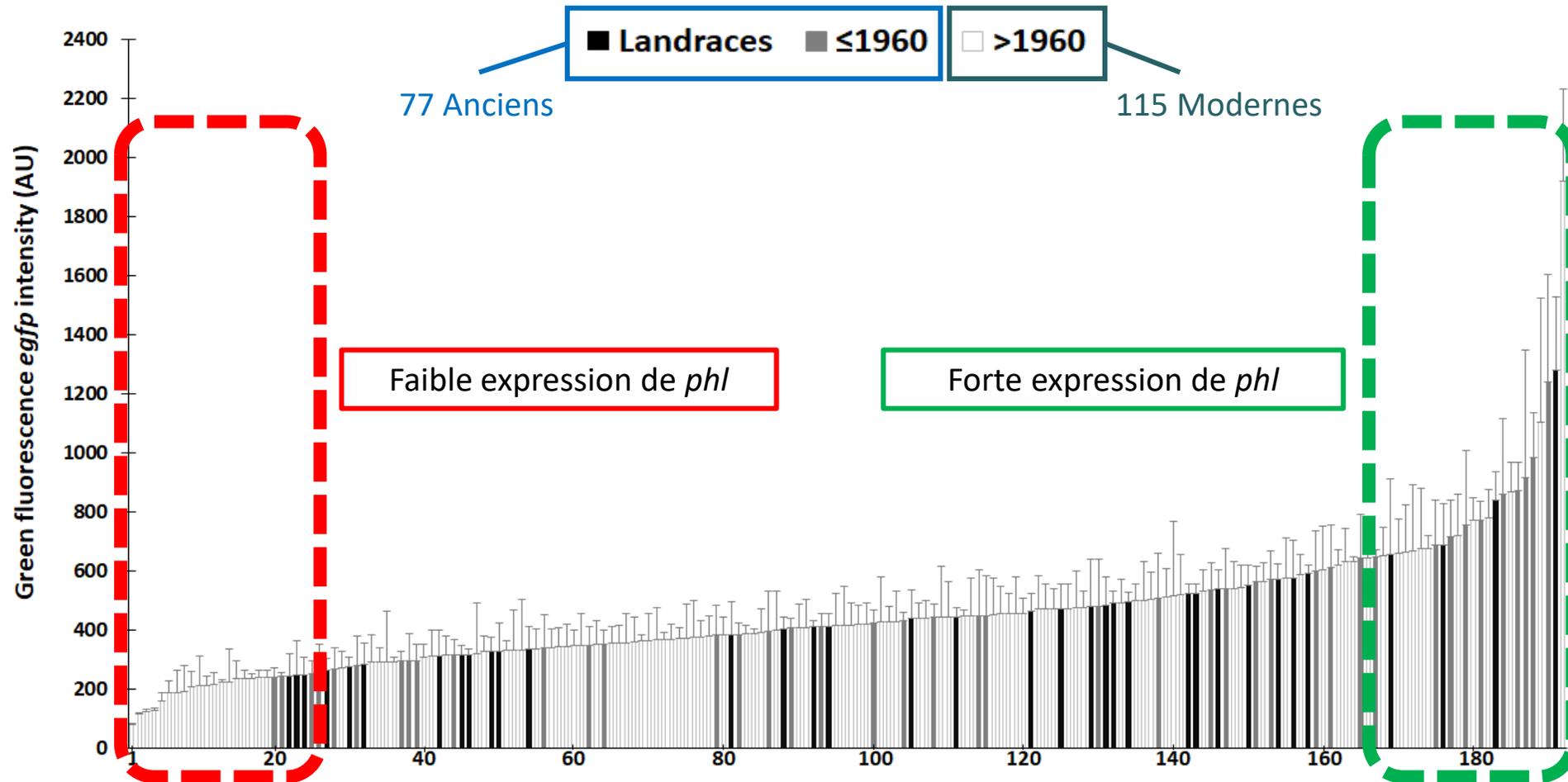
# Colonisation des racines par *Pseudomonas ogarae* F113

## Analyse de la diversité intra-spécifique chez *T. aestivum*



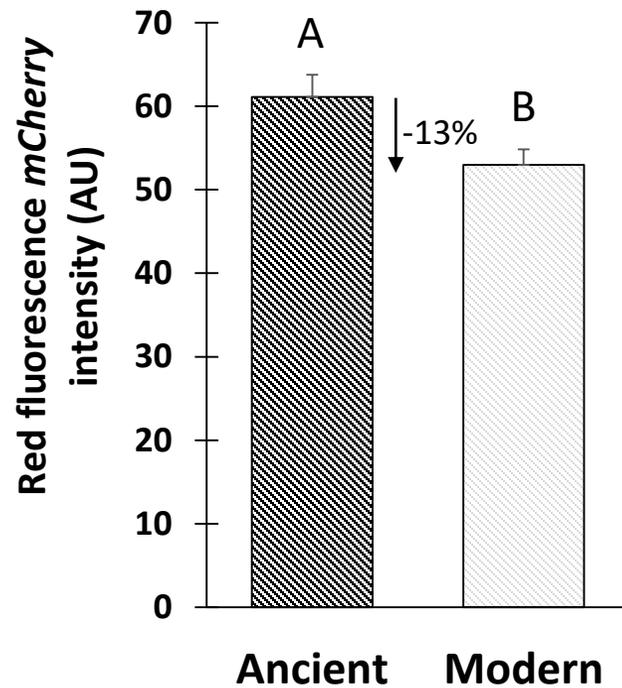
# Expression de *phl* par *Pseudomonas ogarae* F113

## Analyse de la diversité intra-spécifique chez *T. aestivum*

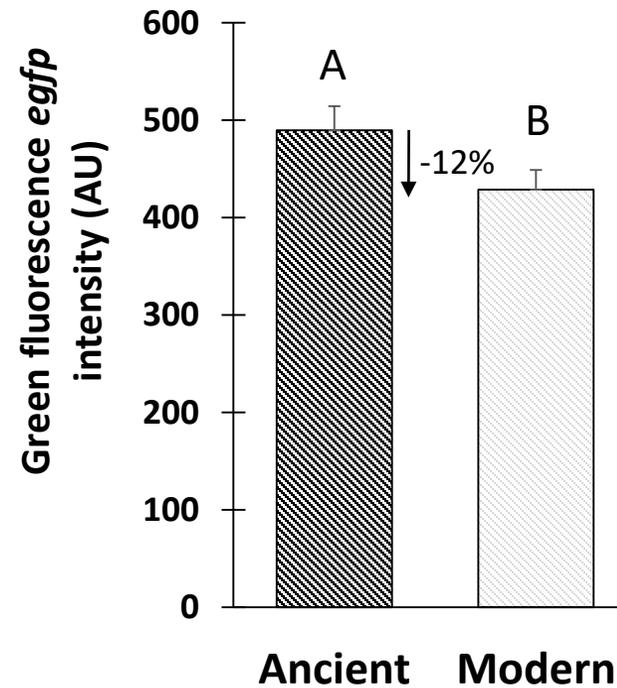


# *Pseudomonas ogarae* F113 et blés anciens vs modernes (> 1960)

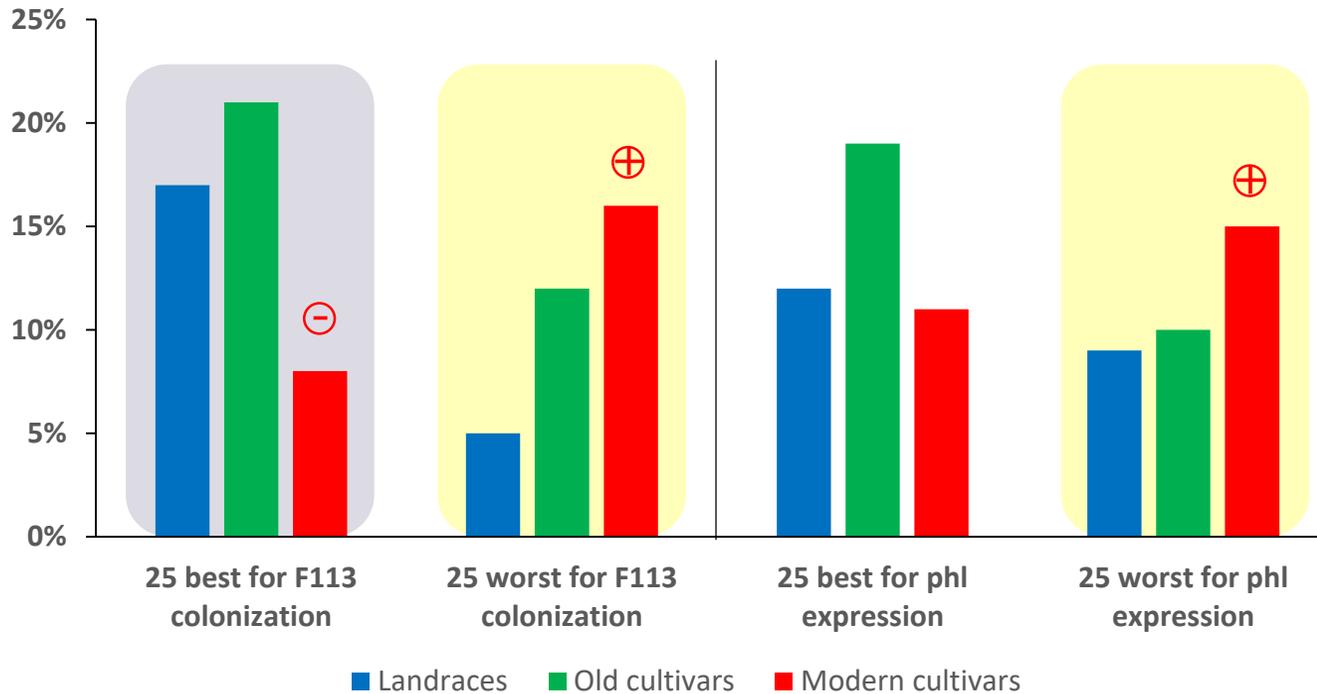
## Colonisation par F113



## Expression de *phl*



# Si on se focalise sur les extrêmes



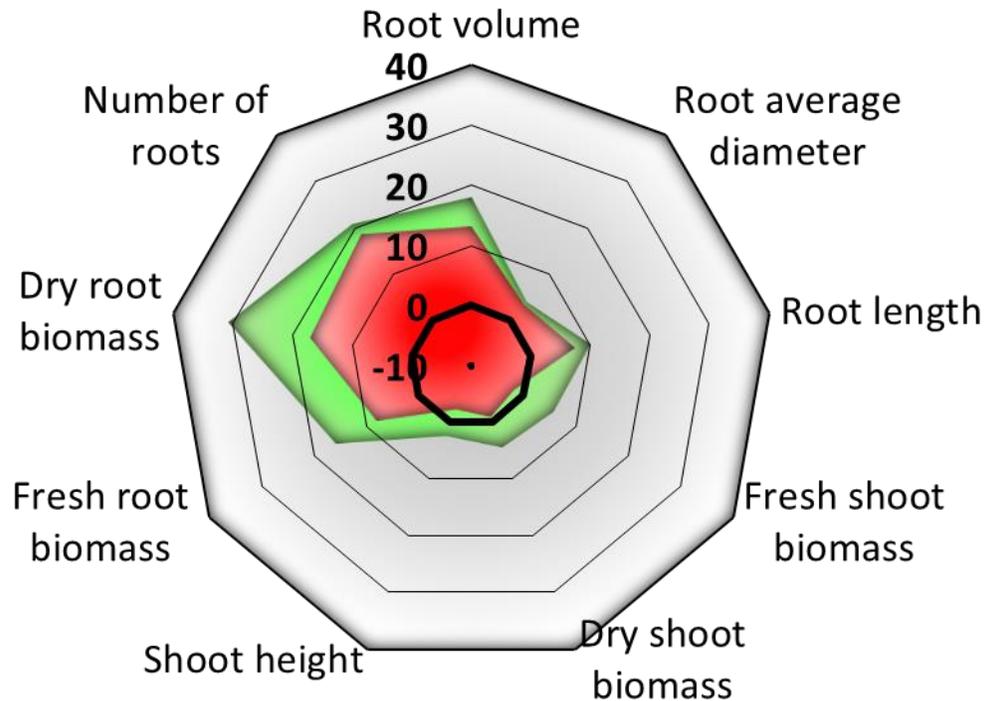
En comparaison avec les **populations de pays** et les **vieilles variétés (avant 1960)** :

- Pourcentage plus bas des **cultivars modernes** parmi les 25 géotypes permettant la meilleure colonisation racinaire par F113
- Pourcentage plus élevé des **cultivars modernes** parmi les 25 géotypes donnant les niveaux les plus faibles de colonisation racinaire par F113 **et** d'expression de *phl*

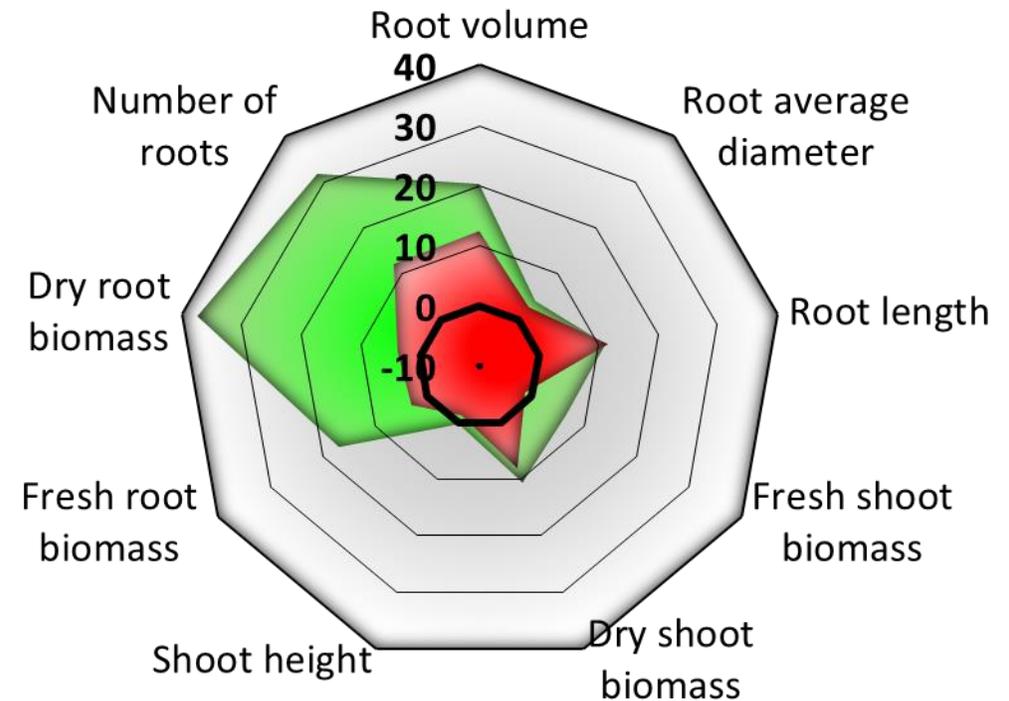
# Effet de *Pseudomonas ogarae* F113 en serre (luvisol) sur quelques lignées de blé contrastées

■ F113-stimulating

■ Non F113-stimulating



Impact relatif de F113 en **conditions optimales** (Pw 22% ; nutriments NPK)

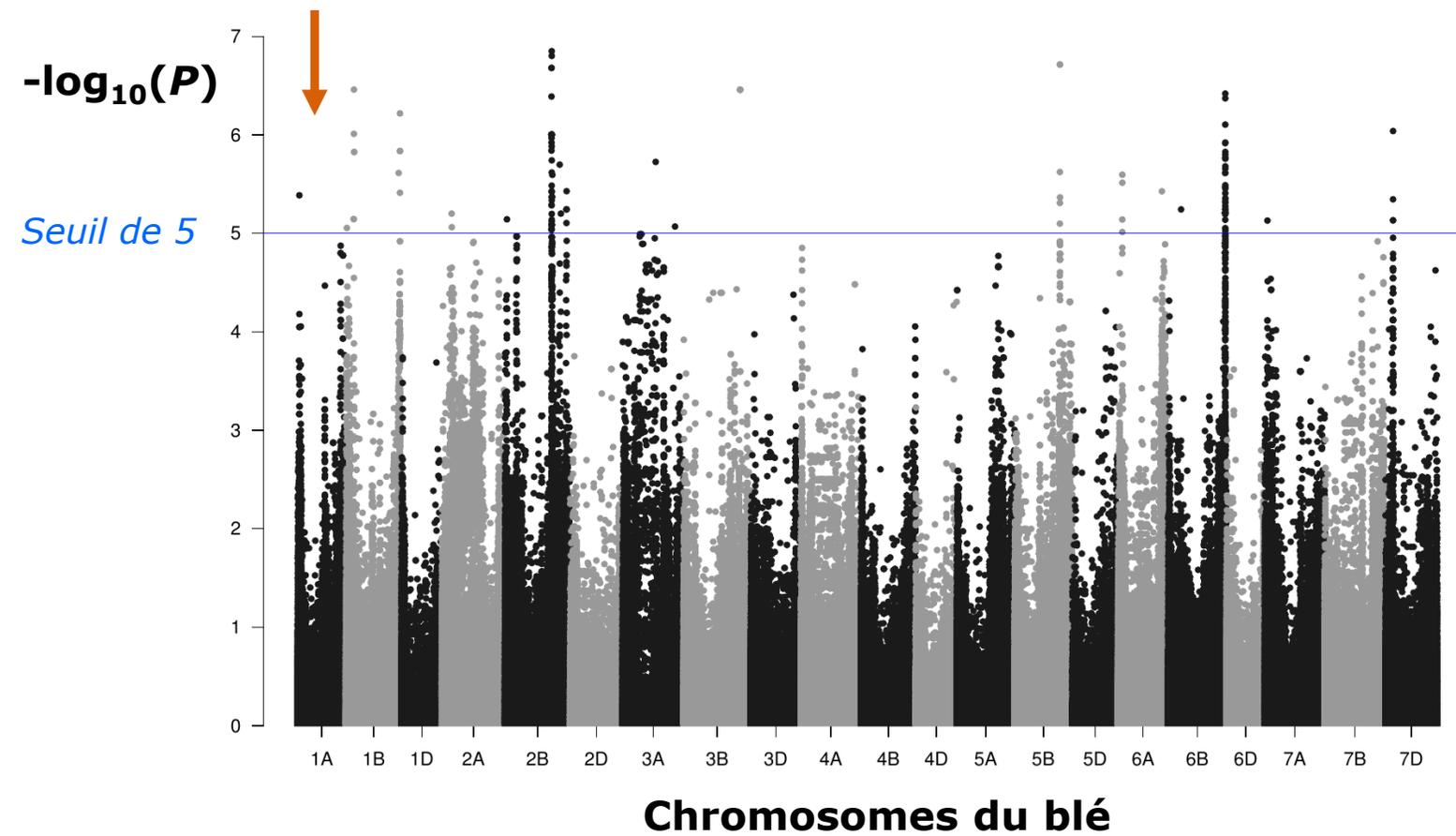


Impact relatif de F113 en **conditions de stress** (Pw 12% ; pas d'apports de NPK)

# Génétique d'association: interactions avec des bactéries bénéfiques

**QTL F113**  
(colonisation)

**22 QTLs Sp245**  
(notamment chromosomes 2B et 6B)



Expérimentation similaire avec *Azospirillum baldaniorum* Sp245 (producteur d'auxine): pas la même affinité avec les cultivars de blé.

Mais environ 15% des génotypes de blé stimulent à la fois *P. ogarae* F113 et *A. baldaniorum* Sp245.

← Et pas les mêmes QTLs.

# Pour conclure

Chez le blé, variabilité importante de la capacité à interagir avec les bactéries phytobénéfiques, selon l'espèce et la lignée.

Bien que moins fréquentes que dans le cas des génotypes anciens, les capacités d'interaction avec les PGPR sont conservées chez certains cultivars modernes.

Les approches de génétique d'association peuvent être utiles pour identifier des QTLs d'interaction pour la sélection variétale.

# Remerciements



CNRS & Université Lyon 1

**Cécile Gruet**

**Jordan Valente**

Florence Gerin

Maroua Alaoui

Jeanne Doré

Danis Abrouk

**Daniel Muller**

**Claire Prigent-Combaret**



**Jacques Le Gouis (GDEC Clermont)**

Thierry Langin (GDEC Clermont)



Jacques David (AGAP Montpellier)



**Andreas Börner**



Sébastien Praud

Hervé Duborjal

Stéphane Lafarge



SuppressSOIL

ANR-19-EBI3-0007

Azodure

ANR-12-AGRO-0008

BacterBlé

ANR-14-CE19-0017

FixN-Maize

ANR-16-CE04-0007

Deep Impact

ANR-20-PCPA-0004

