



Bouturage par aéroponie - Fiche n°1 Auto-construction de modules d'aéroponie expérimentaux

Objectif du projet RACIN’AIR : Le projet vise à développer le bouturage par aéroponie comme alternative au bouturage traditionnel sur substrat, aujourd’hui largement utilisé en horticulture et dans plusieurs filières végétales (ornement, PPAM, petits fruits, houblon).

Le bouturage sur substrat nécessite des conditions très humides favorisant les risques sanitaires, l’utilisation de produits phytosanitaires et des temps d’enracinement parfois longs. Le bouturage par aéroponie permettrait au contraire d’accélérer l’enracinement, de réduire les intrants et les traitements phytosanitaires, et d’améliorer la maîtrise sanitaire des jeunes plants.

Le programme prévoit le développement d’un dispositif pilote de bouturage en aéroponie à grande échelle, accompagné d’une étude technico-économique et d’un travail de transfert vers les producteurs et multiplicateurs français.

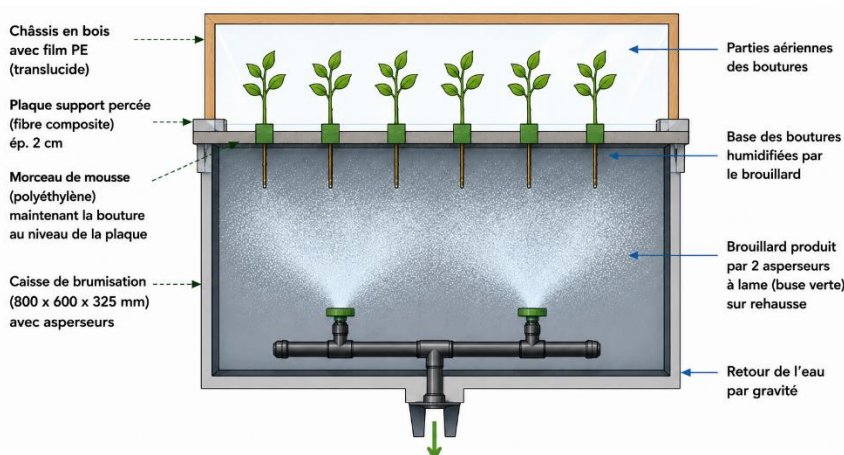
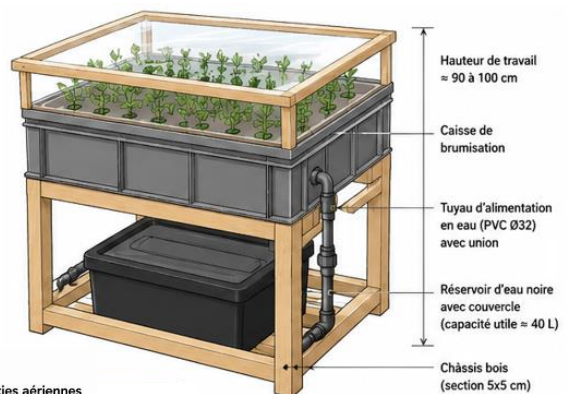
- Cette fiche présente un premier dispositif expérimental de bouturage des végétaux par aéroponie conçu pour des essais à petite échelle. Ce module permet de s’initier sans risque à cette technique et de réaliser des tests d’enracinement de boutures en environnement aéroponique pour une ou des espèces qu’on souhaite développer plus tard à plus grande échelle.

1. Principe du dispositif

Le dispositif de bouturage en aéroponie est constitué :

- d’une plaque support perforée recevant les boutures,
- d’une caisse de brumisation située sous cette plaque,
- d’un réservoir d’eau alimentant le système,
- et d’un système de chauffage et d’oxygénation de la solution.

→ Module de 0.48m² installé dans une serre ou un tunnel.



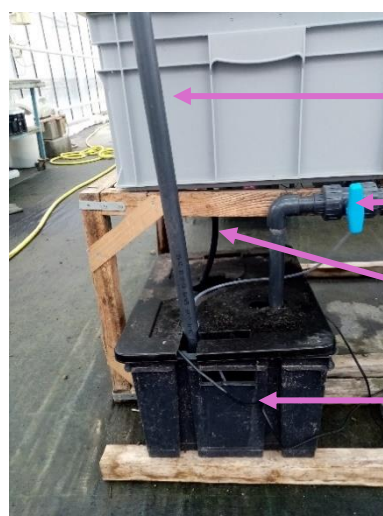
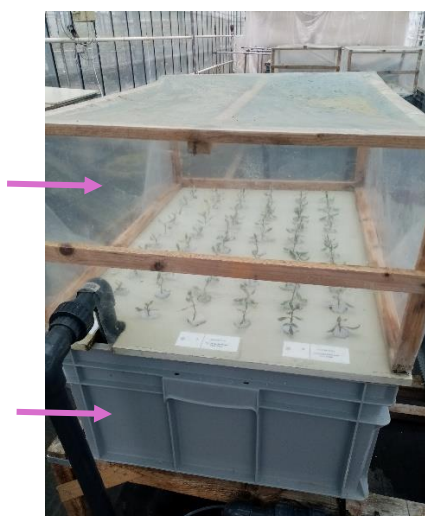
Les boutures sont maintenues dans les trous de la plaque à l’aide de morceaux de mousse. Leur base dépasse sous la plaque et est humidifiée par un brouillard généré par les asperseurs. L’eau ruisselle ensuite par gravité vers un réservoir situé sous le dispositif. Une pompe immergée renvoie l’eau vers le système de brumisation.

La température de l’eau est maintenue autour de **22 à 23 °C** grâce à un chauffage d’aquarium. Une pompe à air assure également l’oxygénation de la solution nutritive. Afin de limiter la déshydratation des parties aériennes des boutures, un châssis en bois recouvert d’un film polyéthylène translucide est installé au-dessus du système. L’ensemble est monté sur une structure en bois permettant de travailler à hauteur confortable.

2. Description photographique du dispositif

Capot avec film polyéthylène pour limiter la transpiration des boutures et d'augmenter l'hygrométrie

Bac où sont brumisées les parties racinaires



Départ eau vers brumisation

Complément en eau claire

Retour d'eau vers réserve

Réserve d'eau noire pour éviter les algues



Possibilité d'installer plusieurs bacs d'aéroponie en série

3. Liste du matériel pour un dispositif

Catégorie	Matériel	Prix indicatif HT (2020)	Remarques / Fonction
Structure et support	Caisse plastique empilable 800 × 600 × 325	37€	Bac principal
	Plaque composite résistante à l'eau – ép. 2 cm	50 €/m ²	Découpe : 82 × 62 cm
	Mousse polyéthylène blanche 50 × 40 × 2,5 cm	70 €/colis	Maintien des boutures
	Bac noir 50 L avec couvercle	9 €	Réserve d'eau (~40 L)
Système de brumisation	Pompe d'aquarium Eden 140	60 €	Pompe de circulation
	4 diffuseurs à lame – buse verte 3/8"	5 €	Production du brouillard
	8 allonges PVC 3/8W	7 €	Rehausse des asperseurs
	Programmeur minuteur GSE 8A	100 €	Gestion des cycles de brumisation
Réseau PVC	4 m de tuyau PVC Ø32 pression	20 €	PVC pression 6–8 bars
	6 coudes PVC Ø32 à coller	6 €	Raccordement du réseau
	1 T - PVC Ø32	2 €	Distribution
	1 raccord PVC Ø32 / 3/4" mâle	6 €	Liaison pompe/réseau
	1 manchon union PVC Ø32	4 €	Facilite le démontage
Chauffage et oxygénation	Chauffage aquarium Tetra HT 50 W	20 €	Régulation de température
	Pompe à air 8 W ACO 2206	25 €	Oxygénation de la solution
	Tuyau silicone 4/6 mm + bulleur 60 cm	10 €	Diffusion d'air
	Vannette	2 €	Réglage du débit d'air

➔ **TOTAL = environ 300 € HT par module (+100 € programmeur)**

4. Détails techniques de l'installation

Circuit hydraulique

Le système comprend :

- une réserve d'eau noire avec couvercle (réduit le développement des algues),
- une pompe immergée,
- un circuit PVC alimentant les asperseurs,
- et un retour gravitaire vers la réserve.

Prévoir :

- une arrivée d'eau claire,
- trois prises électriques 220–230 V par unité.



Brumisation

Le système utilise :

- 4 asperseurs à lame à buse verte,
- montés sur rehausses,
- afin d'assurer une humidification homogène de la base des boutures.

Le réseau est réalisé en PVC Ø32.

Réglage conseillé :

- **fonctionnement : 30 secondes**
- **intermittence : 3 minutes**
- gestion jour/nuit via capteur intégré

!! Adapter les réglages en fonction de la période de bouturage (augmenter la durée de fonctionnement en été)

Maintien des boutures

Les boutures sont insérées dans la plaque support à l'aide d'un morceau de mousse incisée.

La tige dépasse de quelques centimètres sous la plaque.

La base est coupée en biseau afin de faciliter l'écoulement des gouttelettes d'eau.



Oxygénation

La pompe à air est raccordée à des diffuseurs via un tuyau silicone 4/6 mm.

Pour équilibrer les débits :

- Utiliser des longueurs de tuyaux identiques entre bacs,
- Installer des vannettes de réglage si nécessaire.

Utilisation importante en été, moins nécessaire en hiver.



Chauffage de la solution

Le chauffage est assuré par un thermoplongeur d'aquarium.

Consigne recommandée : 22 °C

Veiller :

- au bon niveau d'immersion,
- au positionnement dans la partie basse du réservoir, sans contact avec le plastique du bac.



Pilotage du système

Le fonctionnement de la pompe à eau est géré par un programmateur permettant de définir :

- les durées de fonctionnement,
- les temps d'intermittence,
- les réglages jour/nuit.

Le programmateur « GSE 8A » permet d'alimenter environ :

- 9 à 10 pompes « Eden 140 » simultanément (intensité total <8A).



5. Conseils pratiques et points de vigilance

Qualité de l'eau et entretien du système

- Utiliser une eau propre et peu chargée en matières organiques afin de limiter l'encrassement des asperseurs (idéalement eau de pluie). Contrôler régulièrement le pH et la conductivité de la solution.
- Renouveler périodiquement l'eau du réservoir afin de limiter le développement microbien.
- Vérifier fréquemment le bon fonctionnement des asperseurs et l'homogénéité de la brumisation.

Gestion des boutures et environnement climatique

- Utiliser des boutures homogènes en taille et en état physiologique.
- Réaliser une coupe nette en biseau à la base des tiges.
- Positionner correctement les boutures dans les mousses afin d'assurer leur maintien sans écrasement des tissus.
- Limiter les courants d'air autour du dispositif afin de réduire la déshydratation des boutures.
- Éviter les températures excessives dans l'environnement de culture.

Contact : Laurent MARY (laurent.mary@cate.bzh) – Antoine Buron-Mousseau (antoine.buron@cate.bzh)

Partenaires
du projet :





Bouturage par aéroponie - Fiche n°2

Description du dispositif pilote d'aéroponie à grande échelle

Objectif du projet RACIN’AIR: Le projet vise à développer le bouturage par aéroponie comme alternative au bouturage traditionnel sur substrat, aujourd’hui largement utilisé en horticulture et dans plusieurs filières végétales (ornement, PPAM, petits fruits, houblon).

Le bouturage sur substrat nécessite des conditions très humides favorisant les risques sanitaires, l’utilisation de produits phytosanitaires et des temps d’enracinement parfois longs. Le bouturage par aéroponie permettrait au contraire d’accélérer l’enracinement, de réduire les intrants et les traitements phytosanitaires, et d’améliorer la maîtrise sanitaire des jeunes plants.

Ce projet prévoit le développement d’un dispositif pilote de bouturage en aéroponie à grande échelle, accompagné d’une étude technico-économique et d’un travail de transfert vers les producteurs et multiplicateurs français.

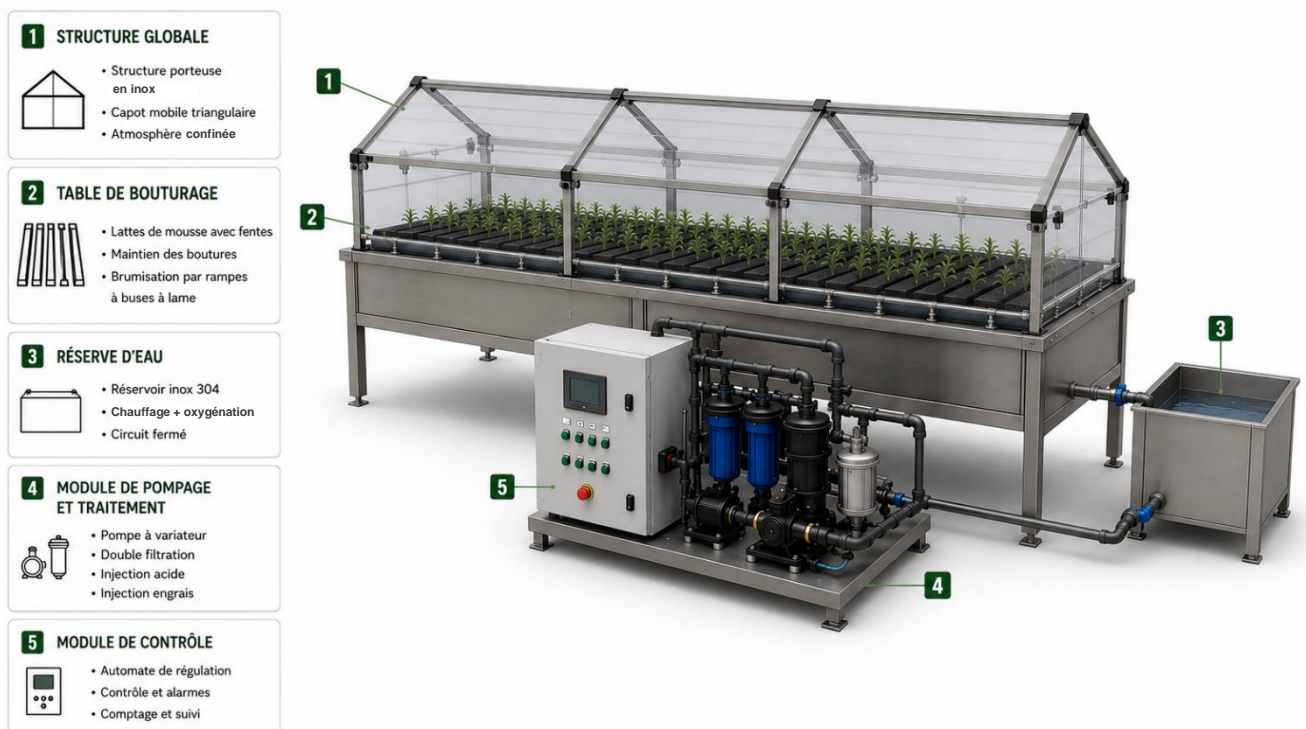
- ➔ Cette fiche décrit le dispositif pilote de bouturage par aéroponie développé au CATE afin de transposer le procédé à une échelle semi-industrielle. Les travaux réalisés ont permis d’optimiser le fonctionnement hydraulique, climatique et automatisé du système, les procédés de maintien des boutures en bon état ainsi que la maîtrise du temps de travail lié à l’insertion et à la récolte des boutures dans le dispositif.

1. Principe du dispositif

Le dispositif est installé dans une serre et repose sur une table de bouturage en inox équipée d’un compartiment racinaire brumisé et d’un compartiment aérien partiellement confiné. Les bases des boutures sont maintenues dans un environnement sombre, humide et oxygéné favorable à la rhizogenèse tandis que les parties aériennes restent dans un espace lumineux relativement protégé de la déshydratation.

Le système fonctionne en circuit fermé grâce à une réserve d’eau reliée à un module de pompage, de filtration et de régulation automatisée.

SCHÉMA DU DISPOSITIF DE BOUTURAGE EN AÉROPONIE



2. Table de bouturage et brumisation

La table de bouturage a été réalisée en inox 304. Elle présente une surface utile de 5 m² pour des dimensions de 1,03 m × 5 m. Le bac inférieur, d'une hauteur de 25 cm, accueille le système de brumisation ainsi que le retour d'eau. La hauteur de travail est d'environ 95 cm.

Le système de brumisation comprend quatre rampes équipées de buses Coolnet Pro Netafim en configuration T à deux buses. Les buses grises utilisées fonctionnent sous une pression de 4 à 5 bars avec un débit de 7,5 L/h et produisent un brouillard fin destiné à humidifier les bases des boutures.



L'ensemble de la table ainsi que la réserve d'eau sont isolés avec des plaques de Styrodur de 80 mm afin de limiter les pertes thermiques et de stabiliser la température de la solution.

Module de contrôle

Table de bouturage avec compartiment racinaire brumisé et capot

Pompage et traitement de l'eau

Réserve d'eau



Isolation des modules pour limiter les déperditions de chaleur

3. Supports de boutures – Lattes en mousse fendue

À la suite des premiers essais, un nouveau procédé de maintien des boutures a été validé en 2025. Il s'agit d'un procédé à base de lattes en mousse avec des fentes pour insérer les boutures.

Chaque unité est constituée d'une bande de mousse de polyéthylène réticulé collée sur une cornière PVC. Des fentes espacées de 3,5 cm sont découpées dans la mousse afin d'y insérer les boutures. Les différentes bandes sont ensuite assemblées dans un cadre en Comacel pour former une surface continue comparable à une plaque de bouturage.

La mousse utilisée est une mousse Plastazote LD29 de 15 mm d'épaisseur, étanche à l'eau et à l'air, lavable et à cellules fermées. Ce système permet une bonne tenue des boutures (tout en gardant la souplesse nécessaire à leur insertion), une séparation efficace des compartiments inférieur et supérieur et une limitation des remontées d'humidité vers le feuillage.

Le procédé atteint une densité d'environ 868 boutures/m² contre environ 661 boutures/m² pour une plaque alvéolée classique (motte diam 3cm, plaque de 104).



4. Confinement des parties aériennes

Deux générations de capots ont été testées afin de limiter la déshydratation des boutures. Le premier modèle, réalisé en plexiglass plat, a provoqué des problèmes de condensation, de températures excessives et de gouttage sur le feuillage. Un second modèle plus performant a ensuite été développé. Il est constitué d'une structure triangulaire recouverte d'un film polyéthylène anti-condensation.



1ere version du capot à gauche puis 2eme version à droite.

Cette conception améliore la gestion de l'hygrométrie, limite les condensations et réduit les pertes thermiques. Les essais ont montré que l'utilisation du capot doit être adaptée aux conditions climatiques, à la saison et au niveau de chauffage du système. Il s'avère nécessaire en période estivale, notamment lorsque les boutures sont herbacées.

5. Réserve d'eau et traitement hydraulique

Le dispositif fonctionne avec une réserve d'eau inox d'environ 300 L en circuit fermé. L'eau non absorbée par les boutures est récupérée puis réutilisée après traitement.

La réserve intègre un système de mise à niveau automatique, un chauffage de l'eau, un dispositif d'oxygénation par bullage ainsi que des équipements d'injection d'acide et d'engrais si nécessaire.

Remplissage
automatique
(flotteur)

Pompe à air

Arrivée d'acide
et/ou d'engrais



Départ d'eau vers
la brumisation

Retour vers
stockage d'eau

Chauffage de l'eau

Le module de traitement comprend une pompe à variateur de fréquence, une double filtration à 120 μ et 55 μ , une mesure de pression et un système de régulation automatique du pH.

La régulation du pH dépend fortement de la qualité de l'eau utilisée. Afin de limiter les variations de conductivité électrique, le fonctionnement retenu repose sur l'utilisation d'une eau faiblement minéralisée et d'acide nitrique fortement dilué. La consigne de pH utilisée pour les essais est de 5,6.

6. Chauffage, oxygénation et désinfection

L'eau de brumisation est chauffée par thermoplongeur avec une consigne comprise entre 20 et 22 °C. L'oxygénation est assurée par une pompe à air injectant de l'air dans la réserve.

Lors des essais estivaux réalisés en 2025, des températures d'eau atteignant 27 à 28 °C ont été observées. Dans ces conditions, le maintien d'un niveau élevé d'oxygène dissous devient particulièrement important.

Des développements bactériens ayant provoqué des biofilms et le colmatage des filtres ont également été observés sur certaines espèces. Une désinfection préventive au peroxyde d'hydrogène a donc été mise en place à raison d'environ 8 ppm d' H_2O_2 dans la réserve d'eau avec 1 ou 2 apports d' H_2O_2 par semaine.

7. Pilotage et automatisation

Automate de programmation

Armoire de régulation et compteur électrique

Injection d'engrais (pilotage par EC)

Filtre 100 μ

Compteur d'eau

Filtre 400 μ

Pompe à variateur

Injection d'acide (pilotage par pH)



Le pilotage du dispositif est assuré par un automate Ridder à écran tactile. Celui-ci gère les cycles de brumisation, le chauffage de l'eau, la régulation du pH et de l'EC ainsi que les différentes alarmes du système.

Des sécurités spécifiques ont été mises en place pour prévenir les risques liés à un manque d'eau, à une dérive de température ou à des écarts de pH et d'EC. En cas de panne du système de pompage, une alimentation de secours par le réseau d'eau permet le maintien des brumisations.

8. Fonctionnement hydrique des boutures

Les essais réalisés ont montré que la réussite du bouturage par aéroponie repose sur un équilibre hydrique relativement sensible entre les pertes d'eau par transpiration du feuillage et les apports d'eau réalisés par la brumisation dans le compartiment racinaire. Les boutures non encore racinées ont en effet la capacité d'absorber de l'eau au niveau de leur base sectionnée avant que les racines n'apparaissent.

Cet équilibre dépend fortement des conditions climatiques, du niveau de confinement, de l'ombrage de la serre, de la fréquence des brumisations, de la qualité du brouillard produit et du type de support utilisé pour les boutures.

Le passage d'un dispositif expérimental à un système pilote semi-industriel a mis en évidence l'importance des interactions entre ces différents paramètres et la nécessité d'adapter précisément le pilotage du dispositif aux conditions météorologiques, aux espèces cultivées et au degré de lignification des boutures.

9. Enseignements du projet

Les travaux réalisés dans le cadre du projet Racin'Air ont permis de démontrer la faisabilité du bouturage par aéroponie à une échelle pilote semi-industrielle. Les essais ont notamment mis en évidence l'importance :

- du contrôle climatique,
- de la qualité de l'eau,
- du pilotage de la brumisation,
- de l'oxygénation de l'eau brumisée,
- et du choix du support des boutures.

Le dispositif développé constitue aujourd'hui une base technique pour le transfert du procédé vers les filières horticoles françaises et pour la poursuite des travaux d'optimisation du bouturage par aéroponie.

Contact : Laurent MARY (laurent.mary@cate.bzh) – Antoine Buron-Mousseau (antoine.buron@cate.bzh)

Partenaires
du projet :





Bouturage par aéroponie - Fiche n°3 Autres dispositifs pilotes et procédés de support

Objectif du projet RACIN’AIR : Le projet vise à développer le bouturage par aéroponie comme alternative au bouturage traditionnel sur substrat, aujourd’hui largement utilisé en horticulture et dans plusieurs filières végétales (ornement, PPAM, petits fruits, houblon).

Le bouturage sur substrat nécessite des conditions très humides favorisant les risques sanitaires, l’utilisation de produits phytosanitaires et des temps d’enracinement parfois longs. Le bouturage par aéroponie permettrait au contraire d’accélérer l’enracinement, de réduire les intrants et les traitements phytosanitaires, et d’améliorer la maîtrise sanitaire des jeunes plants.

Le programme prévoit le développement d’un dispositif pilote de bouturage en aéroponie à grande échelle, accompagné d’une étude technico-économique et d’un travail de transfert vers les producteurs et multiplicateurs français.

- Cette fiche présente les principaux dispositifs et systèmes de support des boutures développés et testés par les partenaires du projet Racin’Air. Ces travaux ont permis d’explorer différentes approches techniques visant à améliorer l’ergonomie, la densité de production, l’automatisation et la transférabilité du bouturage par aéroponie vers les professionnels.

1. Dispositif pilote développé par la station Planète Légumes Fleurs et Plantes (PLFP)

La station PLFP a développé un système de bouturage vertical multi-étages afin d’optimiser l’utilisation de la surface au sol tout en conservant une capacité de production compatible avec un transfert vers les professionnels.

Le dispositif repose sur une structure métallique dérivée d’un roll de stockage agroalimentaire modifié pour accueillir quatre niveaux de bouturage. Chaque étage peut recevoir environ 300 boutures selon le type de support utilisé. L’ensemble du système occupe environ 1 m² au sol.

Une réserve d’eau inox de 240 L est positionnée sous le dispositif. L’eau est chauffée à 22 °C et distribuée vers les différents étages grâce à une pompe de 4,8 m³/h. Des électrovannes permettent de piloter indépendamment chaque étage.

La brumisation est réalisée par buses de 75 L/h avec des cycles de 15 secondes toutes les 15 minutes (modulables selon la saison). Le système fonctionne en circuit fermé avec récupération de l’eau excédentaire vers la réserve.

Afin de compenser l’ombrage entre niveaux, chaque étage est équipé d’un éclairage LED associant lumière visible et lumière bleue.

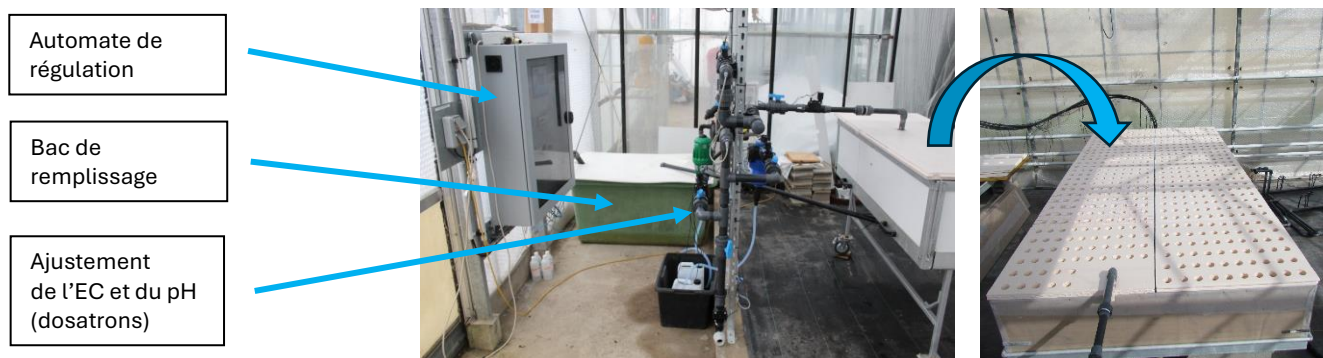


Le dispositif intègre également :

- une gestion automatisée des cycles,
- le contrôle de la température de l’eau,
- des alarmes techniques,
- et un confinement des compartiments racinaires afin de maintenir l’humidité.

2. Dispositif développé par la Station CDHRC

Un prototype automatisé a également été développé par le CDHRC afin de limiter les interventions manuelles et améliorer la gestion du système.



La table de bouturage mesure 3 m × 1,5 m soit 4,5 m². Elle est mobile et équipée :

- d'une automatisation des cycles de brumisation, d'un remplissage semi-automatique de la réserve,
- d'une régulation automatisée du pH et de l'EC,
- et d'alarmes de niveau d'eau.

La brumisation des compartiments racinaires est assurée par des jets à lame de type Bars.

Les essais ont montré l'intérêt de travailler avec des supports de boutures de dimensions plus réduites (50 à 60 cm) afin de faciliter les manipulations.

3. Procédés d'insertion et de maintien des boutures

Différents systèmes de support des boutures ont été évalués par les partenaires du projet afin d'améliorer :

- la rapidité de mise en place,
- la facilité de récolte,
- la densité de production,
- et la maîtrise sanitaire.

Plaques trouées

Le procédé historique repose sur des plaques en PVC expansé percées de trous dans lesquels les boutures sont maintenues à l'aide de morceaux de mousse.

Ce système assure :

- un bon maintien des boutures,
- un bon enracinement,
- et une séparation efficace des compartiments.

Cependant, il présente plusieurs limites :

- temps important de mise en place,
- récolte lente,
- densité peu modulable.

Deux densités principales ont été utilisées :

- 448 boutures/m² avec trous de 3 cm,
- 888 boutures/m² avec trous de 2 cm.



Plaques déplaçables avec inserts en mousse

PLFP a développé des plaques comportant plusieurs rangées de trous recevant des mousses de maintien simplement posées sur la plaque.

Ce système permet :

- une manipulation facile des plaques,
- une bonne adaptation à différents diamètres de tiges,



- et une bonne circulation de l'air autour des boutures.

Il nécessite toutefois :

- un nettoyage régulier des mousses,
- et un temps de préparation relativement important.

Chaque étage peut accueillir environ 300 boutures.

Plaques Air-Pot

Un second système testé par PLFP repose sur l'utilisation de plaques issues de parois de pots Air-Pot.

Les boutures sont maintenues par leur feuillage dans des ouvertures de petit diamètre espacées de 3,5 cm.

Les principaux avantages observés sont :

- une mise en place très rapide,
- l'absence de compression des tiges,
- et une densité élevée.

Le système permet d'atteindre jusqu'à 576 boutures par étage.

En revanche, certaines espèces peu feuillues peuvent glisser hors des ouvertures et les plaques semi-rigides doivent être manipulées avec précaution.



Supports en joints brosse

En parallèle des autres systèmes testés, le CDHRC a développé en 2025 un nouveau procédé de maintien des boutures basé sur l'utilisation de joints d'étanchéité de bas de porte en brosse pour portes industrielles.

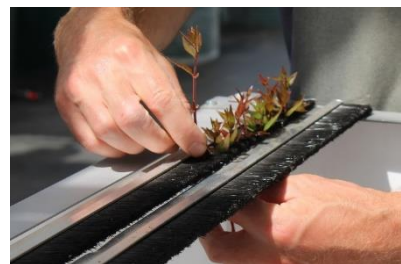
Les boutures sont insérées directement dans les bandes de brosses qui assurent leur maintien tout en laissant un passage d'air et de brouillard au niveau de la base des tiges.

Ce système présente plusieurs avantages :

- adaptation facile de la densité selon la taille des boutures,
- insertion et récolte rapides,
- bon maintien des boutures,
- manipulation simplifiée,
- bonne accessibilité au système racinaire.

Les essais ont toutefois montré que les supports ne doivent pas être trop longs afin de conserver une manipulation ergonomique lorsqu'ils sont chargés de boutures. Une longueur comprise entre 50 et 60 cm apparaît comme la plus adaptée.

Ce procédé constitue une piste intéressante pour simplifier les opérations de mise en place et de récolte dans une perspective de développement à grande échelle du bouturage par aéroponie.



4. Enseignements généraux

Les travaux réalisés par les différents partenaires ont permis de montrer que le bouturage par aéroponie peut être décliné selon plusieurs approches : systèmes horizontaux ou verticaux, dispositifs fixes ou mobiles, supports rigides ou souples, gestion plus ou moins automatisée.

Les essais ont également confirmé l'importance :

- de la gestion climatique,
- du contrôle de l'humidité,
- de la qualité de la brumisation,
- et du choix du support des boutures.

Ces travaux constituent une base importante pour l'optimisation et le transfert du bouturage par aéroponie vers les filières horticoles françaises.

Contact : Laurent MARY (laurent.mary@cate.bzh) – Antoine Buron-Mousseau (antoine.buron@cate.bzh)

Partenaires
du projet :





Bouturage par aéroponie - Fiche n°4

Description de la méthode de multiplication en aéroponie

Objectif du projet RACIN’AIR : Le projet vise à développer le bouturage par aéroponie comme alternative au bouturage traditionnel sur substrat, aujourd’hui largement utilisé en horticulture et dans plusieurs filières végétales (ornement, PPAM, petits fruits, houblon).

Le bouturage sur substrat nécessite des conditions très humides favorisant les risques sanitaires, l’utilisation de produits phytosanitaires et des temps d’enracinement parfois longs. Le bouturage par aéroponie permettrait au contraire d’accélérer l’enracinement, de réduire les intrants et les traitements phytosanitaires, et d’améliorer la maîtrise sanitaire des jeunes plants.

Le programme prévoit le développement d’un dispositif pilote de bouturage en aéroponie à grande échelle, accompagné d’une étude technico-économique et d’un travail de transfert vers les producteurs et multiplicateurs français.

Principes généraux du bouturage par aéroponie

- ➔ Le bouturage par aéroponie est une technique de multiplication végétative consistant à maintenir la base des boutures dans un environnement humide et oxygéné sans utilisation de substrat. Les parties racinaires sont régulièrement humidifiées par un brouillard ou une brumisation fine tandis que les parties aériennes restent dans un environnement lumineux et plus ou moins confiné selon les conditions climatiques.
- ➔ Cette technique vise à améliorer la maîtrise sanitaire des boutures, accélérer l’enracinement et limiter les consommations d’intrants, d’eau et de substrats utilisés dans les systèmes de multiplication classiques.

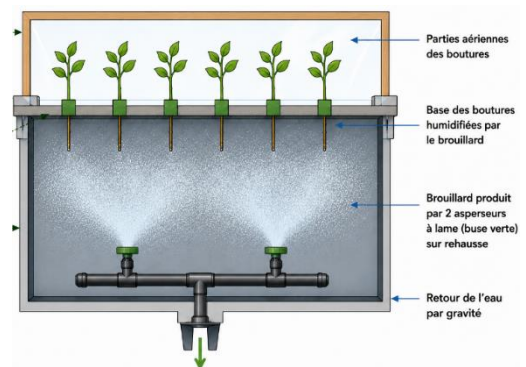
1. Fonctionnement du bouturage par aéroponie

Le procédé repose sur la séparation de deux compartiments :

- un compartiment racinaire sombre et humide où se développe le système racinaire ;
- un compartiment aérien lumineux accueillant le feuillage des boutures.

La base des boutures est régulièrement humidifiée par brumisation. L’eau non absorbée est récupérée puis réutilisée dans un système conçu en circuit fermé.

Contrairement au bouturage classique sur substrat, il n’existe pas de réserve d’eau autour de la base des boutures.



- ➔ Le fonctionnement du système repose donc sur un équilibre précis entre : la fourniture d’eau par la brumisation dans le compartiment racinaire et l’évapotranspiration au niveau des feuilles déterminé par le climat et la surface foliaire.

2. Intérêts du procédé

Le bouturage par aéroponie présente plusieurs avantages potentiels :

- réduction des risques sanitaires liés aux substrats humides ;
- limitation des produits phytosanitaires ;
- meilleure oxygénation des bases des boutures ;
- accélération possible de l’émission racinaire ;
- facilité d’observation des racines ;
- récupération et recyclage de l’eau en circuit fermé.

3. Facteurs influençant l'enracinement et préparation des boutures

La capacité d'enracinement dépend à la fois : de facteurs internes liés à la génétique, à l'état physiologique des plantes mères et de facteurs externes liés à l'environnement climatique et hydrique. Dans nos expériences passées nous avons pu montrer l'importance :

- L'état physiologique des pieds mères.
- Du type de bouture utilisé (tête, tronçon) et leur stade.
- De l'utilisation d'auxines.
- De la température.
- De l'oxygénation de l'eau brumisée
- Et de la qualité du milieu d'enracinement.



La préparation des boutures reste globalement similaire à celle réalisée dans un système de bouturage classique. Les boutures doivent être prélevées sur des plantes mères saines, bien alimentées en eau et en bon état physiologique. Le choix du stade de prélèvement reste un facteur important pour la réussite de l'enracinement. Selon les espèces, des boutures herbacées, semi-herbacées ou plus lignifiées peuvent être utilisées. Plusieurs travaux montrent également l'intérêt des boutures de tête par rapport aux boutures de tronçons pour obtenir un enracinement plus homogène.

La longueur des boutures dépend des espèces multipliées et du système de support utilisé mais tend à être standardisé autour des 7cm. Les feuilles situées sur la partie basse de la tige sont supprimées afin d'éviter leur contact avec la zone de brumisation. La base des boutures est généralement coupée en biseau afin de favoriser l'écoulement de l'eau et d'augmenter la surface d'absorption par la section de tige. Selon les espèces, un traitement hormonal peut être appliqué avant insertion dans le dispositif d'aéroponie (par trempage de la base des boutures pendant 4h dans une solution d'AIB (100 à 2000ppm selon les espèces et le degré de lignification)).

Les boutures sont ensuite insérées dans les systèmes de maintien (mousses, plaques trouées, ...). La préparation des boutures peut être réalisée en atelier avant leur installation sur le dispositif.

Dans les essais réalisés, aucune fertilisation n'a été apportée dans l'eau brumisée au niveau racinaire.

4. Gestion climatique et hydrique

Le fonctionnement du bouturage par aéroponie dépend fortement des conditions climatiques et de la gestion de l'eau. La transpiration des boutures doit être compensée par la brumisation au niveau des parties racinaires. Cet équilibre est particulièrement important avant l'apparition des racines.

Les paramètres principaux à piloter sont :

- La fréquence et la durée des brumisations.
- La qualité de la brumisation (taille des gouttelettes).
- La température de l'eau.
- L'ombrage.
- L'hygrométrie autour du feuillage (niveau de confinement des parties aériennes, ombrage).



5. Qualité de l'eau et entretien du système

La qualité de l'eau utilisée joue un rôle important dans le fonctionnement du système. Une eau peu chargée en éléments minéraux et en matières organiques facilite :

- la régulation du pH ;
- le maintien d'une faible conductivité ;
- et la limitation des développements microbiens.

Le système nécessite également :

- une filtration efficace ;
- un nettoyage régulier des buses ;
- un suivi du pH et de l'EC ;
- et une surveillance du développement éventuel de biofilms bactériens.

Des opérations de désinfection préventive de l'eau (avec du peroxyde d'hydrogène) peuvent être nécessaires selon les espèces cultivées et les conditions de fonctionnement. Par exemple la Griseline produit une sorte de mucilage à la base des boutures ce qui les asphyxie et contamine l'eau de brumisation.

6. Pilotage des brumisations

Les cycles de brumisation doivent être adaptés :

- Aux espèces.
- Aux stades des boutures.
- Et aux conditions climatiques.

Des cycles courts et rapprochés sont généralement utilisés pour maintenir un bon statut hydrique des boutures.

Les besoins peuvent évoluer fortement selon les saisons :

- Brumisation modérée la nuit et en période hivernale (30 sec / 3 min).
- Cycles plus fréquents lors des fortes chaleurs estivales (2 min / 3 min ou 20 sec / min).

Le pilotage automatisé des installations permet d'adapter plus précisément le fonctionnement du système.



7. Résultats et limites



Les travaux réalisés dans les projets X-Aéroपो puis Racin'Air ont confirmé la faisabilité du bouturage par aéroponie sur différentes espèces horticoles. Sur certaines espèces comme *Euonymus japonicus*, les premières racines apparaissent seulement quelques jours après le bouturage et les jeunes plants deviennent rapidement repotables. Les essais réalisés sur *Photinia*, *Lavandula*, *Hydrangea* ou encore *Choisya* ont également montré un enracinement plus rapide, un système racinaire plus développé et une amélioration du taux de réussite par rapport au bouturage traditionnel sur substrat mais ce n'est pas généralisable à toutes les espèces horticoles.

Les observations montrent également une diminution importante des problèmes sanitaires au niveau du feuillage lorsque seules les parties racinaires sont brumisées. L'amélioration de l'oxygénation des bases des boutures semble jouer un rôle majeur dans ces résultats.

Le bouturage par aéroponie nécessite toutefois de maîtriser certains points de vigilance concernant :

- Les remontées d'humidité vers le feuillage ;
- Les risques de condensation.
- Le colmatage des buses.
- Les déséquilibres hydriques.
- Et la qualité sanitaire de l'eau.

Le maintien du statut hydrique des boutures constitue un point central du fonctionnement du système. L'équilibre entre la transpiration du feuillage et l'alimentation en eau de la base des boutures doit être continuellement maintenu par la brumisation. Cet équilibre dépend fortement :

- Du climat.
- Du type de brouillard produit.
- Du confinement des parties aériennes et de l'ombrage.
- De la fréquence des brumisations.
- Et de la qualité des supports de boutures.

➔ Les travaux réalisés montrent néanmoins que cette technique constitue une voie prometteuse pour améliorer la multiplication végétative des végétaux horticoles tout en réduisant les consommations d'intrants et les risques sanitaires.

Contact : Laurent MARY (laurent.mary@cate.bzh) – Antoine Buron-Mousseau (antoine.buron@cate.bzh)

Partenaires
du projet :





Bouturage par aéroponie - Fiche n°5

Empotage des boutures enracinées en aéroponie

Objectif du projet RACIN’AIR : Le projet vise à développer le bouturage par aéroponie comme alternative au bouturage traditionnel sur substrat, aujourd’hui largement utilisé en horticulture et dans plusieurs filières végétales (ornement, PPAM, petits fruits, houblon).

Le bouturage sur substrat nécessite des conditions très humides favorisant les risques sanitaires, l’utilisation de produits phytosanitaires et des temps d’enracinement parfois longs. Le bouturage par aéroponie permettrait au contraire d’accélérer l’enracinement, de réduire les intrants et les traitements phytosanitaires, et d’améliorer la maîtrise sanitaire des jeunes plants.

Le programme prévoit le développement d’un dispositif pilote de bouturage en aéroponie à grande échelle, accompagné d’une étude technico-économique et d’un travail de transfert vers les producteurs et multiplicateurs français.

- Les jeunes plants obtenus par bouturage en aéroponie présentent généralement un enracinement rapide, un système racinaire développé et une forte activité physiologique. Cette qualité racinaire constitue un avantage mais les boutures enracinées sont en racines nues. Ce facteur implique une gestion adaptée lors de la sortie du dispositif et lors des phases de culture suivantes. Cette fiche présente les principaux points de vigilance et recommandations pour la conduite culturale des boutures après enracinement en aéroponie.

1. Récolte des boutures enracinées

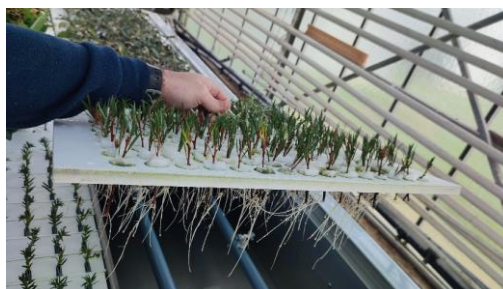
La récolte doit être réalisée dès que le système racinaire est suffisamment développé pour assurer une bonne reprise après transplantation. Un enracinement insuffisant constitue un risque pour la reprise.

Un enracinement trop avancé peut :

- Complicquer la manipulation des boutures.
- Provoquer des blessures racinaires.
- Ou entraîner l’enchevêtrement des racines.

Les boutures doivent être manipulées avec précaution afin de préserver les jeunes racines actives et fragiles.

L’un des intérêts du bouturage par aéroponie est la possibilité d’observer directement le développement racinaire afin de choisir précisément le stade optimal de récolte.



2. Transplantation et repotage

Les jeunes plants peuvent être transplantés dans différents contenant selon la longueur des racines, les espèces et les objectifs de production (godets ou conteneurs de 1 ou 2 L).

Les essais réalisés dans les projets X-Aéropo et Racin’Air montrent généralement une bonne reprise après repotage lorsque les jeunes racines sont préservées et que certaines conditions sont remplies.

L’utilisation de substrats bien aérés est recommandée afin de conserver les bénéfices du système racinaire développé en aéroponie. Des substrats trop compacts ou excessivement humides peuvent provoquer :

- Un ralentissement de croissance ou des pertes de vigueur.
- Des asphyxies racinaires.



3. Gestion de l’irrigation après repotage

Après transplantation, une attention particulière doit être portée à la gestion de l’eau.

Les jeunes plants issus d'aéroponie possèdent un système racinaire habitué à : une forte oxygénation, une humidité régulière, et une absence de substrat compact. Les excès comme les restrictions d'arrosage doivent donc être évités pendant les premières semaines suivant le rempotage. Il est important d'avoir une irrigation progressive et bien maîtrisée pour favoriser :

- L'adaptation du système racinaire au substrat.
- La poursuite de la croissance.
- Et la limitation des risques sanitaires.

4. Gestion climatique après transplantation

Durant les premières semaines après l'empotage, les jeunes plants sont sensibles à la déshydratation et aux températures excessives. Il est recommandé :

- De maintenir une hygrométrie modérée.
- De limiter temporairement le rayonnement direct (installation d'un voile d'ombrage au-dessus des jeunes plants.
- Et d'éviter les stress climatiques brutaux.

→ Une acclimatation progressive aux conditions de culture classiques permet d'améliorer la reprise et la qualité finale des plants.

5. Nutrition et fertilisation

Au cours de la phase en aéroponie, le bouturage est réalisé en situation non fertilisée afin de favoriser la rhizogenèse. Après rempotage, la reprise de la fertilisation doit donc être progressive. Une fertilisation modérée au démarrage permet :

- D'accompagner la reprise de l'enracinement.
- De soutenir la croissance aérienne.
- Et d'éviter les excès de salinité sur des racines encore jeunes.

La conduite nutritionnelle doit ensuite être adaptée : aux espèces, au stade de développement et au mode de commercialisation recherché.

6. Qualité des jeunes plants obtenus

Les essais réalisés dans les projets Racin'Air montrent que les jeunes plants issus d'aéroponie présentent généralement :

- Un système racinaire dense et ramifié.
- Une reprise rapide après rempotage et une croissance homogène.
- Une bonne vigueur.

Sur certaines espèces comme le *Photinia* ou le fusain, l'amélioration du système racinaire semble également favoriser la qualité commerciale des jeunes plants (croissance aérienne et ramification).



7. Points de vigilance

Malgré les résultats encourageants observés, plusieurs points nécessitent une attention particulière sous peine d'observer un taux de mortalité important post rempotage :

- Éviter les blessures racinaires lors de la récolte et de l'empotage.
- Limiter les stress hydriques après transplantation.
- Limiter les stress salins liés à une fertilisation trop prononcée.
- Adapter progressivement les conditions climatiques.
- Éviter les excès d'eau comme les restrictions dans les substrats.
- Et maintenir une bonne qualité sanitaire des lots.

→ Le passage d'un environnement aéroponique très oxygéné vers un substrat classique constitue une phase sensible qui doit être accompagnée avec soin.

Contact : Laurent MARY (laurent.mary@cate.bzh) – Antoine Buron-Mousseau (antoine.buron@cate.bzh)

Partenaires
du projet :

