



Projet Racin'Air

Dispositif d'aéroponie pour le bouturage des arbustes à grande échelle

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR



Bouturage des arbustes par aéroponie

Objectifs du projet :

Permettre le développement du bouturage par aéroponie pour les plantes ornementales et PPAM:

- **En élaborant un ou des prototypes adaptés aux besoins des multiplicateurs et des producteurs éleveurs → assurer la transposition à l'échelle industrielle du procédé.**
- **En précisant l'acceptabilité de la technique grâce à une étude économique, des freins et des potentialités.**

Par une démarche de co-innovation associant les partenaires du projet et des membres de la filière.

8 partenaires : CATE, Planète légumes Fleurs et plantes, CDHRC, Iteipmai, Ecole d'horticulture de Roville au Chênes, Lycée Agricole de l'Aulne, ENSAIA.

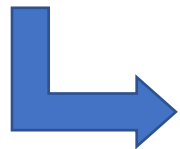
Bouturage des arbustes par aéroponie – Pourquoi ?

Méthode de référence : le bouturage en substrat



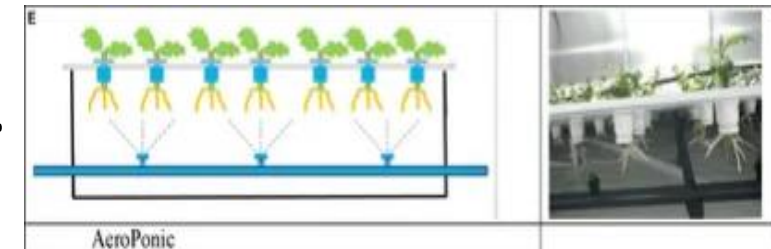
Des améliorations sont possibles mais existence de limites liées au système :

- Confinement, brumisation, fog → Risques de maladies accrus.
- Risque d'asphyxie à la base des boutures → limite la rhizogenèse.
- Si températures basses → enracinement ralenti.
- Problème des espèces à enracinement lent ou récalcitrantes au bouturage.



Développement d'une nouvelle technique, le bouturage par aéroponie

Très peu de références. Pas de procédé commercialisé.



Blok C, Jackson BE, Guo X, de Visser PHB and Marcelis LFM (2017). Front. Plant Sci. 8:562



Sanchez O., Burnett S. E., Peterson B.J. (2020). Hortscience, 55(1): 78–82.

Projet CASDAR X-Aéropo

mise au point du bouturage des arbustes par aéroponie (2020-2022)



Questions posées :

- Faisabilité du bouturage de plantes ornementales.
- Qualité des jeunes plants obtenues
- Quels avantages en retirer ?
- Avec quel type de matériel végétal ?
- Dans quelles conditions ?
- Quelle possibilité de reprise des boutures enracinées après empotage en conteneur ?

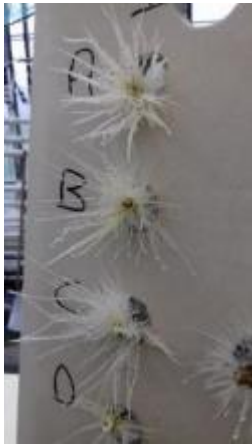


**Le projet X-Aéropo a permis d'élaborer un procédé expérimental pour étudier la technique.
Mais, procédé non adapté au bouturage à grande échelle.**

Projet X-Aéropo : le bouturage des arbustes par aéroponie, une technique prometteuse



Euonymus fortunei
'Emerald Gold'



Hydrangea macrophylla



Sans auxine



Avec auxine



Après repotage



Enracinement +++

Photinia fraseri x *Red Robin* en aéroponie



Photinia fraseri x
Red Robin
bouturé en
substrat
(après
décorticage des
mottes)



Résultats du projet X-Aéropo :

- Faisabilité du bouturage à différentes périodes de l'année.
- Fort effet espèce :
 - Fusain : enracinement très rapide. Empotage après 20 à 45 jours.
 - Lavandin : importance du stade et de la période de prélèvement. Repotage possible après 30 à 65 jours.
 - *Photinia* : traitement auxinique impératif. Bouture de tronçon semi-ligneuses de début de printemps ou de fin d'été préférables.
- Longue survie des boutures.

- Limitation des risques sanitaires.
- Augmentation du nombre de racines / boutures.
- Intérêt de chauffer et oxygéner l'eau brumisée.
- Pas d'engrais pendant l'enracinement.
- Fort effet auxine persiste selon les espèces.
- Ombrage de l'abri et confinement partiel en été.
- Reprise aisée après le repotage si optimisation des irrigations, de la fertilisation et enracinement suffisant.
- Amélioration de la vigueur des jeunes plants après le repotage.

Projet Racin'Air : transposition du bouturage par aéroponie à grande échelle

Démarche du projet :

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes pour réaliser le bouturage par aéroponie à grande échelle

Fabriquer et valider dans les stations expérimentales un ou des prototypes pré-industriels de bouturage par aéroponie :

- adaptés à une multiplication à forte densité.
- permettant de produire un nombre important de boutures.
- tout en maîtrisant le temps de travail nécessaire à l'insertion et à la récolte des boutures dans le dispositif.

Tâche 1.1. : Co-conception.

Tâche 1.2. : Construction de prototypes.

Tâche 1.3. : Evaluation et validation dispositif pilote et de l'itinéraire de bouturage.

Projet Racin'Air : transposition du bouturage par aéroponie à grande échelle

Action 2 - Transfert du procédé, des méthodes et du matériel végétal produit en conditions de production et élargissement à la filière PPAM

Tâche 2.1. : Transfert de boutures produites en condition de production pour évaluer le matériel végétal.

Tâche 2.2. : Installation d'unités expérimentales ou pilotes chez des multiplicateurs et des producteurs pour assurer son évaluation en condition de production

Tâche 2.3. : Elargissement de la technique à la filière PPAM.

Projet Racin'Air : transposition du bouturage par aéroponie à grande échelle

Action 3 - Analyse économique et acceptabilité du procédé

Tâche 3.1. : Etude de la viabilité économique et de la durabilité d'une production à grande échelle de jeunes plants par aéroponie.

- Etablir le coût de production en tenant compte des performances du procédé.
- Evaluer l'impact environnemental du procédé.

Tâche 3.2. : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques.

Action 4 - Coordination du projet, diffusion et valorisation

Tâche 4.1. : Coordination du projet.

Tâche 4.2. : Diffusion et valorisation des résultats aux professionnels.

Tâche 4.3. : Transfert pédagogique.

Projet Racin'Air - Resultats

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.1. : Co-conception de dispositifs

Démarche :

- Plusieurs réunions en visio avec multiplicateurs et éleveurs de végétaux.
- Discussions individuelles avec multiplicateurs, éleveurs de végétaux et équipementiers.
- Analyse des processus (inventaire et catégorisation des opérations lors du bouturage et de l'élevage des jeunes plants).
- Elaboration d'un cahier des charges.



Opérations identiques	Opérations différentes
Entretien et préparation des pieds mères Récoltes et préparations des boutures Type d'abri utilisé (possible en abri non chauffé).	
Suivi de l'enracinement et contrôle des cultures. Contrôle sanitaire.	Application d'hormones de bouturage → Par trempage. Insertion des boutures dans le dispositif d'aéroponie. Pilotage et régulation du dispositif. Récolte des boutures enracinées → Boutures en racines nues Empotage et élevage des boutures enracinées.
Opérations intermédiaires qui se font dans un contexte différent mais qui sont de nature fondamentalement proche → mêmes types de compétences. 3 différences significatives (Application d'hormones de bouturage, pilotage et régulation du dispositif, boutures en racines nues).	

Projet Racin'Air - Resultats

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.1. : Co-conception de dispositifs pilotes

Questionnement et remarques des multiplicateurs et producteurs :

❑ Sur la conception technique du dispositif d'aéroponie :

- L'ergonomie pour insérer et récolter les boutures ne doit pas augmenter les temps de travaux ni la pénibilité.
- Adapté à des tailles de boutures variables.
- La densité des boutures /m² est à étudier.
- Possibilité d'observer l'enracinement des boutures en cours de processus.
- Répondre aux exigences précisées lors du projet X-Aéroponie : chauffage, oxygénation, correction du pH et de l'EC de l'eau brumisée.
- L'unité de gestion doit être adaptée (plaque en bouturage sur substrat).

❑ Questions économiques :

- La maîtrise des coûts est une exigence forte
- Analyse des coûts complets pour observer des effets de compensations s'ils existent.
- Temps de retour de l'investissement raisonnable.
- Si un enracinement plus fort des boutures est obtenu → peut-on le valoriser par la vente d'un jeune plant plus fort, mieux valorisé.
- Combien de séries de bouture sera-t-il possible de réaliser /an.

Projet Racin'Air - Resultats

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.1. : Co-conception de dispositifs.

Questionnement et remarques des multiplicateurs et producteurs :

Conduite du bouturage :

- Mode d'application des hormones de bouturage.
- Traitement de l'eau brumisée à préciser.
- Effets d'échelle ? Augmentation des dimensions permet-elle de conserver les avantages.
- Comportement hydrique des boutures en absence de confinement.
- Avoir la possibilité de contrôler le niveau d'enracinement en cours de processus.

Le type de jeunes plants obtenus :

- Boutures en racines nues à empoter dans du substrat → Phase critique.
- L'empotage de jeunes plants avec racines peu développées en période de végétation n'est pas courant.
- A quel stade d'enracinement les boutures doivent être empotées ? Fragilité des racines ?
- De quelle souplesse organisationnelle dispose-t-on pour l'empotage ? Un stockage des boutures enracinées au frigo est-il possible ?
- Boutures enracinées en racines nues sont-elles transportables ? En quel conditionnement ? Sur quelle durée ?

Avantages à exploiter :

- Le taux de réussite.
- La durée d'enracinement.
- La qualité de l'enracinement.

Les jeunes plants ne sont pas à considérer seulement pour leur qualité propre mais aussi aux potentialités qu'ils offrent pour améliorer l'ensemble du cycle de culture jusqu'à la commercialisation de la plante finie.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.1. : Co-conception de dispositifs

Cahier des charges.

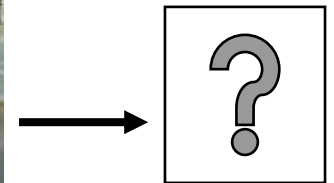
Le dispositif produit doit permettre de :

- Mettre en place et récolter les boutures rapidement, avec une ergonomie adaptée.
- A un coût / bouture enracinée raisonnable. (exigence forte)
- Temps de retour sur l'investissement raisonnable de l'équipement.
- Densité de boutures élevée et modulable selon la taille des boutures et du feuillage.
(de 250 à 900 boutures /m²)
- Répondre aux exigences concernant la qualité de l'eau brumisée au niveau racinaire :
 - T°, O₂, pH, EC.
- Réussite du bouturage sur une gamme large de taxons.
- Conserver les avantages environnementaux identifiés sur le procédé expérimental :
 - Etat sanitaire amélioré, IFT et consommation d'eau, d'énergie, d'intrants faibles.
- Intégrer le mode de valorisation des boutures enracinées :
 - Racine nue.
 - Godet /plaque.
 - Pré-conteneur.
 - Chercher à valoriser l'enracinement plus fort.



3 composantes :

- Structure porteuse
- Système d'insertion des boutures.
- Système hydraulique et traitement de l'eau



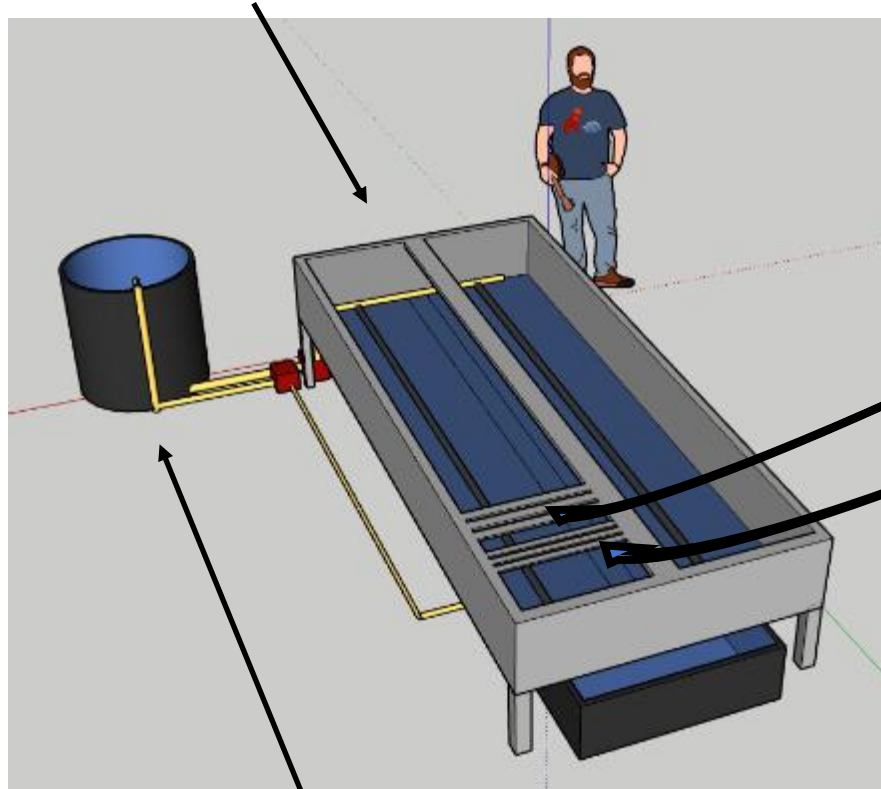
Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

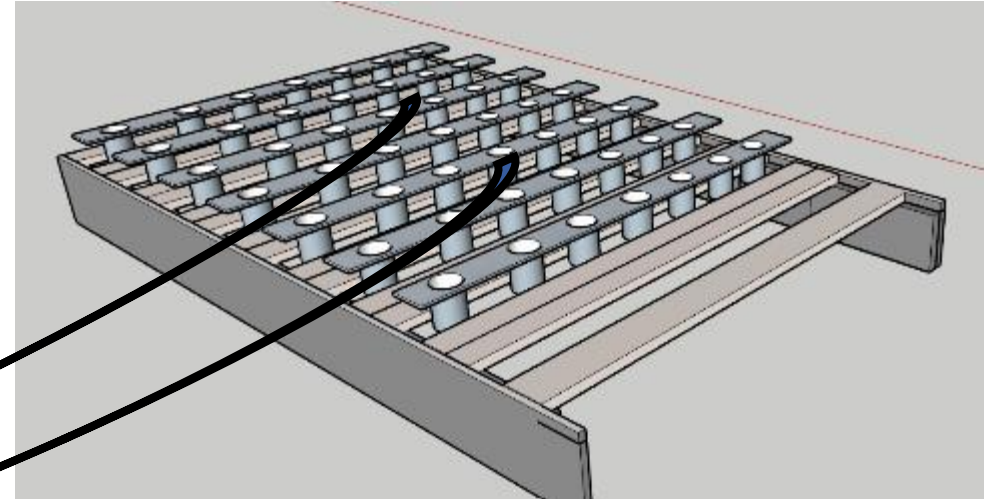
Tâche 1.1. : Co-conception de dispositifs

→ Dispositif pilote imaginé et principe de fonctionnement proposé:

Structure porteuse



Unité de traitement
et de brumisation



- Les bandes supports de boutures sont chargées de boutures sur une table de travail où les boutures sont préparées comme pour la méthode de référence puis posées sur la structure porteuse.
- Possibilité de poser des bandes intercalaires.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Partenaire :



Gestion du climat, de l'irrigation, matériel de serre, électrotechnique.

Livraison : novembre 2023.

Table de bouturage avec compartiment racinaire brumisé et capot

Pompage et traitement de l'eau



Module de contrôle :



Réserve d'eau

Isolation des modules pour limiter les déperditions de chaleur

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Compartiment racinaire avec brumisation et plaques supportant les boutures

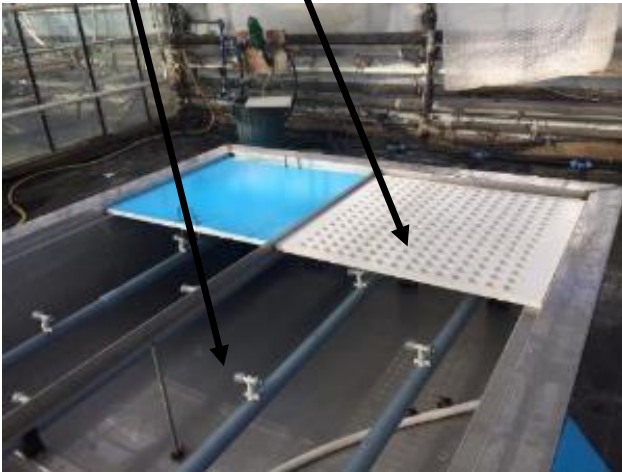


Table de bouturage :



Capot mobile pour limiter la déshydratation des boutures et garder de la chaleur au niveau des parties aériennes



Fonctionnement en circuit fermé.
Surface table : 5 m². Table en inox.
Brumisateur : Coolnet Pro de Netafim

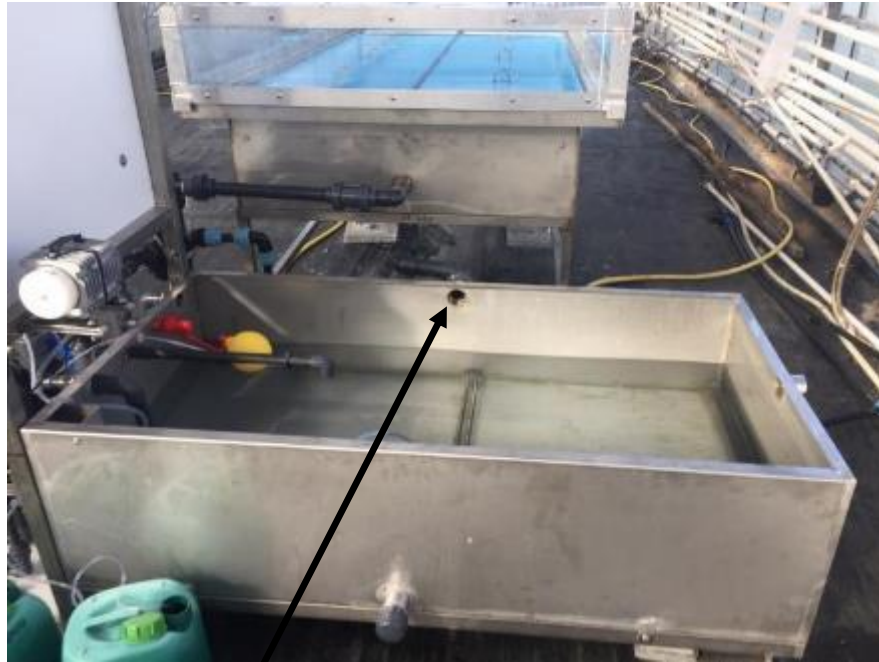
Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

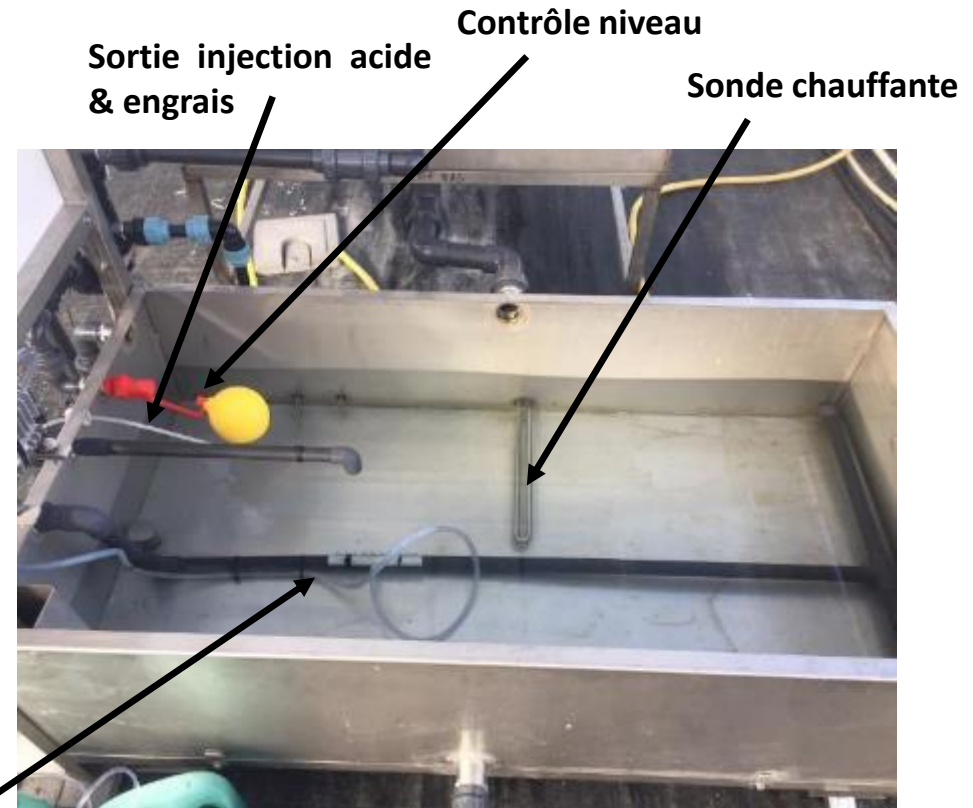
Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Réserve d'eau



Retour d'eau après
brumisation



Sortie injection acide
& engrais

Contrôle niveau

Sonde chauffante

Distribution d'air pour
oxygéner l'eau

Fonctionnement en circuit fermé.
Volume : 300 L.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

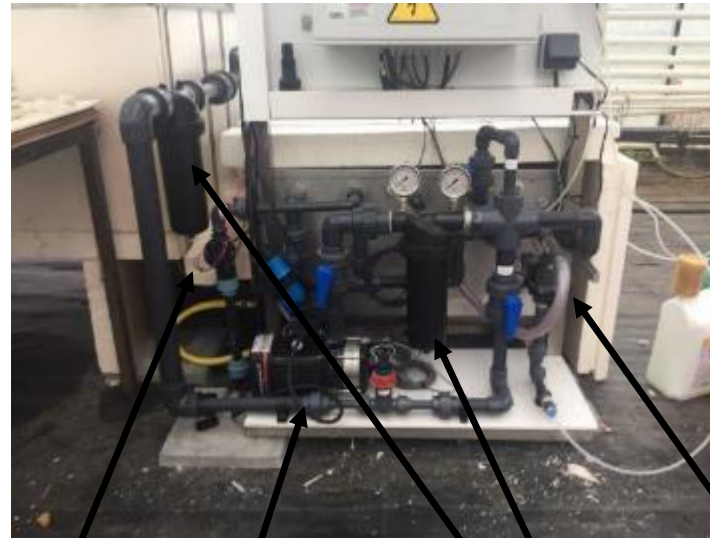
Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Module de contrôle, de pompage et de traitement de l'eau



Automate de régulation,
de contrôle et d'alarme



Pompe à variateur
Compteur d'eau
Injection d'engrais

Double filtration



Compteur électrique

Injection d'acide

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

2) PLFP

→ Dispositif à étages



1 m² utilisé au sol (2x0,5)

2 mètres de haut

4 étages pour une capacité totale de 1200 boutures

1 électrovanne par étage

Tableau de commande :

- température de l'eau : 20°C

- fréquence/ durée aspersion : 30sec / 15min

- conduite modulable selon l'étage

Pompe : 220V, 1.2kW

Réserve d'eau inox (200cm x 50cm x 30cm soit 300 L)

Chauffage de l'eau intégré



Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

2) PLFP

→ Dispositif à étages – avec éclairage



1 m² utilisé au sol (2x0,5)
2 mètres de haut
4 étages pour une capacité
totale de 1200 boutures

Eclairage LED :
- 1 LED bleue pour 4 led blanc.
- 20 W /étage, répartis en 2
rangs.

Éléments à revoir :

- Absence d'un indicateur du niveau d'eau
- Pompe surdimensionnée.
- Roues pour déplacement.



Mise au point d'une unité pilote pour réaliser le bouturage par aéroponie à grande échelle - CDHRC

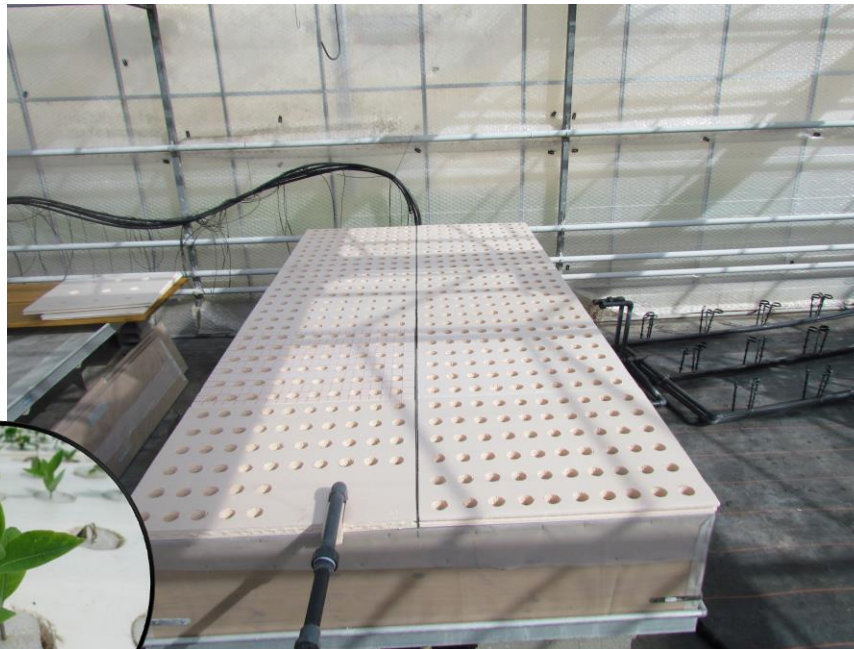
Présentation des systèmes aéroponiques mis en place

2023/2024 : Prototypes non mobiles avec plaques de polystyrène et mousses

Petit système (0,5 m²)



Grand système (4,5 m²)



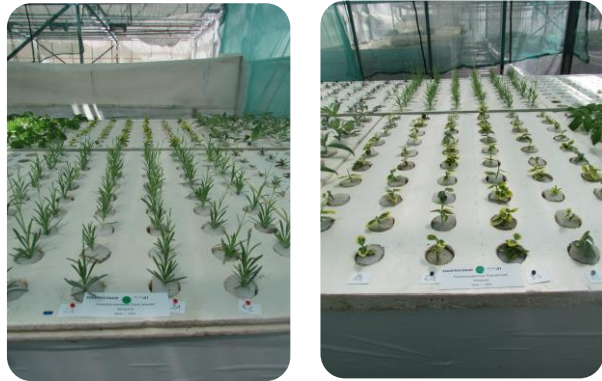
- Automatisation de l'arrosage (30 secondes/5 minutes)
- Très bonne accessibilité aux boutures
- Bon maintien des boutures
- Système d'insertion chronophage
- Densité moyenne
- Salissement
- Structure non mobile

Mise au point d'une unité pilote pour réaliser le bouturage par aéroponie à grande échelle - CDHRC

Présentation des systèmes aéroponiques mis en place

2023/2024 : Prototypes non mobiles avec plaques de polystyrène et mousses → Augmentation densité

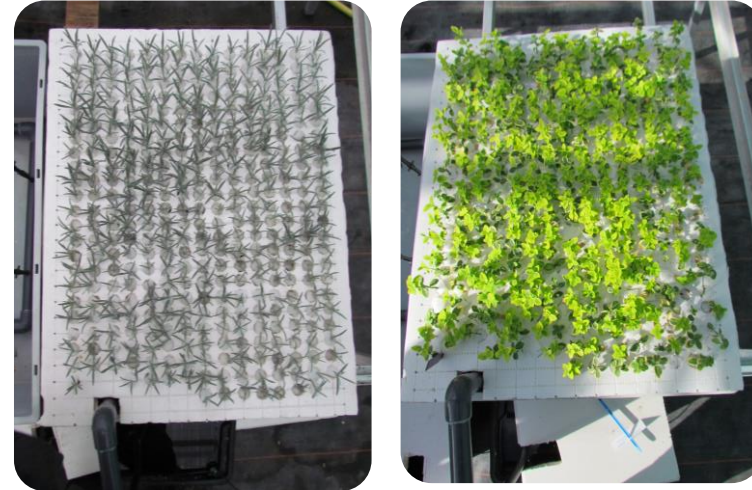
Lavande
&
Fusain



125 boutures/m²

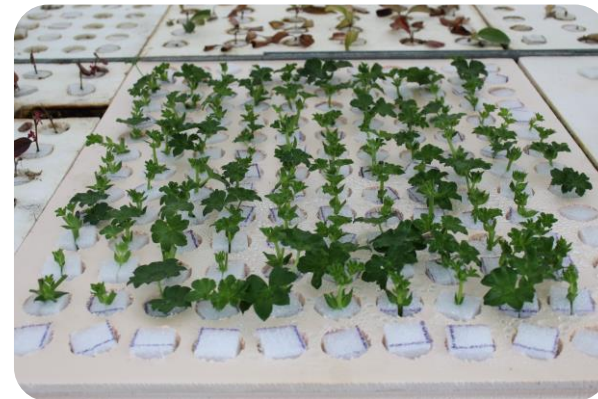


Augmentation de la
densité de bouturage



687 boutures/m²

Pelargonium



320 boutures/m²

Mise au point d'une unité pilote pour réaliser le bouturage par aéroponie à grande échelle - CDHRC

Cahier des charges du dispositif final d'aéroponie pour version n°2

- Structure :

- Environ 5 m²
- Système mobile : sur roulettes
- Travail à hauteur humaine; accès au milieu de table de bouturage.
- Matériau résistant ; isolant
- Sans fuite.
- En système fermé
- procédé pour maintien hygrométrie des parties aériennes.

- Système insertion boutures :

- Bonne accessibilité
- Manutention rapide et facilitée
- Densité maximale

- Contrôle des paramètres de culture :

- Régulation pH/EC
- Régulation de la température de l'eau brumisée.
- Programmation modulable (durée, fréquence arrosage)



Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

3) CDHRC

Version n°2



Automate de régulation

Bac de remplissage

Ajustement de l'EC et du pH (dosatrons)

- Automatisation de l'arrosage (30 secondes/5 minutes)
- Remplissage du bac d'eau facilité (alarme de niveau, remplissage semi-automatique)
- Automatisation de la régulation du pH et de l'EC
- Mobile (roulettes).
- Economies d'échelle possible.

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs



Asperseurs (à lame)

Bac de culture

Vue du dessus



Support des boutures

Vue du dessous

→ Dimensions : 3 m de longueur / 1,5 m de largeur → 4,5 m²

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

Supports de boutures – système de départ (n°1) : plaques trouées avec mousses insérées



Intérêts :

- Pas d'humidité à passer vers la partie supérieure du dispositif.
- Boutures bien tenues.
- Temps mise en place et récolte des boutures trop élevés.

Plaque de Comacel (PVC Expandé. Ex : 50 x 53 x 1 cm

Trous Ø3 cm: 448 boutures /m²

Trous Ø2 cm: 888 boutures /m²

Référence : mottes de culture de Ø3cm en plaque de 104 alvéoles → 661 boutures /m².

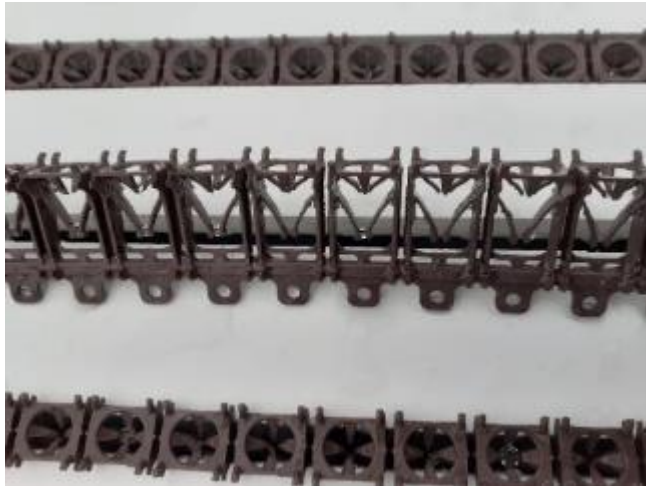
Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

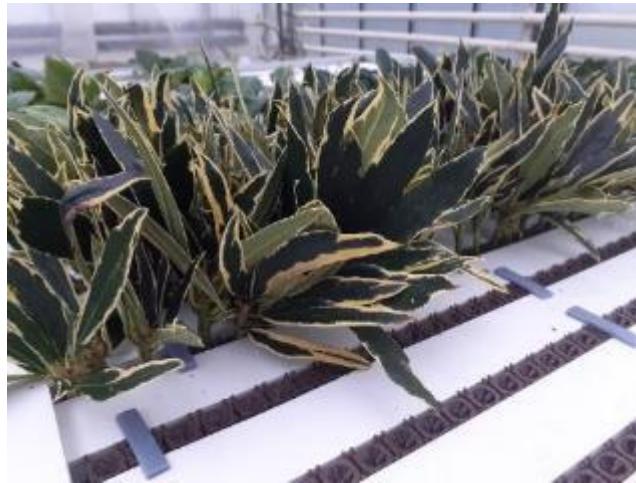
1) CATE

Supports de boutures – 2ème système – Autostyx + bandes intercalaires



Autostyx strip (procédé Visser / Viscon)
+ Plaque intercalaires de 4 cm (Comacel) :

- (15x15x35) x 28 : 932 boutures /m²maxi
- (8x9x30) x 48 : 1913 boutures /m²maxi



→ **Système non retenu.**

- Fort passage d'humidité du compartiment racinaire vers compartiment des parties aériennes.
- Tenue des boutures insuffisante.

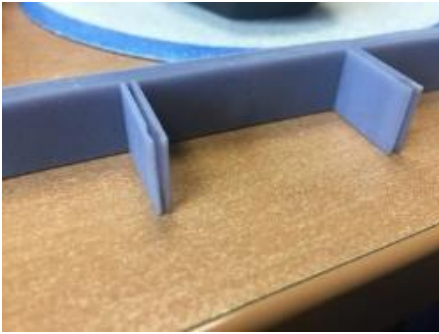
Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Supports de boutures – 3ème système – Support par impression 3D + bandes intercalaires



Fabrication des supports de boutures en impression 3D
+ Plaque intercalaires de 4 cm (Comacel) :
557 boutures /m²maxi

→ **Système non retenu.**

- Léger passage d'humidité du compartiment racinaire vers compartiment des parties aériennes.
- Positionnement des boutures délicat.
- Manque d'élasticité du support dans le temps.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

1) CATE

Supports de boutures – Version finale CATE (procédé n°4)



Intérêts :

- Pas de passage d'humidité du compartiment inférieur vers le compartiment des parties aériennes.
- Boutures bien tenues.
- Manipulations des boutures aisées.
- Autoconstruction facile.
- Pose des supports sur un cadre pour avoir un effet plaque.

**Systeme
approuvé**

- Bande de mousse Plastazote LD29
Dimension : 53 cm x 3 cm x ép. 15 mm. Mousse de polyéthylène réticulé.
Densité : 29 kg /m3. Cellules fermées. Etanche à l'eau et à l'air. Lavable. Couleur anthracite.
Fournisseur : Vexi (www.vexi.fr)
- Collée à un profilé cornière PVC blanc 19,5 mm.
+ 1 fente tous les 3,5 cm → D maxi = 815 btr /m²

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

2) PLFP

Supports de boutures – Version finale PLFP



Plaque avec mousses posées



Plaque AirPot

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

3) CDHRC

Supports de boutures – Version finale CDHRC



Support de boutures → joints d'étanchéité en brosse pour portes

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.2. : Construction des dispositifs

3) CDHRC

Supports de boutures – Version finale CDHRC

→ Permet une densité supérieure au bouturage classique en alvéoles en substrat (660 boutures/m²)

→ Densité variable en fonction des espèces (en lien avec taille/densité des feuilles)

Exemples d'espèces avec une densité modérée (1000-1500/m²)



Pelargonium



Cotinus



Clématite



Rue



Boutures de Pelargonium sur système aéroponique



~ 1300
boutures
au m²

Exemples d'espèces permettant une forte densité (2000-5000/m²)



Lavande



Romarin



Azalée



Nepeta



Némésia



Fusain



Boutures de lavandes sur système aéroponique

~ 5000
boutures
au m²

**Système
approuvé**

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Fonctionnement général



- Modules de pompage, de stockage et de traitement de l'eau.
 - Module de régulation, de contrôle, de commande, d'alarme.
-
- OK pour les 3 dispositifs. Bon fonctionnement.
 - Brumisation des racines. Base : 30 secondes toutes les 3 minutes.
 - Changement d'échelle → Problèmes de régulation du pH au CATE → eau de départ avec faible pouvoir tampon à privilégier.
 - Pas d'injection d'engrais.

Projet Racin'Air

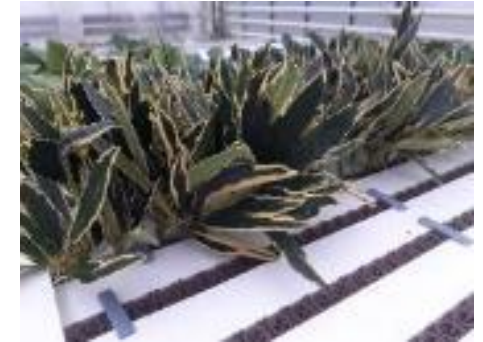
Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Problèmes rencontrés

Remontée d'humidité du compartiment racinaire dans compartiment des parties aériennes :

- A proscrire pour ne pas avoir de maladies du feuillage.
- Dépend :
 - ✓ Du dispositif pour supporter les boutures.
 - ✓ Du type de buses de brumisation dans le compartiment racinaire.
- 2 cas de figure différents :
 - Buses Netafim Coolnet (CATE) → brouillard fin → support de boutures doit être hermétique → Difficultés avec les procédés n°2 et n°3 testés au CATE (auto Styx et supports maison fabriqués par imprimante 3D).
 - Asperseur à lame bars (CDHRC) → film d'eau → moins d'exigence pour fuite au niveau des supports de boutures (brosse d'étanchéité de porte convient).
- Difficultés résolues avec procédé n°4 au CATE et procédé CDHR.



Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Problèmes rencontrés

Inadaptation du capot de protection au CATE :

- Rôles : - Créer un confinement pour limiter la transpiration des boutures (en été).
- Garder de la chaleur et limiter les déperditions d'énergie en hiver

1ère version :

- Trop transparent, volume trop petit, Plexiglass non traité anti-goutte, forme plate.
- Climat à la fois trop dur en été (fort rayonnement, chute d'hygrométrie) et trop humide avec condensation en hiver. Conjonction de plusieurs facteurs défavorables (supports de boutures, capot, brumisation) → Forte perturbation des résultats du bouturage.

2ème version :

- En hiver : forts écarts de T° entre serre non chauffée et intérieur chauffé du dispositif → Condensation sur les parois & augmentation risque maladie.
- Mieux adapté en été pour limiter transpiration des boutures.
- Ne pas systématiser. A raisonner.



CATE – Version n°1



CATE – Version n°2

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Problèmes rencontrés :

Apparition de biofilms et pollution bactérienne (CATE) :

- Biofilm à la base des boutures → embolie et dépérissement de boutures (Griseline, Oleraria, Rhododendron).
- Bouchage des filtres → perte de pression, diminution du débit de brumisation, nécessité de nettoyer les filtres.
 - Désinfection de l'eau par du peroxyde d'hydrogène (1 à 2 fois /semaine, 2 à 8 mg d'H₂O₂ /L d'eau).
 - Mesure de l'évolution du taux d'H₂O₂ /L d'eau avec des bandelettes adaptées.
 - Pas de phytotoxicité observée.
 - Nette diminution des contaminations.
 - Pas de lumière dans le compartiment racinaire pour éviter les algues.

Accécibilité aux boutures pour contrôle pendant l'enracinement :

- Importance des dimensions de la table de bouturage : éviter largeur des supports de boutures > 50-60 cm. Largeur du dispositif < 1m-1m20.
- Prévoir de poser les supports de boutures sur des cadres pour faciliter la manipulation (avec un système facilitant la préhension).
- Hauteur de la table de bouturage = 80-90 cm.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Problématique spécifique au bouturage par aéroponie : l'alimentation hydrique des boutures

Pour le bouturage en substrat : question résolue par atmosphère saturé de vapeur d'eau + réserve d'eau dans le substrat de repiquage.

Avec bouturage par aéroponie, les parties aériennes des boutures sont dans un atmosphère desséchant → les boutures transpirent → demande en eau à la base des boutures → de l'eau est absorbé au niveau du point de coupe avant l'apparition des racines.

Pour assurer un statut hydrique satisfaisant des boutures, il doit exister un équilibre entre :

- L'eau évaporée au niveau du feuillage.
- La fourniture d'eau à la base des boutures par la brumisation dans le compartiment racinaire (avant et après l'apparition des racines).



Leviers d'action :

- **Fréquence et durée de déclenchement des brumisations dans le compartiment racinaire.**
- **Type de brouillard et rôle des gouttes d'eau à la base des boutures, de la forme de la coupe.**
- **Confinement plus ou moins prononcé par un capot des parties aériennes pour limiter la transpiration.**
- **Climat de la serre, aération, ombrage.**

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Problématique spécifique au bouturage par aéroponie : l'empotage en substrat

Phase critique demandant une attention particulière (notamment en période estivale).

Nécessite de développer des conduites de repotage spécifiques :

- **Racines des boutures ni trop développées ni pas assez → conditionne durée de maintien sur le système aéroponique.**
- **Manipulation délicate (racines fragiles pour certaines espèces)**
- **Type de substrat post repotage (aération élevée)**
- **Gestion fine de l'arrosage (arrosages légers mais fréquents au départ)**
- **Gestion de l'hygrométrie (transition douce pour réhabituer la plante à transpirer normalement), ombrage en période estivale**

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation.

Supports de boutures

	Avantages	Inconvénients
1 ^{er} procédé : Plaques à trous avec mousse à insérer	<ul style="list-style-type: none">- Simple.- Boutures bien callées.- S'adapte à différents diamètres de bouture- Possibilité de soulever les plaques pour observer les racines.- Pas de remontée d'humidité du compartiment racinaire.	<ul style="list-style-type: none">- Temps de mise en place le plus long.- Désinfecter ou changer les mousses de temps en temps.
2 ^{ème} procédé : AutoStix Strip	<ul style="list-style-type: none">- Installation des boutures plus rapide que dans plaques à trous.	<ul style="list-style-type: none">- Positionnement moins stable.- Remontée d'humidité du compartiment racinaire.- Difficulté à soulever les bandes qui ne sont pas solidaires (contrôle et récolte moins facile) → à insérer dans un cadre.- Boutures ressort peu en dessous → Pas idéal pour l'enracinement. Pose en oblique nécessaire.- Densité plus faible si on occupe qu'un emplacement sur deux.
3 ^{ème} procédé – Support en impression 3D	<ul style="list-style-type: none">- Installation des boutures plus rapide que dans les précédents systèmes.- Boutures stables.	<ul style="list-style-type: none">- Difficulté à soulever les bandes qui ne sont pas solidaires : contrôle et récolte des boutures enracinées délicats → à insérer dans un cadre adapté.- Fabrication à industrialiser
4 ^{ème} procédé – Lattes en mousse	<ul style="list-style-type: none">- Simple.- Boutures bien callées.- S'adapte à différents diamètres de bouture- Pas de remontée d'humidité du compartiment racinaire.	<ul style="list-style-type: none">- Difficulté à soulever les bandes qui ne sont pas solidaires → à insérer dans un cadre.- Temps de mise en place et de récolte bien maîtrisé.- Auto fabrication facile.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation

Supports de boutures

Projet Racin'air - CATE - Temps de travaux pour le bouturage en aéroponie et l'élevage des godets

Phases de la culture	Bouturage en substrat	Bouturage en aéroponie			
	Motte de culture (Ø3 cm - plaque de 104)	Plaque avec trou Ø3 et mousses à insérer (procédé n°1)	Autostyx (procédé n°2)	Support en impression 3D (procédé n°3)	Latte en mousse (procédé n°4)
Temps total phase aéroponie /100 boutures en heure décimale (1)	1,00	1,53	1,17	1,19	0,94
Temps total phase élevage godet /100 boutures en heure décimale (2)	0,78	1,25	1,25	1,25	1,25
Temps total /100 boutures en heure décimale	1,78	2,78	2,42	2,44	2,19
Coût de main d'oeuvre total en € / 100 boutures	32,00	50,00	40,00	44,00	39,50
Ecart de temps en % par rapport à la méthode de référence (bouturage en substrat)		56,3	35,9	37,5	23,4

Le bouturage par aéroponie avec le procédé d'insertion des boutures n°4 (définitif) nécessite 23% de temps de travail en plus par bouture (du prélèvement des boutures à la vente des jeunes plants en godets).

(1) Ce temps comprend le nettoyage du dispositif d'aéroponie, le prélèvement et le façonnage des boutures, la préparation des applications d'hormone d'enracinement et l'application, le suivi de la culture pendant l'enracinement.

(2) Ce temps comprend la récolte des boutures enracinées, la préparation des substrats et de l'emportage, l'emportage, la mise en place dans un abri, le suivi de la culture et de l'état sanitaire jusqu'au stade de la commercialisation du jeune plant.

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes Tâche 1.3 : Evaluation. Espèces et séries bouturées

Nombre de taxons testées : 118.

Entre 3 à 16 modalités par espèce testée

Nombre de lots /modalités testés :

935 lots différents

Pour un nombre total de 23 840 boutures

24 séries de boutures réalisées

Annuelles
<i>Calibrachoa</i>
<i>Coleus blumei</i>
<i>Dipladenia Mandevilla</i>
<i>Euphorbia pulcherrima</i>
<i>Euphorbia x martinii</i>
<i>Hysopus officinalis</i>
<i>Nemesia fructians</i>
<i>Nepeta x faassenii 'Cat's meow'</i>
<i>Ocimum basilicum</i>
<i>Pelargonium cantabrigense</i>
<i>Pelargonium citronelleum</i>
<i>Pelargonium interspecific</i>
<i>Pelargonium peltatum</i>
<i>Pelargonium zonale</i>
<i>Streptocarpus saxorum</i>

Vivaces
<i>Alstromeria</i>
<i>Artemisia absinthium</i>
<i>Begonia</i>
<i>Bulbine frutescens</i>
<i>Fargesia robusta</i>
<i>Gaillardia</i>
<i>Gaura lindheimeri</i>
<i>Geranium cantabrigense</i>
<i>Geranium macrorrhizum</i>
<i>Impatiens interspecific</i>
<i>Lobularia maritima</i>
<i>Osteospermum</i>
<i>Ruta graveolens</i>
<i>Sedum</i>

Arbustes, arbrisseaux et petits arbres			
<i>Abelia grandiflora</i>	<i>Diervilla</i>	<i>Lonicera heckrotii 'Goldflame'</i>	<i>Rosa</i>
<i>Acacia dealbata Gaulois</i>	<i>Distylium</i>	<i>Lonicera nitida</i>	<i>Rosmarinus officinale</i>
<i>Amelanchier canadensis</i>	<i>Eriostemon myoporoides</i>	<i>Lonicera similis 'Delavai'</i>	<i>Rubus idaeus</i>
<i>Amelanchier lamarckii</i>	<i>Escallonia laevis</i>	<i>Loropetalum chinense</i>	<i>Salix integra</i>
<i>Arbutus Unedo</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Magnolia 'Flore pleno'</i>	<i>Salvia canariensis</i>
<i>Aronia melanocarpa</i>	<i>Euonymus fortunei</i>	<i>Magnolia 'François Treyve'</i>	<i>Salvia gregii</i>
<i>Azalea japonica 'Purple splendor'</i>	<i>Fuchsia hybrida</i>	<i>Magnolia 'Galisoniensis'</i>	<i>Salvia microphylla 'Hot Lips'</i>
<i>Buddleia davidii</i>	<i>Fusain</i>	<i>Malus coccinella</i>	<i>Salvia x hybrida</i>
<i>Camelia sinensis</i>	<i>Griselinia littoralis</i>	<i>Myrtus communis</i>	<i>Sambucus nigra</i>
<i>Camellia japonica</i>	<i>Hibiscus syriacus</i>	<i>Osmanthus x burkwoody</i>	<i>Sorbaria sorbifolia</i>
<i>Caryopteris clandonensis</i>	<i>Hydrangea paniculata</i>	<i>Passiflora edulis 'Frederick'</i>	<i>Spirea japonica</i>
<i>Cassia corymbosa</i>	<i>Hydrangzea macrophylla</i>	<i>Perovskia</i>	<i>Symphoricarpos</i>
<i>Ceanothe thyriflorus repens</i>	<i>Hypericum inodorum</i>	<i>Physocarpus opulifolius</i>	<i>Syringa microphylla</i>
<i>Choisya ternata</i>	<i>Kiwai</i>	<i>Pieris japonica</i>	<i>Syringa vulgaris</i>
<i>Cistus corbariensis</i>	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Pittosporum tenuifolium</i>	<i>Vaccinium corymbosum</i>
<i>Citrus australasica</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Potentilla fruticosa</i>	<i>Viburnum harrayanum</i>
<i>Clematis</i>	<i>Lavandula angustifolia</i>	<i>Prunus cerasus</i>	<i>Viburnum odoratissimum</i>
<i>Cornus alba</i>	<i>Lavandula x intermedia</i>	<i>Punica granatum</i>	<i>Viburnum opulus</i>
<i>Cornus mas</i>	<i>Leycesteria formosa</i>	<i>Rhododendron ponticum</i>	<i>Viburnum plicatum</i>
<i>Cotinus coggygria</i>	<i>Ligustrum japonicum</i>	<i>Ribes nigrum</i>	<i>Viburnum tinus</i>
<i>Cupressocyparis leylandii</i>	<i>Ligustrum ovalifolium</i>	<i>Ribes sanguineum</i>	<i>Vitex agnus castus</i>
<i>Deutzia gracilis</i>	<i>Lonicera caerulea</i>		

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes Tâche 1.3 : Evaluation. Espèces et séries bouturées

- Horticulture : Pelargonium

Année	2023			2024				2025			
Type de bouturage	Aéroponie			Aéroponie		Substrat		Aéroponie		Substrat	
Date de début du bouturage	21-juil.	6-sept.	10-nov.	10-avr.	4-juin	10-avr.	4-juin	31-juil.	16-sept.	31-juil.	16-sept.
Temps d'apparition des premières racines	10 jours	15 jours	10 jours	20 jours	8 jours	26 jours	27 jours	25 jours	28 jours	14 jours	27 jours
Date de fin du bouturage	10-août	19-oct.	20-déc.	14-mai	2-juil.	4-juin	2-juil.	8-sept.	22-oct.	8-sept.	22-oct.
% de boutures enracinées	90%	100%	28%	97%	80%	85%	95%	73%	100%	83%	83%



Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation. Espèces et séries bouturées

- Pépinière : Magnolia

Trempages réguliers dans solution hormones pour les boutures en aéroponie

Année	2023		2024					
Variété	Magnolia 'Galisoniensis'	Magnolia 'Flore pleno'	Magnolia 'Galisoniensis'		Magnolia 'Flore pleno'		Magnolia 'François Treyve'	
Type de bouturage	Aéroponie	Aéroponie	Aéroponie	Substrat	Aéroponie	Substrat	Aéroponie	Substrat
Hormone de bouturage	Oui	Oui	Oui (x4)	Oui (x4)	Oui (x4)	Oui (x4)	Oui (x4)	Oui (x4)
Date de début du bouturage	03/11/2023	03/11/2023	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024
Date de fin du bouturage	26/03/2024	26/03/2024	03/09/2025	28/03/2025	03/09/2025	28/03/2025	03/09/2025	28/03/2025
% de boutures enracinées	5%	0%	55%	12,5%	52,5%	17,5%	70%	80%



Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation. Espèces et séries bouturées

Lonicera kamschatica

2 protocoles de bouturage intéressants :

1) Bouturer en Avril

Bouture de tête – herbacée –

Trempage dans l'AIA dosée à **200 mg/L** (pendant 4h)

Température de l'eau à 20°C

Empotage en godet à ~ J+30
→ 75% de réussite

2) Bouturer en Septembre

Bouture de tête – semi ligneuse –

Trempage dans l'AIA dosée à **200 mg/L** (pendant 6h)

Température de l'eau à 22°C

Empotage en godet à ~ J+37
→ 93% de réussite



J+20 après
bouturage



7 mois après bouturage (pot 2L)



1,5 ans après bouturage
(pot 7,5L)

Projet Racin'Air

Action 1 - Mise au point d'unités pilotes

Tâche 1.3 : Evaluation. Espèces et séries bouturées

Fort effet des facteurs sur de nombreuses espèces :

- Période de bouturage.
- Type de bouture (tête, tronçons).
- Stade des boutures (herbacé, semi-herbacé, semi-ligneux, ligneux).
- Utilisation d'auxines (application par trempage de la base des boutures – concentration x temps de trempage)

→ Pour espèces difficiles à enraciner → mise au point espèce par espèce (comme pour le bouturage en substrat mais évaluation des effets est plus facile).

Ceanothe thrysiflorus repens

% de boutures enracinées (%)

	[AIB] ppm				Moyenne
	TNT	100	200	500	
Avec capot	63,6	100	72,7	60	74,1
Sans capot	54,5	100	90,9	80	81,4
Moyenne	59,1	100,0	81,8	70,0	77,7

Note qualité des racines (1 : faible, 5 : forte)

	[AIB] ppm				Moyenne
	TNT	100	200	500	
Avec capot	1,5	4,5	4,1	4,7	3,7
Sans capot	1,7	4,8	4,1	4,9	3,9
Moyenne	1,6	4,7	4,1	4,8	3,8

Cassia corymbosa - Effet de la concentration en AIB et du temps de trempage de la base des boutures sur la réussite du bouturage en aéroponie

% de boutures enracinées (%)

[AIB] en ppm	Temps de trempage de la base des boutures				Moyenne
	0h	2h	4h	16h	
250				42,8	42,8
500		21,4	7,1	71,4	37,5
1000		7,1	28,5		21,4
TNT	14,3				14,3
Moyenne	14,3	14,3	17,8	57,1	30,1

Note de qualité des racines

[AIB] en ppm	Temps de trempage de la base des boutures				Moyenne
	0h	2h	4h	16h	
250				2,0	2,0
500		1,1	0,3	3,1	1,8
1000		0,1	0,8		0,7
TNT	1,0				1,0
Moyenne	1,0	0,6	0,6	2,6	1,3

Projet Racin'Air

Action 2 - Transfert du procédé, des méthodes et du matériel végétal

- **Tâche 2.1. : transfert de boutures produites dans les prototypes en condition de production (pour évaluer le matériel végétal issus des prototypes) :**
 - Pour évaluer le matériel végétal issus des prototypes.
 - Mis en œuvre par PLFP : empotage des boutures racinées en godet ou C1L et diffusions de plusieurs milliers de plants (lavandin, potentille, Fusain...). Bon retour d'expérience.
 - Visite de lots de jeunes plants par producteurs. Bonne perception de la qualité mais difficulté à intégrer des petits lots dans leur planning de production.

Projet Racin'Air

Action 2 - Transfert du procédé, des méthodes et du matériel végétal

➤ **Tâche 2.2. : Installation d'unités expérimentales ou pilotes chez des multiplicateurs et des producteurs.**

- Mise au point des prototypes a mis plus de temps que prévu.

- Manque de données techniques et économiques pendant le projet pour déclencher la décision d'investir des producteurs.

- 1 procédé expérimentale testé chez 1 pépiniériste.

- 1 procédé en cours de construction chez 1 autre pépiniériste.

- 1 projet en cours de réflexion chez un producteur de plantes à massif :

Pélargonium à commander en juillet pour une livraison fin d'hiver-début de printemps suivant → complément de production envisagé au printemps grâce au bouturage par aéroponie si marché attractif (cycle court avec prélèvement des boutures sur les 1^{ères} cultures avant la vente).

- Beaucoup de curiosité pour le procédé lors des visites d'essais.



1^{er} pas pour tester la technique → tests avec le dispositif expérimental du type X-Aéropo

→ très peu de risque (400 €)

Projet Racin'Air

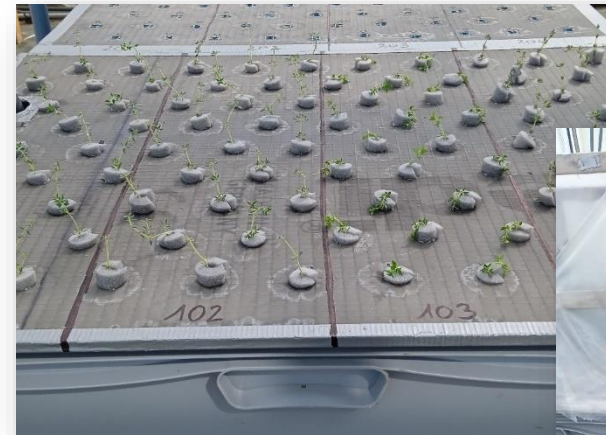
Action 2 - Transfert du procédé - élargissement à la filière PPAM

6 ESSAIS REALISES / ITEIPMAI

Essai (Période)	Objectifs (Modalités) Variétés / Espèces
Thym 1 (avril 2023) <i>Présenté au dernier COPIL</i>	Prendre en main des modules Comparer 2 méthodes de bouturage (substrat; aéroponie) et 2 types de boutures (tête; tronçon) Sur thym T36 et thym 5-55
Thym 2 (juin 2023) <i>Présenté au dernier COPIL</i>	Comparer différents stades de repotage après aéroponie (bourgeons racinaires; racine de 2 à 5 mm; racine de 1 à 2 cm; témoin sans aéroponie) Sur thym T36
Température (janvier 2024)	Comparer différentes températures d'eau d'aspersion (19°C; 22°C; 25°C; 28°C; 31°C; témoin sans chauffage) Sur thym T36
Fréquence d'aspersion (mai 2024)	Comparer différentes fréquences d'aspersion (10s toutes les 1min; 30s toutes les 3min; 1min toutes les 10min) Sur thym T36; thym 5-55; lavande Maillette; lavandin Grosso
Température (novembre 2024)	Comparer différentes températures d'eau d'aspersion (19°C; 22°C; 25°C; 28°C; 31°C; témoin sans chauffage) Sur thym T36; thym 5-55; lavande Maillette; lavandin Grosso
Aéro/Terreau (février 2025)	Comparer les 2 méthodes de bouturage (aéroponie avec eau à 22°C et aspersion 10s/min; terreau en plaque) Sur thym T36; thym 5-55; lavande Maillette; lavandin Grosso

Projet Racin'Air

PRINCIPAUX RÉSULTATS

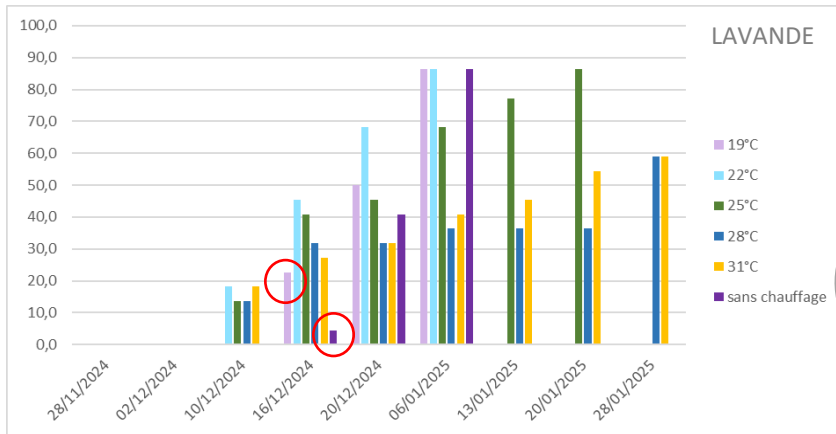


2 ESSAIS « TEMPÉRATURE »

JANVIER ET NOVEMBRE 2024

Projet Racin'Air

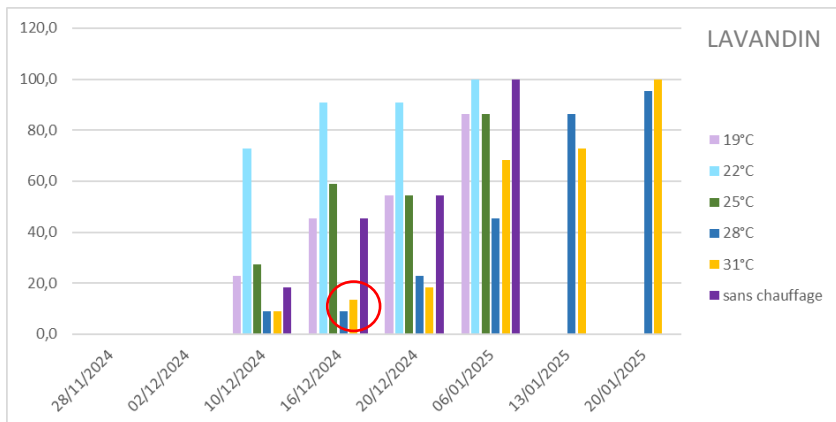
POURCENTAGE DE BOUTURES ENRACINÉES
SELON LA TEMPÉRATURE DE L'EAU D'ASPERSION
(NOVEMBRE 2024)



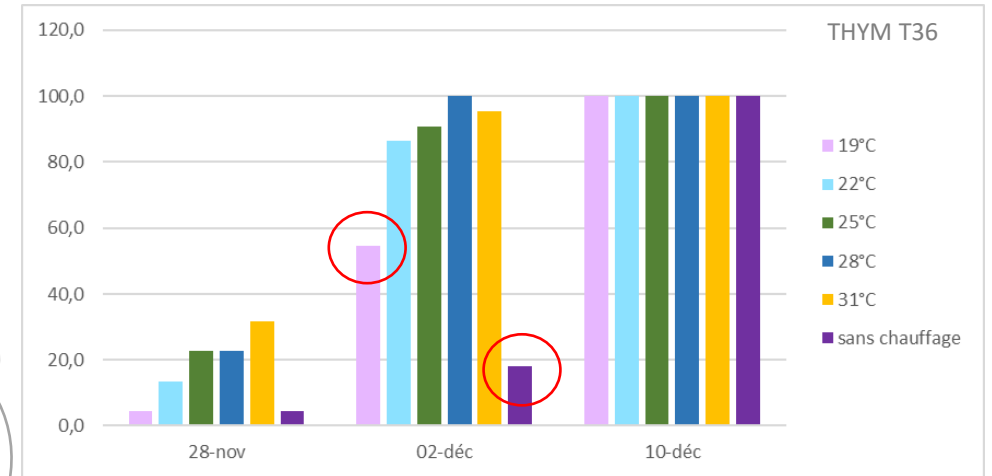
TEMPÉRATURE OPTIMALE : 22°C

- RAPIDITÉ D'ENRACINEMENT
- BONNE CROISSANCE DES PARTIES AÉRIENNES
- BONNE REPRISE AU CHAMP
- MOINDRE COUT ÉNERGÉTIQUE

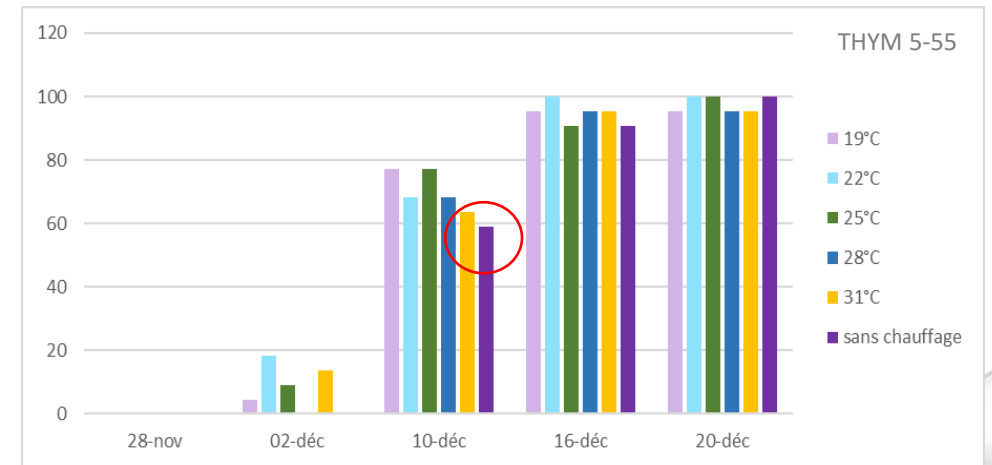
LAVANDE : ENRACINEMENT PLUS LENT SANS CHAUFFAGE ET À 19°C



LAVANDIN : ENRACINEMENT PLUS LENT À 28°C ET À 31°C



THYM T36 : ENRACINEMENT PLUS LENT SANS CHAUFFAGE ET À 19°C



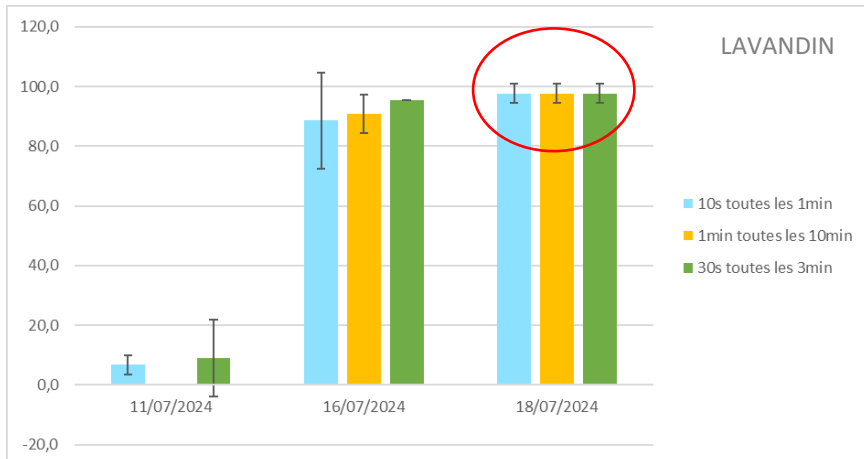
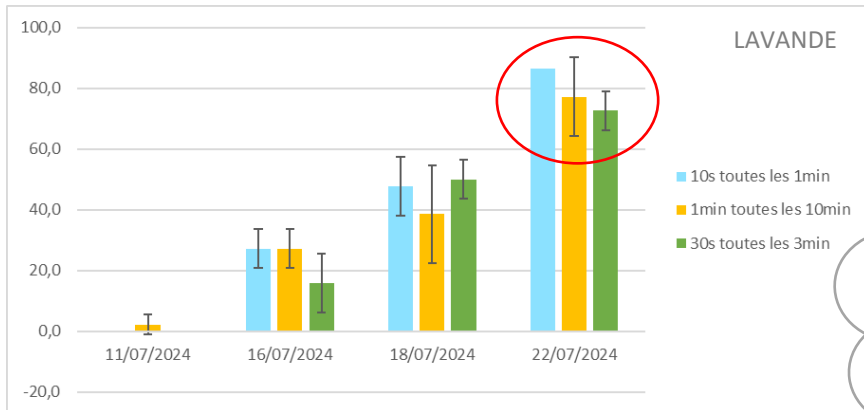
THYM 5-55 : ENRACINEMENT PLUS LENT SANS CHAUFFAGE ET À 31°C

ESSAI « FRÉQUENCE D'ASPERSION »

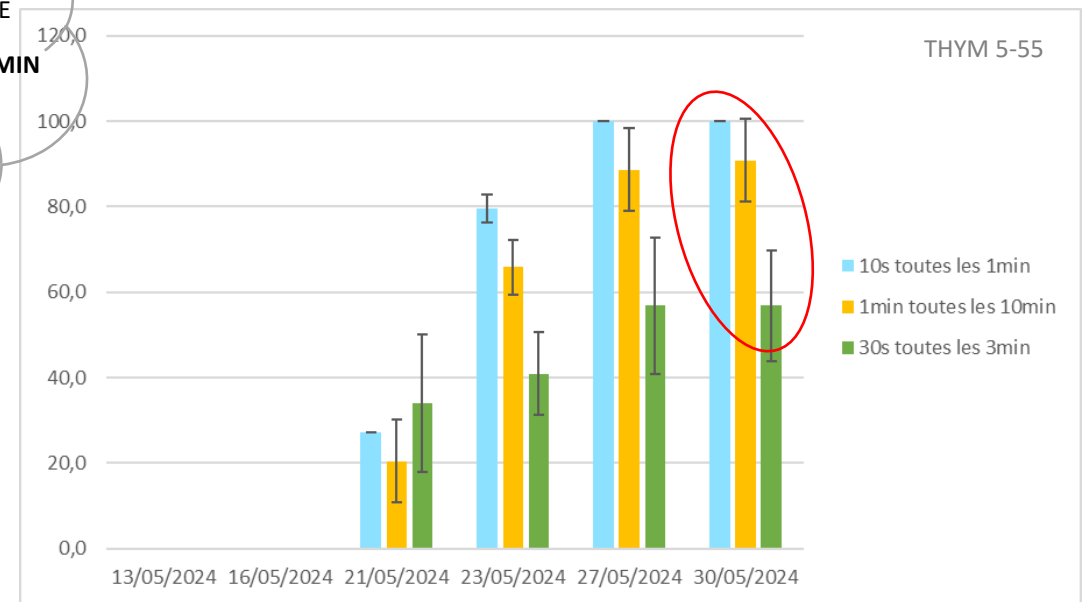
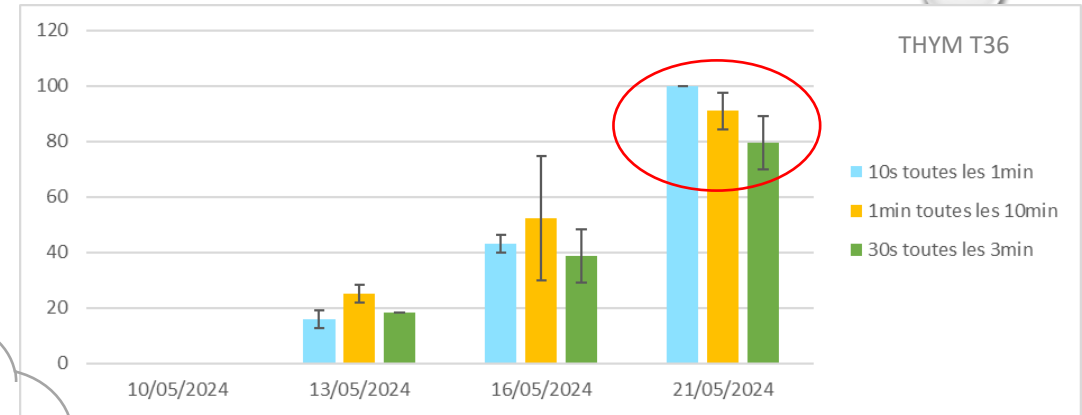
Projet Racin'Air

MAI 2024

POURCENTAGE DE BOUTURES ENRACINÉES
SELON LA FRÉQUENCE D'ASPERSION (MAI 2024)



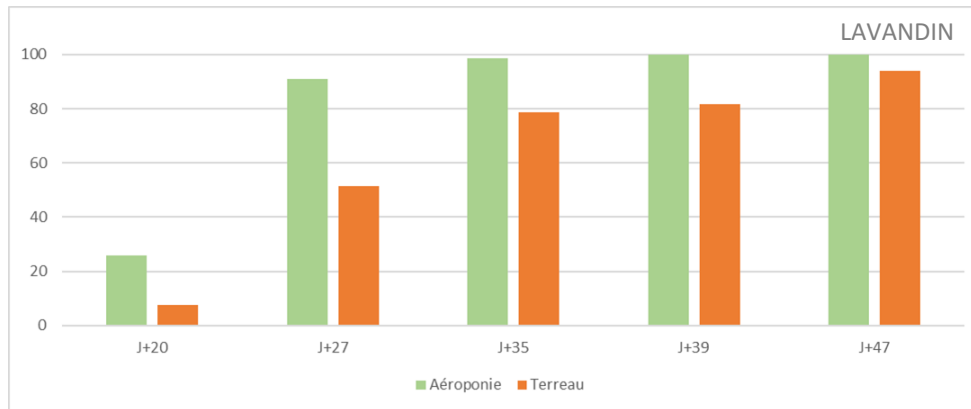
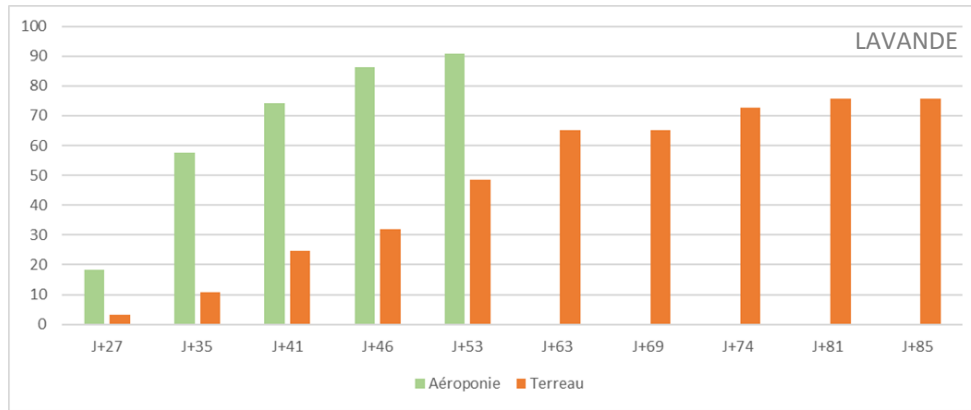
FRÉQUENCE OPTIMALE : PEU DE DIFFÉRENCE
MEILLEURE TENDANCE : **10S TOUTES LES 1 MIN**
- RAPIDITÉ D'ENRACINEMENT
(PAS DE DIFFÉRENCE SUR LES AUTRES FACTEURS)



ESSAI « AÉRO/TERREAU »

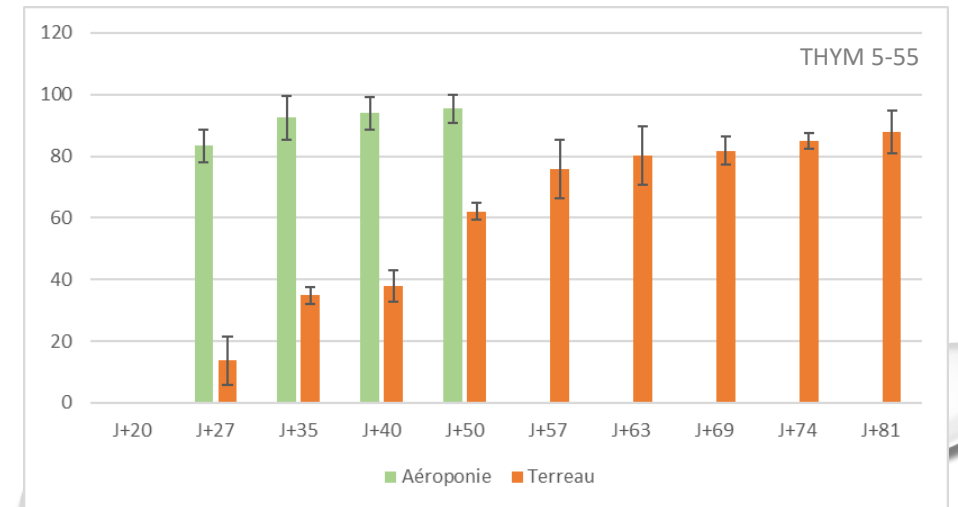
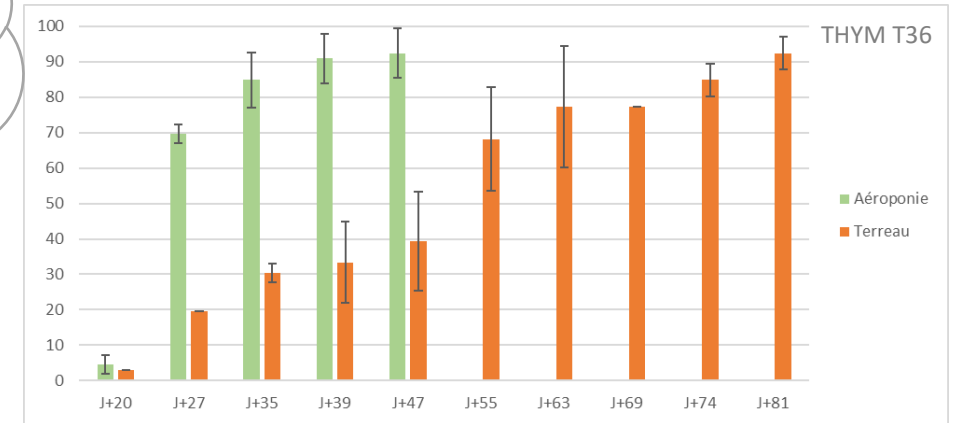
FÉVRIER 2025

TAUX D'ENRACINEMENT DANS LES PLAQUES DE TERREAU
SELON LA MÉTHODE DE BOUTURAGE (EN %)



AVEC L'AÉROPONIE :

- ENRACINEMENT PLUS RAPIDE
- CROISSANCE PLUS RAPIDE DES PARTIES AÉRIENNES

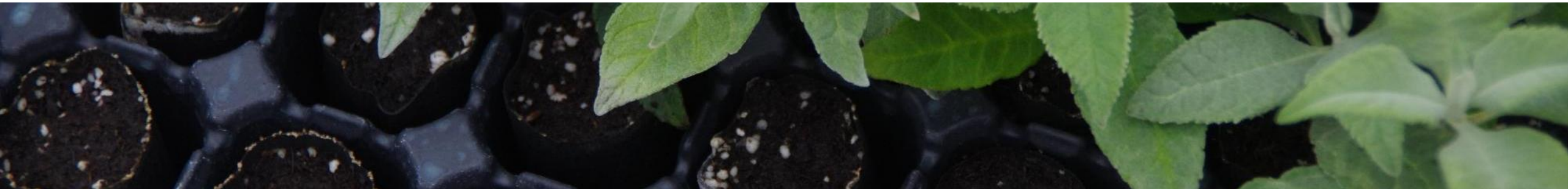


Projet Racin'Air

Action 3 - analyse économique du procédé

Tâche 3.1 : Etude de la viabilité économique et de la durabilité d'une production industrielle de jeunes plants par aéroponie

- Synthétiser les données techniques et économiques pour le fonctionnement des dispositifs pilotes et les coûts d'investissement
- Etablir des coûts de production partiels du bouturage par aéroponie



Contacts :

Anne-laure.laroche@astredhor.fr



iteipmai

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR

Liberté
Égalité
Fraternité

Méthodologie

Questions posées

Quel sont les couts d'investissement pour ces systèmes ?

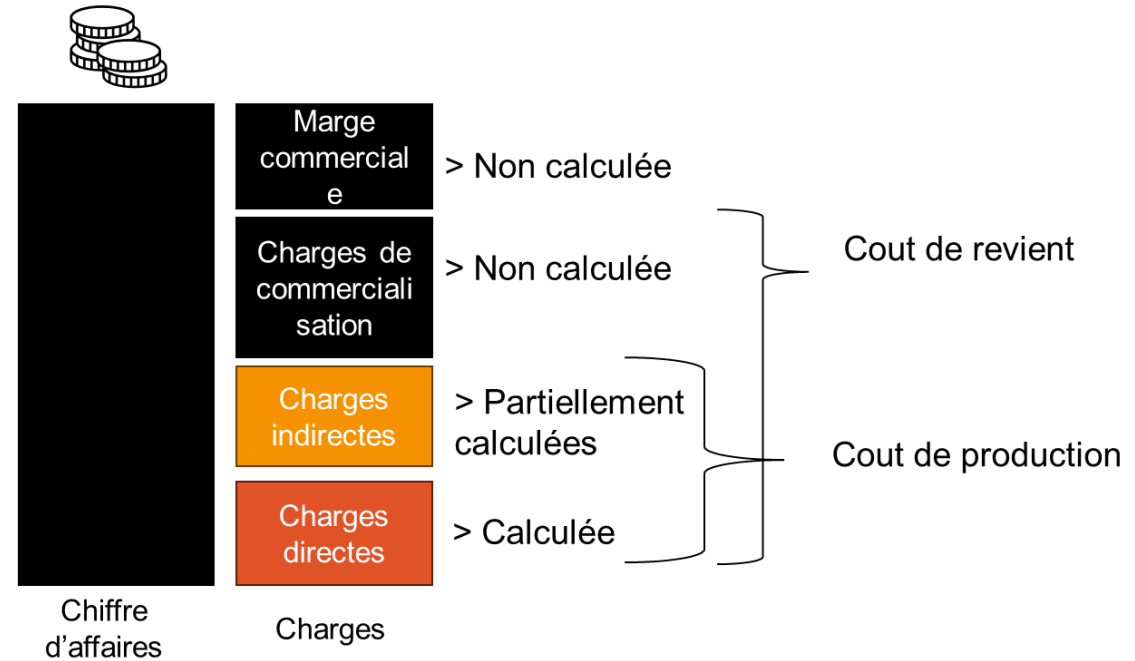
Combien coute le fonctionnement des systèmes d'aéroponie ?

Combien de temps de travail cette méthode de production exige-t-elle ?

Combien coute la production des boutures racinées ?

Est-ce plus ou moins qu'avec une méthode conventionnelle ?

Que calcule-t-on ?



Méthodologie



Enregistrement des données pour 128 séries de boutures

Pilotes	2024	2025
CATE	29 séries	29 séries
CDHR Centre	48 séries	8 séries
Planète Légume	9 séries	5 séries

Intrants - boutures:

- Hormones

Ressources consommées par le dispositif :

- Eau
- Electricité (yc chauffage de l'eau le cas échéant)
- Régulation du pH
- Désinfection
- Fertilisation

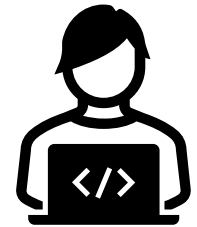
Pertes aéroponie et empotage

Temps de travaux

Intrants - repotage :

- Godets
- Substrat
- Fertilisation incorporée

Outil de saisie et de calcul des coûts développé par ASTREDHOR



Calcul d'un coût /bouture valorisée en godet (phase de bouturage + phase d'élevage en godet)

Projet Racin'Air

Combien coûte le fonctionnement des dispositifs ?

Paramètres généraux

Eau : 2,70 €/m³

Elec : 0,15€/kWh (hors abonnement)

Travail : 18 €/heure effectivement travaillée

Fonctionnement du dispositif	PLFP	CATE	CDHR 2024
Consommation d'eau quotidienne (L/Jour)	60 L	1 L (+ 300 L au démarrage)	10 L
Consommation électrique kWh/Jour	1,670	5,86	2,16
- Avril à juillet	1,6	4,77	
- Septembre à décembre	1,78	8,44	
Coût moyen de fonctionnement €/jour	0,41 €	0,88 €	0,35 €
Rapporté à la bouture	0,275 € /jour/1000 boutures	0,203 € /jour/1000 boutures	0,624 € /jour/1000 boutures

Quels temps de travaux ?

En aéroponie, les temps de travaux sont proportionnels au nombre de boutures,

La durée d'enracinement des boutures intervient peu dans le temps de travail global.

Comparé à un bouturage conventionnel (en motte), l'aéroponie demande plus de temps de travail (+23%).

Les boutures racinées sont plus délicates à empoter.

Aéroponie		Conventionnel en motte
1. Bouturage	2,19 h /100 boutures empotées*	1,78 h /100 boutures empotées
2. Empotage		
Durée d'enracinement moyenne 75 jours**		Durée d'enracinement moyenne 120 jours**

* *Pilote du CATE avec hypothèse d'un taux de perte nul en aéroponie*

Estimé au CATE

** Pour le même cortège d'espèces et pour des bouturages dans les mêmes conditions

Projet Racin'Air

Combien coûte la production des boutures en aéroponie ?

Ce qui a été effectivement enregistré :

Toutes 128 séries confondues, le montant moyen des charges opérationnelles est de 0,71 € par bouture valorisée en godet (effet essais avec taux de réussite variable)

Le temps de travail est un facteur déterminant des charges opérationnelles avec 73 % en moyenne des charges opérationnelles.

Paramètres généraux

Eau : 2,70 €/m³

Elec : 0,15€/kWh (hors abonnement)

Travail : 18 €/heure effectivement travaillée

Avec les hypothèses de production suivantes :

- Dispositif rempli à 100 %
- Culture en aéroponie 60 jours
- Taux de perte de 20 %
- Pas de perte en repotage

On obtient les charges opérationnelles par bouture valorisable suivantes :

Dispositif	PLFP	CATE	CDHR 2024
€/bouture	0,567 €	0,561 €	0,681 €

/!\ Ne compte pas le cout du pieds mère / de la bouture non racinée

Combien coûte la production des boutures en aéroponie ?

- **Quels sont les facteurs de variation des charges opérationnelles ?**

1. La réussite du bouturage

L'ensemble des coûts est affecté aux seules boutures restantes en fin de processus de production.

2. L'utilisation d'hormones de bouturage.

Le dosage de l'auxine est à optimiser pour maximiser le taux de réussite sans peser exagérément dans les charges.

3. Le chauffage de l'eau en période hivernale.

**Charges opérationnelles par bouture valorisable
Sur les 128 séries enregistrées**

Taux de perte	€/plant valorisable
Moins de 20 %	0,52 €
De 20 à 46 %	0,59 €
De 47% à 93 %	0,77 €

Projet Racin'Air

Combien coûte la production des boutures en aéroponie ?

- Est-ce plus ou moins qu'avec un système conventionnel ?

Cas de 4000 *Camelia Sinensis* 'Kemper' bouturés au CATE en hiver sur une période de 98 jours

Aéroponie

Mottes

0,596 €
/bouture
valorisable

0,521 €
/bouture
valorisable

+ 13 % environ

Avec les hypothèses de production suivantes

Aéroponie

Travail : 2,19 h /100 boutures
mises en culture

Hormones 500 ppm : 0,05 €/
bouture

**Fonctionnement de
l'ensemble du dispositif** (eau
chauffée) : 1,269 €/jour

Consommables empotage
0,121 € /bouture empotée

Taux de perte : 0 %

Mottes

Travail : 1,61 h /100 boutures
mises en culture

Chauffage gaz de la serre : 3,1
kWh /jour pour 4000 godets

Consommables empotage :
0,121 € /bouture empotée

Taux de perte 20 %

Paramètres généraux

Eau : 2,70 €/m³

Elec : 0,15€/kWh (hors
abonnement)

Gaz : 1,96fois moins que l'élec

Travail : 18 €/heure

Les coûts d'investissement ?

Entre 16 k€ et 20 k€ HT d'investissement pour les prototypes construits dans le cadre du projet.

2 composantes dans le montant d'investissement :

- La table de bouturage → Montant proportionnel à la surface.
- Modules de stockage, de pompage, de gestion → Montant indépendant de la surface. Economie d'échelle possible (surface multipliable par 4 ou 5).

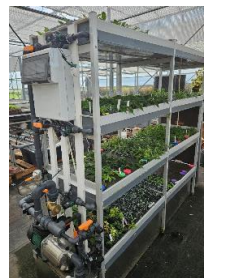
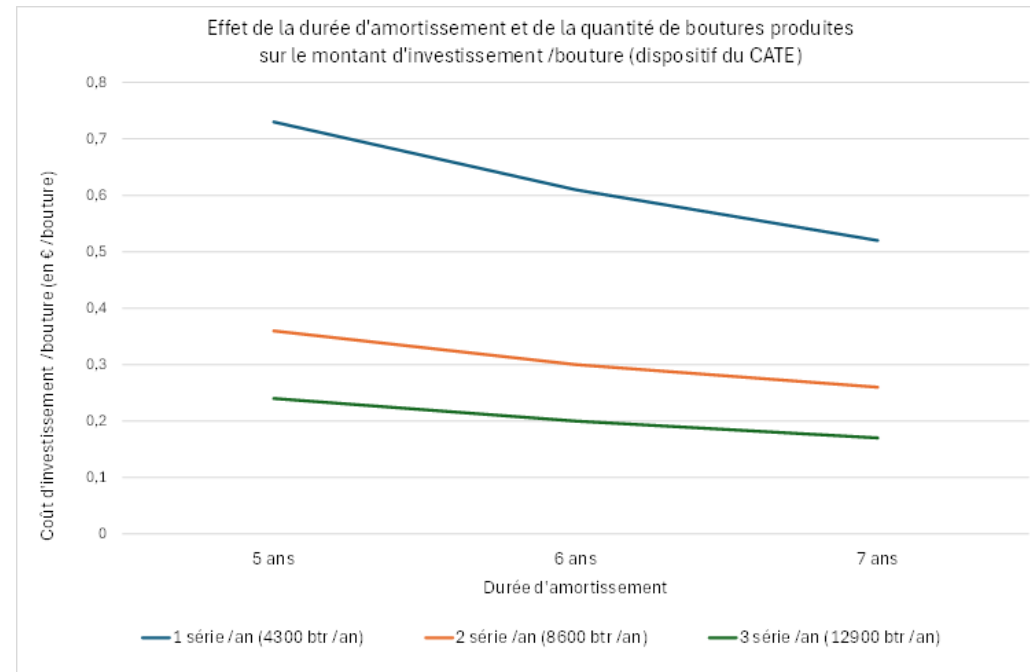
Importance de :

- La durée d'amortissement.
- Du nombre de séries réalisées /an (2 séries minimum /an est nécessaire pour maîtrise de ce coût)
- De la densité de boutures du dispositif → facteur à maximiser autant que possible lors de la construction.

Dans le cas du dispositif d'aéroponie installé au CATE,

- pour une durée d'amortissement de 6 ans
- pour la production de 2 séries de boutures /an
- et sans tenir compte de pertes en cours de bouturage,
- le coût d'investissement /bouture atteint 0,20 €HT /bouture mise en place

Comparaison des dispositifs	PLFP	CATE	CDHR
Surface cultivée en m ²	4 m ²	5 m ²	4,5 m ²
Nombre de boutures max / série	1 200	4 340	4 500
Densité de boutures /m ²	300	868	1000 à 2000



Action 3 - analyse économique du procédé

Tâche 3.1 : Etude de la viabilité économique et de la durabilité

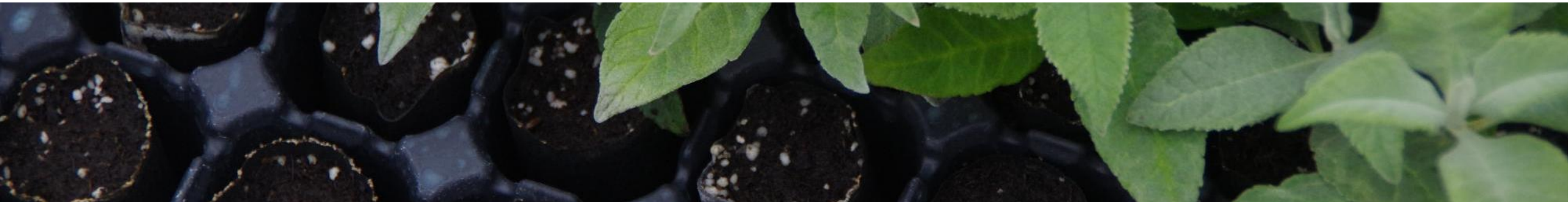
Conclusions

- Dans la formation du cout de production en aéroponie,
 - le facteur « travail » constitue l'essentiel des charges.
 - le taux de réussite du bouturage est déterminant
- Lorsque des comparaisons ont été possibles entre bouturage en motte et bouturage en aéroponie, le cout de ce dernier s'avère légèrement plus élevé (10%).
- Fort effet d'économie d'échelle pour l'investissement.
- Augmenter la densité pour diminuer le coût d'investissement /bouture est primordial (jusqu'à la limite du raisonnable).

Projet Racin'Air

Action 3 - analyse économique du procédé

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques



Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

Méthodologie

Etat des lieux de la filière jeune plant française

- Données Douanes
- Observatoires de la production horticole et de pépinière française (FranceAgriMer)
- Expertise de M. Brand Wagenaar
- Echanges informels avec les producteurs de jeunes plants

Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des producteurs français

Une enquête nationale menée en juin 2025 auprès des producteurs éleveurs

- Réponse de 60 producteurs
- 10 régions représentées

Acceptabilité de l'aéroponie pour les cibles potentielles

Démonstration
Echanges avec les producteurs

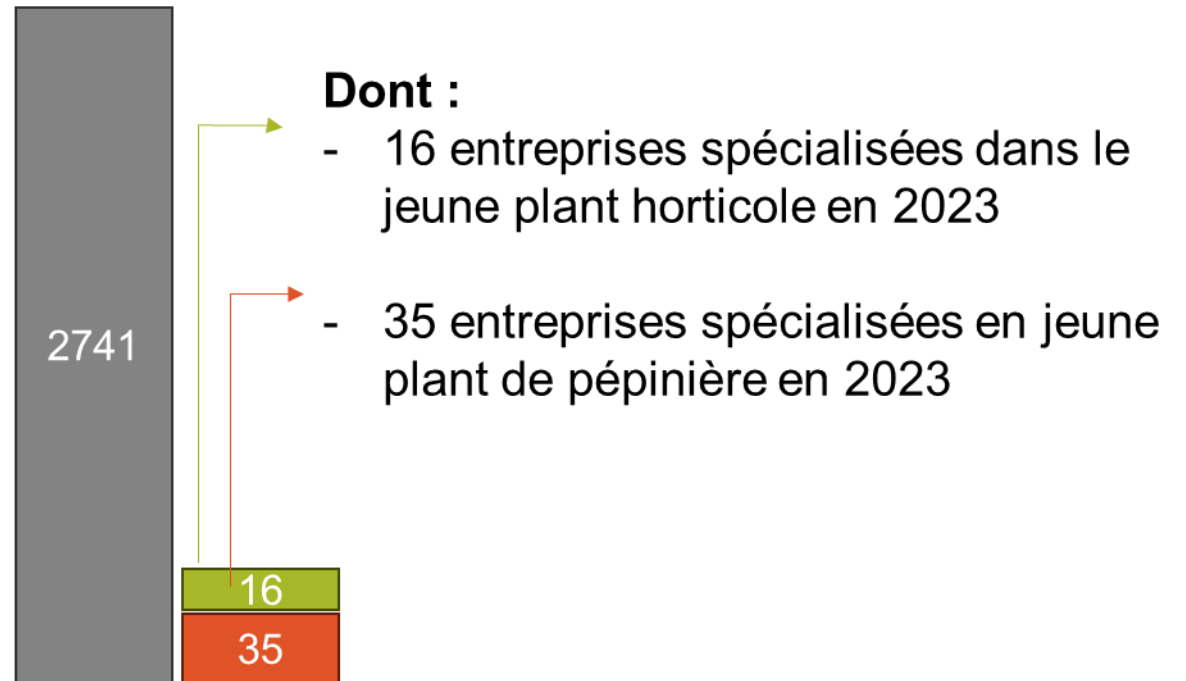
Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

Etat des lieux de la filière jeunes plants française

- ✓ Lente érosion du secteur des jeunes plants en France.
- ✓ Des horticulteurs dépendants de fournisseurs étrangers, avec pour difficulté première les prix.
- ✓ Alors que les pépiniéristes peuvent (encore) se permettre de faire la préférence du « made in France »

2 741 entreprises horticoles françaises en 2023



Dont :

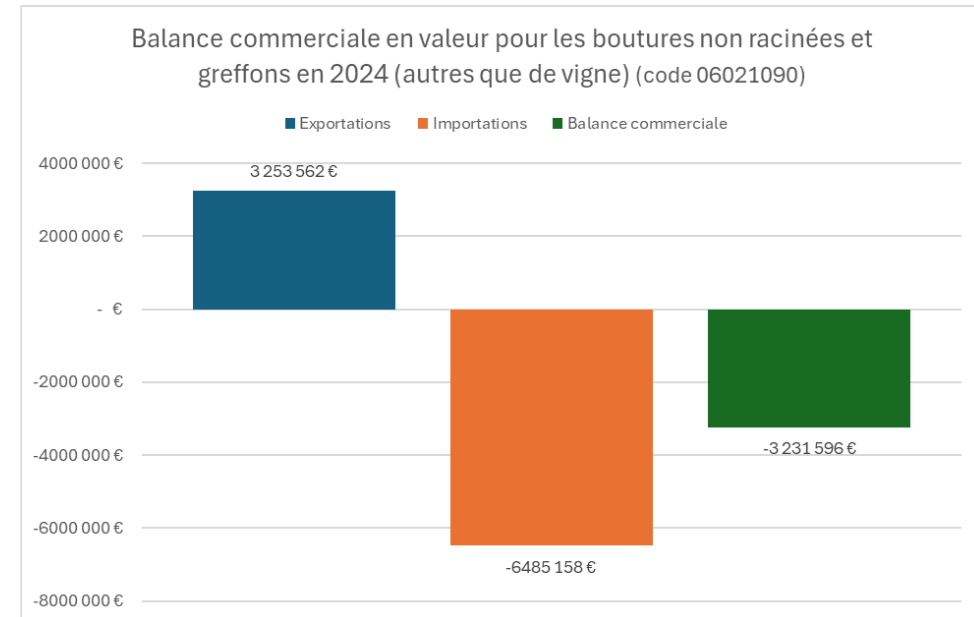
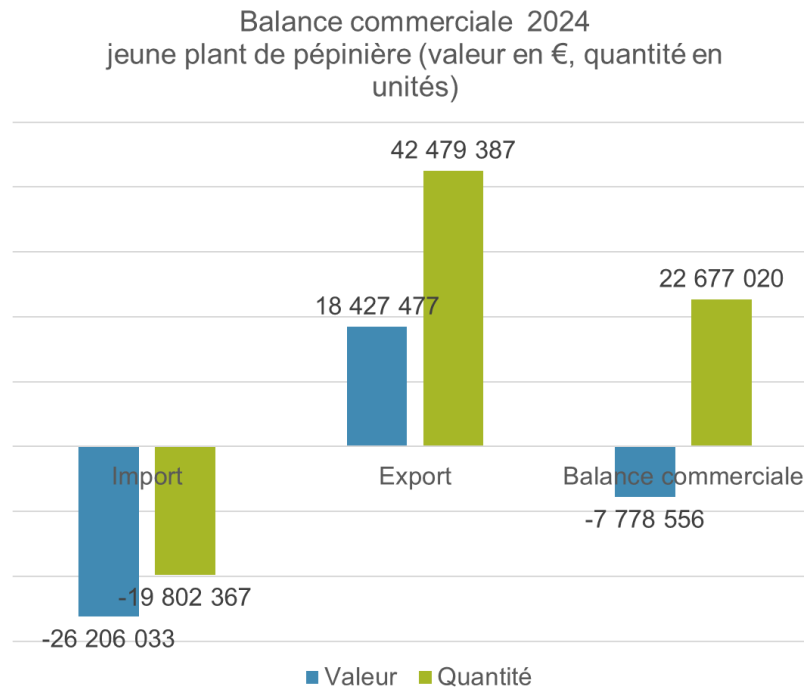
- 16 entreprises spécialisées dans le jeune plant horticole en 2023
- 35 entreprises spécialisées en jeune plant de pépinière en 2023

Données 2023 AND pour FranceAgriMer et VALHOR

Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

Etat des lieux de la filière jeunes plants française



- **Paradoxe français : balance commerciale positive en volume mais négative en valeur.**
 - ✓ La valeur technologique des plants exportés par la France serait plus faible que celle des plants importés.
 - ✓ Les jeunes plants importés sont protégés par des COV, il faut donc payer des royalties.
 - ✓ Les importations sont sous-estimées car en partie déclarées sous une autre nomenclature.
- **Importation de boutures non racinées.**

Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

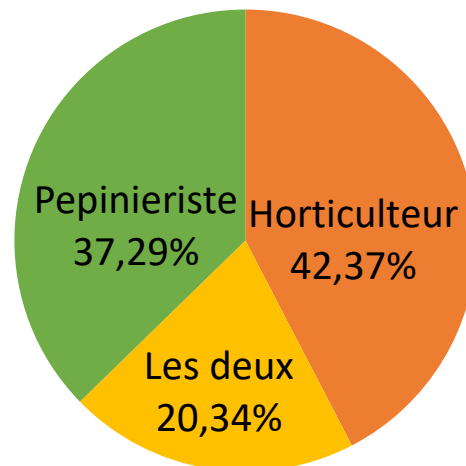
Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des pépiniéristes et horticulteurs français

Un questionnaire national adressé aux producteurs éleveurs

Métier des répondants
Producteurs achetant du jeune plant (n=59)

Enquête en mai-juin 2025

10 régions représentées



➤ Tous les producteurs ont recours à l'achat de jeunes plants

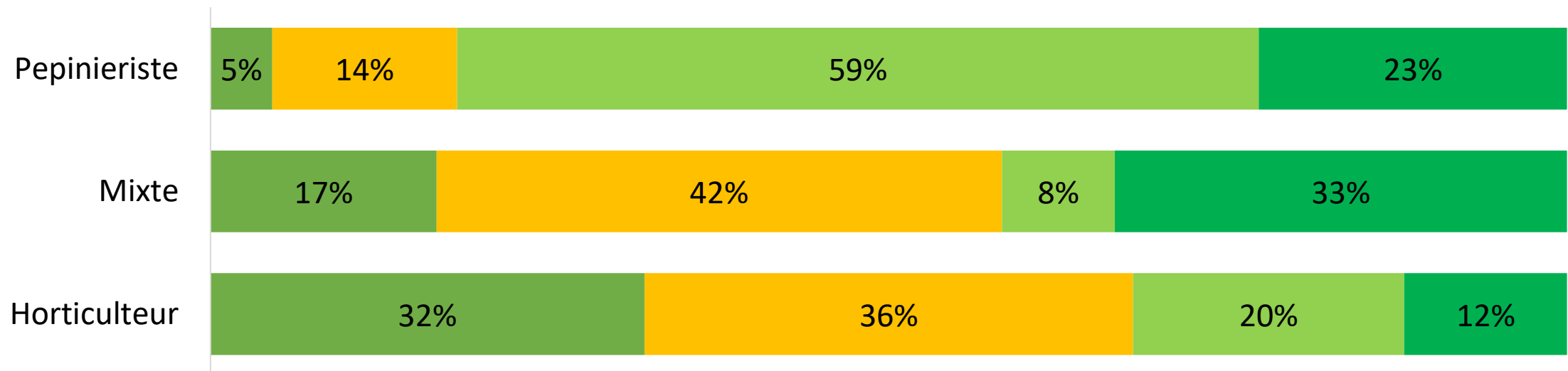
Projet Racin'Air

Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des pépiniéristes et horticulteurs français

Une préférence pour le « made in France » valable pour les pépiniéristes, beaucoup moins pour les horticulteurs

« J'achète préférentiellement du jeune plant cultivé par des entreprises françaises »
(n=59)

■ plutôt pas d'accord ■ Pas vraiment d'accord ■ Plutôt d'accord ■ Tout à fait d'accord

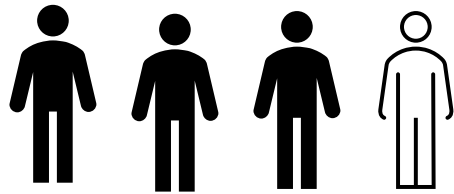


Projet Racin'Air

Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des pépiniéristes et horticulteurs français

Les trois-quart des répondants ont recours à la multiplication en interne

« Faites-vous la multiplication des jeunes plants en interne ? »

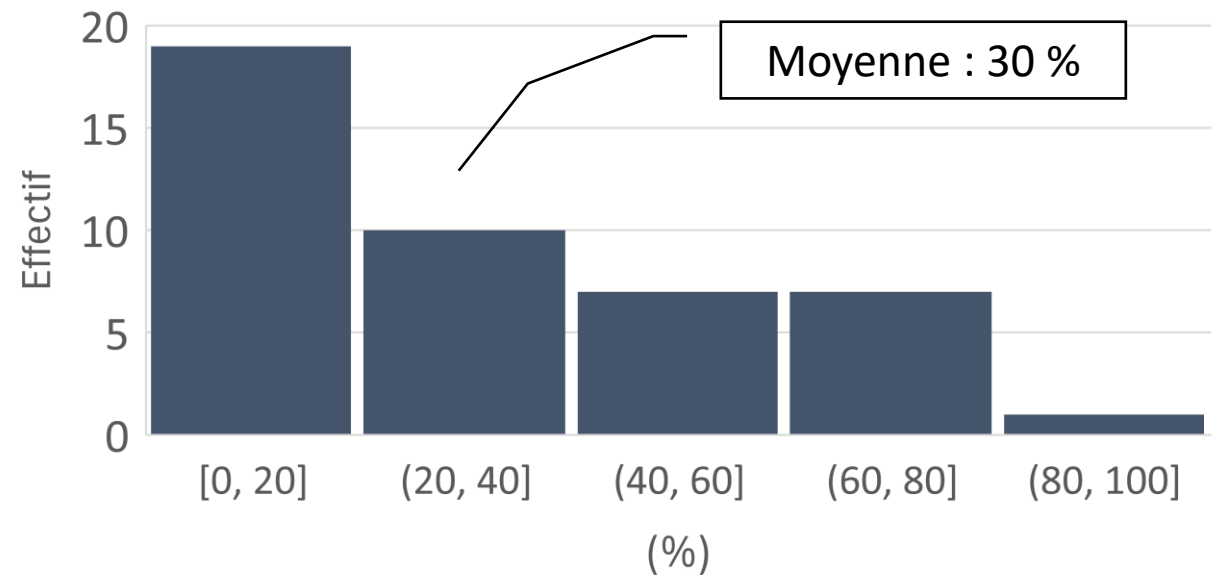


Oui :
 $\frac{3}{4}$ des répondants

« Comment produisez-vous ces jeunes plants au sein de l'entreprise ? » (45 réponses)

Bouturage	Semis	Division	Greffage
93%	64%	38%	13%

En 2024, quelle part de la production est issue d'une multiplication en interne (en % du nombre de plantes) ?
(43 réponses)

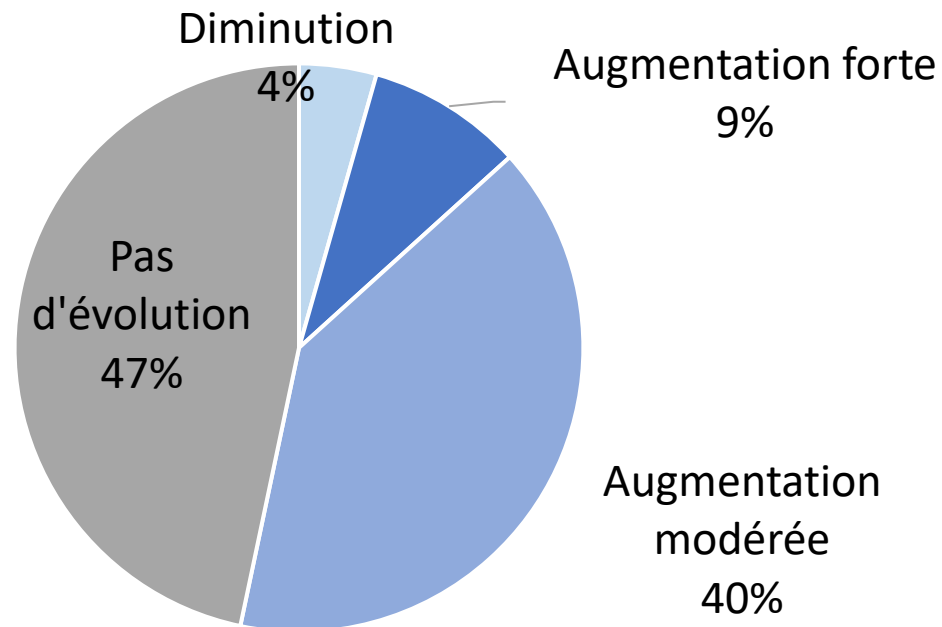


Projet Racin'Air

Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des pépiniéristes et horticulteurs français

Un sujet d'intérêt pour demain

« Comment va évoluer votre activité de multiplication en interne » (%) (n=45)





Stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des pépiniéristes et horticulteurs français

➔ POUR RÉSUMER

- Tous les producteurs ont recours à l'achat de jeunes plants
- En moyenne 9 fournisseurs différents
- Des difficultés contrastées selon le métier, au vu de l'état du marché
- Des horticulteurs dépendants de fournisseurs étrangers, avec pour difficulté première les prix.
- Alors que les pépiniéristes peuvent se permettre de faire la préférence du « made in France »
- Mais, 75% des répondant multiplient aussi en interne (pour 30 % de leur production en moyenne).

Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

Acceptabilité de l'aéroponie pour les cibles potentielles

Des échanges avec les producteurs, il apparaît que la technique pourrait être intéressante pour les cibles suivantes :

- **Végétaux récalcitrants au bouturage → abandonnés en bouturage conventionnel car trop coûteux à produire malgré des débouchés.**
- **Végétaux multipliés par greffage → greffés car répondant mal au bouturage mais greffage très coûteux.**
- **Faciliter la gestion chez les multiplicateurs d'une gamme large d'espèces très diversifiées et multipliées en petite quantité (spécificité française).**
- **Les nouveautés multipliées en petite quantité au départ.**
- **Pour les producteurs de plantes en pots – plantes à massifs : possibilité de faire du complément d'achat dont exigence de quantité minimum / date de livraison / gammes de variétés deviennent moins souples avec les fournisseurs étrangers.**

Projet Racin'Air

Tâche 3.2 : Etude de l'acceptabilité de l'innovation et de ces retombées socio-économiques

Freins et potentialités du bouturage par aéroponie

Force	Faiblesse	
<ul style="list-style-type: none"> - Améliore la qualité de l'enracinement. - Diminue la sensibilité aux maladies et l'IFT. - Diminue les impacts environnementaux. - Facilite la surveillance de l'enracinement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement - Coût de production sensible à la réussite du bouturage. - Coût de production plus élevé de 10 à 15% - Temps de travaux pour bouturage : - 5% - Temps de travaux pour empotage augmenté : +60% - Application d'auxine différente. - Surveillance si peu d'automatisme. 	<ul style="list-style-type: none"> → Economie d'échelle (surface de bouturage / pompage & contrôle commande) → Augmenter la densité. → Faire au moins 2 à 3 cycles de production /an
Opportunités	Risques /menaces	
<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer taux de réussite. - Facilite gestion des petits lots et des innovations végétales. - Facilite la conduite hydrique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix de l'électricité. - Risque à l'empotage. 	<ul style="list-style-type: none"> → Adaptation de la conduite à l'empotage.

Impact sur les coûts à modérer pour les espèces où le bouturage par aéroponie permet d'améliorer de façon significative la réussite de la multiplication.

Nécessité de mettre au point le processus de bouturage pour chaque espèce (pieds mères, période, type de bouture, stade, hormone de bouturage)

Projet Racin'Air

Action 4 - Diffusion et valorisation

Les résultats ont été présentés à différentes occasions :

- Portes ouvertes et visites d'essais des stations.
18 visites sur 3 ans (400 personnes).
- Webinaire du 11 décembre 2025
- En janvier 2026 au SIVAL. [A visionner sur le catalogue VOD du SIVAL](#)
- Article du Lien horticole publié en janvier 2026.

(Laroche A.L., Mary L., Joussemet M.A., YsebeO., 2026. L'approvisionnement en jeunes plants – Une question stratégique. Le Lien Horticole, n°1152, janv. 2026, pp. 30-31)

A paraître :

- 2 Articles dans Aujourd'hui et Demain (Ed. CATE) & Le Lien Horticole.
- Synthèse des résultats prochainement sur : <https://www.station-cate.fr/projets/racinair/>

- Contact : laurent.mary@cate.bzh



L'approvisionnement en jeunes plants : une question stratégique

À partir d'une enquête menée en juin, les pratiques d'approvisionnement en jeunes plants des producteurs français ont été analysées.

L'approvisionnement en jeunes plants (JP) est une question stratégique pour la compétitivité des entreprises de productions horticoles et de pépinière. Cet intrant, qui se place au début de la chaîne de création de valeur de la filière, est déterminant pour la définition des itinéraires de culture, la qualité des végétaux produits, l'organisation du travail et la maîtrise des coûts de production. Quelles sont les pratiques d'approvisionnement en JP des producteurs, leurs difficultés et leurs besoins ?

Pépiniéristes : une préférence pour le « made in France »
Toutes les entreprises interrogées ont recours à l'achat de JP (boutures non racinées, alvéoles, godets, pré-conteneurs, racines nues), avec en moyenne huit à neuf fournisseurs différents. C'est parmi les pépiniéristes qu'on trouve une plus grande diversité des stratégies vis-à-vis des fournisseurs. Les entreprises de plus grande taille peuvent ainsi s'approvisionner auprès de plus de vingt fournisseurs du fait de l'étendue des gammes produites et des quantités nécessaires. 80% des pépiniéristes donnent la préférence au « made in France » lorsqu'ils achètent des JP. Pour eux, les espèces non disponibles et les quantités insuffisantes sont les principales difficultés d'approvisionnement. Des préoccupations qui se traduisent par le recours à un nombre plus élevé de fournisseurs et par la nécessité d'aller chercher à l'étranger des lots de jeunes plants de grande



taille. Cette dernière tendance est inquiétante pour la filière.

Horticulteurs : difficultés sur la maîtrise des coûts

Au contraire des pépiniéristes, seul un tiers des horticulteurs marquent une préférence pour le recours au « made in France » et ils n'ont recours qu'à sept fournisseurs de JP différents en moyenne. Cette situation est à mettre en lien avec le fait que les listes de jeunes plants et donducteurs « made in France » fournissent des quantités insuffisantes et que les horticulteurs qui se fournissent de façon privilégiée avec des jeunes plants en alvéoles, la qualité sont les plus rares car les JP sont très standardisés. Pour les pépiniéristes, les types de JP utilisés sont nettement plus diversifiés que pour les horticulteurs qui se fournissent de façon privilégiée avec des jeunes plants en alvéoles.

- 1. Jeune plant de Forsythia en alvéole en motte Fertis. Diamètre 3 x 5 cm, 35 jours après le bouturage. Essai Cate.
- 2. Jeune plant de Cornelia obtenu en bouturage par aéroponie.



Projet Racin'Air

Conclusion

Des prototypes maintenant opérationnels.

L'ergonomie a été beaucoup améliorée.

La technique est maintenant mieux connue et commence à être diffusée.

Les points de vigilance ont été décrits.

Les aspects économiques sont mieux établis.

Les déterminants du coût de production ont été identifiés.

Des mises au point par espèce sont encore à faire.

L'empotage des boutures enracinées est encore à préciser.

La qualité de l'enracinement confère à la technique a un potentiel très intéressant.



Merci de votre attention

Des questions ?