

PÉPINIÈRE ORNEMENTALE

LE BOUTURAGE DES PLANTES ORNEMENTALES PAR AÉROPONIE

L'approvisionnement en jeunes plants est devenu un enjeu stratégique. Traditionnellement, de nombreuses plantes ornementales sont multipliées par bouturage dans du substrat, mais cette technique présente des limites et sa réussite peut rester aléatoire. On cherche donc à développer une nouvelle méthode de multiplication : le bouturage par aéroponie. Cet article présente les outils et connaissances nécessaires à son déploiement à grande échelle ainsi que ses conditions d'utilisation.

Ce qu'il faut retenir !

Afin de limiter ces difficultés, notamment dans un contexte de diminution de l'usage des produits phytosanitaires et de coûts d'énergie élevé, l'étude d'une nouvelle méthode de propagation des végétaux d'ornement basée sur l'aéroponie a débuté depuis 2020. Des prototypes permettant le bouturage des plantes ornementales par aéroponie à grande échelle ont été élaborés et sont opérationnels. L'ergonomie des dispositifs a été fortement améliorée pour maîtriser les temps de travaux. Des points de vigilance ont été décrits et des adaptations de la conduite proposées afin de limiter les risques techniques pour de futurs utilisateurs. Les déterminants du coût de production ont été identifiés. Celui-ci est fortement influencé par le taux de réussite du bouturage. De plus, pour limiter les frais d'amortissement/bouture, il est important d'augmenter la densité des boutures sur la table de bouturage.

Auteur

• Laurent Mary
Caté

Les limites du système de multiplication de référence

La méthode de référence pour le bouturage des végétaux consiste à repiquer des boutures de tiges prélevées sur des pieds mères dans des mottes de substrat (figure 1). La phase d'enracinement de ces boutures se réalise dans une atmosphère chargée d'humidité pour éviter qu'elles ne se dessèchent. Ces principes peuvent être mis en œuvre dans des conditions très variées : à différentes périodes de l'année, dans des abris plus ou moins perfectionnés et plus ou moins chauffés, au sol ou sur des tablettes de culture, dans différents types de contenants et de substrats, avec différents modes de gestion de l'hygrométrie et d'utilisation d'hormones d'enracinement.

L'enracinement des boutures d'une espèce dépend beaucoup du potentiel génétique de l'espèce considérée, de l'adaptation des conditions de bouturage à ses exigences et de facteurs endogènes qui expriment la qualité des boutures et qui trouvent leur origine dans des facteurs tels que le type de pieds mères, le type de boutures et leur positionnement sur les rameaux, leur stade physiologique et leur degré de lignification ainsi que la période de prélèvement.



Fig. 1 : bouture enracinée en motte de culture et disposée en plaque. Méthode conventionnelle de bouturage.

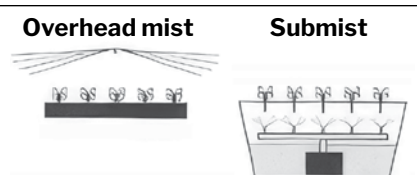


Fig. 2 : multiplication conventionnelle par brumisation du feuillage (overhead mist) et multiplication par aéroponie (submist). (Sanchez O., Burnett S. E., Peterson B.J. (2020). Hortscience, 55(1) : 78–82).

Les moyens utilisés pour maintenir le statut hydrique des boutures avant l'enracinement (confinement, mist ou fog) peuvent créer des conditions asphyxiantes à la base des boutures qui pénalisent fortement la rhizogenèse et favorisent les maladies (*Botrytis*, *Pythium*), en particulier pour les espèces à enracinement lent ou récalcitrantes au bouturage. Ces risques sont accrus dans les systèmes de multiplication "low tech", utilisant peu de chauffage qui sont habituellement mis en œuvre par les pépiniéristes français. Les résultats du bouturage sont alors très aléatoires d'une année à l'autre.

De premiers essais de bouturage par aéroponie encourageants

Afin de limiter ces difficultés, notamment dans un contexte de diminution de l'usage des produits phytosanitaires et de coûts d'énergie élevés, l'étude d'une nouvelle méthode de propagation des végétaux d'ornement basée sur l'aéroponie a débuté. C'est une technique de culture hors-sol sans utilisation de substrat où les boutures sont intégrées à un support et développent leurs racines dans du brouillard (figure 2). Un premier projet, le projet X-Aéropo, réalisé entre 2020 et 2022, a permis d'observer la faisabilité du bouturage des arbustes dans de telles conditions et d'étudier les effets de différents facteurs sur l'enracinement de quelques espèces modèles (*Euonymus*, *Lavandula*, *Photinia*). Avec ce nouveau système, les parties aériennes des boutures ne sont plus brumisées. On peut donc observer une amélioration très nette de l'état sanitaire en cours de multiplication par rapport à la technique de référence. L'enracinement était également plus rapide que lors du bouturage en substrat et les racines apparaissaient en plus grand nombre.



De nouveaux objectifs

Cette technique n'étant pas encore développée, des dispositifs expérimentaux de bouturage par aéroponie ont été conçus pour ce premier projet, mais leur capacité ne permettait pas une production de boutures à grande échelle. Il est en effet apparu nécessaire de pouvoir enraciner des lots importants de boutures avec une ergonomie et des temps de travaux adaptés aux contraintes technico-économiques et organisationnelles des multiplicateurs et des éleveurs de végétaux d'ornement. L'objectif assigné au projet Racin'Air a donc été de mettre au point un prototype adapté de dispositif de bouturage par aéroponie qui permet de multiplier des lots importants de jeunes plants. Il était également nécessaire de réaliser une analyse économique du procédé afin de préciser ses impacts sur le coût de production des jeunes plants et de déterminer les verrous sociotechnique et socioéconomique de cette nouvelle technique de multiplication.

Le projet Racin'Air, piloté par le Caté (29) a donc été mis en œuvre entre juillet 2022 et décembre 2025, avec plusieurs partenaires, dont les stations Comité de Développement Horticole de la Région Centre (CDHRC) (45), la station Planète Légumes Fleurs & Plantes (PLFP) (88), les instituts Iteip-mai et Astredhor et avec le soutien financier du CASDAR.

Conception de dispositifs d'aéroponie adaptés aux besoins

Une démarche de co-conception avec des multiplicateurs et des producteurs a été adoptée pour concevoir un prototype de bouturage par aéroponie utilisable par des professionnels. Les consultations ont permis d'établir un cahier des charges adapté.

L'ergonomie du dispositif pour la mise en place des boutures à enraciner et la récolte des boutures enracinées est apparue comme un facteur essentiel pour maîtriser les temps de travaux et les coûts de fonctionnement. D'autres exigences sont également apparues comme importantes :

- Un temps de retour sur l'investissement et un coût de fonctionnement raisonnables.

- Répondre aux exigences de traitement de l'eau brumisée au niveau racinaire établies lors du projet X-Aéropo (chauffage de l'eau, oxygénation, contrôle du pH et de la salinité).

- Conserver les avantages environnementaux identifiés lors du projet X-Aéropo (état sanitaire amélioré, IFT faible, consommation d'eau, d'énergie et d'intrants faibles).

- Réussite du bouturage sur une large gamme de végétaux (figure 3).

- Maîtriser l'empotage des boutures enracinées dans des godets ou pré-conteneurs à différentes périodes de l'année.

À la suite de ce travail, 3 unités pilotes ont été construites par le Caté, PLFP et CDHR (figures 4 à 7). Elles comportent chacune : 1) une unité de stockage, de traitement et de pompage de l'eau à brumiser au niveau des parties racinaires, 2) une table de bouturage sur laquelle vient s'insérer 3) un dispositif pour supporter les boutures. L'unité pilote de la station PLFP est un dispositif constitué de 4 étages pour limiter l'emprise au sol (avec un éclairage LED par étage).

Pour améliorer l'ergonomie de la mise en place et de la récolte des boutures, le principe adopté repose sur l'insertion des boutures dans des bandes supports (et non sur des plaques d'alvéoles qui sont l'unité de gestion dans le système conventionnel). Ces bandes sup-



Fig. 3 : bouture de *Camelia japonica* enracinée en aéroponie.



Fig. 4 : vue générale du dispositif de bouturage par aéroponie installé au Caté.



Fig. 5 : table de bouturage du dispositif de bouturage par aéroponie installé au Caté.



Fig. 6 : vue intérieure de la table de bouturage.



Fig. 7 : dispositif de bouturage par aéroponie installé par la station Planète Légumes Fleurs & Plantes (88).

ports sont chargées de boutures dans un atelier de bouturage et sont ensuite disposées sur le dispositif d'aéroponie. La densité des boutures peut être ajustée grâce à l'ajout de bandes intercalaires. Les bandes supports peuvent également être montées dans un cadre afin de former une plaque de bouturage avant leur installation sur le dispositif d'aéroponie. Ce système facilite la gestion des boutures.

Avant d'aboutir aux supports de boutures définitifs, plusieurs procédés ont

été testés. Les supports retenus sont pour le Caté, un support en mousse de polyéthylène à 29 kg/m³, de 15 mm d'épaisseur x 3 cm de large et 53 cm de long, rigidifié par un profilé en cornière PVC de 19,5 mm (figures n° 8 à 11). Des fentes sont découpées à intervalles réguliers dans la mousse pour insérer les boutures (tous les 3,5 cm pour une densité de 860 boutures/m²). Pour le CDHRC, le support retenu est constitué de joints d'étanchéité en brosse pour bas de porte (figure 12), avec lesquelles la densité pour les petites boutures peut être augmentée jusqu'à 2000 boutures/m². Ce matériel est réutilisable. Les unités de stockage, de traitement et de brumisation sont fonctionnelles. Les fonctionnalités nécessaires au bouturage par aéroponie sont opérationnelles (stockage de l'eau, fonctionnement en circuit fermé, chauffage, oxygénation, correction du pH et de l'Ec, brumisation, filtration, programmation, alarme...).

Avec l'adaptation des supports de boutures, le temps de travail lié à la mise en place et à la récolte des boutures

a pu être maîtrisé. Celui-ci est quasiment identique à celui de la méthode de référence de bouturage sur substrat en plaques. En revanche, le temps de travail lié à l'empotage en godets ou en conteneurs une fois que les boutures sont enracinées reste plus élevé, car les boutures sont en racines nues. **Finale-ment, le temps passé pour le bouturage par aéroponie et l'empotage des boutures en godets est supérieur de 23 % à celui passé pour les mêmes opérations en bouturage sur substrat.**

L'évaluation des dispositifs a mis en évidence plusieurs problématiques nécessitant une attention particulière; bien que des solutions aient été apportées, elles demeurent des points de vigilance :

- L'utilisation d'une **eau à faible pouvoir tampon** sera à privilégier pour faciliter la régulation du pH et éviter les accumulations de sel.
- **Proscrire les remontées d'humidité** à travers les supports de boutures qui doivent être bien hermétiques

pour éviter le risque d'apparition de maladies au niveau du feuillage des boutures. Les procédés retenus répondent à cette exigence.

- L'apparition de biofilms bactériens sur la base des boutures de certaines espèces (*Griselinia*), provoquant embolies et dépérissements, peut être limitée par une **désinfection de l'eau brumisée par du peroxyde d'hydrogène**.

- L'alimentation hydrique des boutures est très différente en aéroponie par rapport au bouturage en substrat. Pour assurer le statut hydrique des boutures, il est nécessaire de trouver un équilibre entre la fourniture d'eau par la brumisation au niveau du compartiment racinaire et la transpiration au niveau du feuillage par un confinement modéré du dispositif d'aéroponie et l'ombrage de la serre. **L'utilisation d'un capot** pour le confinement des parties aériennes afin d'éviter une transpiration trop forte des boutures est à raisonner en fonction de la saison de bouturage et du matériel végétal bouturé. Un procédé adapté doit être mis en œuvre.

- L'empotage des boutures enracinées en racines nues doit faire l'objet d'une **conduite adaptée** (substrat, irrigation, fertilisation, climat de l'abri).

Étude sur de nombreuses espèces ornementales

Les tests effectués pour évaluer ces équipements ont permis d'observer en parallèle le comportement d'espèces ornementales. Ainsi, 118 taxons ont pu être observés à travers 935 lots différents pour un total de 23 800 boutures.

4 grands types de comportement d'enracinement ont été observés selon les espèces (figure 13).

- 1 • Un enracinement spontanément facile et rapide (ex : *Caryopteris*, *Euo- nymus*, *Geranium*, *Salvia*).
- 2 • Un enracinement facile et rapide après adaptation de la conduite du bouturage (ex : *Ceanothus*, *Cassia corymbosa*, *Lavandula*).



Fig. 8 : vue rapprochée du support de boutures du dispositif du Caté (bande de mousse + cornière PVC).



Fig. 9 : les supports de boutures sont disposés dans un cadre jouant le rôle d'une plaque de multiplication.



Fig. 10 : boutures de théier disposées sur le support de bouturage par aéroponie du Caté.



Fig. 11 : boutures de *Rhamnus alaternus* disposées sur le support de bouturage par aéroponie du Caté.



Fig. 12 : supports de boutures de la table de bouturage du CDHRC.



- 3 • Un enracinement lent et aléatoire sans amélioration malgré l'adaptation de la conduite de bouturage (ex : *Amelanchier*, *Cotynus*).
- 4 • Un enracinement lent et aléatoire amélioré par une adaptation de la conduite de bouturage (ex : *Lonicera kamschatica*, *Magnolia*, *Camelia japonica*, *Camelia sinensis*, *Photinia*).



Fig. 13 : boutures de *Passiflore* (*passiflora edulis*) enracinées en aéroponie.

Pour adapter la conduite de bouturage lorsque l'enracinement n'était pas suffisant, les facteurs suivants ont été testés : la période de bouturage, le type et le stade des boutures et l'utilisation d'auxine (application par trempage de la base des boutures dans une solution d'auxine, concentration x temps de trempage) afin de définir la meilleure combinaison. Pour plusieurs espèces, il a ainsi été possible d'améliorer notablement la survie et l'enracinement des boutures.

Pour les espèces difficiles à enraciner avec le bouturage en substrat, on a observé dans un certain nombre de cas une amélioration des résultats du bouturage avec le bouturage par aéroponie mais ce cas de figure n'est pas systématique. Pour certaines espèces, il apparaît que c'est la qualité intrinsèque des boutures qui doit encore être améliorée pour favoriser leur aptitude à l'enracinement et pas seulement l'oxygénation à la base des boutures lors de l'enracinement. Pour cela, il est nécessaire de travailler encore sur les pieds mères. On observe en revanche plus fréquemment une amélioration de la qualité de l'enracinement. Mais, dans un certain nombre de cas, c'est la mise au point des dispositifs qui a perturbé la multiplication de certaines espèces.

Les essais de l'Iteipmai sur lavande et thym chemotypé pour la filière PPAM (Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales) ont confirmé que la **tem-**

pérature optimale de l'eau brumisée dans le compartiment racinaire était bien de **22 °C en période hivernale** (pour une installation en tunnel non chauffé) et que la modulation de la fréquence et du temps de brumisation était un moyen d'améliorer la réussite de l'enracinement des boutures en période estivale. L'enracinement des boutures en aéroponie est accéléré par rapport à celui des boutures réalisées en substrat. Après l'empotage en godets de ces espèces, les plantes issues du bouturage en aéroponie s'enracinent nettement plus vite que celles issues de boutures en substrat. La croissance des parties aériennes est également plus rapide. Au champ, les jeunes plants issus d'aéroponie présentent une reprise identique à celle des jeunes plants issus de la méthode de bouturage de référence.

Quelques milliers de boutures enracinées en aéroponie et empotées en godets ou C1L ont été diffusées par la station PLFP (lavandin, fusain, potentille) à 3 producteurs de l'Est de la France pour évaluer l'intérêt de la qualité des jeunes plants produits. Un procédé expérimental de bouturage par aéroponie est testé par un pépiniériste du Finistère et 2 projets d'installation de dispositifs sont à ce jour en réflexion chez des producteurs de l'Est et du Centre de la France.

L'analyse du coût de production

En 2024 et 2025, les stations partenaires ont acquis des données technico-économiques et des temps de travaux pour 128 séries de boutures qui ont ensuite été exploitées pour la réalisation d'une analyse technico-économique. Le modèle de calcul construit a permis de calculer le coût de fonctionnement du procédé pour ces séries en fonction de leurs durées d'enracinement et de leurs taux de réussite. C'est le fonctionnement par bouture valorisée après l'empotage en godets qui a été calculé afin de tenir compte du temps d'empotage plus élevé des boutures en racines nues lié à l'aéroponie et du taux de survie après l'empotage.

Les temps moyens de travaux établis pour cette analyse sont de 2,19 h/100 boutures avec le bouturage par aéroponie contre 1,78 h/100 boutures pour le bouturage en mottes de

culture (en substrat), soit une augmentation de 23 % du temps de travail pour le bouturage par aéroponie. En moyenne, toute série confondue, le montant des charges opérationnelles et de main-d'œuvre a été de 0,71 €/bouture valorisée en godets. Le temps de travail représente 73 % de ces charges de fonctionnement.

Pour un dispositif de bouturage/aéroponie rempli à 100 %, un enracinement en 60 jours et un taux de perte de 20 %, le montant des charges opérationnelles et de main-d'œuvre se situe entre 0,56 € et 0,68 €/bouture valorisée en godet selon les dispositifs étudiés. La réussite du bouturage est un facteur déterminant du montant des charges opérationnelles et de main-d'œuvre. Pour un taux de perte inférieur à 20 %, le montant des charges opérationnelles et de main-d'œuvre est de 0,52 €/bouture valorisée en godets. L'énergie et l'utilisation d'auxine sont des charges non négligeables dont les effets sur les coûts dépendent de la façon dont l'espèce valorise ces facteurs.

Dans les exemples où le coût du bouturage par aéroponie a pu être comparé au coût du bouturage en substrat (sur le même matériel végétal à la même date), le montant des charges opérationnelles et de la main-d'œuvre a été de 13 % supérieur pour le bouturage par aéroponie. Le taux de réussite plus élevé pour le bouturage par aéroponie compense cette différence.

Le montant des investissements.

L'étude des investissements montre que 4 facteurs peuvent influencer fortement le montant des amortissements/bouture produite :

- 1 • La durée d'amortissement.
- 2 • Le nombre de séries de boutures réalisées chaque année. Un minimum de 2 séries par an est nécessaire pour diminuer sensiblement le montant des investissements/boutures et jusqu'à 5 à 6 séries/an sont possibles pour des espèces à enracinement rapide.
- 3 • La densité de bouture sur la table de bouturage qui devra être la plus élevée possible (jusqu'à la limite du raisonnable) pour limiter l'amortissement/bouture.

Les principaux freins et les potentialités de la technique sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Forces	Faiblesses	Actions / Leviers
• Améliore la qualité de l'enracinement. • Diminue la sensibilité aux maladies et l'IFT. • Diminue les impacts environnementaux. • Facilite la surveillance de l'enracinement	• Investissement. • Coût de production sensible à la réussite du bouturage. • Temps de travaux pour bouturage : -5 %. • Temps de travaux pour empotage augmenté : +55 %. • Au global (bouturage + empotage), temps de travail par bouture empotée : +23 %. • Coût de production par bouture empotée plus élevé de 10 à 15 % si l'on tient compte du % de réussite. • Application d'auxine différente. • Surveillance si peu d'automatisme.	• Économie d'échelle (surface de bouturage / pompage & contrôle commande). • Augmenter la densité. • Faire au moins 2 à 3 cycles de production par an.
Opportunités	Risques / Menaces	Actions / Réponses
• Améliorer le taux de réussite. • Facilite la gestion des petits lots et des innovations végétales. • Facilite la conduite hydrique.	• Prix de l'électricité. • Risque à l'empotage.	• Adaptation de la conduite à l'empotage.

4 • La réussite du bouturage.

De plus, l'installation d'un dispositif doit prendre en compte les économies d'échelle réalisable en adaptant la surface de la table de bouturage au dimensionnement et au coût de l'unité de stockage et traitement de l'eau. Dans le cas du dispositif d'aéroponie installé au Caté (à 860 boutures/m²), pour une durée d'amortissement de 6 ans et la production de 2 séries de boutures/an, le coût de l'amortissement/bouture produite atteint 0,20 € HT/bouture (avec 100 % de réussite).

Verrous socioéconomiques et sociotechniques

La réalisation d'un état des lieux de la filière des jeunes plants ornementaux en France rappelle que ce secteur souffre d'une lente érosion et que le nombre d'entreprises de production de jeunes plants est devenu relativement modéré par rapport à la taille de la filière, alors que la fourniture de cet intrant est un enjeu stratégique pour celle-ci.

Au niveau de la stratégie d'approvisionnement en jeunes plants des éleveurs français de végétaux, une enquête réalisée en 2025 auprès de 60 pépiniéristes et horticulteurs «éleveurs» dans le cadre du projet Racin'air montrent que 100 % des producteurs achètent de jeunes plants (QR code). Cependant, si les pépiniéristes achètent préféren-

tiellement de jeunes plants en France, les horticulteurs sont obligés de se fournir à l'étranger, car le tissu productif des jeunes plants horticoles français n'est plus suffisant. Ce facteur pourrait affecter la compétitivité des horticulteurs, car les prix et les conditions de livraison des jeunes plants ne sont plus aussi favorables que par le passé.

Cette enquête montre également que les 3/4 des producteurs répondant font de la multiplication en interne (dont la très grande majorité, du bouturage) et que les jeunes plants produits en interne représentent environ 30 % des besoins. De plus, 49 % des producteurs envisagent d'augmenter à l'avenir leur activité de multiplication en interne.

Les échanges avec les multiplicateurs et les éleveurs ont permis d'identifier un certain nombre d'usages pour lesquels le bouturage par aéroponie pourrait présenter un intérêt.

• Pour les taxons récalcitrants au bouturage ou multipliés par greffage dont la multiplication par des techniques conventionnelles est abandonnée, car trop coûteuse.

• Faciliter la gestion dans une entreprise d'une gamme large d'espèces très diversifiées mais multipliées en petite quantité pour chacune d'entre-elles. Ce type de fonctionnement est une spécificité de la multiplication française.

• La multiplication des nouveautés multipliées en petite quantité au départ.

• Pour les producteurs de plantes en pots ou plantes à massifs, il donne la possibilité de faire du complément de production lorsque les délais de commande auprès des fournisseurs de jeunes plants sont dépassés alors que le marché est dynamique. □

Racin'air

Ici vous trouverez des tutos pour la construction des modules d'aéroponie, les résultats d'une enquête sur l'approvisionnement en jeunes plants et la synthèse du projet **Racin'air**.



Ces actions ont bénéficié du soutien de :



La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.