



Bastien Cochard
François Lefort

Les biostimulants en agriculture

Journées ACL, 9-10 février 2022, Lullier



Les biostimulants: définitions

Définition générale selon le Conseil Européen de l'industrie des biostimulants

*Les produits «biostimulants» sont une classe de substances biologiques, **micro-organismes** et composés minéraux qui peuvent être appliqués directement sur les plantes, les semences ou le sol pour améliorer la vigueur des plantes, augmenter le rendement des cultures et réduire le stress des plantes.*

Actions principales

- Stimulation des défenses des plantes.
- Amélioration l'absorption d'éléments minéraux (P, K, Fe...) / Optimisation de la fertilisation.
- Régulation physiologique de la plante (stress biotiques et abiotiques).
- Réduction de la pression des pathogènes et des ravageurs.
- Amélioration de l'état sanitaire des sols (contrôle de microorganismes pathogènes par antibiose, HCN).

Les biostimulants: une histoire récente

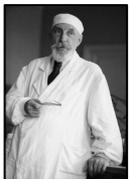
Concept de «biogenic stimulant»

- Filatov, V. P. (1944). Tissue therapy in ophthalmology. Am. Rev. Sov. Med. 2, 53–66.

Concept de biostimulation des végétaux

- Blagoveshchensky, A. V. (1955). Biogenic stimulants in agriculture. Priroda 7, 43–47.

Filatov V.
(1944)



A. V.
Blagoveshchensky
(1955)



1^{er} scientifique à exprimer le terme PGPR (Rhizobactérie promotrice de la croissance des plantes)

1^{ère} étude occidentale sur l'effet de biostimulants organiques développés sous forme d'un produit commercial ROOTS™

Première revue scientifique sur les biostimulants agricoles et proposition d'une approche scientifique

Première classification des biostimulants pour l'élaboration d'une législation européenne

J. W.
Kloepper
(1978)



G. P.
Berlyn
(1991)



J. J. Hervé
(1994)



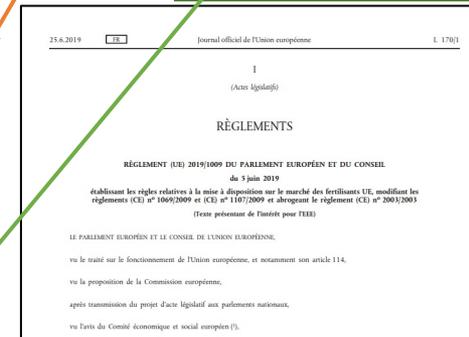
2011



Patrick
Du Jardin
(2015)



Nouveau règlement européen sur les biostimulants
Régulation (EU) 2019/1009



1940-1970

Recherches cantonnées à l'URSS
Concepts repris en Chine et en Inde

À partir des années 2000

Floraison de recherches & technologies liées aux biostimulants



Les différents types de biostimulants

- Selon Du Jardin (2015), les biostimulants peuvent être subdivisés selon leur nature chimique plus ou moins complexe et ou biologique.
 - Acides humiques et fulviques.
 - Hydrolysats de protéines et autres composés contenant de l'azote.
 - Extraits d'algues marines et de plantes.
 - Chitosan et bio-polymères.
 - Composés inorganiques.
 - **Bactéries bénéfiques.**
 - **Champignons bénéfiques.**
- Tore et al., (2016), proposent une classification proche de Du Jardin plus simplifiée mais basée sur les mêmes approches.
 - Hydrolysats de protéines et acides aminés.
 - Substances humiques.
 - Extraits d'algues marines.
 - Sels inorganiques.
 - **Microorganismes.**

Publication:

- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 196, 3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

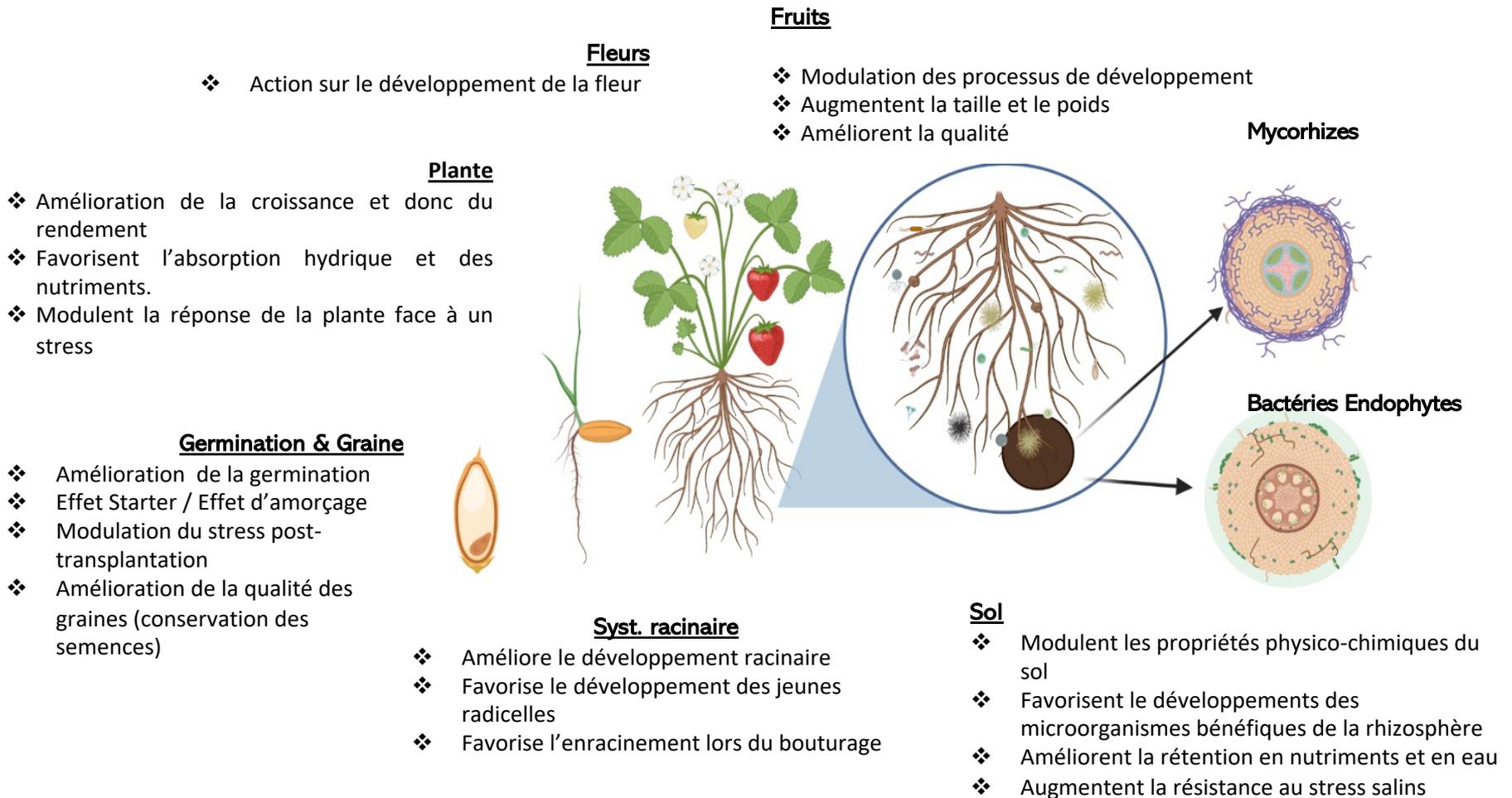
Publication:

- Torre, L. A., Battaglia, V., and Caradonia, F. (2016). An overview of the current plant biostimulant legislations in different European Member States. *J.Sci.Food Agric.* 96, 727–734. doi: 10.1002/jsfa.7358



Effets des biostimulants

Si les modes d'actions sont encore mal compris ou inconnus, les mécanismes d'action et les réponses physiologiques sont quand à eux identifiés au niveau cellulaire et physiologique chez les plantes.





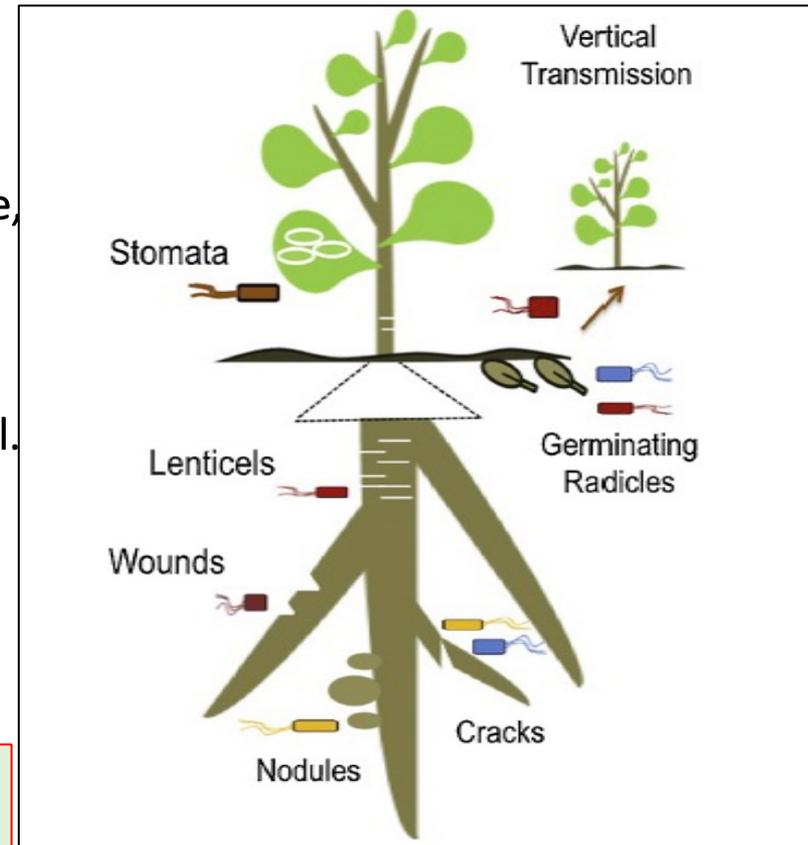
Les biostimulants microbiens

Les microorganismes peuvent vivre dans diverses niches autour, sur ou dans les plantes.

Selon les niches écologiques, les microorganismes peuvent être:

- Bactéries / Champignons épiphytes : Surfaces externes aériennes de la plante (tige, feuille, racine, fruit, fleur, etc.)
- Bactéries / Champignons rhizosphériques: Sur les racines et dans la partie rhizosphérique du sol.
- Bactéries / Champignons endophytes: Dans les tissus internes de la plante (tige, feuille, racine, fruit, fleur, etc.)

Les bactéries et champignons ENDOPHYTES sont les candidats les plus prometteurs parmi les microorganismes biostimulants



Source : Santoyo, Gustavo, Gabriel Moreno-Hagelsieb, Ma del Carmen Orozco-Osqueda, and Bernard R. Glick. "Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes." *Microbiological Research* 183 (February 2016): 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>.



Mécanismes d'action des biostimulants microbiens

Une large gamme de mécanisme favorisant la croissance des plantes et la résistance aux agents pathogènes a été clairement identifiée.

Mécanismes de promotion directs

- Fixation de l'azote (N).
- Solubilisation d'éléments minéraux (K, P, Zn, etc.)
- Production de sidérophores (Fe).
- Hormones agissant sur le développement.

Mécanismes de promotion indirects

- Production de composés antifongiques et /ou antibactériens (antibiotiques).
- Production de cyanure d'hydrogène.
- Production d'enzymes lytiques (chitinases, glucanases).
- Induction de résistance systémique.

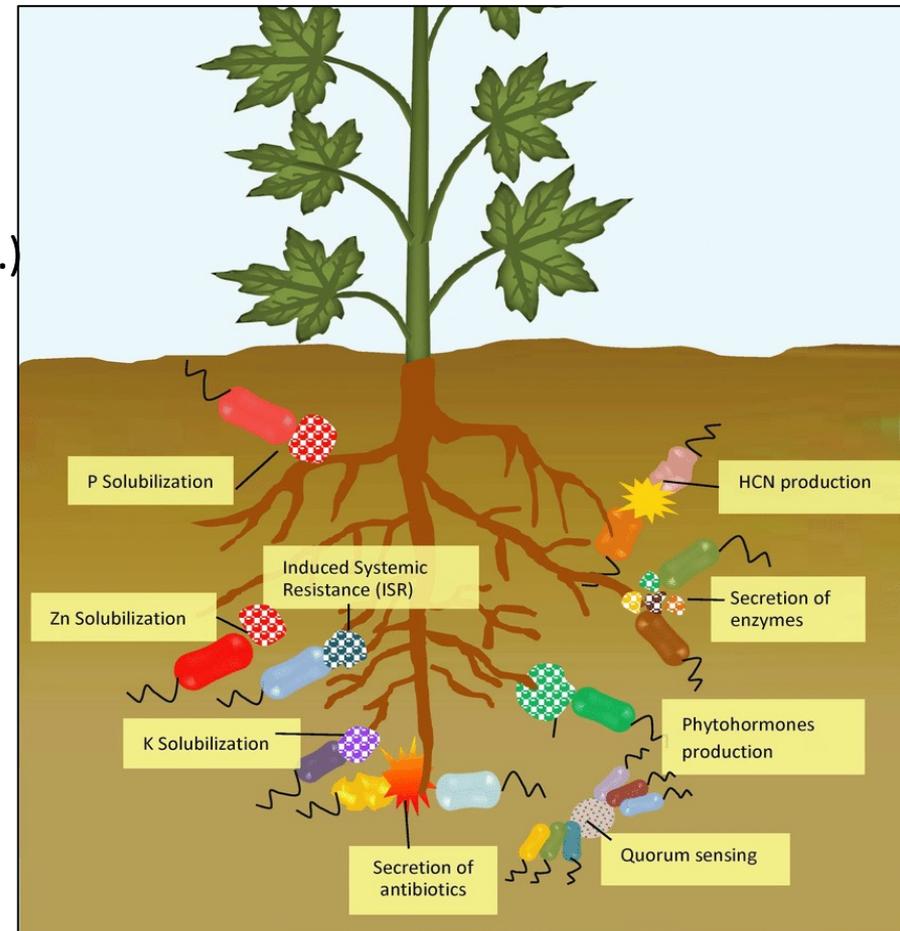


Figure 1. Plant-growth-promotion mechanism by PGPR



Evaluation de biostimulants commerciaux

Evaluation de biostimulants commerciaux en culture de tomates en sol

Stefano PEDRAZZI, Youness RECHKA, Pegah PELLETERET, Romain CHABLAIS, Julien CROVADORE et François LEFORT, Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture (hepia), HES-SO//Genève, 1254 Jussy, Suisse
Renseignements: François Lefort, e-mail: francois.lefort@hesge.ch, tél. +41 22 546 68 27, www.hepia-hesge.ch



Récolte des tomates de l'essai biostimulants (photo hepia).

Introduction

L'utilisation intensive de produits chimiques en agriculture entraîne l'appauvrissement biologique des sols, la pollution des nappes phréatiques et le développement de résistances chez les pathogènes et ravageurs des plantes. Pour s'orienter vers un mode de production plus durable, deux catégories de micro-organismes suscitent de l'intérêt: ceux qui ont un effet direct sur la

croissance de la plante, principalement des bactéries identifiées comme *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) et des champignons, et les agents de biocontrôle, des bactéries et champignons antagonistes de pathogènes. L'intégration de ces micro-organismes dans l'agriculture permet de réduire les coûts de production, de gagner en précocité et d'augmenter la part de légumes commercialisables (Gravel et al. 2007). Cette étude s'inscrit dans l'évaluation de biostimulants pour

- Essai de plusieurs microorganismes commerciaux
- Seuls ou en combinaison
- *Pseudomonas fluorescens* et *Pseudomonas putida* (Biovitis)
- *Trichoderma harzianum* (Biovitis)
- *Glomus intraradices* (Lallemand PC)
- Culture de tomate variété Coralina F1
- Mesure de leurs effets sur la croissance
 - Diamètre des tiges
 - Hauteur des plantes
 - Floraison
 - Nouaison
 - Rendement et l'état de santé des plantes.



Evaluation de biostimulants commerciaux

En conditions de cultures commerciales: culture raisonnée en pleine terre sous tunnel plastique: Serres Chapuis, Veigy-Foncenex FR





Evaluation de biostimulants commerciaux

Produit	Producteur	Microorganisme
Myc800	Lallemand, Fr	<i>G. intraradices</i> (800 spores/g)
<i>Pseudomonas</i>	Biovitis, Fr	<i>P. fluorescens</i> (10^7 UFC/g), <i>P. putida</i> (10^7 UFC/g)
<i>Trichoderma</i>	Biovitis, Fr	<i>T. harzianum</i> ($5 \cdot 10^5$ UFC/g)
<i>Trich. + Pseud.</i>	Biovitis, Fr	<i>P. fluorescens</i> ($5 \cdot 10^5$), <i>P. putida</i> ($5 \cdot 10^5$), <i>T. harzianum</i> ($5 \cdot 10^5$)

- **Huit traitements testés :**

- **1) Témoin**
- **2) *Pseudomonas* sp. (P)**
- **3) *Trichoderma* sp. (T)**
- **4) *Glomus intraradices* (G)**
- **5) *Pseudomonas* + *Trichoderma***
- **6) *Pseudomonas* + *Glomus***
- **7) *Trichoderma* + *Glomus***
- **8) *Pseudomonas* + *Trichoderma* + *Glomus***
- **2 inoculations : plantation et mi-juillet**

- :



Evaluation de biostimulants commerciaux

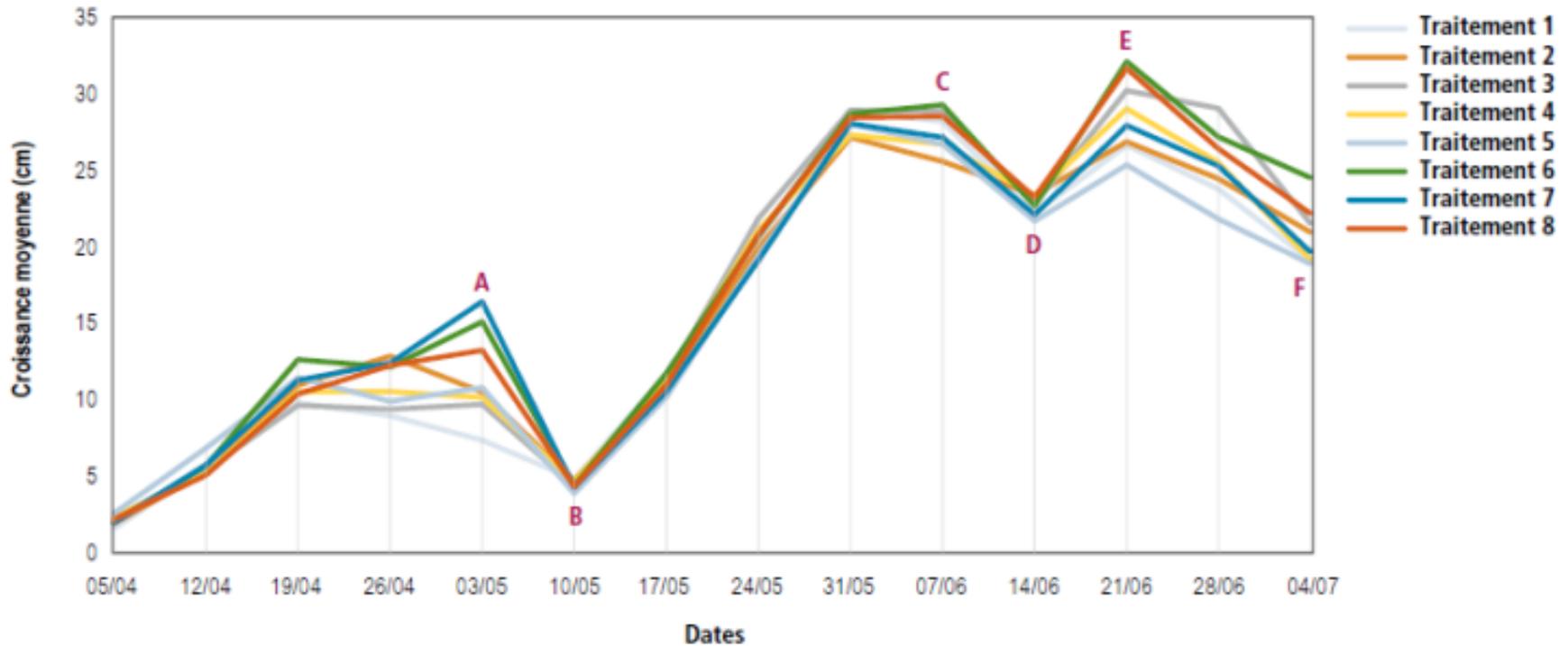


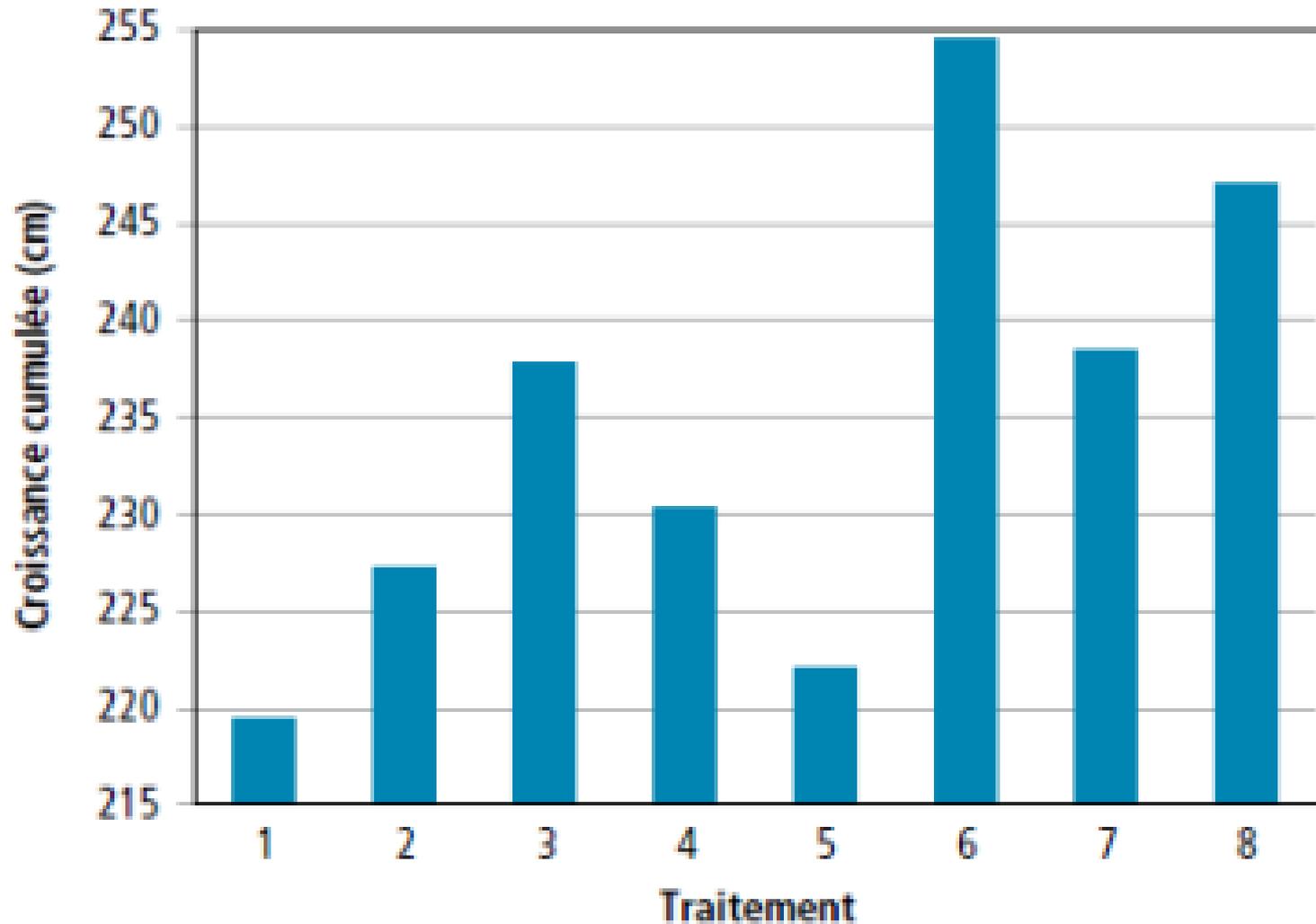
Figure 1 | Croissance moyenne hebdomadaire par traitement. A: repiquage; A-B: faible croissance liée à l'adaptation au climat de la serre froide; C-D: faible croissance liée à une chute de température; E-F: faible croissance liée à une température très élevée.

Augmentation de la taille avec presque tous les traitements
Croissances cumulées supérieures pour «T», «P+G», «T+G» et «P+T+G».

Floraison après 1 mois de culture pour «P+T+G».



Evaluation de biostimulants commerciaux





Evaluation de biostimulants commerciaux

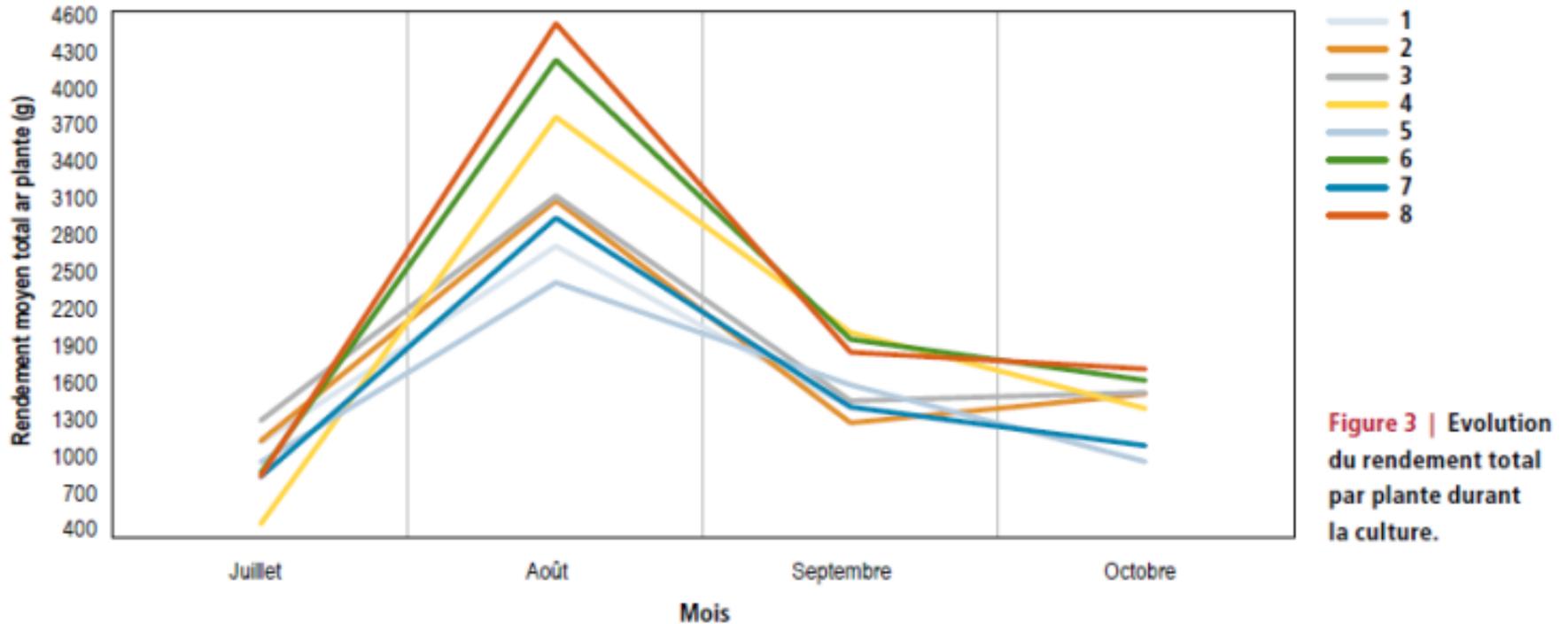


Tableau 3 | Rendement moyen total par plante et pourcentage de fruits non commercialisables



Evaluation de biostimulants commerciaux

Tableau 3 | Rendement moyen total par plante et pourcentage de fruits non commercialisables

Traitement	1	2	3	4	5	6	7	8
Poids total par plante (g)	6587 A	7020 A	7670 A	7783 A	6168 A	8675 A	6564 A	9202 B
Non commercialisable %	4,7 A	1,8 A	4,2 A	4,7 A	5,9 A	3,3 A	2,6 A	4,7 A

Les valeurs munies de lettres différentes se distinguent significativement au seuil de 5 %.

Tableau 4 | Nombre de fruits et poids des fruits pour les huit traitements

Traitement	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre moyen/plante	33	34	34	35	30	38	35	37
Poids moyen (g)	199	210	224	220	204	227	187	249

Augmentation du rendement total de 40% pour «P+T+G».

Plus de fruits et des fruits plus gros

Pas de différences du % de fruits non commercialisables.



Evaluation de biostimulants commerciaux

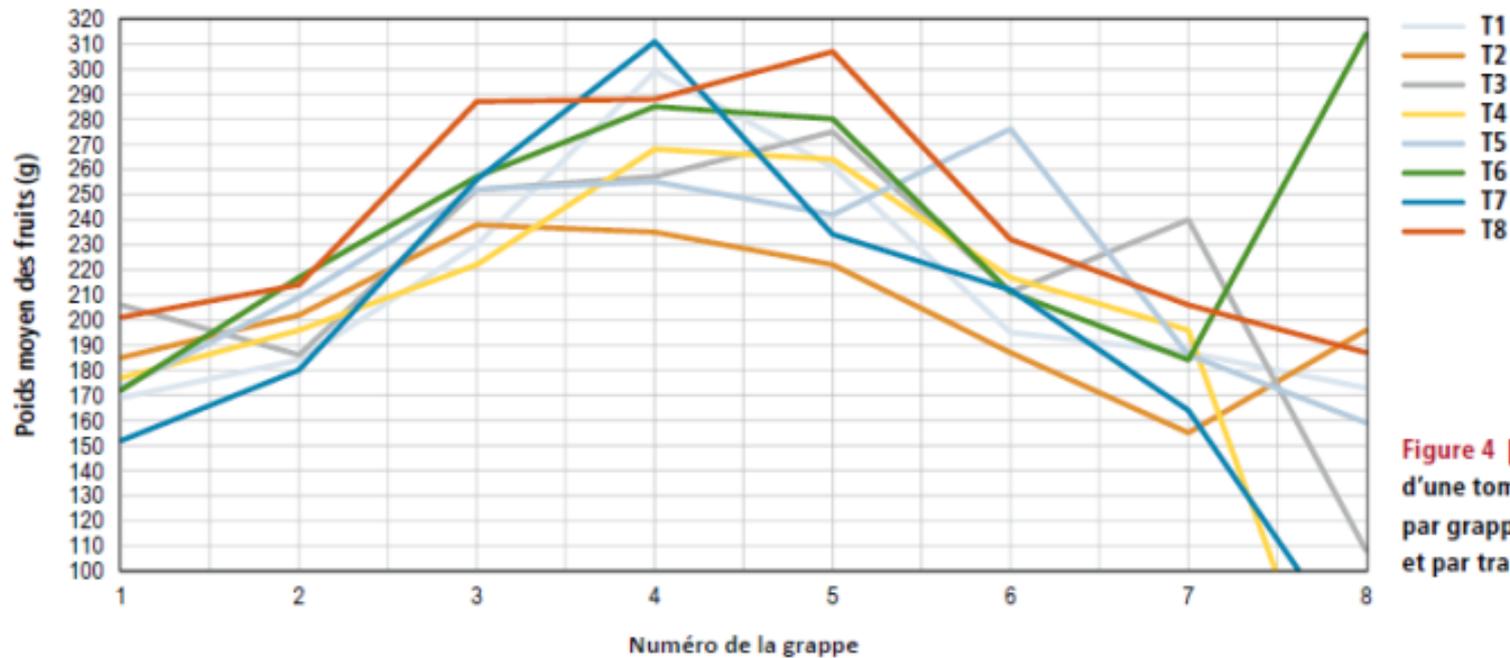
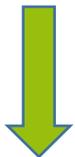


Figure 4 | Poids moyen d'une tomate par grappe et par traitement.

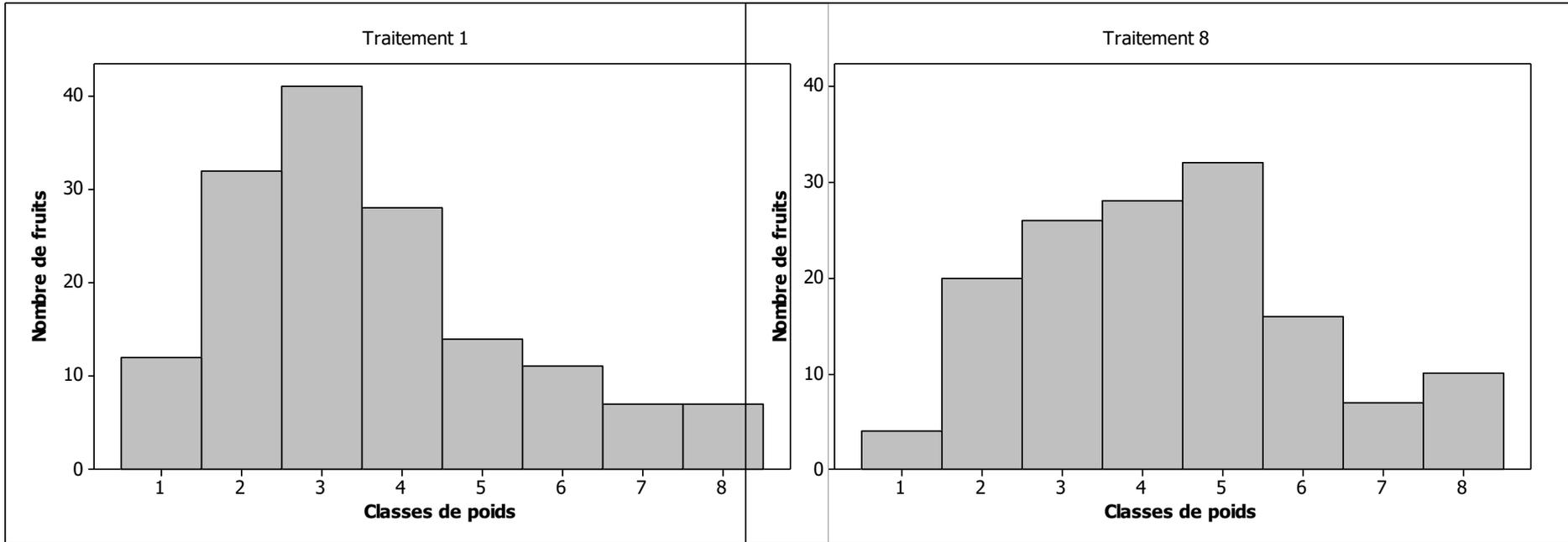
Tableau 5 | Poids moyen par grappe, nombre de fruits et poids moyen par fruit

Traitement	1	2	3	4	5	6	7	8
Poids moyen/grappe (g)	873	877	987	949	825	1073	890	1112
Nombre moyen/grappe	4,2	4,3	4,4	4,4	3,8	4,7	4,3	4,5
Poids moyen/fruit (g)	210	205	226	217	218	228	208	245





Evaluation de biostimulants commerciaux



Les classes de tomate : 1 : 0-100 g, 2 : 100-150 g, 2 : 150-200 g, 3 : 200-250 g, 4 : 250-300 g, 5 : 300-350 g, 350-400 g, 6 : 400-450 g, 7 : 450-500 g, 8 : >500 g

Des fruits plus gros



A la recherche de biostimulants endophytes

- Bioprospection de microorganismes biostimulants endophytes
- Isolement de bactéries endophytes du microbiote de racines de tomates
- Caractérisation pour la solubilisation du phosphate et production d'auxine
- Applications sur jeunes plants de tomates
- Bactéries endophytes isolées de trois cultures de tomates
 - Serre verre hors sol (Les Serres des Marais, Veyrier GE)
 - Culture biologique pleine terre sous tunnel (Serres Pecorini et Pellet, Troinex GE)
 - Culture raisonnée pleine terre sous tunnel (Serres Chapuis, Veigy-Foncenex FR)



Bactéries endophytes de racine de tomate

- 33 souches isolées et identifiées génétiquement
 - 13 souches appartenant à des genres potentiellement biostimulants
- Critères de sélection
- Effet biostimulant connu sur tomate
 - Effet biostimulant connu sur d'autres plantes
 - Connues pour fournir résistance à la sécheresse et au stress salin

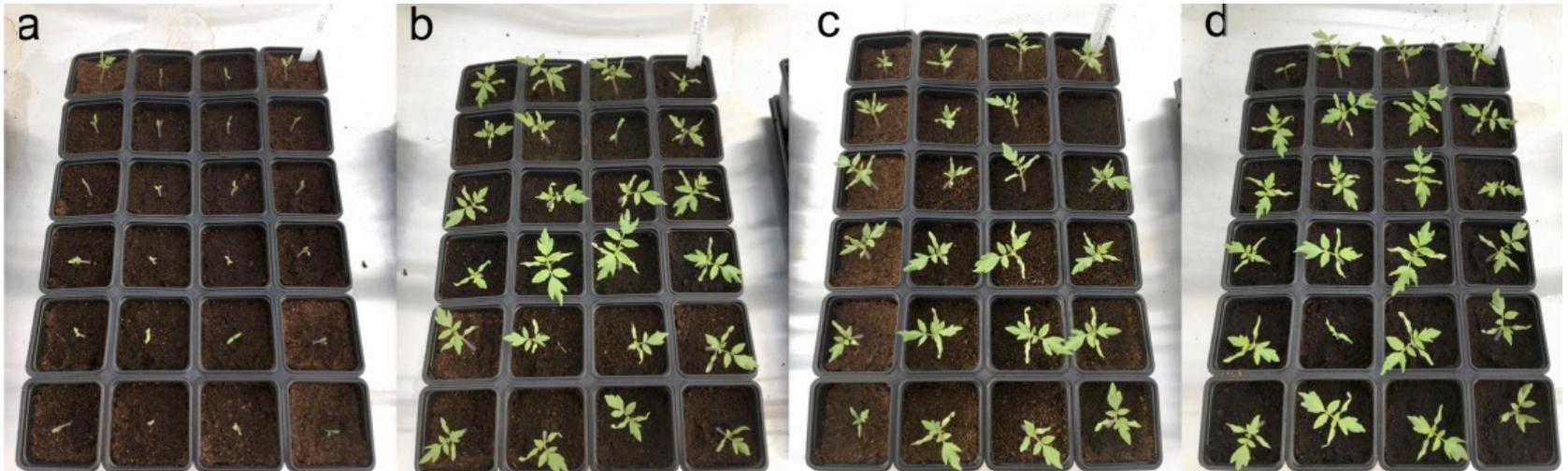
- *Pseudomonas fluorescens* B3
- *Pseudomonas moraviensis* B6
- *Pseudomonas koreensis* B7
- *Rhodococcus degradans* B9
- *Pseudomonas palleroniana* B10
- *Pseudomonas fluorescens* B17
- *Bacillus subtilis* B18
- *Bacillus simplex* B19
- *Microbacterium phyllosphaerae* B20
- *Bacillus safensis* B23
- *Bacillus subtilis* B25
- *Bacillus aryabhattai* B29
- *Bacillus simplex* B33





Inoculation sur semis de tomates

- Variété Montfavet H63-5 F1
(Clause
- 720 plantes
- Substrat stérilisé
- 48 plantes par modalités
- 21 jours de culture



5 jours



Inoculation sur semis de tomates



a

TREATMENT
Pseudomonas palleroniana B10

TEMOIN

21 jours



Inoculation sur semis de tomates



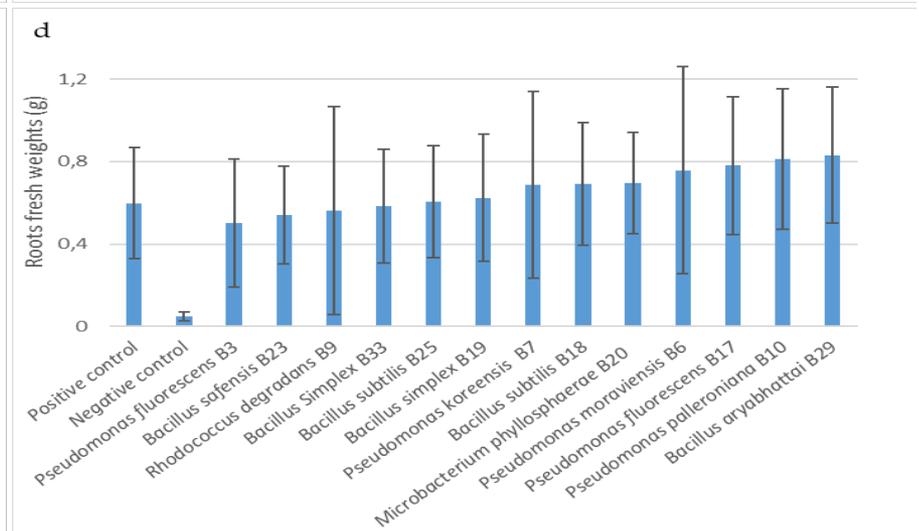
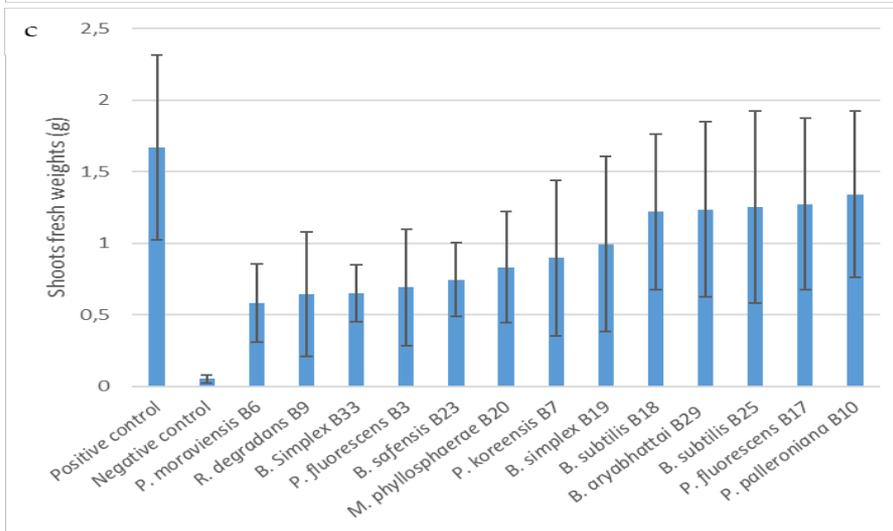
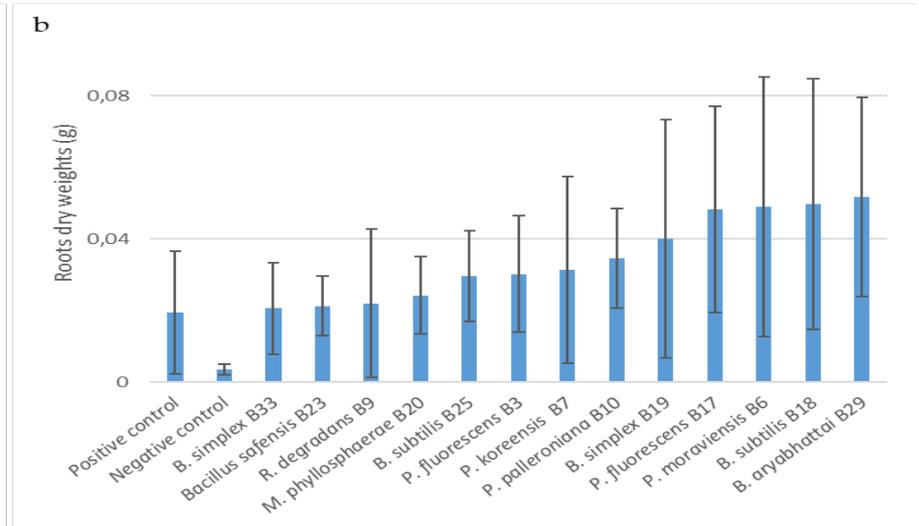
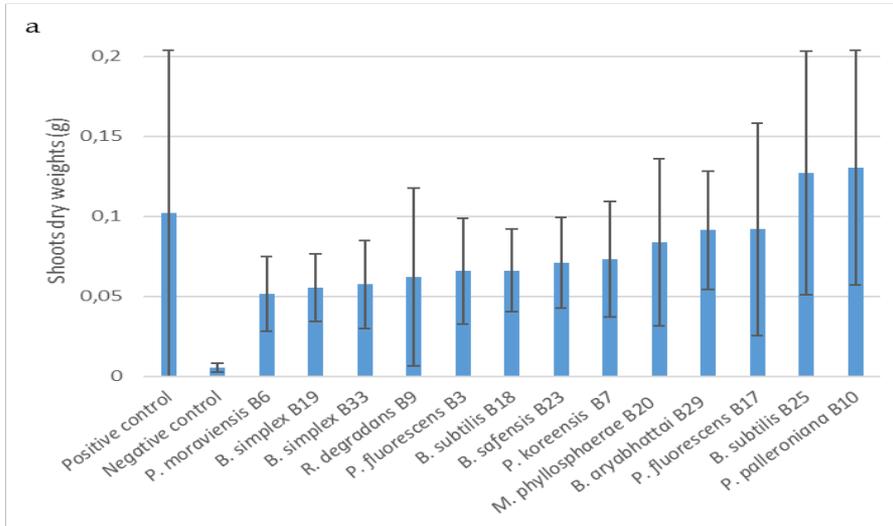
TREATMENT
Pseudomonas palleroniana B10

TEMOIN

21 jours



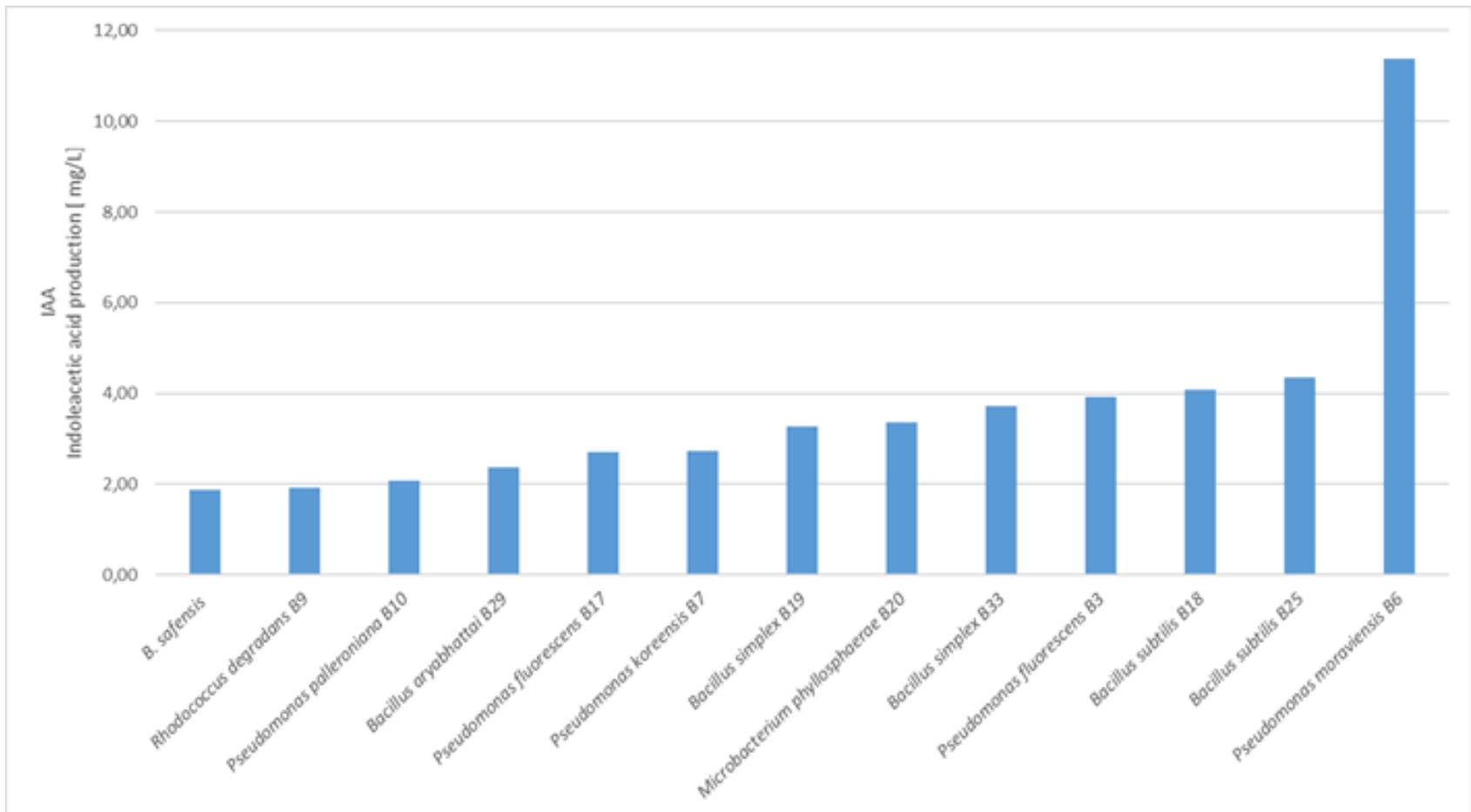
Poids frais et poids secs/ feuilles et racines





Production de l'hormone de croissance auxine (AIA)

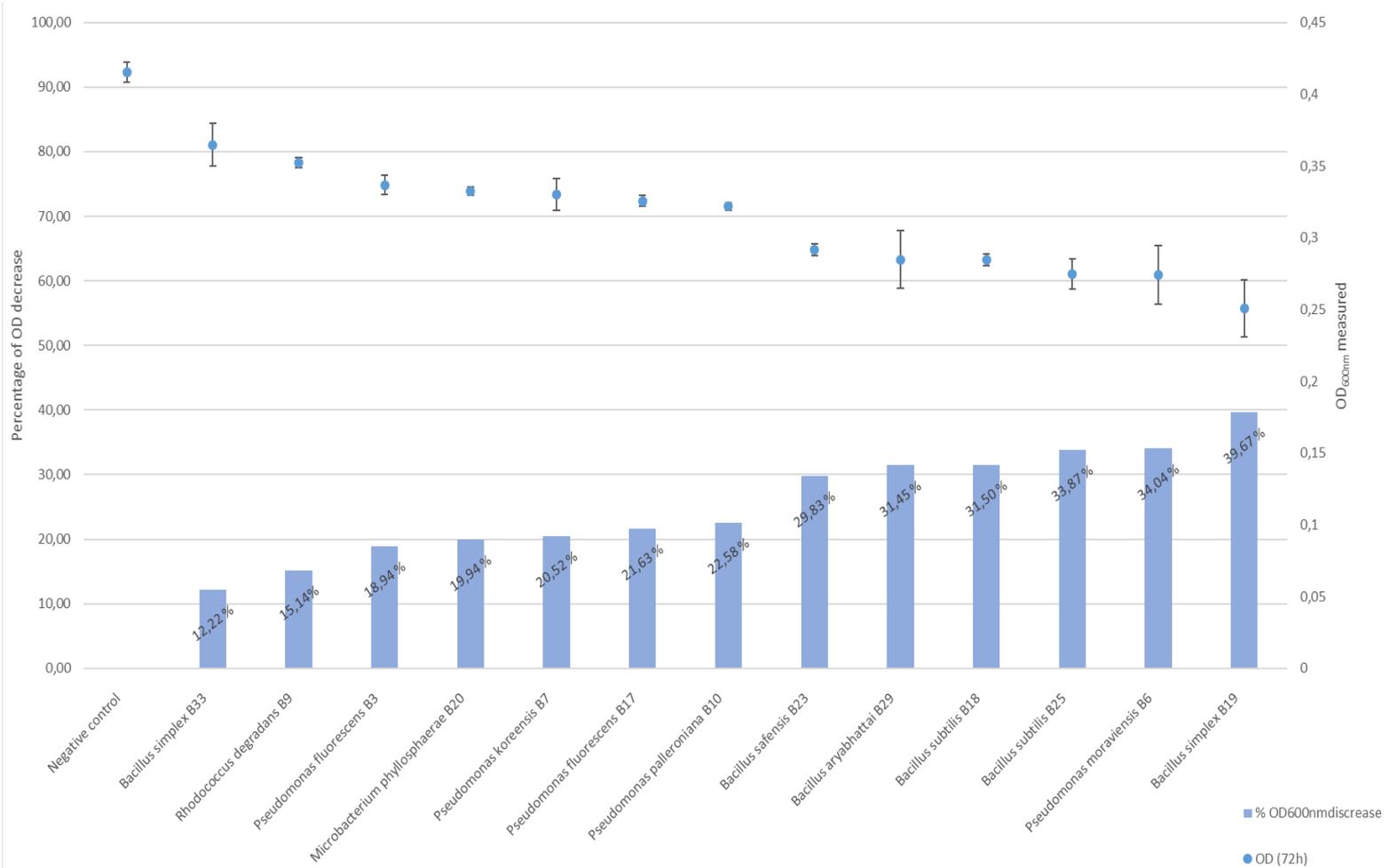
AIA production (mg/L)





Capacité à solubiliser le phosphate

P solubilisation (%)





Essais sur châtaignier en pépinière

- Essais de *Trichoderma hamatum* UASWS1405 et *Pseudomonas putida* UASW1312
- sur châtaigniers à la pépinière cantonale du Tessin
- Environ 1000 arbres de 2 ans

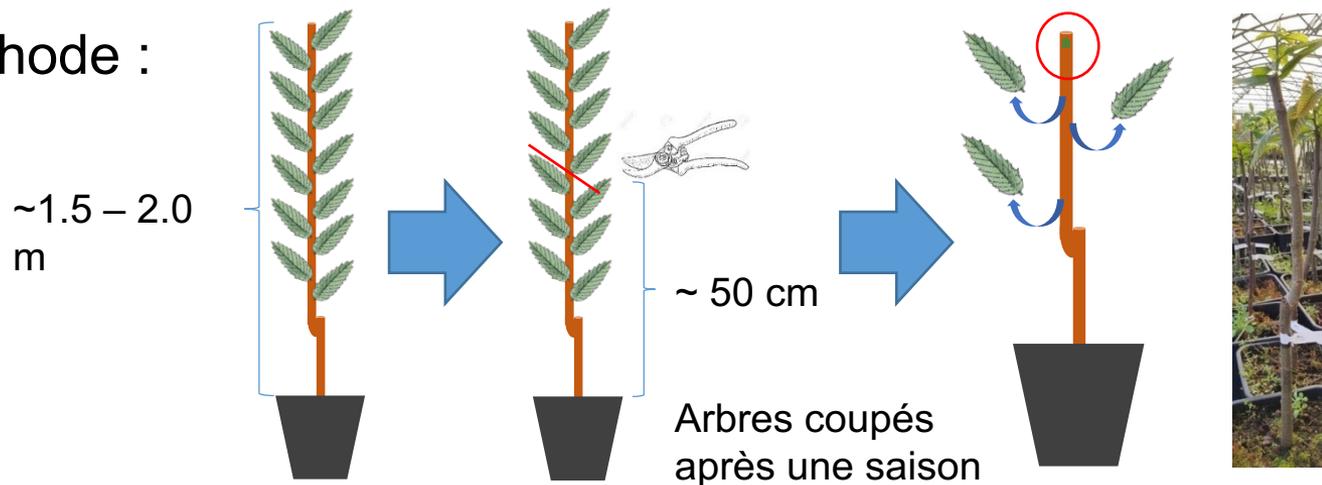
- Questions:
 - Ces organismes ont-ils un effet biostimulant?
 - Autres questions traitées
 - Effet sur le succès du greffage
 - Effet sur le taux de survie face aux chancres?



Essais sur châtaignier en pépinière

- Essais de biostimulants
- 200 arbres de 2 ans (porte-greffe et greffe)

- Méthode :

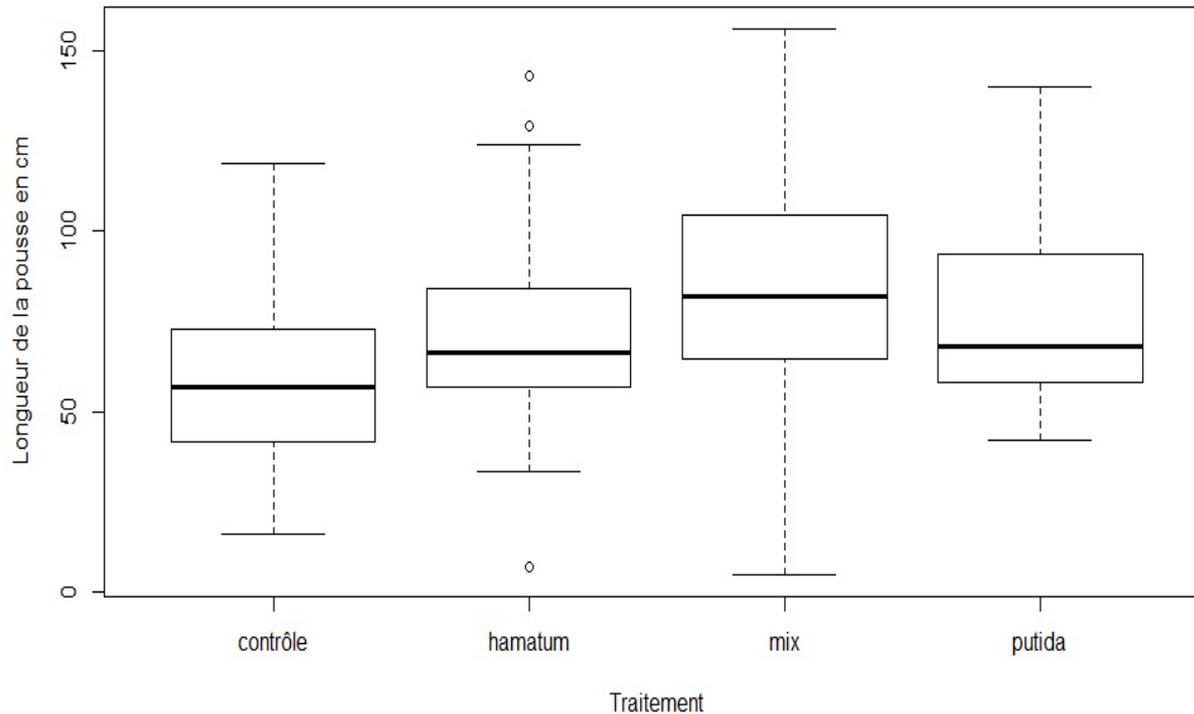


- Mesures : croissances de tige et diamètre (cm)



Essais sur châtaignier en pépinière

- Résultats significatifs en un an: *Trichoderma hamatum*/témoin ; mix/témoin ; *Pseudomonas putida*/témoin





Essais sur pomme de terre

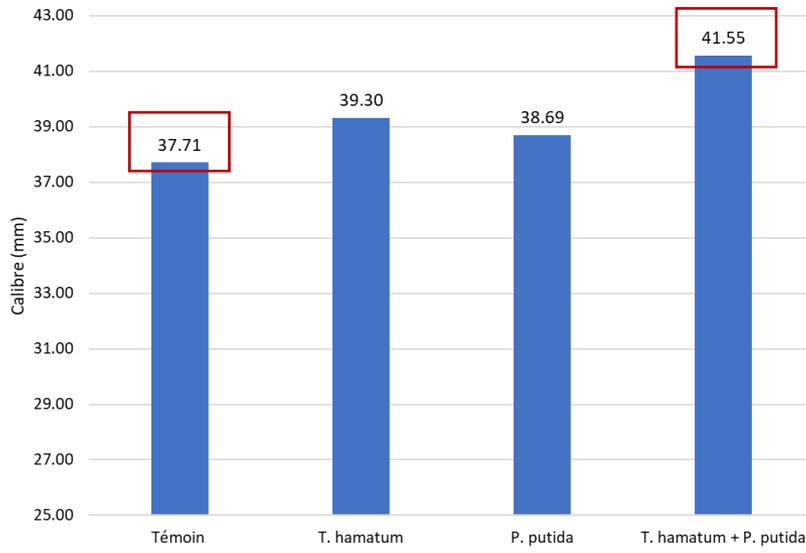
- Tester l'efficacité de deux souches ayant un potentiel effet biostimulant sur les végétaux
 - *Trichoderma hamatum* UASWS1405 et *Pseudomonas putida* UASW1312
- Culture de pomme de terre en air pot
- Cultivar Primlady®
- 80 jours (5 avril au 13 juin)
- 4 modalités, 10 pots par modalité
 - *T. hamatum*, *P. putida*, mélange des deux souches, témoin
- Variables mesurées
 - Masse fraîche aérienne
 - Nombre de tubercules par plant
 - Calibre des pommes de terre
 - Rendement





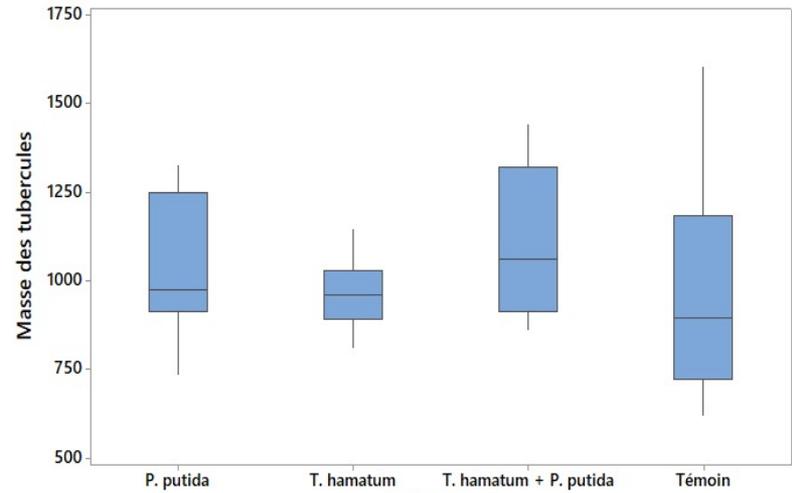
Essais sur pomme de terre

Calibre des pommes de terre



	Témoïn	<i>T. hamatum</i>	<i>P. putida</i>	<i>T. hamatum + P. putida</i>
Calibre moyen des pommes de terre (mm)	37.71	39.30	38.69	41.55

Rendement



	Témoïn	<i>T. hamatum</i>	<i>P. putida</i>	<i>T. hamatum + P. putida</i>
Masse moyenne des tubercules par plant (g)	979.0	963.9	1044.0	1094.6

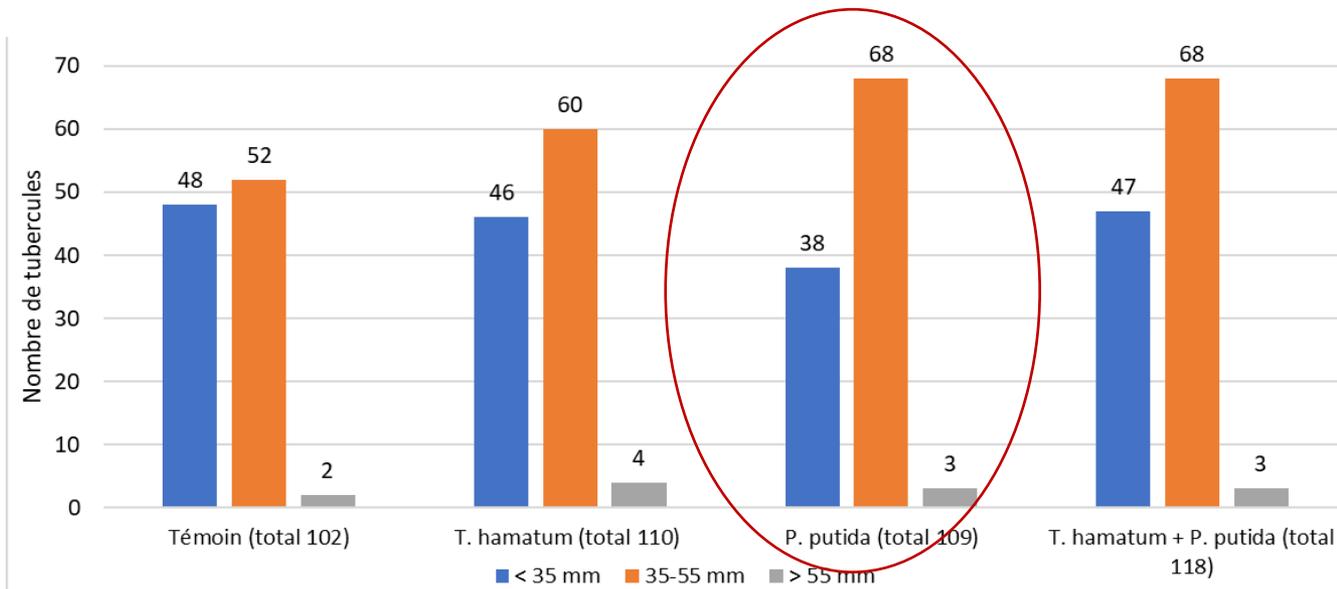
→ 10.18 % de différence entre témoin et *T. hamatum + P. putida*





Essais sur pomme de terre

- Tendances intéressantes
 - Criblage du calibre



Témoin: 51 % compris entre 35-55 mm

T. hamatum: 54% compris entre 35-55 mm

P. putida: 62% compris entre 35-55 mm

Différence ~10% comparé au témoin

Mix: 57% compris entre 35-55 mm



Essais sur pomme de terre

- Tendances intéressantes
 - Rendement

	Témoin	<i>T. hamatum</i>	<i>P. putida</i>	<i>T. hamatum + P. putida</i>
Masse moyenne des tubercules par plant (g)	979.0	963.9	1044.0	1094.6

à l'hectare

Traitements	Témoin	<i>T. hamatum</i>	<i>P. putida</i>	<i>T. hamatum + P. putida</i>
Rendement moyen à l'hectare (T/ha)	68.53	67.47	73.12	76.58

Différence d'environ 8 T/ha entre le témoin et *T. hamatum + P. putida*



Essais *in planta* sur *Quercus petraea*



Objectif

Étudier l'effet s de trois biostimulants commercialisés en Suisse sur la croissance de 40 chênes *Quercus Petraea*, cultivés en pépinière professionnelle

Partenaires impliqués

- Pépinières Genevoises; M. Vincent Compagnon
- Office cantonal de l'agriculture et de la nature; M. Bertrand Favre
- Groupe Plantes & Pathogènes; F. Lefort, L. Arminjon & B. Cochard


PÉPINIÈRES GENEVOISES
Vincent Compagnon



L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

Mise en place de l'essai *in planta*

Mise en place des chênes

- Empotage des arbres en conteneur de 200L. (Déc. 2018)
- Substrat sans fumure de fond, Ricoter N° 218
- Rehaussement des conteneurs sur palette pour isoler les individus
- Irrigation goutte à goutte

Marque	N° Substrat	Composition
Ricoter	218	45 % tourbe blonde 0-30 mm
		25 % tourbe blonde 7-20 mm
		30 % compost d'écorces

Fumure de fond	pH (H ₂ O)	Conductivité (mS/cm)	Poids volumique (Kg/m ³)
Aucune	6,5	0,5	295





Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

Mise en place de l'essai *in planta*

Inoculations des BS à la base des chênes (2x)

- Trois produits commerciaux testés
- Opérations réalisées Avril 2019 & Mars 2021
- Arrosage avec 10 L d'eau pour homogénéiser la répartition des BS au seins du substrat.

Produit commercial	Quantité inoculée par conteneur de 200L	Equivalence en UFC /pot
MYC 800, Andermatt-Biocontrol	100g	8.10^4
GEFA Mykorhize spécial Quercus, Hortima	300 ml	NA
Hélès, Biovitis	100g	1.10^9



Procédé d'inoculation effectué pour chaque modalité de traitement



Hélès, MYC800 et GEFA Mykorhize Ekto aiguilles spécial Quercus préalablement pesés et ensachés unitairement pour chaque traitement.

Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

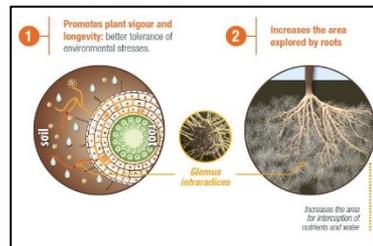
Mise en place de l'essai *in planta*

Produits testés



Produit commercial	Firme de production	Formulation	Microorganisme	Concentration
MYC 800	Andermaat Biocontrol Suisse AG	Poudre	Glomus intraradices	800 UFC/g
GEFA Mykorhize Ekto aiguilles spécial Quercus	Hortima	Compost inoculé	Champignon Mycorrhizien	NA
Hélès	Cercle des Agriculteurs de Genève et environs société coopérative	Poudre	Bacillus methylotrophicus	10 ⁷ UFC/g

Produit commercial	Type de produit (homologation)	Statut	N° OFAG	Validité	FIBL 2021
MYC 800	Engrais	Autorisé	4568	03.01.2023	Oui
GEFA Mykorhize Ekto aiguilles spécial Quercus	-	-	-	-	-
Hélès	Engrais	Autorisé	5699	28.08.2028	OUI



microorganisms

Article
From Strain Characterization to Field Authorization: Highlights on *Bacillus cereus* Strain B25 Beneficial Properties for Plants and Its Activities on Phytopathogenic Fungi

Flora Joly ^{1,2,3}, Alexandre Cahuzac ¹, Aurélie Wangler ¹, Roni Dumas ¹, Mylène Bévain ¹, David Vialou ^{4,5}, Julien Coudane ⁶, Bastien Cochard ⁷, François Lelièvre ^{8,9} and Jean-Yves Berthelin ¹⁰

¹ GemBio, Bpifrance-Citronnades, 13000 Saint-Basile, France; alexandrecahuzac@citronnades.fr; ² INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ³ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁴ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁵ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁶ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁷ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁸ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ⁹ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France; ¹⁰ INRAE, UR1203, 17170 Saint-Jean-Pied-de-Port, France

Abstract: Agriculture is in need of alternative products to conventional phytochemicals and treatments from chemical industry. One solution is the use of natural microorganisms with beneficial properties to reduce crop yields and plant health. In the present study, we focused our analysis on a bacterium related to strain B25 and belonging to the species *Bacillus cereus* (strain B25). It antagonizes other phytopathogenic fungi, promotes plant growth, promotes plant vigor, and is an inhibitor of phytopathogenic fungi. In this study, B25 strain activities were investigated. Its genes were sequenced, with their identity being confirmed with other *Bacillus cereus* strains and responsible for the beneficial activities of mycorrhizal bacteria to be in the field in the context of plant growth-promoting agents. No antibiotic resistance genes were found in the B25 strain. In the field, plants were grown and treated to confirm these B25 and beneficial properties, showing its efficacy against 12 different phytopathogenic fungi through various studies. B25 may also be used as a bio-fertilizer to qualify various microorganisms as alternative products and to replace synthetic fertilizers. The field activities of strain B25 were confirmed (annual 100% yield after 50 °C). All these findings confirmed in the field that B25-associated genes promote the development of the plants and are associated with beneficial properties. We also demonstrated that B25 is a natural product and is not a chemical product. B25 is a natural product and is not a chemical product.

Keywords: *Bacillus cereus*; plant growth-promoting; rhizobacterium; biocontrol agent; mycorrhizal colonization



Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

Mise en place de l'essai *in planta*

Mesure effectuée

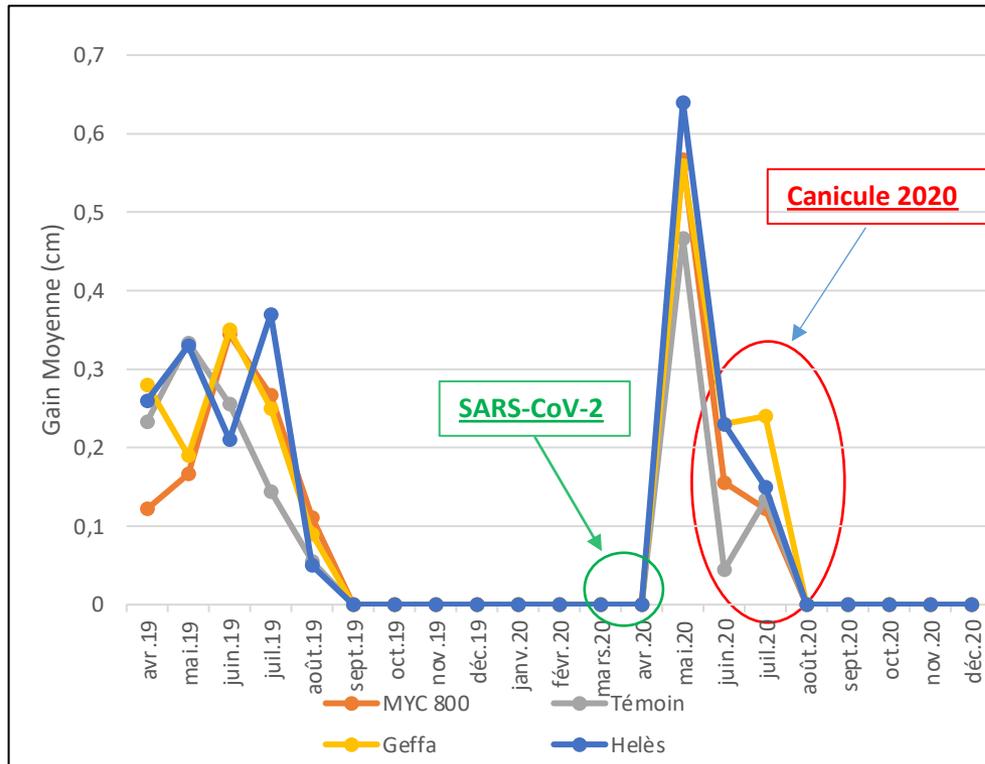
- Circonférence à 1 mètre de hauteur
- Prise de mesure mensuelle sur 23 mois de avril 2019 à mars 2021
- 40 chênes soit un total de 880 mesures (avril 2020, confinement CoVid-19)
- 4 Modalités : Hèlès / MYC 800 / GEFA / Contrôle négatif)



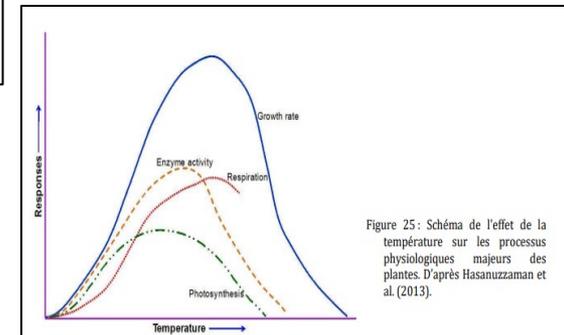
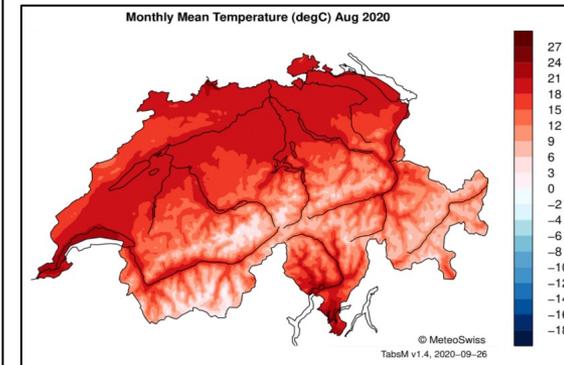
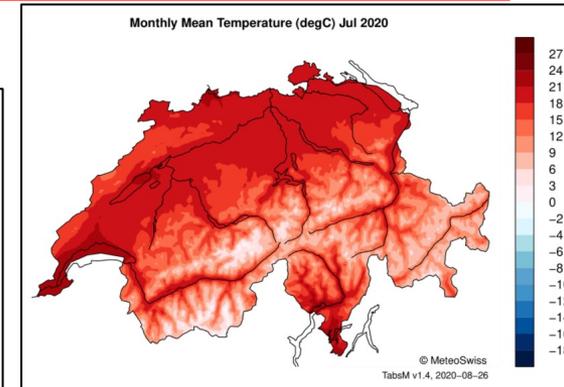


Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

Résultats



- Pas d'effet sur la durée de croissance / repos végétatif
- Stress thermique durant la période Juillet- Août 2020

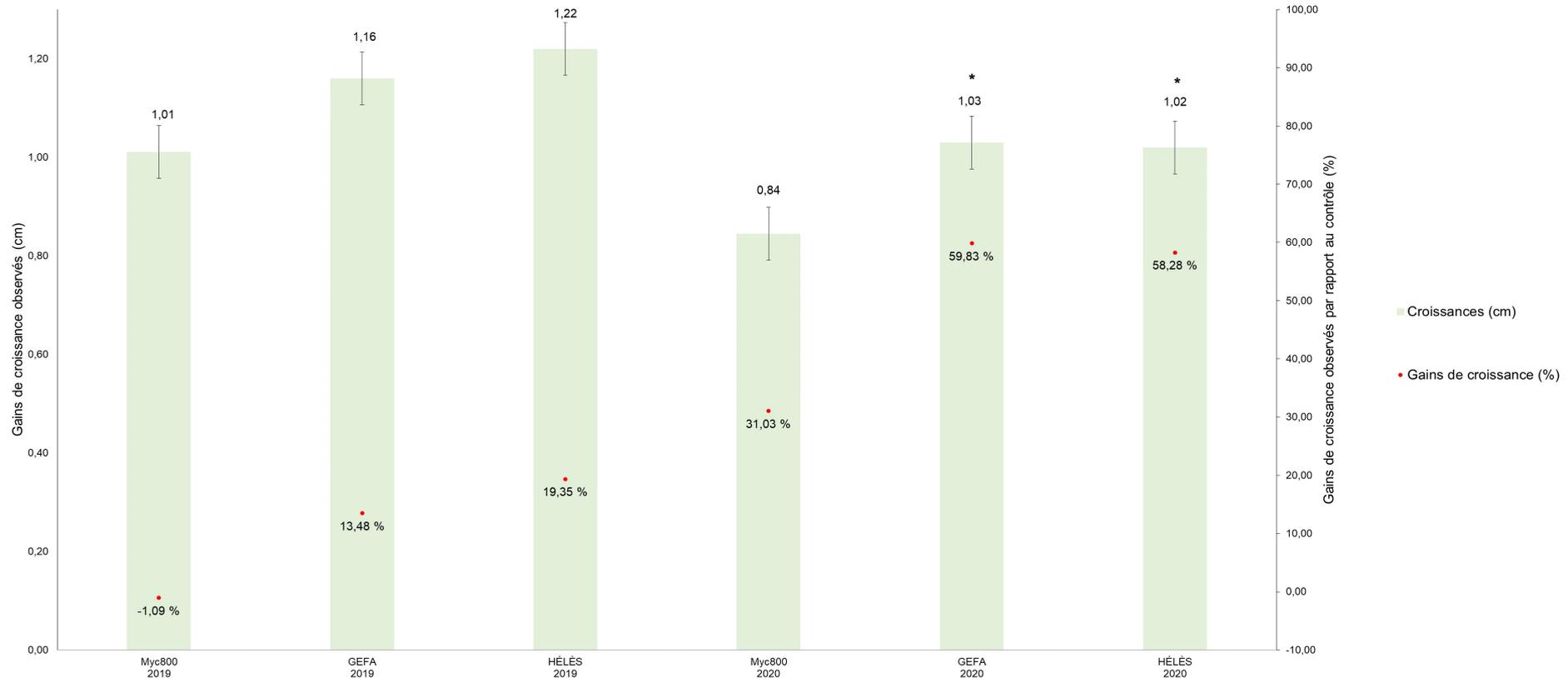




Essais *in planta* sur *Quercus petraea*

Résultats

L'analyse comparative des gains de croissance cumulé sur l'ensemble de l'essai indique un effet bénéfique sur la croissance des troncs pour le traitement HÉLÈS.





Synergie bactéries biostimulantes/ bactéries fixatrices d'azote



microorganisms



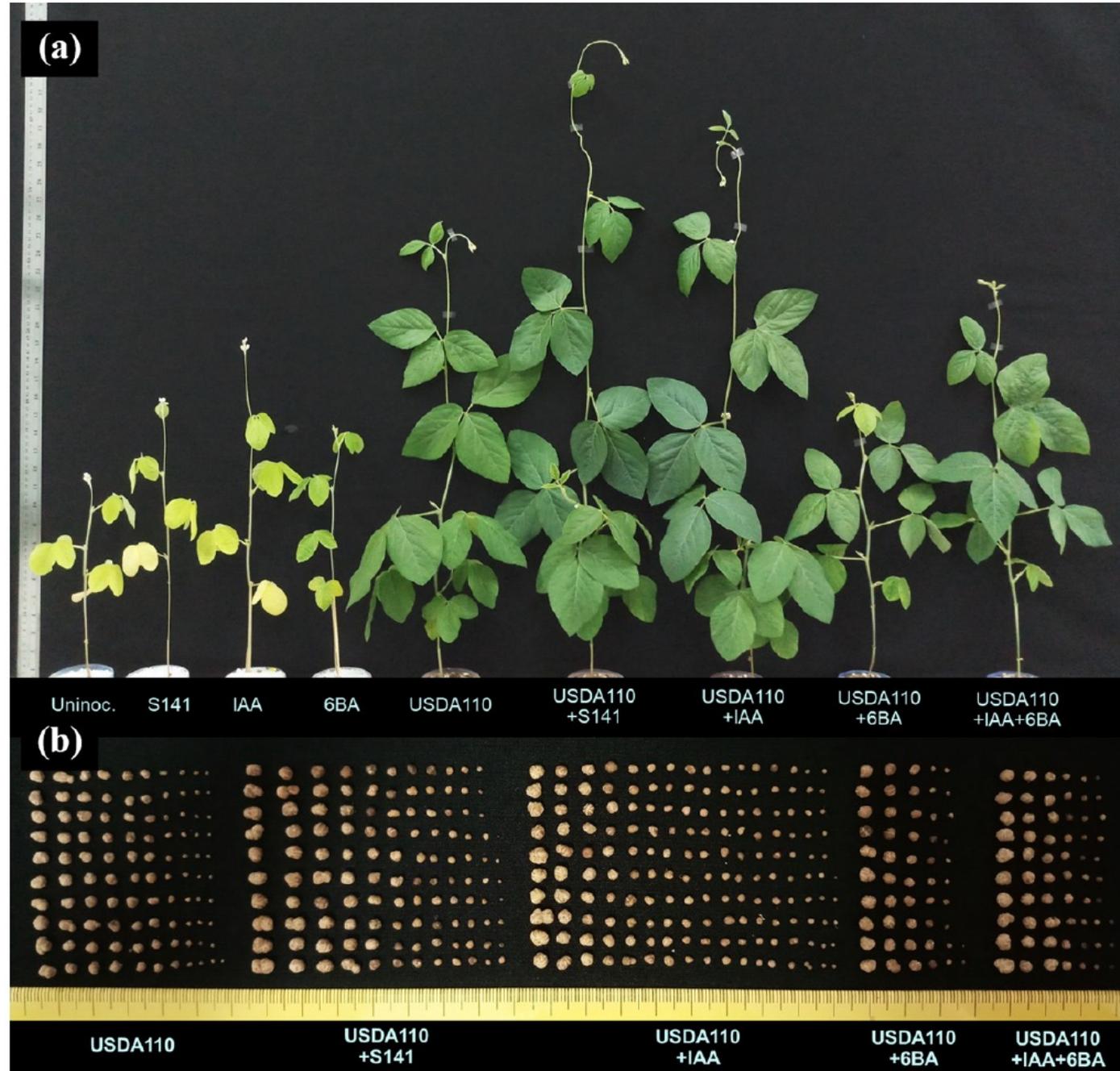
Article

Co-Inoculation of *Bacillus velezensis* Strain S141 and *Bradyrhizobium* Strains Promotes Nodule Growth and Nitrogen Fixation

Surachat Sibponkrung ¹, Takahiko Kondo ², Kosei Tanaka ³, Panlada Tittabutr ¹,
Nantakorn Boonkerd ¹, Ken-ichi Yoshida ^{2,*} and Neung Teaumroong ^{1,*} 



Synergie bactéries
biostimulantes/
bactéries fixatrices
d'azote





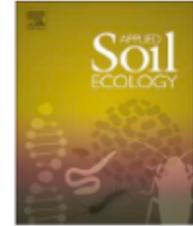
Synergie bactéries/plantes contre les virus



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Applied Soil Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apsoil



Bacillus amyloliquefaciens Ba13 induces plant systemic resistance and improves rhizosphere microecology against tomato yellow leaf curl virus disease

Qiao Guo¹, Yulong Li¹, Yi Lou, Mengdi Shi, Yingying Jiang, Jinhua Zhou, Yifan Sun, Quanhong Xue, Hangxian Lai*

College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China



Fig. 1. Suppression of *B. amyloliquefaciens* Ba13 on TYLCV symptoms (a) and virus quantity (b) in tomato plants. Virus quantity was tested by RT-PCR. Values are means \pm standard errors (SE) for three replicates. The bars in the figure stand for standard error. * $P < .05$ compared with control group (TYLCV alone).

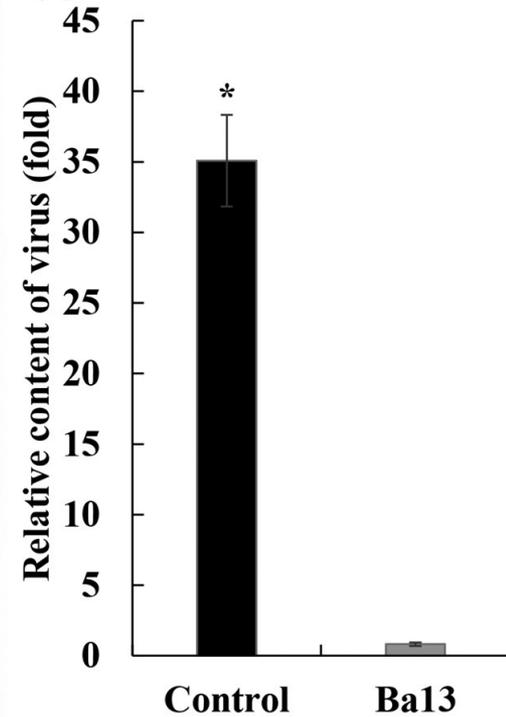


Synergie bactéries/plantes contre les virus

(a)

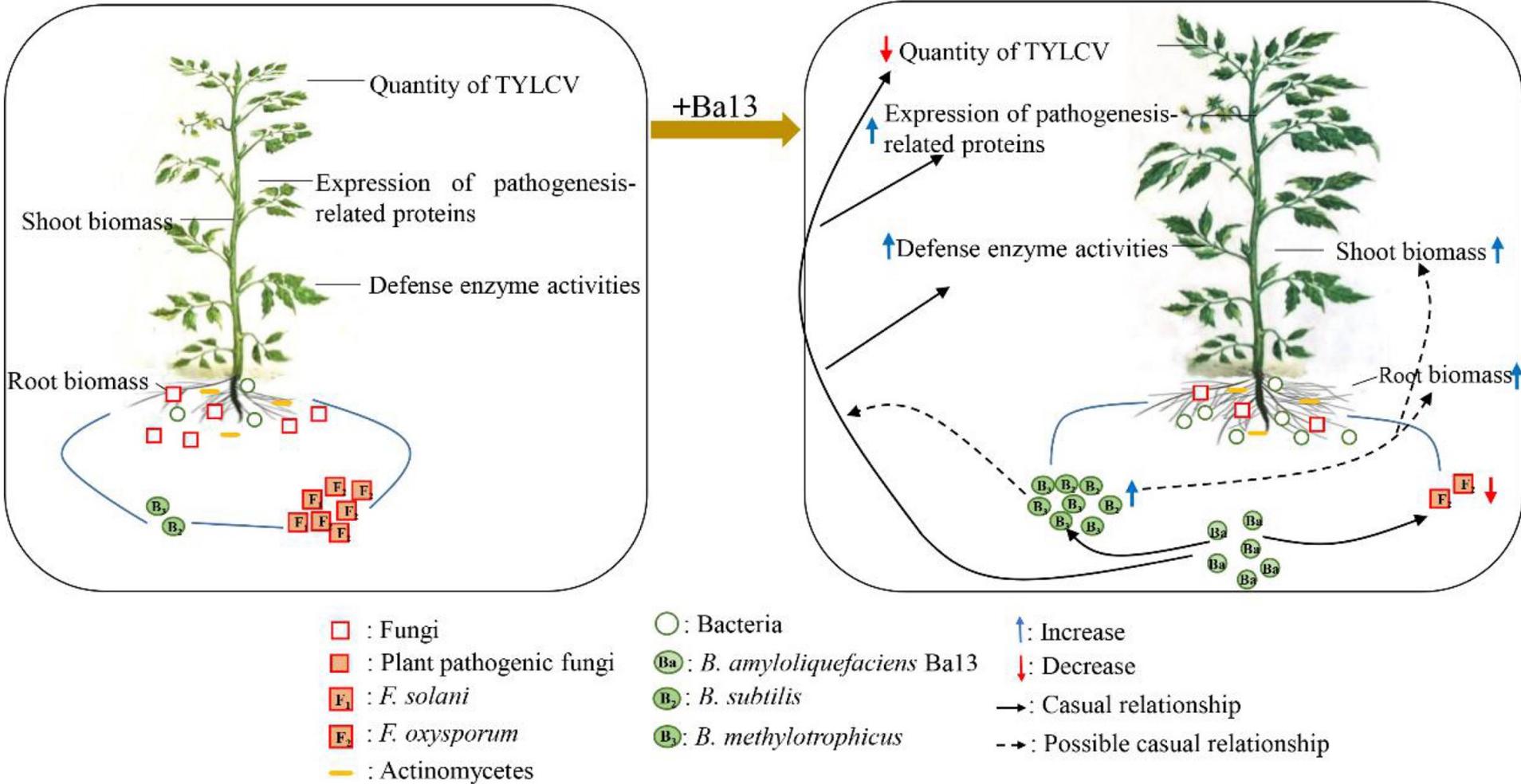


(b)





Synergie bactéries/plantes contre les virus





Synergie bactéries / mycorhizes

RESEARCH ARTICLE

Species-specific synergistic effects of two plant growth—Promoting microbes on green roof plant biomass and photosynthetic efficiency

Long Xie¹, Susanna Lehvävirta², Sari Timonen³, Jutta Kasurinen³,
Juhamatti Niemikapee⁴, Jari P. T. Valkonen^{1*}



Synergie bactéries / mycorhizes

Essais de *Rhizophagus irregularis*,
une mycorrhize arbusculaire et une
bactérie *Bacillus amyloliquefaciens*,
(sim. Hélès):deux microorganismes
biostimulants, qui s'associent aux
racines

Huit espèces de plantes
ornementales

Antennaria dioica, *Campanula
rotundifolia*, *Fragaria vesca*,
Geranium sanguineum, *Lotus
corniculatus*, *Thymus serpyllum*,
Trifolium et *Viola tricolor*

Inoculation avec *R. irregularis* seul
ou en combinaison avec *B.
amyloliquefaciens* sur des substrats
stériles

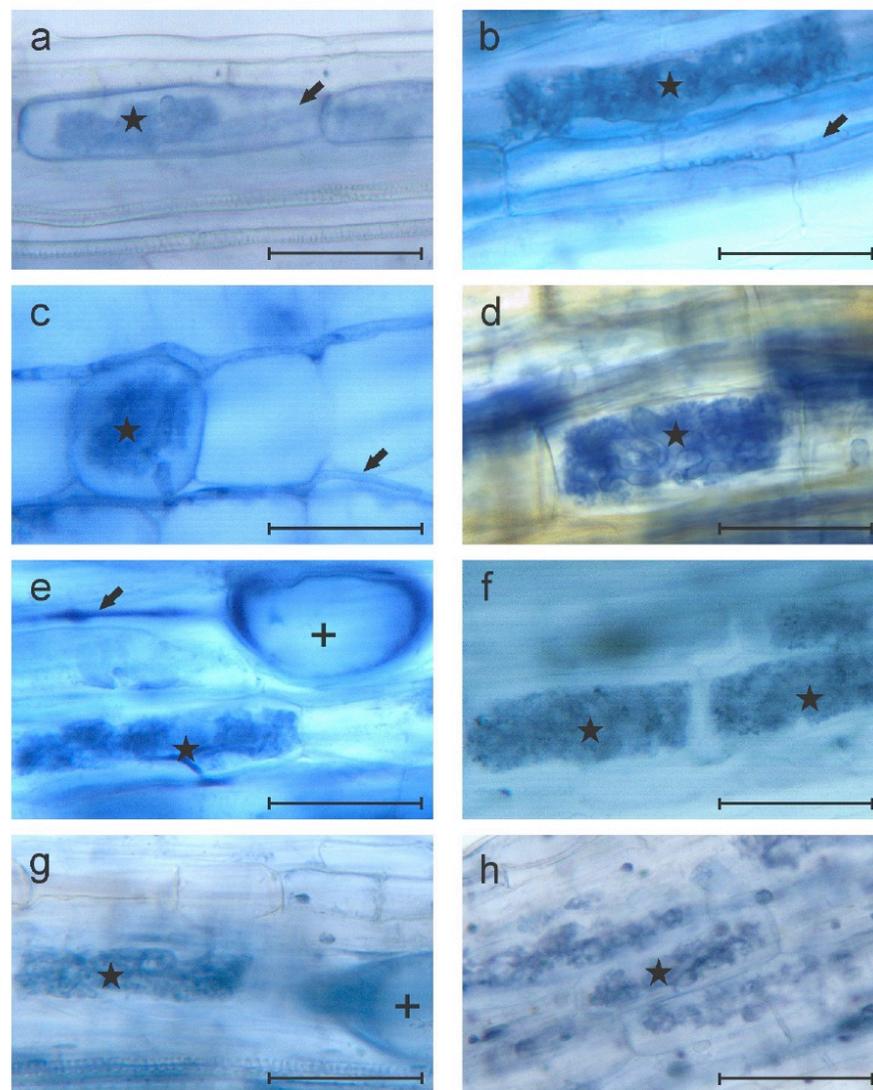


Fig 1. Microscopic images of AMF structures in roots of eight plants co-inoculated with *R. irregularis* and *B. amyloliquefaciens* from the second experiment. (a-h) Images from *C. rotundifolia* (a), *L. corniculatus* (b), *T. repens* (c), *G. sanguineum* (d), *F. vesca* (e), *V. tricolor* (f), *T. serpyllum* (g), and *A. dioica* (h). Scale bars represent 50 μ m. A black arrow, a + symbol, and a star indicate a hypha, vesicle, and arbuscule, respectively.



Synergie bactéries / mycorhizes

Table 2. Colonization by AMF of roots of eight plant species following inoculation with *R. irregularis* and co-inoculation with *R. irregularis* and *B. amyloliquefaciens* from the second experiment.^a

Plant species	Hyphae (%)		Arbuscules (%)		Vesicles (%)	
	R	R+B	R	R+B	R	R+B
<i>C. rotundifolia</i>	0	3.0 ± 1.0	0	1.0 ± 0.6	0	0
<i>L. corniculatus</i>	0	40.0 ± 3.6	0	30.7 ± 2.7	0	11.0 ± 1.5
<i>T. repens</i>	0	65.7 ± 2.2	0	58.0 ± 3.2	0	21.3 ± 1.2
<i>G. sanguineum</i>	3.0 ± 2.1	48.0 ± 2.5**	0	38.3 ± 2.6	0	8.7 ± 1.9
<i>F. vesca</i>	6.7 ± 3.4	95.0 ± 2.0**	2.7 ± 1.5	82.7 ± 3.2**	0	14.0 ± 2.1
<i>V. tricolor</i>	17.7 ± 3.2	46.0 ± 1.0**	11.7 ± 2.3	29.7 ± 4.2*	0	1.3 ± 0.9
<i>T. serpyllum</i>	36.7 ± 2.3	87.7 ± 1.2**	18.7 ± 0.9	47.0 ± 7.0*	2.0 ± 0.6	8.0 ± 2.0*
<i>A. dioica</i>	46.3 ± 1.2	82.0 ± 1.2**	13.3 ± 1.5	63.3 ± 2.3**	7.3 ± 0.7	14.0 ± 1.0**

Evaluation de la colonisation mycorhizienne.

Fait remarquable : *B. amyloliquefaciens* agit comme facilitateur de mycorrhization



Synergie bactéries / mycorhizes

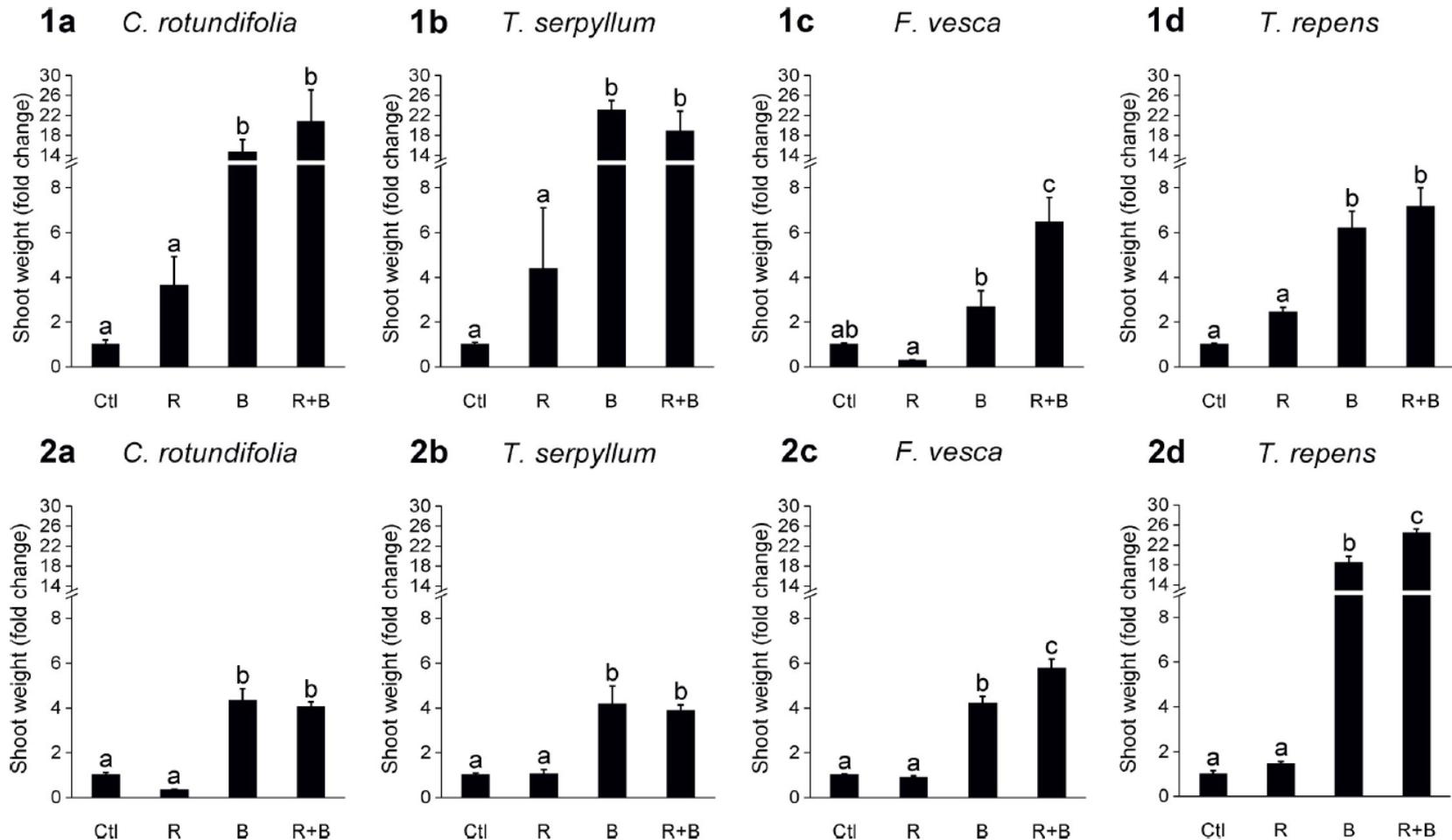


Fig 2. Fold change in shoot weight of four plant species whose results were consistent across the two NaPPI experiments. Bars (mean \pm SE) represent fold changes in shoot weight of R, B, and R+B treated plants as compared with untreated control plants (Ctl). Graphs in the upper and lower row are from the first (1) and second (2) NaPPI experiment, respectively. (a-d) Data from *C. rotundifolia* (a), *T. serpyllum* (b), *F. vesca* (c), and *T. repens* (d). Different lowercase letters above the bars indicate statistical differences (LSD_{0.05}) between the treatments at $P < 0.05$.

Groupe Plantes et pathogènes

Institut Terre Nature Environnement

Collaborateurs Bastien Cochard, Romain Chablais, Julien Crovadore, Martine Haenzi
Etudiants en bachelor et master, Jonathan Bourquin, Stefano Pedrazzi, Bastien Giroud, Hajar Outdili.

Partenaires: Union maraîchère de Genève, Francisco Bonavia, directeur de la Pépinière cantonale du Tessin, Vincent Compagnon, directeur des Pépinières genevoises. Qu'ils soient ici tous remerciés mais surtout le Cercle des Agriculteurs de Genève (coopérative membre de LANDI)

Les différents partenaires d'une symbiose



Utilisable en Agriculture Biologique

INNOVATION PROTECTION
STRESS ABIOTIQUES

LA RÉPONSE AUX OBJECTIFS DE RENDEMENT
ET DE QUALITÉ DES CULTURES «RACINES ET BULBES»

Bacillus methylotrophicus

HÉLÈS®

Amplifie favorablement la flore bactérienne du sol



AMM MFSC : N° 1180003



CERCLE

DES AGRICULTEURS
DE GENÈVE ET ENVIRONS



Utilisable en Agriculture Biologique

INNOVATION PROTECTION
STRESS ABIOTIQUES

LA RÉDUCTION DU POTENTIEL
PATHOGENE DES SOLS

Bacillus methylotrophicus *Trichoderma harzianum*

FONGIBACTER®

Amplifie favorablement la flore bactérienne et la flore fongique du sol



AMM MFSC N°1190122

Groupe Plantes et pathogènes

Institut Terre Nature Environnement

A la recherche de partenaires

Appel à collaboration dans le cadre des thèses de bachelor en agronomie de HEPIA

Objet: tester des bactéries et champignons biostimulants

- En production maraîchères, fruitières, en floriculture, en espaces verts et en pépinières
- Hors-sol ou plein champ
- francois.lefort@hesge.ch

L'avenir est à créer