

« Les microbiotes, de la recherche aux innovations »

Séance hebdomadaire publique
du 13 novembre 2024

Le microbiote racinaire du pois chiche sous l'influence de biostimulants bactériens et moléculaires

Dr. Ezekiel BAUDOIN – IRD

Dr. A. LE QUÉRÉ – IRD

Pr. B. BRUNEL – l'institut Agro Montpellier



UMR Eco&Sols

Ecologie fonctionnelle &
biogéochimie des sols &
des agro-systèmes

Campus La Gaillarde
Institut Agro-INRAE
Bât. 12 & 13, 2 place Viala
34060 Montpellier Cedex 2

<https://www.umr-ecosols.fr>

« AgriVert : des bioinoculants pour la transition agroécologique en Occitanie »

Dr. S. SOUSSOU

J. FINCK

Dr. A. GEOFFROY

M. LEGRAIN

S. GRANDET – stage M1-IMHE Montpellier

E. LE GUENNIC – stage L2-EPM Aix-Marseille



<https://www.fertilinnov-environnement.com>



Transition agroécologique

- Travail du sol
- Fertilisation organique
- Raisonner la **diversité des cultures** en favorisant le groupe fonctionnel des **légumineuses** (azote organique, potentiel infectieux mycorhizogène)
 - modalité rotation
 - modalité co-culture céréale(s) (ratio LER, biodiversité, état sanitaire)...mécanismes de la facilitation inter-plantes
- Recours complémentaires à des **biostimulants** pour limiter les volumes d'intrants de synthèse

biostimulant des végétaux = fertilisant

stimuler les processus de nutrition des plantes

l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs

la disponibilité des éléments nutritifs confinés dans le sol et la rhizosphère (e.g. solubilisation, fixation N)

la tolérance au stress abiotique

les caractéristiques qualitatives

Depuis été 2022 en France : catégorie des MFSC (matières fertilisantes et support de culture)

3,64 m^{rds} \$ mondial (2023)

...ca. 10 m^{rds} \$ (2032)

€ : 40% (2023) > Am. Nord

(France-Allemagne-Italie-Espagne)

molécules (spray foliaire)

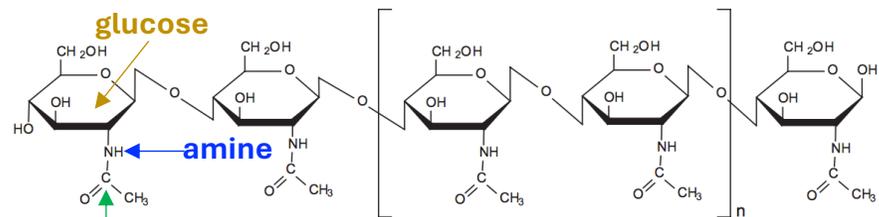
aussi : sur sol et semences

Global Biostimulants Market Share, By Active Ingredient, 2023



chitine (origine prépondérante : carapace crustacées)

homopolymère
N-acétyl-D-glucosamine

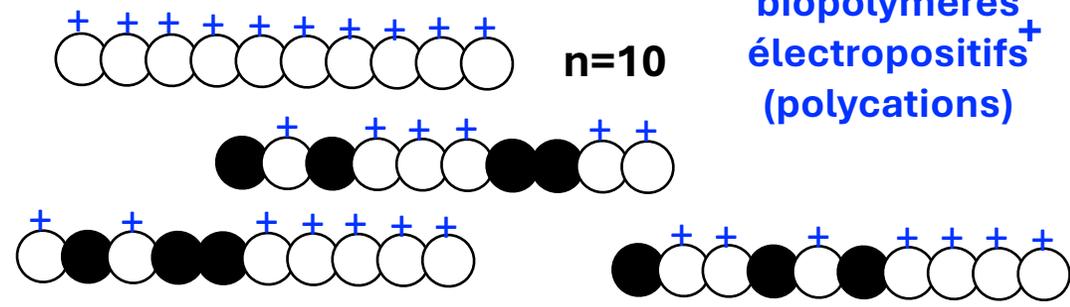
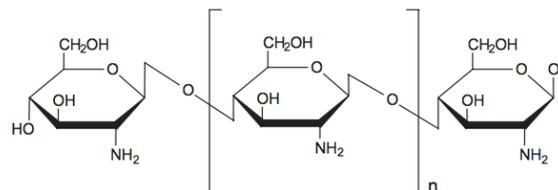


digestion partielle

réduction longueur +
dé-acétylation >60%

chitosanes

hétépolymères
acétyl-glucosamine / glucosamine



DOMAINES APPLICATION MULTIPLES

- Médecine
- Biotechnologie
- Dépollution
- Biotechnologie
- Agro-alimentaire
- Agriculture

BIOACTIVITÉ =

DP : degré de polymérisation (longueur de chaîne)
FA : degré d'acétylation résiduelle
PA : patron d'acétylation (positions relatives)

- Versions commercialisées = mélanges de différentes molécules (au mieux : DP et FA fixés)
- Versions expérimentales = molécules « uniformes » DP-FA-PA fixés (k€/dizaines de mg)

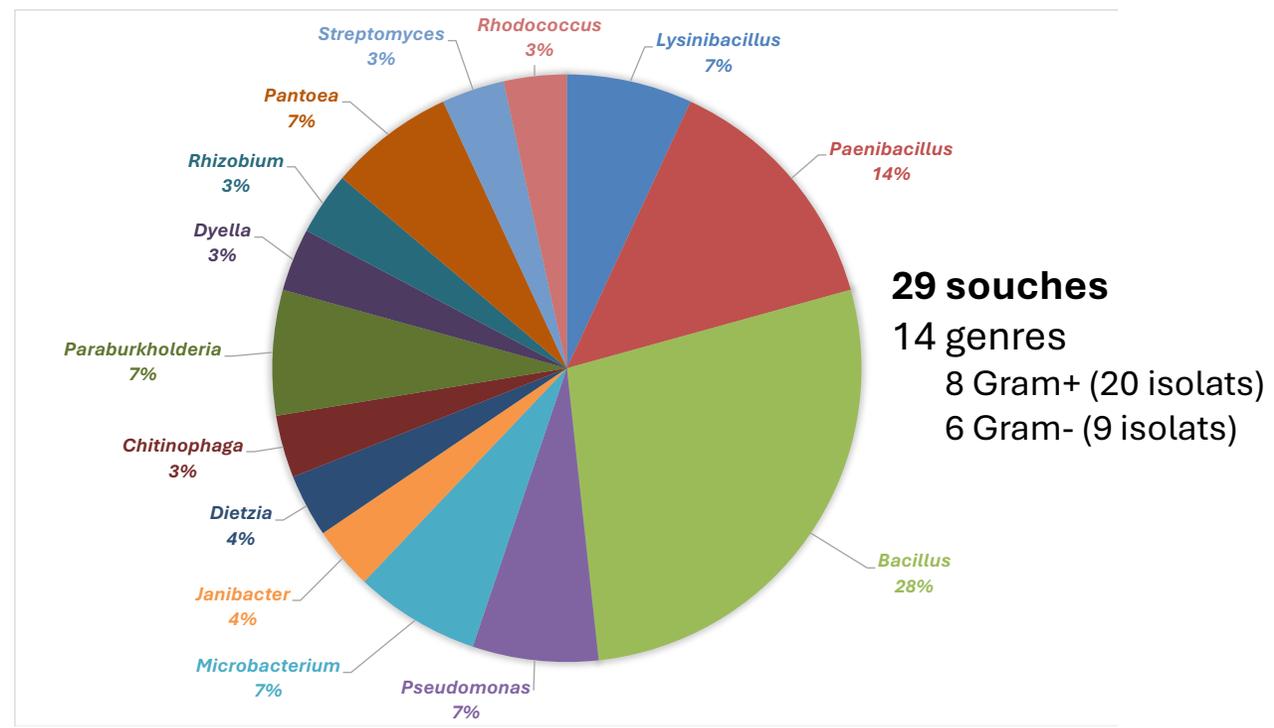
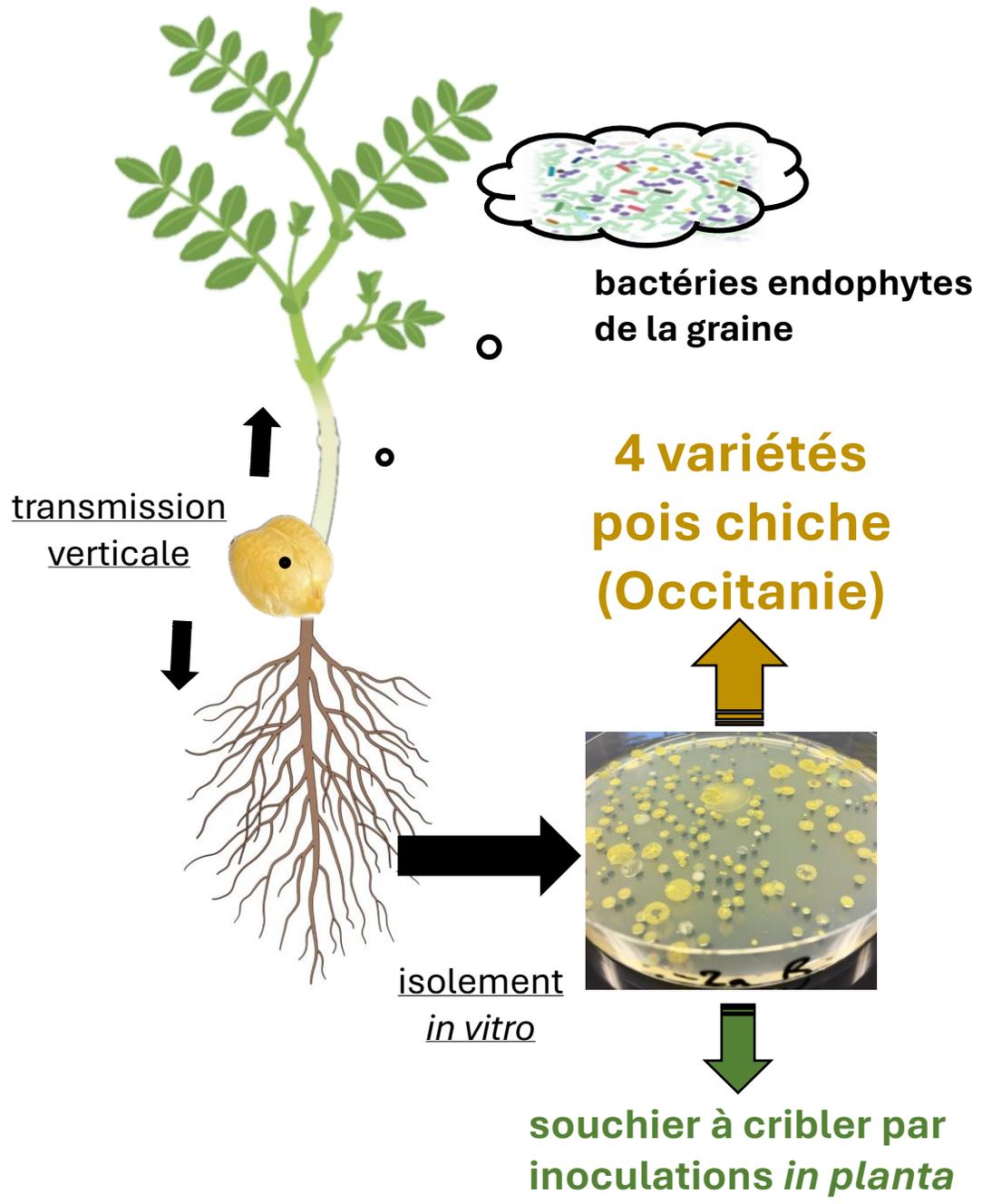
Expériences de biostimulation du pois chiche (serre)

- Crible *in planta* souchier endophytes
(**29 isolats** ; 1 variété **TWIST**)
➔ effets 12 souches sur microbiote racinaire
- Crible *in planta* 2 lots de chitosans
(**4 doses** ; 1 variété **TWIST**)
➔ effets sur microbiote racinaire
- Crible *in planta* 2 lots de chitosans × 1 bioinoculant
(**2 doses** × **1 souche** ; 1 variété **TWIST**)
➔ effets sur la symbiose rhizobienne

Crible in planta

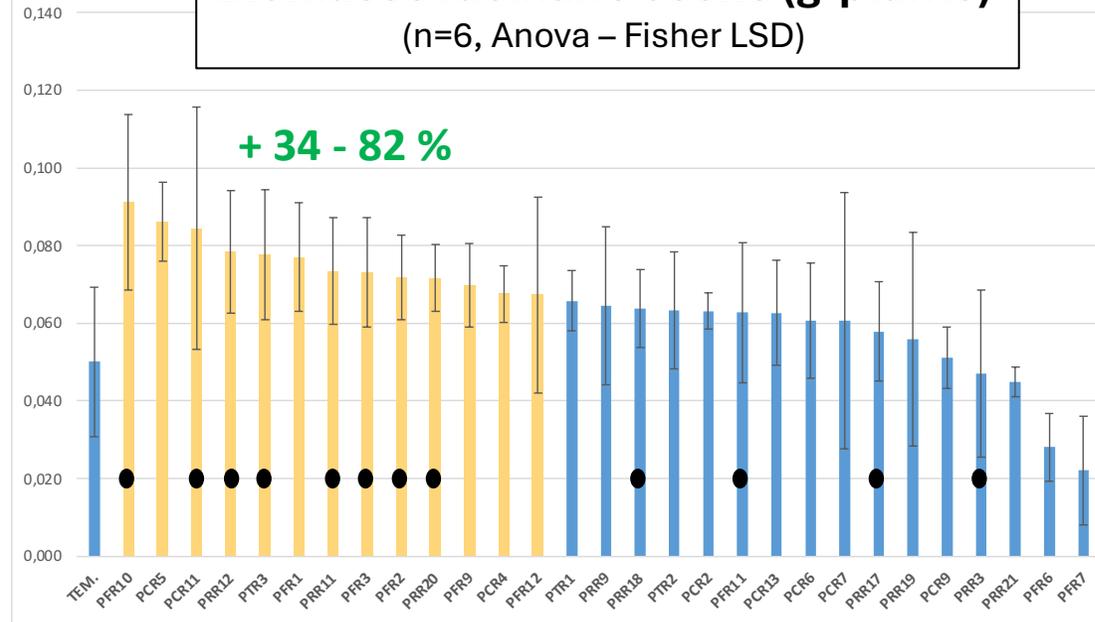
de 29 isolats endophytes à transmission vertical racinaire

par inoculation au semis



Biomasse racinaire sèche (g/plante)

(n=6, Anova – Fisher LSD)



13 souches⁺ / 29 (45 % !)

● sélection de 12 souches

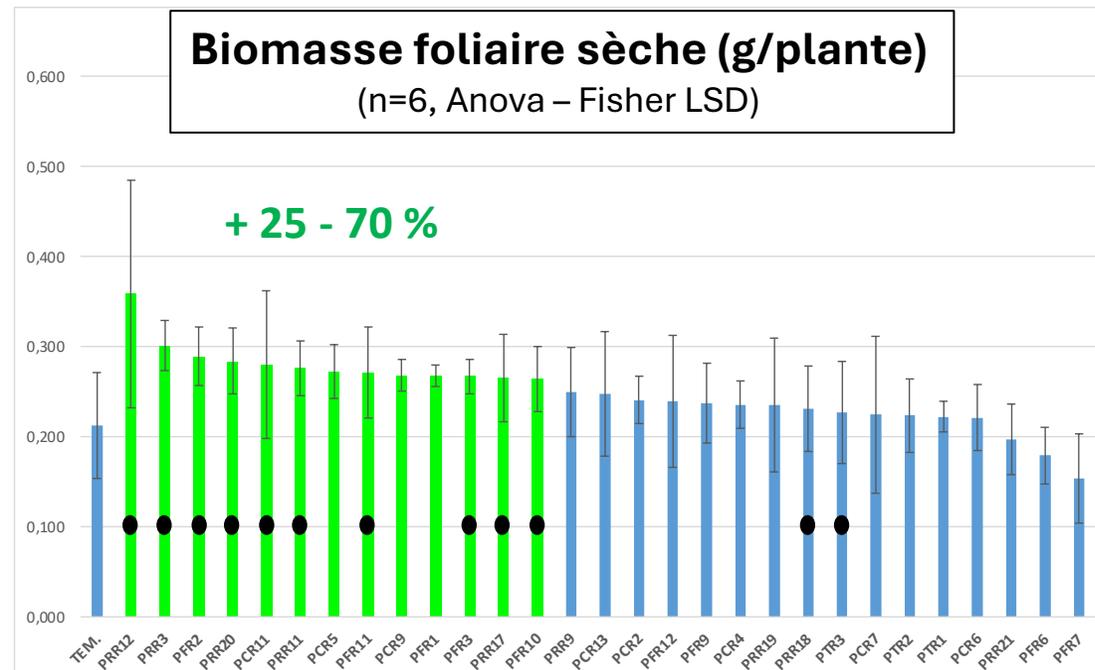
décrire l'effet de leur inoculation
sur la diversité taxonomique du microbiote racinaire :

surface (rhizoplan) + tissus internes (endorhize)

(séquençage ADN sur racines broyées ; 78 systèmes racinaires)

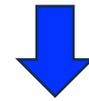
Biomasse foliaire sèche (g/plante)

(n=6, Anova – Fisher LSD)



Estimation des populations inoculées à 42 jours (récolte)

GENRE	SOUCHE	% séquences relatives au genre de la souche inoculée
<i>Streptomyces</i>	PFR11	0,38 - 1,03 %
<i>Paraburkholderia</i>	PFR2	0 - 0,38 %
<i>Paenibacillus</i>	PRR17	0,05 - 0,45 %
<i>Paenibacillus</i>	PRR12	0 - 0,27 %
<i>Bacillus</i>	PFR10	0 - 0,52 %
<i>Bacillus</i>	PRR11	0,04 - 0,54 %
<i>Bacillus</i>	PCR11	0,04 - 0,38 %
<i>Dyella</i>	PFR3	0 - 0,04 %
<i>Lysinibacillus</i>	PRR3	0%
<i>Lysinibacillus</i>	PRR18	0%
<i>Janibacter</i>	PRR20	non identifié
<i>Microbacterium</i>	PTR3	non identifié



absence systématique de colonisation durable des racines par les 12 souches inoculées

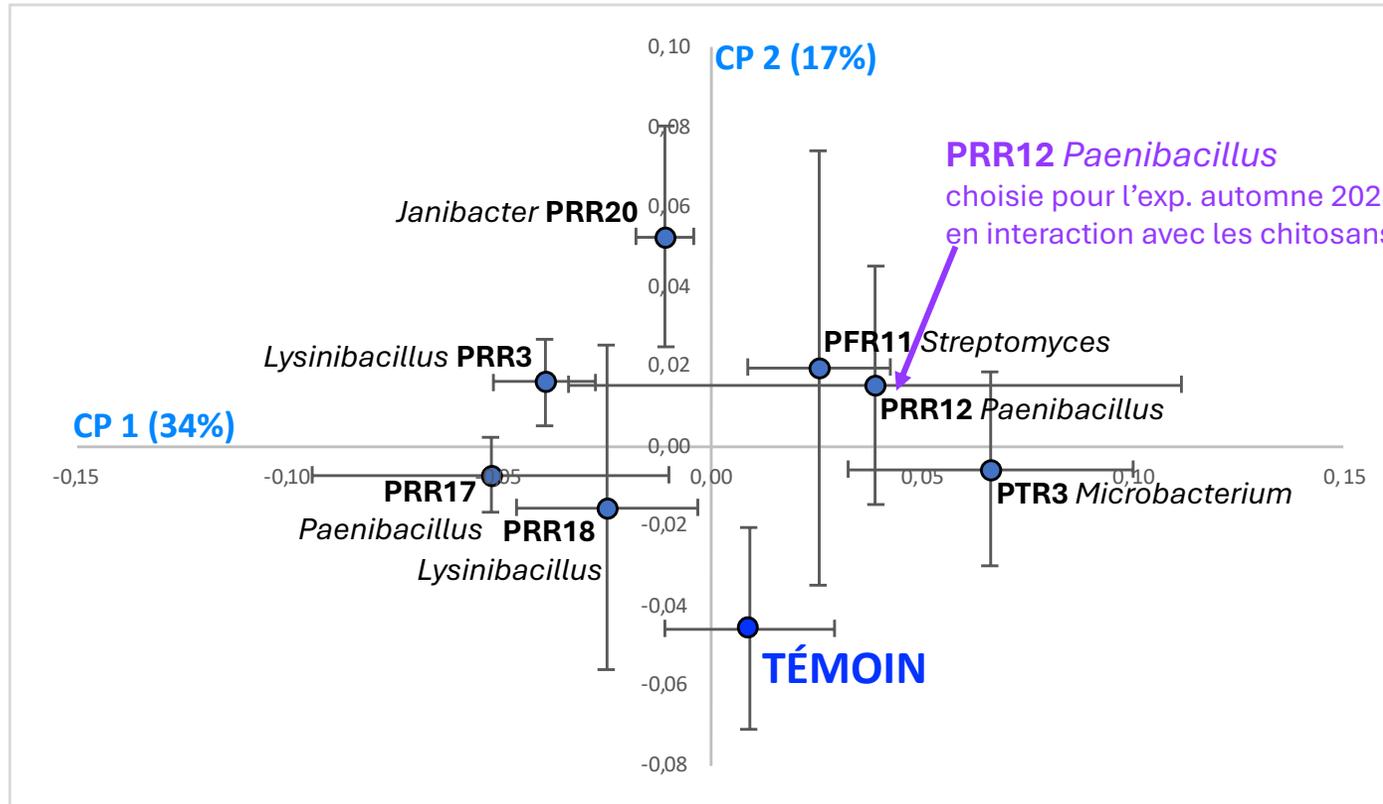
Indices de diversité



les niveaux de diversité des microbiotes racinaires n'ont pas été modifiés par les inoculations (indices de Shannon et « d'équitabilité »)

Analyse en Composantes Principales (covariance)

(7 souches « significatives » sur 12 inoculées selon Permanova)



biomasse racines	microbiote remanié	biomasse tige
PFR10		PFR10
PCR11		PCR11
PRR12		PRR12
PTR3		PTR3
PRR11		PRR11
PFR3		PFR3
PFR2		PFR2
PRR20		PRR20
PRR18		PRR18
PFR11		PFR11
PRR17		PRR17
PRR3		PRR3

- Réduction de la variabilité (i.e. PRR20, PRR3)
- Augmentation de la variabilité (e.g. PRR12, PFR11)

Crible *in planta*

de 2 lots de chitosans

par sprays foliaires

Chito. 1



TÉMOIN

D1

D2

D3

D4

SPRAY FOLIAIRE

D1 : 50 µg/plantule

D2 : 0,25 mg/plantule

D3 : 0,5 mg/plantule

D4 : 2,5 mg/plantule

Chito. 2



TÉMOIN

D1

D2

D3

D4

SPRAY FOLIAIRE

D1 : 50 µg/plantule

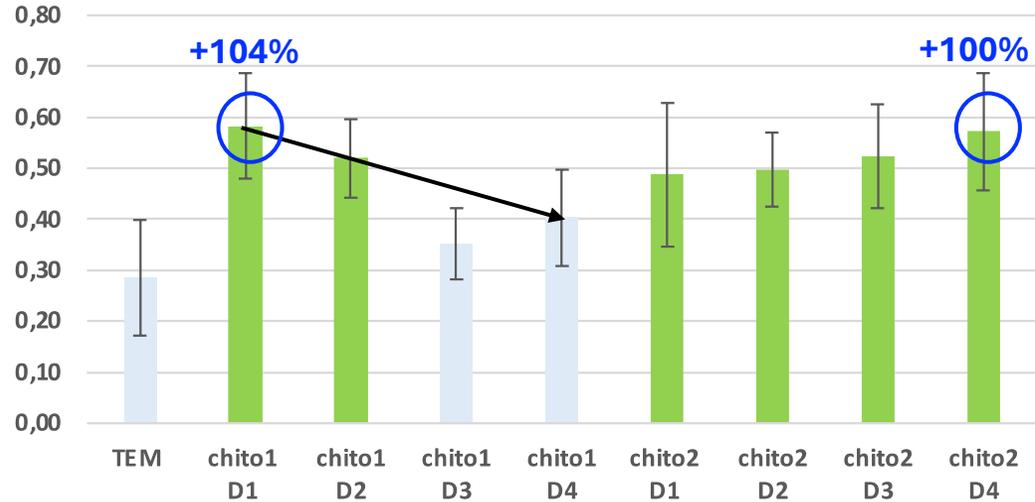
D2 : 0,25 mg/plantule

D3 : 0,5 mg/plantule

D4 : 2,5 mg/plantule

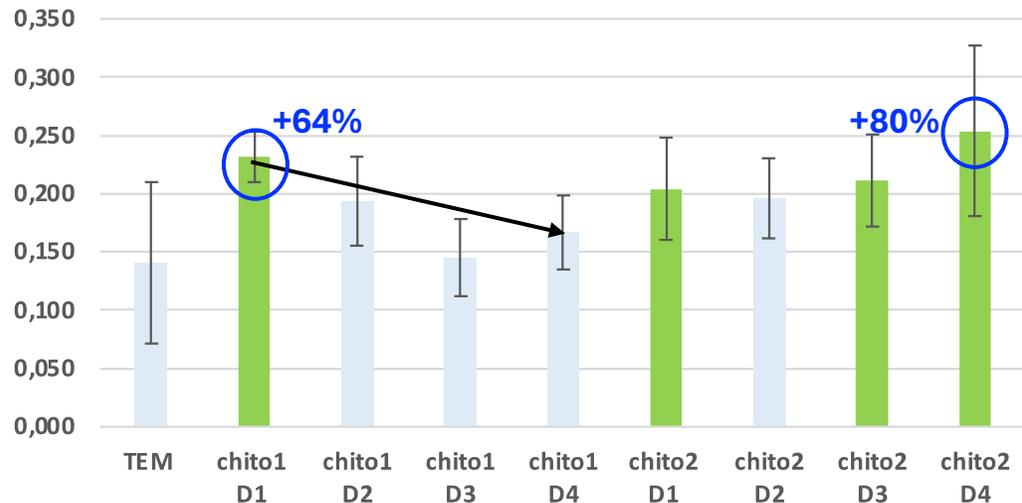
Biomasse foliaire sèche (g/plante)

(n=6, Anova - Fisher LSD)



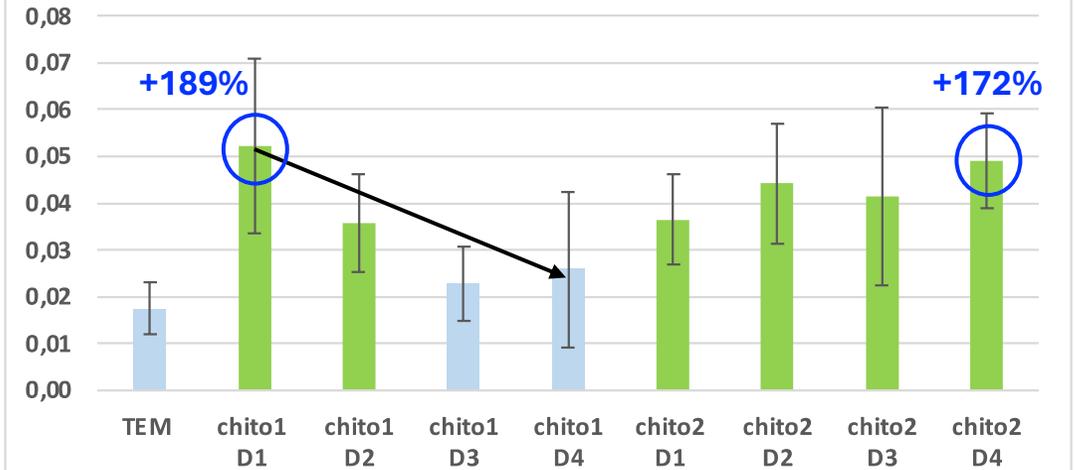
Biomasse racinaire sèche (g/plante)

(n=6, Anova - Fisher LSD)



Biomasse sèche nodulaire (g/plante)

(n=6, Anova - Fisher LSD)



Chito1- D1 (50 µg/plante)

Chito2 - D4 (2,5 mg/plante)

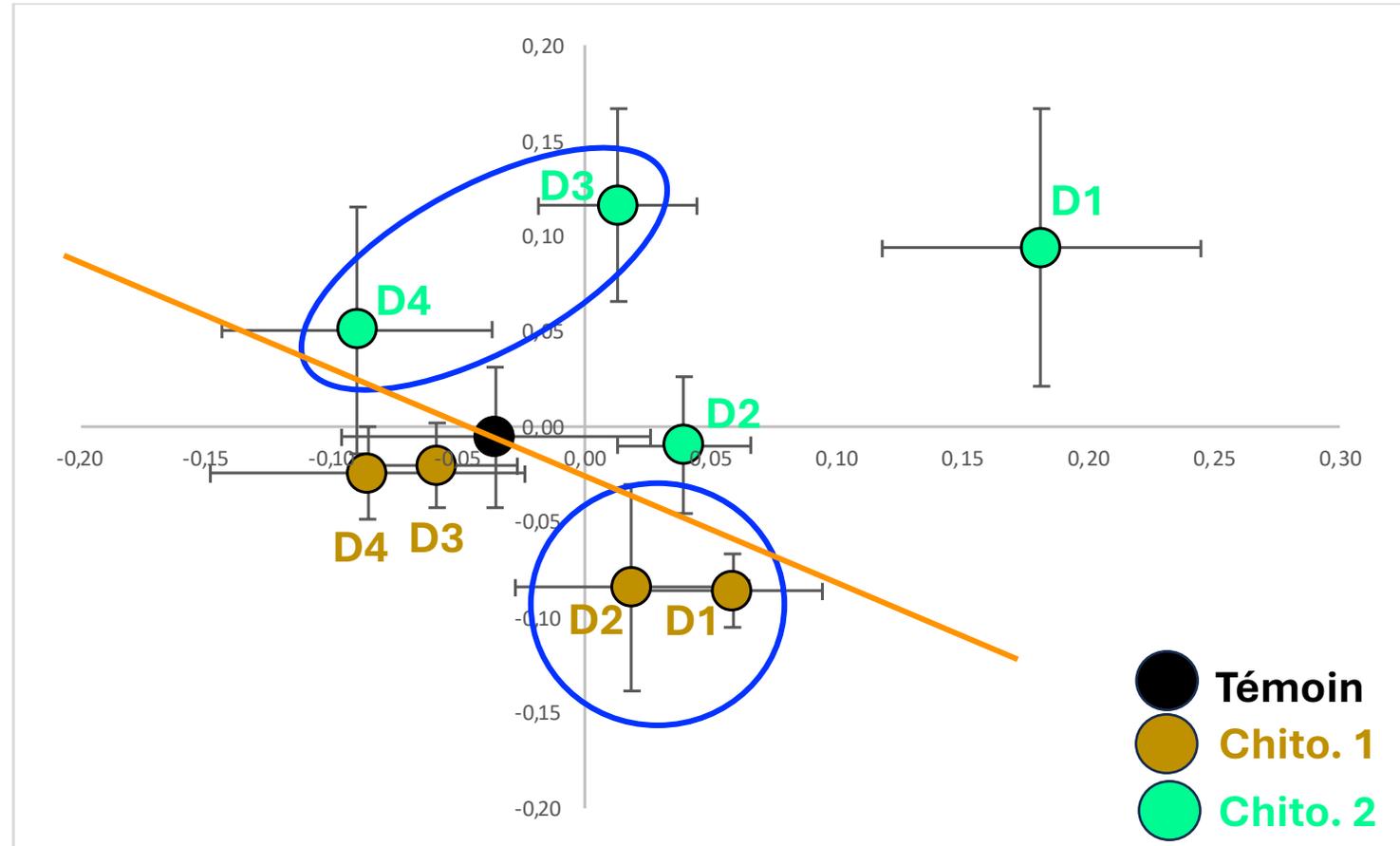
Indices de diversité



les niveaux de diversité
des microbiotes racinaires
n'ont pas été modifiés
par les sprays de chitosans
(sauf chito.2 – D 1 en baisse)

NMDS

(stress value 0,126)



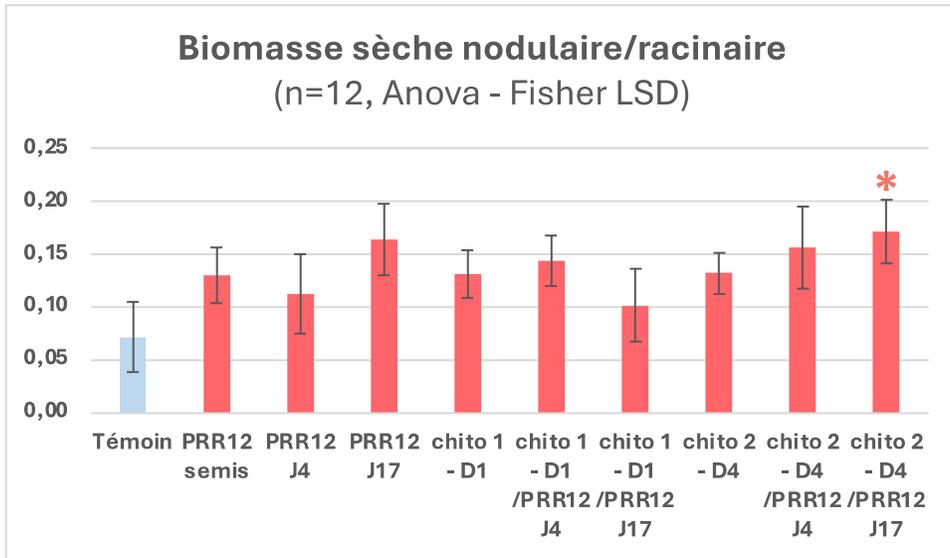
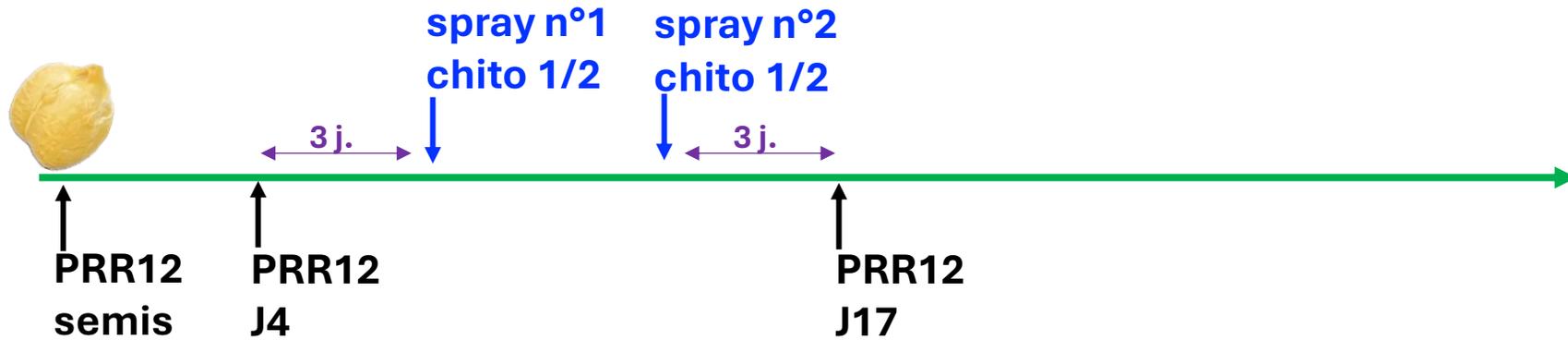
(54 systèmes racinaires)

Crible in planta

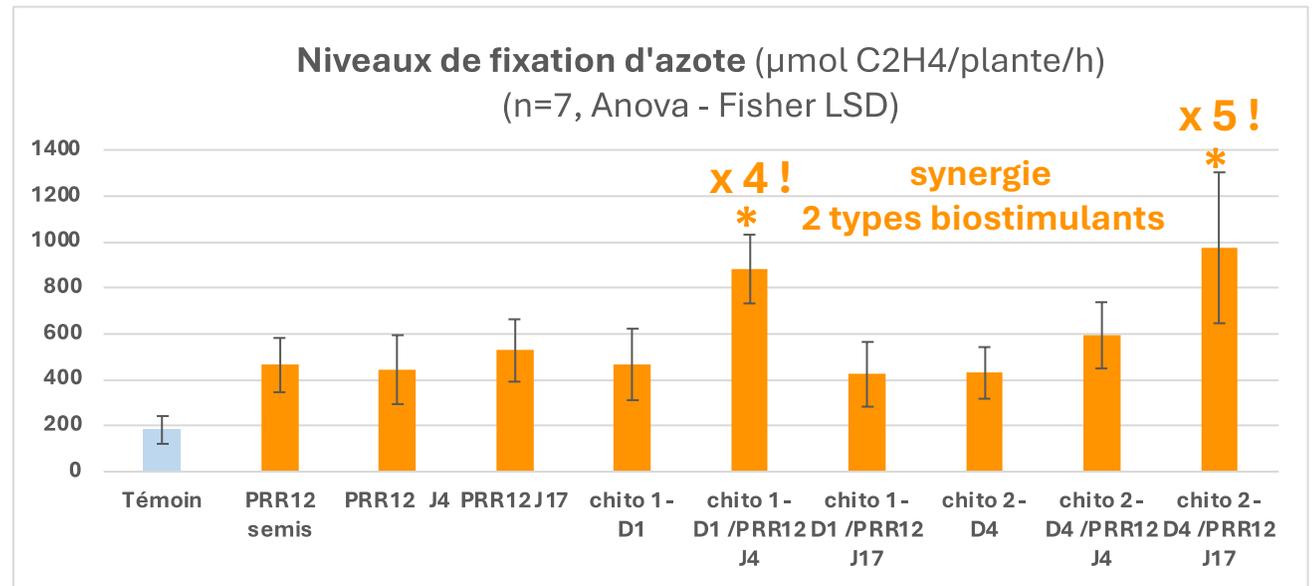
de 2 lots de chitosans

×

1 bioinoculant



➔ intensification de la nodulation



➔ intensification de la fixation

CONCLUSIONS

Des **biostimulants** moléculaires et bactériens peuvent :

- éventuellement **modifier la diversité du microbiote racinaire** du pois chiche (ici sans modifier les niveaux de diversité générale)
- en stimulant de la **symbiose rhizobienne** (nodulation, niveaux de fixation)
- synergies possible entre types de biostimulant

MAIS

- potentiel de biostimulation modulé par le type de sol, les fines différences génétiques entre cultivars, ou encore la saison (lumière, température)

stratégie ciblée biostimulants

biomolécules



bioinoculants

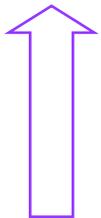
(souches ind. / consortium)

microbiote « central »

biotechnologies des semences

- encapsulation, adjuvants...
- inoculation inflorescences immatures (vectorisation interne)

souches GM



biologie de synthèse

synthèse et association « artificielle » de gènes bactériens identifiés statistiquement
 (GWAS : génomes bactériens complets vs. effets inoculation) comme associés à la promotion de croissance végétale puis insertion dans une souche « châssis »
 ex. fixation « associative » d'azote

ingénierie du microbiote racinaire



microbiote davantage phytostimulateur

exportations minérales ++

fertilisation à adapter...

état phytosanitaire...

stratégies holistiques

ex. **co-culture** céréale/légumineuse (stimulation symbioses racinaires)
 ex. sols « résistants »/fatigue des sols

ex. **création variétale** (néodomestication, introgression gènes « ancestraux »)

ex. coordination des **méta-Omics**

ex. **sélection artificielle**

**quels mécanismes ?
quels acteurs ?**

**« mémoire du sol »
rémanence/additif /spécificité d'hôte**

impact écologique



MERCI POUR VOTRE ÉCOUTE