

UE MU5BEB41 - EPET

- Phénotypage du Système racinaire
- Optimisation du flux d'auxines chez les systèmes PGPR sol-plantes
- Effet des UV-A sur les plantes
- Effets d'additifs sur l'amélioration de l'absorption racinaire AGLAE
- Effets de différents biostimulants sur la croissance de Cucurbita pepo dans un substrat de 15 cm

Phénotypage du Système racinaire

Contacts

Étudiants :

FERNANDEZ Nicolas ; nicolas.fernandez.1@etu.sorbonne-universite.fr

SACCO Nina - nina.sacco.1@etu.sorbonne-universite.fr

Encadrants NovaGenetics:

Morgane RAYNAL, responsable Sélection Groupe, morgane.raynal@novagenetic.com Salah FGAIER, chargé de projet de recherche et innovation, salah.fgaier@novagenetic.com

Encadrant Académique :

Emmanuel BAUDOIN - emmanuel.baudouin@sorbonne-universite.fr

Objectifs

Développement d'un outil de phénotypage du système racinaire, fiable, efficace et rustique.

I. Réalisation d'une étude bibliographique et technique sur les outils de phénotypage du système racinaire des plantes

- Réflexion autour de la conception de prototype de l'outil de phénotypage

II. Conception du prototype de phénotypage

- Proposer un protocole pour tester le prototype en conditions réelles (dans la serre de l'université)

- Mettre en place un essai d'évaluation de système racinaire des plantes d'une espèce choisie

- Présenter les premiers résultats de l'essai

- Proposer des améliorations à apporter au prototype de phénotypage du système

Contexte :

Avec l'augmentation de la population mondiale et les défis environnementaux croissants, il devient crucial de développer des cultures plus résistantes aux conditions extrêmes comme la sécheresse et la salinisation des sols. Historiquement, la sélection des plantes s'est concentrée sur les traits visibles au-dessus du sol. Cependant, le système racinaire joue un rôle tout aussi fondamental pour la croissance et la survie des plantes, en assurant l'absorption de l'eau et des nutriments, ainsi que la stabilisation dans le sol et l'interaction avec les micro-organismes.

Le phénotypage racinaire est essentiel pour mieux comprendre les mécanismes d'adaptation et d'optimisation des plantes, surtout dans des contextes environnementaux difficiles. Il permet de décrire la morphologie, la topologie et la dynamique des racines, des caractéristiques clés qui influencent la capacité des plantes à résister à la sécheresse et à d'autres stress. Identifier les traits racinaires pertinents pourrait ainsi accélérer la création de variétés agricoles plus performantes et durables.

Les défis de sélection en Afrique subsaharienne, une région particulièrement vulnérable au changement climatique, sont exacerbés par les sécheresses fréquentes et la dégradation des sols. Il est donc crucial d'identifier des idéotypes racinaires adaptés à ces environnements, capables d'explorer en profondeur pour accéder à l'eau et de tolérer des sols pauvres en nutriments. Des critères comme la profondeur des racines, l'angle de croissance et la densité racinaire apparaissent particulièrement importants pour la sélection.

Ainsi notre système de phénotypage du système racinaire doit permettre l'observation des racines de plant de tomates (Plantes d'intérêt de l'entreprise). Les critères que nous avons retenus sont : l'angle de croissance des racines, la profondeur des racines et le diamètre des racines.

Optimisation du flux d'auxines chez les systèmes PGPR sol-plantes

Projet réalisé en co-working avec Cybele Agrocare et des étudiants du Master Biodiversité, Écologie et Évolution parcours Écophysiologie et écophysiologie (EPET) de Sorbonne Université.

Informations

Contacts étudiants :

FOURNIER Julie : julie.frn@outlook.com

LIN Judith : judith.lin2544@gmail.com

Contact partenaire Cybele Agrocare :



Camille ROZIER-BEYSSAC, PhD., ingénieure agronome, Cybèle Agrocare
c.beysac@cybele-agrocare.com ; +33 (0)6 64 56 47 29

Date de début - Date de fin estimée (ou réelle)

Contexte

Présentation de l'entreprise :

Cybèle Agrocare est une startup dont le siège se situe à Levallois-Perret. L'équipe travaille sur l'association entre les plantes et les micro-organismes phytobénéfiques (PGPR, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), qui sont absolument essentiels à la santé des plantes. Les micro-organismes, y compris les bactéries, combinent des fonctions non codées dans le génome des plantes, comme la production de certaines hormones ou la solubilisation de nutriments pour leur absorption.

Cybèle dispose d'un atelier de production et laboratoire de R&D, ce qui permet de développer des solutions de biostimulation à base de microorganismes depuis la recherche et développement jusqu'à la production industrialisée et commercialisable. L'équipe réunit des compétences en biotechnologie, agronomie, industrialisation des procédés et réglementation

Contexte du projet :

Les biofertilisants, notamment les bactéries phytobénéfiques, offrent une alternative aux engrais chimiques en agriculture. Les effets précoces des PGPR sur les plantes, tels que l'amélioration de la germination et le développement initial des racines, favorisent la vigueur dès le début de la croissance. Cela permet de sécuriser les cultures très précocement et de mieux exploiter les ressources disponibles, conduisant à une augmentation significative du rendement final. Ces effets initiaux jouent un rôle majeur dans l'amélioration globale de la productivité des cultures (survie, rendement, métabolisme) (Cao et al., 2020).

La production d'auxines, phytohormones de croissance végétale, est un mécanisme clé de la promotion de la croissance par les PGPR, notamment en améliorant la vitesse et le taux de germination ainsi que l'enracinement des plantules (Ahmed and Hasnain, 2014). Toutefois, ces effets peuvent varier en raison de l'équilibre complexe entre les auxines produites par les bactéries, les plantes et la matière organique du sol (Pantoja-Guerra et al., 2023). Pour optimiser l'efficacité des biofertilisants, il est crucial de mieux comprendre et optimiser cet équilibre des auxines de manière précise.

Objectifs

Azospirillum brasilense est une PGPR comprenant dans ses mécanismes d'action la fixation de l'azote atmosphérique et sa restitution aux plantes de manière assimilable mais aussi la synthèse d'auxines (Van Puyvelde et al., 2011 ; Cassan et al., 2014). Ce projet aura pour objectifs d'apporter de la compréhension dans les liens entre la production d'auxines par la bactérie et celle de la plante sous le chapeau des effets PGPR. De tester l'impact de combinaison (autre bactérie notamment) avec un *A. brasilense* (reclassé argentinense il y a peu) au portefeuille de Cybèle sur la production d'auxines. Puis d'étudier les effets précoces de l'inoculation avec une souche d'*A. brasilense*, seule ou en combinaison, sur l'étape de germination.

Méthode :

- Étude bibliographique afin de choisir les souches bactériennes et mettre en place un protocole
- Mise en place des protocoles de tests de germination et d'inoculation des graines in vitro
- Mise en germination des graines inoculées avec 1 ou plusieurs combinaisons de souches bactériennes
- Suivi de la croissance des racicules et de la vitesse de germination des graines

Journal de bord

Journal de bord tenu en interne par soucis de secret professionnel

Effet des UV-A sur les plantes

Contact :

Amy Weisenfeld, amy.weisenfeld@etu.sorbonne-universite.fr

Alyson Mannino, alyson.mannino@etu.sorbonne-universite.fr

PROJET CO-WORKING AVEC L'ENTREPRISE AGLAÉ

Sujet : Étude des effets de l'exposition prolongée aux UV permettant la luminescence des plantes, sur les sujets traités et l'environnement environnant

Tuteur universitaire : Christophe Bailly, christophe.bailly@sorbonne-universite.fr

Tuteur d'Aglaé : Adam Thomas, adam@design-aglae.com

Présentation de l'entreprise :

Aglaé - entreprise privée fondée en 2016 par Sophie Hombert avec son pôle R&D fondé en 2018 - propose la mise en place de végétaux luminescents sous forme de fleurs coupées ou de plantes enracinées dans l'événementiel. La luminescence est permise grâce à un sérum qui est absorbé par la plante, puis les feuilles sont exposées aux UV pour permettre de voir la luminescence. Une exposition prolongée aux UV peut être néfaste sur les végétaux et sur les environs, par destruction des cellules et par perturbation du cycle circadien. Chez Aglaé, les plantes sont exposées à des UV-A d'une longueur d'onde d'environ 380 nm.

Conditions :

- Témoin : exposition à lumière blanche pendant la journée
- Exposition à 380 nm pendant la journée
- Exposition à 365 nm pendant la journée

- Exposition à 380 nm pendant la nuit

Protocole expérimental :

Nous travaillons sur 3 espèces différentes : *Chlorophytum*, *Chamaedorea elegans* et *Fittonia Verschaffeltii*. L'inoculation du sérum se fait avant la mise en place des conditions (la première semaine après réception des plantes). Les mesures se font une fois avant l'inoculation, juste après le repotage puis une fois par semaine pendant au moins 3 semaines.

Inoculation du sérum :

- Dépotage des plantes
- Préparation du sérum à partir d'une poudre à une concentration de 3 g/L
- Inoculation des racines "nues" pendant 48 à 72 h
- Vérification de la luminescence à l'aide d'une lampe UV
- Repotage des plantes

Mesure de la chlorophylle :

- Mesure (en SPAD ou nmol/cm^2) de 3 feuilles par individu avec une pince à chlorophylle

Mesure de la conductivité :

- Prélèvement d'environ 100 mg de feuille par individu
- Peser la masse de chaque prélèvement
- Couper en morceaux et poser dans des tubes falcon avec 15 mL d'eau distillée
- Mesures de conductivité à 0 min, 30 min et 60 min
- *Remarque : faire espèce par espèce (ie. 3 groupes lancés en décalé) pour éviter un séchement des premières feuilles prélevées*

Aspects des feuilles :

- Prise de photos et commentaires sur la morphologie des plantes

Effets d'additifs sur l'amélioration de l'absorption racinaire AGLAE

Informations

Contacts étudiants :

Solenn Kervadec M2 EPET : solenn.kervadec@etu.sorbonne-universite.fr

Aurélien Ansart M2 EPET : aaurelien1104@gmail.com

Contact partenaire de l'entreprise Aglaé :

Adam Thomas Ingénieur Chargé de projet en innovation végétale : adam@design-aglae.com

Contexte

Présentation de l'entreprise :

En octobre 2016, Sophie Hombert fonde l'entreprise Aglaé après avoir développé un sérum permettant aux plantes coupées d'émettre de la fluorescence sous des rayonnements UV. Aglaé combine utilité et esthétique et s'illustre dans le domaine de l'événementiel, en proposant des scénographies éphémères de végétaux luminescents pour des événements variés tels que des réceptions, présentations de marque, vidéoclips, galas, soirées et courts métrages.

En 2018, la création d'un pôle Recherche et Développement (R&D) permet d'étendre cette innovation aux végétaux stabilisés et aux plantes racinaires, afin d'assurer la pérennité et la durabilité de la luminescence. L'équipe de recherche collabore étroitement avec le pôle créatif, qui regroupe les secteurs du design, du commerce et de la production.

L'entreprise est composée de 6 collaborateurs permanents, soutenus par 4 à 5 freelances. Le pôle R&D concentre actuellement ses efforts sur l'agrandissement de la gamme de végétaux d'intérieur et d'extérieur, sur les méthodes d'inoculation du sérum dans le système vasculaire des plantes, ainsi que sur le ralentissement de la dégradation du fluorochrome et le traitement des effluents.

Objectifs

Notre projet consiste à tester différents additifs pour améliorer l'absorption racinaire afin que le sérum soit davantage absorbé par la plante en plus grande quantité.

- Faire une étude bibliographique pour déterminer les additifs les plus adéquats pour l'amélioration racinaire et faciliter le passage de la molécule fluorescente dans les plantes.
- Tester les différents additifs choisis sur les plantes *Athyrium japonicum*.

Journal de bord

Le carnet de bord doit rester en interne pour cause de confidentialité

Détails des expériences

Inoculation du sérum :

- Dépotage des plantes
- Préparation du sérum à partir d'une poudre à une concentration de 3 g/L
- Inoculation des racines "nues" pendant 48 à 72 h
- Vérification de la luminescence à l'aide d'une lampe UV
- Rempotage des plantes

Image not found or type unknown

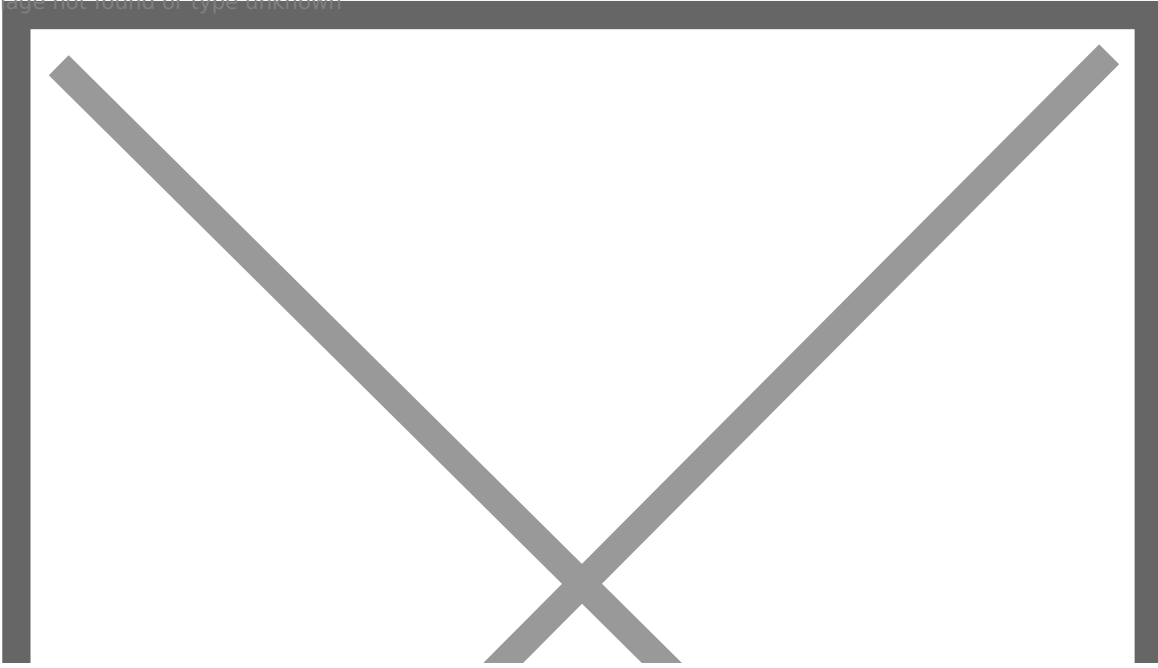


Image not found or type unknown



Image not found or type unknown

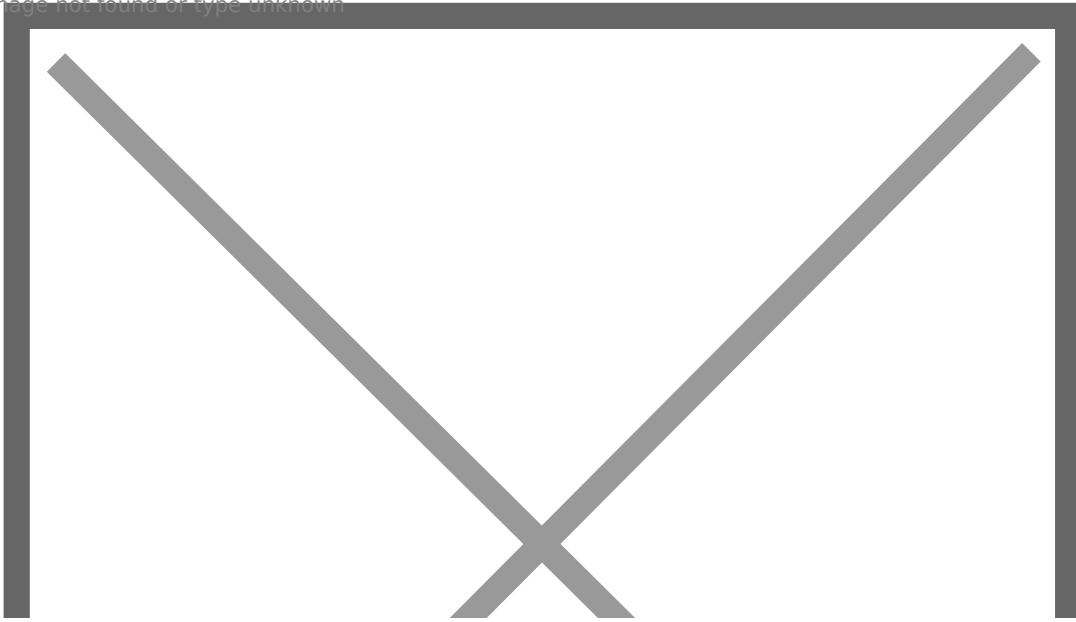
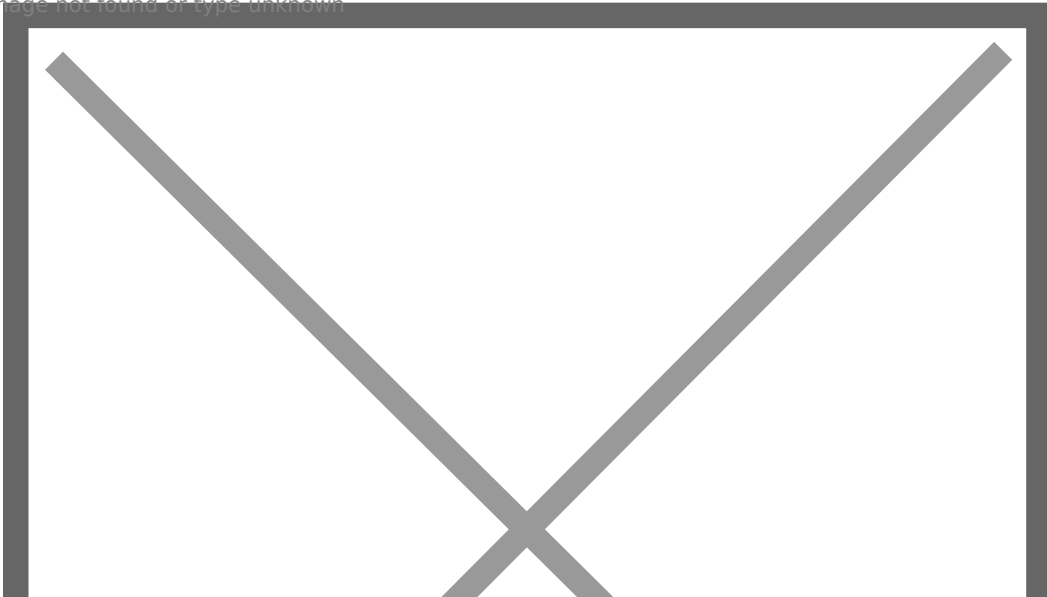


Image not found or type unknown



Mesure de conductimétrie :

- Couper des morceaux d'aluminium pour chaque plante en les numérotant pour la pesée (4 passages de 10 plantes pour la mesure de conductivité)
- Prélever ~100 mg (130 mg max) de feuilles et noter la masse
- Couper en morceaux et mettre dans leur tube falcon de 50 mL (numéroté) avec 15 mL d'eau distillée.
- Mettre la sonde dans les tubes et prendre trois mesures : T0, T30 min et T60 min. Nous ne prenons pas de mesures toutes les 15min car nous manquons de temps entre les manip et les mesures se chevauchent.
 - Entre chaque mesure, mettre les différents tubes sur un agitateur, et rincer la sonde à l'eau distillée et l'essuyer afin d'éviter la contamination entre les échantillons.

Comparaison phénotypique via des photographies des plantes issues des différentes conditions en fonction du témoin négatif (T-) et le témoin modèle (TM) selon la grille d'évaluation de l'état de santé des individus et de leur intensité lumineuse :

	État de santé en fonction du T-
	Plante non viable
	Dégradation sévère
	Vitalité légèrement réduite
	Vitalité comparable au T-
	Meilleure vitalité au T-

	Evaluation de l'intensité de luminescence en fonction du TM
X	Absence totale d'intensité /Faiblement perceptible
XX	Inférieure au TM
XXX	Légèrement inférieure au TM
XXXX	Comparable au TM
XXXXX	Supérieure au TM

Bilan des résultats

Les résultats obtenus montrent que l'acide silicique, particulièrement à une concentration de 1,5%, a permis d'améliorer la vitalité des plantes et d'accroître l'intensité fluorescente. En revanche, le Tween 80 s'est avéré néfaste pour la santé des plantes sans offrir d'amélioration significative de la luminescence. Par ailleurs, des biais liés à l'arrosage par capillarité ont été identifiés, soulignant la nécessité d'optimiser les protocoles expérimentaux.

Ces résultats préliminaires suggèrent que certaines concentrations d'acide silicique pourraient représenter une piste prometteuse pour améliorer l'absorption racinaire et la luminescence des plantes. Toutefois, ces conclusions restent limitées par les contraintes méthodologiques rencontrées et appellent à des études complémentaires pour approfondir et confirmer ces premières observations.

Effets de différents biostimulants sur la croissance de Cucurbita pepo dans un substrat de 15 cm

Projet réalisé en co-working avec Cueillette Urbaine et les étudiants de M2 EPET de Sorbonne Université.

Contacts étudiants :

BONIN Mathilde ; COMPAIN Tom

Contacts entreprise :

BUREL Arnaud ; GIRARDON Julien

Contacts Sorbonne Université :

BAILLY Christophe ; HUBERT Steve & SAVOURÉ Arnould (tuteur pédagogique)

Projet : Afin d'optimiser une croissance de culture de cucurbitaceae (plants de courgettes) pour un usage destiné à des cultures de fermes urbaines ou toiture végétalisées, le but est de tester l'utilisation de différents adjuvants pour palier à des carences nutritionnelles, conséquences d'un substrat diminué (15cm de hauteur).

Présentation de Cueillette Urbaine : L'entreprise Cueillette Urbaine agit pour le développement de l'agriculture urbaine en tant que "modèle de consommation local, productif et respectueux de l'environnement", dédiée à réintégrer la nature en ville et à valoriser les espaces inutilisés. Elle utilise des techniques durables comme l'hydroponie, l'aquaponie et la permaculture pour produire localement des fruits, légumes et herbes aromatiques tout en réduisant l'empreinte écologique.

L'entreprise aménage des fermes sur toits, murs et jardins partagés, propose des ateliers pédagogiques, et collabore avec entreprises et collectivités pour promouvoir une alimentation durable. Parmi ses réalisations phares figurent des fermes urbaines pour restaurants et des projets de sensibilisation sociale et environnementale.

Cueillette Urbaine vise à transformer les villes en espaces plus verts et résilients, en conciliant biodiversité, bien-être et production locale.

Contexte du projet : Dans un contexte d'agriculture en ville, des questions de poids des substrats se posent. Les toits ne sont souvent pas à même de soutenir des bacs de culture de taille classique. Les étudiants de l'année précédente ont donc commencé le projet en déterminant une épaisseur de substrat réduite pour laquelle les rendements restaient intéressants. Ce substrat diminué s'est néanmoins accompagné de carences nutritionnelles. La continuité du projet résulte donc en l'apport de certains adjuvants pour pallier à ces carences. Il s'agit donc de comparer la croissance des plans de cucurbitaceae après l'apport de différents adjuvants pour déterminer leur efficacité.

Protocole:

A. Matériels

- Variété étudiée : courgette allongée Cucurbita pepo L.
- Substrat : Terreau fourni par la serre
- Lieu : Serre SU
- Pots de 15 cm, avec 4 adjuvants différents.

B. Méthode

- Épaisseur du substrat : 15 cm (déjà définies l'année dernière), 4 conditions expérimentales + témoin, 4 réplicats par conditions

→ total de 20 pots

- Profondeur semis : 2 cm
- Germination directement dans le support de croissance, durée : 1 semaine
- Pollinisation : manuellement au pinceau si le temps
- Arrosage : quotidien goutte à goutte et chaque lundi arrosage avec biostimulants
- Adjuvants/Biostimulants : Acide fluviqque/humique, Seaweed ,rootbooster, AURIN
- Température : 25°C le jour (minimum 18°C, optimum 30°C) et 23-24°C la nuit

Paramètres à mesurer sur chaque réplicat de chaque condition :

- Pendant l'expérience :
 - vitesse de croissance tige
 - vitesse de croissance feuille

- mortalité
 - perte de feuilles
 - chlorophylle
 - nombre feuilles
 - taille feuilles
 - nombre de bourgeons/fleurs et temps d'apparition
- À la fin de l'expérience :
 - nombre de feuilles
 - taille des feuilles (longueur/largeur)
 - homogénéité taille des feuilles
 - diamètre de la base de la tige
 - longueur de la tige principale
 - nombre de fruits
 - rapport fruits/fleurs
 - masse des fruits (si le temps d'aboutir)
 - rendement (rd théorique : 18-25 T/ha)
 - longueur de la racine principale

Résultats

1. Évolution de la taille des tiges

- Aucune différence significative n'a été observée entre les conditions expérimentales sur toute la durée de l'expérimentation ($p > 0.05$).
- Une tendance a toutefois été notée : les tiges des plantes dans les conditions avec adjuvants montrent des tailles légèrement supérieures à celles du témoin.
- Cependant à une date donnée (20/12/2024 par exemple) on remarque une différence significative ($p < 0.05$) entre la condition témoin et les autres conditions

2. Évolution du nombre de feuilles

- Le nombre de feuilles n'a pas présenté de différence significative entre les conditions expérimentales sur toute la durée de l'expérimentation ($p > 0.05$).
- La tendance indique une légère augmentation du nombre de feuilles dans les conditions avec adjuvants par rapport au témoin.
- Cependant à une date donnée (20/12/2024 par exemple) on remarque une différence significative ($p < 0.05$) entre la condition témoin et les autres conditions

3. Évolution de la taille des feuilles

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les conditions expérimentales ($p > 0.05$).

- Les plantes témoins ont généralement des feuilles plus petites que celles cultivées avec les adjuvants, mais cette observation reste une tendance non statistiquement confirmée.

4. Évolution du nombre de fruits

- Aucune fructification n'a été observée pour les plantes dans la condition témoin.
- Les conditions avec adjuvants ont produit des fruits :
 - **Conditions B1 et B2** : 9 fruits au total.
 - **Conditions B3 et B4** : 7 fruits au total.
- Les biostimulants B1 et B2 semblent avoir un effet plus marqué sur la production de fruits que B3 et B4.

5. Évolution de la taille des fruits

- Aucune différence significative n'a été constatée entre les conditions ($p > 0.05$).
- Une tendance positive a été observée pour la condition B3, où les fruits semblaient légèrement plus grands.

6. Réseau racinaire

- Les observations qualitatives du réseau racinaire montrent des différences notables :
 - Les plantes témoins semblent présenter un réseau racinaire moins dense et moins développé que les plantes issues des conditions avec adjuvants, notamment pour la condition Seaweed (B2).
- Ces résultats suggèrent un effet des adjuvants sur le développement racinaire, bien que cela reste à confirmer par des mesures quantitatives.

Malgré l'absence de différences significatives pour certains paramètres (taille des tiges, feuilles et fruits), les résultats mettent en évidence plusieurs tendances positives des biostimulants sur la croissance et la productivité des plantes. En particulier :

- Les conditions B1 et B2 semblent favoriser la fructification et la densité du réseau racinaire.
- Les adjuvants pourraient avoir un impact différé ou non mesurable à l'échelle des variables étudiées dans cette expérience.

Discussion/conclusion :

Discussion

1. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation des adjuvants, bien qu'elle n'ait pas produit de différences significatives pour certains paramètres (taille des tiges, des feuilles et des fruits), a permis d'observer des tendances intéressantes :

- **Taille des tiges et des feuilles** : Une légère augmentation a été observée dans les conditions avec adjuvants par rapport au témoin, suggérant que ces derniers pourraient stimuler la croissance aérienne.
- **Production de fruits** : L'absence de fruits dans la condition témoin, combinée à la fructification dans les conditions avec adjuvants (notamment B1 et B2), indique un effet

positif des biostimulants sur la phase reproductive.

- **Réseau racinaire** : Les observations qualitatives montrent une densité racinaire plus élevée dans les conditions avec adjuvants, particulièrement avec le biostimulant Seaweed (B2). Cela pourrait refléter une meilleure absorption des nutriments et une adaptation au substrat réduit.

2. Comparaison avec la littérature

Les résultats sont en accord avec des études démontrant que les biostimulants à base d'acides humiques ou d'extraits d'algues favorisent la croissance racinaire et la fructification en stimulant l'absorption des nutriments et en augmentant la tolérance au stress. Cependant, l'absence de différences significatives dans certains paramètres pourrait être attribuée à des limitations méthodologiques ou à une durée insuffisante de l'expérience.

3. Biais et limites de l'étude

- **Taille de l'échantillon** : Le nombre de réplicats par condition pourrait être insuffisant pour détecter des différences subtiles. Une augmentation du nombre de plantes par condition améliorerait la robustesse statistique.
- **Durée de l'expérience** : L'étude pourrait ne pas avoir été assez longue pour permettre une pleine expression des effets des adjuvants, notamment sur les fruits.
- **Variabilité environnementale** : Bien que les conditions aient été contrôlées, de légères variations d'arrosage, de température ou de luminosité pourraient avoir influencé les résultats.
- **Mesures manquantes** : L'absence de données sur la chlorophylle limite la compréhension des effets physiologiques des adjuvants.

Conclusion

Cette étude met en lumière les effets potentiels des biostimulants sur la croissance et la productivité des plantes dans des substrats réduits. Les adjuvants B1 et B2 se sont montrés particulièrement prometteurs en favorisant la fructification et le développement racinaire. Cependant, l'absence de différences significatives pour certains paramètres met en évidence la nécessité d'approfondir ces observations.

Perspectives

Pour améliorer et compléter cette étude, plusieurs pistes sont envisageables :

1. **Prolonger l'expérience** pour inclure toutes les étapes du cycle de vie des plantes, en particulier la maturation des fruits.
2. **Augmenter le nombre de réplicats** pour renforcer la puissance statistique des analyses.
3. **Inclure des mesures physiologiques** supplémentaires (ex: activité enzymatique du sol) pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents.
4. **Évaluer l'effet des adjuvants à long terme** sur le substrat (structure, microbiote) pour juger de leur durabilité.

5. **Tester différents dosages d'adjuvants** afin de déterminer la concentration optimale pour chaque paramètre étudié.

Cette étude constitue une base solide pour explorer davantage les avantages des biostimulants dans des contextes de culture urbaine, où les contraintes de substrat et d'espace sont particulièrement marquées.

Déroulé du projet :

I. Bibliographie

II. Élaboration du protocole et validation avec l'entreprise et l'équipe pédagogique

III. Mise en place du protocole : semi puis repiquage des cultures dans des pots contenant 15cm d'épaisseur de substrat

IV. Mesures deux fois par semaines

V. Analyse des résultats

VI. Rendu