



Survie et croissance de sauvageons de cinq espèces d'arbres à usages multiples lors de leur établissement en pépinière à Bakilo, Province de la Tshopo (RDC)

Jean-Pierre Azenge^{1*}, Florent Bondekwe², Nathalie Ngalya³, Edouard Django⁴, Augustin Paluku⁵, Jean-Pierre Pitchou Meniko¹, Albert Okungo⁵

⁽¹⁾Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi). Option Eaux et Forêts. Laboratoire d'Écologie du Paysage et Foresterie Tropicale. BP 1232 Kisangani (RDC). E-mail : chalayazenge@gmail.com

⁽²⁾Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi). Option Eaux et Forêts. Laboratoire d'ÉcoAgriculture et Agroforesterie Tropicale. BP 1232 Kisangani (RDC)

⁽³⁾Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi). Département de Zootechnie. BP 1232 Kisangani (RDC)

⁽⁴⁾Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi). Département de Chimie et Industries Agricoles. Laboratoire de Biochimie et Nutrition Humaine et Animale. BP 1232 Kisangani (RDC)

⁽⁵⁾Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi). Département de Phytotechnie. Laboratoire d'Écophysiologie et Nutrition des Plantes. BP 1232 Kisangani (RDC)

Reçu le 15 août 2026, accepté le 02 octobre 2026, publié en ligne le 31 octobre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i4.7>

RESUME

Description du sujet. La transplantation de sauvageons pallie la rareté et la faible viabilité des graines des essences forestières tropicales.

Objectifs. L'étude vise à comparer la croissance et la survie de sauvageons de cinq espèces locales à usages multiples dans la Tshopo (RDC) et évaluer l'influence des précipitations sur leur établissement en pépinière.

Méthodes. Cinq cents sauvageons (100 par espèce ; 6-12 mois) de *Petersianthus macrocarpus*, *Erythrophleum suaveolens*, *Ricinodendron heudelotii*, *Pycnanthus angolensis* et *Millettia laurentii* ont été suivis pendant douze semaines. La croissance et la survie ont été évaluées de manière hebdomadaire. Les données pluviométriques ont été extraites de CHIRPS. Les analyses ont mobilisé des modèles mixtes, les courbes de Kaplan-Meier et le modèle de Cox.

Résultats. La croissance différait significativement entre espèces ($p < 0,001$), *R. heudelotii* affichant le développement le plus fort et *P. macrocarpus* le plus faible. La survie finale oscillait entre 73 % et 84 %, sans divergence statistiquement significative entre les courbes globales ($p = 0,51$). Toutefois, le risque de mortalité était supérieur chez *P. angolensis* et *M. laurentii*. Les précipitations ont stimulé la croissance, avec des intensités de réponse variables selon les essences.

Conclusion. La réussite de l'établissement dépend de l'espèce, de la morphologie initiale et du régime hydrique. La transplantation de sauvageons s'affirme comme une option sylvicole prometteuse pour la domestication, l'agroforesterie et la restauration forestière.

Mots-clés : Domestication, régénération naturelle, espèce, stress hydrique, Bassin du Congo.

ABSTRACT

Survival and growth of wildlings from five multipurpose tree species during their establishment in a nursery in Banalia, Tshopo province (DRC)

Description of the subject. Wildling transplantation mitigates the scarcity and limited viability of seeds from tropical forest tree species.

Objective. This study aims to compare the growth and survival of wildlings from five local multipurpose tree species in the Tshopo province (DRC), and to evaluate the influence of rainfall on their establishment in a nursery.

Methods. Five hundred wildlings (100 per species; 6-12 months old) of *Petersianthus macrocarpus*, *Erythrophleum suaveolens*, *Ricinodendron heudelotii*, *Pycnanthus angolensis*, and *Millettia laurentii* were monitored over twelve weeks. Growth and survival were assessed weekly. Rainfall data were extracted from the CHIRPS database. Statistical analyses relied on mixed models, Kaplan-Meier survival curves, and the Cox proportional hazards model.

Results. Growth differed significantly among species ($p < 0.001$), with *R. heudelotii* showing the highest development and *P. macrocarpus* the lowest. Final survival ranged from 73 % to 84 %, with no statistically significant divergence between the overall curves ($p = 0.51$). However, the mortality hazard was higher in *P. angolensis* and *M. laurentii*. Rainfall stimulated growth, with varying response intensities depending on the species.

Conclusion. Successful establishment depends on the species, initial morphological quality, and hydric regime. Wildling transplantation proves to be a promising silvicultural option for domestication, agroforestry, and forest restoration.

Keywords: Domestication, natural regeneration, species, water stress, Congo Basin.

1. INTRODUCTION

La restauration des paysages forestiers dégradés et le développement de systèmes agroforestiers dépendent notamment de la disponibilité d'un matériel végétal de qualité et adapté aux conditions locales. Cet enjeu est particulièrement important pour les espèces forestières locales à forte valeur écologique et socio-économique, dont l'utilisation contribue à diversifier les approches de restauration et à renforcer leur résilience (Fremout *et al.*, 2022 ; Giacomini *et al.*, 2023). En République Démocratique du Congo (RDC), où les forêts du Bassin du Congo jouent un rôle majeur dans la conservation de la biodiversité et la régulation du climat (Beekmann *et al.*, 2024), l'amélioration des techniques de production de plants d'essences indigènes constitue ainsi un enjeu important pour les programmes de restauration forestière, d'agroforesterie et de domestication.

La production de plants forestiers repose généralement sur la multiplication à partir de graines. Cependant, son application peut être limitée pour certaines essences tropicales par l'irrégularité de la fructification, la disponibilité saisonnière des graines ou leur faible viabilité. Dans ce contexte, la transplantation de sauvageons (*wildings*), qui consiste à prélever de jeunes plants issus de la régénération naturelle pour poursuivre leur développement en pépinière, constitue une alternative susceptible d'accroître la disponibilité du matériel végétal (Turchetto *et al.*, 2016). Cette technique permet de valoriser la régénération naturelle existante et peut faciliter la production de plants d'espèces difficiles à multiplier à partir de graines. Toutefois, le prélèvement, le transport et la transplantation peuvent provoquer des dommages racinaires et un stress physiologique susceptibles de réduire la croissance et la survie des plants. Le succès de leur établissement dépend alors des caractéristiques propres aux espèces, de la qualité initiale des sauvageons et des conditions environnementales rencontrées après transplantation (Turchetto *et al.*, 2016).

Dans la province de la Tshopo, plusieurs essences forestières locales à usages multiples, notamment *Petersianthus macrocarpus* (P. Beauv.) Liben, *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan, *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Heckel, *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb. et *Millettia laurentii* De Wild., présentent un intérêt pour la restauration forestière, l'agroforesterie et la

domestication des espèces locales. Malgré ce potentiel, les informations comparatives sur leur aptitude à supporter le prélèvement en milieu naturel et leur transplantation en pépinière restent limitées. En particulier, les différences interspécifiques de croissance et de survie durant la phase initiale de reprise, ainsi que le rôle des conditions hydriques dans ces performances, sont encore insuffisamment documentés dans les conditions écologiques de la Tshopo. Ce déficit de connaissances limite la possibilité d'identifier les espèces et les caractéristiques des sauvageons les plus favorables à cette technique de production de plants.

Dès lors, la question principale posée est de savoir dans quelle mesure les performances d'établissement en pépinière diffèrent entre les sauvageons de ces cinq espèces et sont influencées par leurs caractéristiques morphologiques initiales et les conditions hydriques. Trois hypothèses ont été formulées : (i) la croissance après transplantation diffère significativement entre les espèces ; (ii) la survie des sauvageons varie selon les espèces et leur qualité morphologique initiale ; et (iii) les précipitations favorisent la croissance après transplantation, mais leur effet varie selon les espèces.

L'objectif de cette étude est ainsi de comparer, au cours des douze premières semaines suivant la transplantation, la croissance et la survie des sauvageons des cinq espèces et d'évaluer l'influence de leurs caractéristiques morphologiques initiales et des précipitations sur leur établissement en pépinière.

L'étude vise, à terme, à fournir des éléments permettant d'améliorer la sélection et la conduite des sauvageons destinés aux programmes de domestication, d'agroforesterie et de restauration forestière dans la province de la Tshopo.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

L'étude a été conduite dans le village de Bakilo, situé au PK 41 sur l'axe routier Kisangani-Ituri, dans le territoire de Banalia, province de la Tshopo, au nord-est de la RDC (Figure 1). La région appartient au domaine des forêts denses humides de basse altitude du Bassin du Congo et présente un climat équatorial caractérisé par des températures moyennes relativement stables, généralement comprises entre 24

dessèchement ou d'attaque d'insectes. Le prélèvement a été réalisé manuellement à l'aide d'une houe et d'une machette, en veillant à conserver autant que possible une motte de terre autour du système racinaire afin de limiter les lésions mécaniques. Les sauvageons ont ensuite été transportés immédiatement vers la pépinière dans des conditions maintenant l'humidité autour des racines.

Au moment de la collecte et avant la transplantation, l'état du système racinaire de chaque sauvageon a été évalué à l'aide d'un score ordinal, de 1 à 5, reflétant le degré de conservation et de développement des racines. Un score élevé correspondait à un système racinaire mieux développé et mieux conservé après le prélèvement. Cette variable a ensuite été utilisée comme indicateur de la qualité racinaire initiale dans l'analyse de la survie.

À leur arrivée en pépinière, les sauvageons ont été transplantés individuellement dans des sachets en polyéthylène de 15 × 25 cm remplis du même substrat forestier homogénéisé. Les plants ont été disposés sur des planches de culture sous ombrière et chaque individu a reçu un identifiant unique permettant son suivi pendant toute la durée de l'expérimentation. Au total, 500 sauvageons ont été installés, à raison de 100 individus par espèce.

Les plants ont été arrosés quotidiennement pendant les sept premiers jours suivant la transplantation afin de réduire le stress hydrique immédiat et de favoriser la reprise racinaire. À partir de la deuxième semaine, aucun arrosage systématique n'a été effectué et les sauvageons ont été soumis au régime naturel des précipitations pendant le reste de l'expérimentation.

Le suivi a duré douze semaines. Au moment de la transplantation, les caractéristiques morphologiques initiales de chaque sauvageon ont été enregistrées. La hauteur initiale (cm) a été mesurée du collet au bourgeon terminal à l'aide d'une règle graduée. Le diamètre initial au collet (mm) a été mesuré au niveau du collet à l'aide d'un pied à coulisse. Le nombre initial de feuilles ainsi que le score racinaire et la provenance ont également été enregistrés.

Par la suite, chaque sauvageon a été observé à intervalles hebdomadaires. À chaque observation, la hauteur totale du plant, le statut de survie (vivant ou mort), le nombre de feuilles et les éventuels symptômes de stress, notamment le flétrissement, le jaunissement et la défoliation, ont été enregistrés. Les observations particulières susceptibles d'expliquer une mortalité ont également été consignées.

À partir des mesures successives de hauteur, deux indicateurs de croissance ont été calculés. La croissance hebdomadaire (cm semaine^{-1}) correspondait à la différence de hauteur entre deux observations consécutives. La croissance cumulée (cm) correspondait à la différence entre la hauteur mesurée à une semaine donnée et la hauteur initiale du

même individu. Le taux de survie et le taux de mortalité cumulée ont également été calculés pour chaque espèce au cours du suivi.

2.3. Analyse des données

Les analyses statistiques ont été réalisées sous R, version 4.5.3. Les caractéristiques morphologiques initiales des sauvageons ont d'abord été décrites par espèce à l'aide de la moyenne et de l'écart-type pour les variables quantitatives. Les différences entre espèces concernant la hauteur initiale, le diamètre initial au collet et le nombre initial de feuilles ont été testées par une analyse de variance à un facteur lorsque les conditions de normalité des résidus et d'homogénéité des variances étaient satisfaites. Dans le cas contraire, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Afin de comparer les trajectoires de croissance tout en évitant que les différences de hauteur initiale entre espèces ne dominent artificiellement les résultats, l'analyse longitudinale a porté principalement sur la croissance cumulée plutôt que sur la hauteur absolue. Un modèle linéaire mixte a été ajusté en considérant l'espèce, la semaine d'observation et leur interaction comme effets fixes. L'identifiant individuel du sauvageon a été introduit comme effet aléatoire afin de tenir compte de la répétition des mesures sur un même individu. L'interaction espèce × semaine a permis de tester si les trajectoires de croissance différaient entre espèces. Lorsque cela était pertinent, les comparaisons entre espèces ont été effectuées à partir des moyennes marginales estimées et de leurs intervalles de confiance à 95 %.

La survie des sauvageons a été analysée à l'aide de courbes de Kaplan-Meier établies séparément pour chaque espèce. Les courbes ont été comparées au moyen du test du log-rank. Afin d'identifier les facteurs associés au risque instantané de mortalité, un modèle de Cox à risques proportionnels a ensuite été ajusté. Les variables explicatives comprenaient l'espèce, la hauteur initiale, le diamètre initial au collet, le score racinaire et la provenance des sauvageons. Les résultats du modèle ont été exprimés sous forme de rapports de risques (*hazard ratios*, HR) accompagnés de leurs intervalles de confiance à 95 %. L'hypothèse de proportionnalité des risques a été vérifiée à partir des résidus de Schoenfeld.

L'influence des précipitations sur la croissance a été analysée séparément de l'analyse longitudinale individuelle afin de tenir compte du fait que tous les plants exposés pendant un même intervalle hebdomadaire partageaient la même valeur de précipitations. L'unité temporelle, et non chaque plant individuellement, a donc été considérée comme niveau de réplication pour l'effet pluviométrique. Pour chaque espèce et chaque intervalle hebdomadaire, la croissance moyenne a été calculée puis mise en relation avec le cumul des précipitations observé pendant le même intervalle. Les modèles ont évalué

l'effet des précipitations, de l'espèce et de leur interaction sur la croissance moyenne hebdomadaire. Compte tenu du nombre limité d'intervalles temporels disponibles, l'interprétation de l'effet pluviométrique a porté conjointement sur la direction et l'amplitude des relations estimées, leurs intervalles de confiance et leur cohérence entre espèces, et non uniquement sur les valeurs de p . Le nombre de jours pluvieux a été examiné comme variable hydrique complémentaire, en évitant de l'introduire simultanément avec le cumul des précipitations lorsque les deux variables présentaient une forte colinéarité.

Les diagnostics des modèles ont été examinés avant interprétation, notamment la distribution et l'homoscédasticité des résidus pour les modèles linéaires ainsi que la proportionnalité des risques pour le modèle de Cox. Les résultats ont été présentés sous forme de statistiques descriptives, de moyennes marginales ou de moyennes hebdomadaires accompagnées de leurs intervalles de confiance à 95 %, de courbes de croissance, de courbes de survie et de graphiques décrivant les relations entre précipitations et croissance. Sauf indication contraire, le seuil de signification statistique a été fixé à $\alpha = 0,05$.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques initiales des sauvageons selon les espèces

Les caractéristiques morphologiques des sauvageons au moment de la transplantation différaient significativement entre les cinq espèces étudiées (Tableau 1). La hauteur initiale variait fortement selon l'espèce (ANOVA, $F = 93,2$; $p < 0,001$), de même que le diamètre au collet ($F = 125,2$; $p < 0,001$). Le nombre initial de feuilles présentait également des différences significatives (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 84,4$; $p < 0,001$).

Tableau 1. Caractéristiques morphologiques initiales des sauvageons transplantés en pépinière. Les valeurs sont exprimées en moyenne $\pm$ écart-type, accompagnées des résultats des comparaisons statistiques (ANOVA ou Kruskal-Wallis)

Espèce	N	Âge (mois)	Hauteur initiale (cm)	Diamètre au collet (mm)	Nombre initial de feuilles
<i>P. macrocarpus</i>	100	9,1 $\pm$ 2,0	19,8 $\pm$ 3,3	3,3 $\pm$ 0,6	5,2 $\pm$ 1,4
<i>E. suaveolens</i>	100	9,5 $\pm$ 1,9	24,5 $\pm$ 3,7	3,8 $\pm$ 0,5	5,8 $\pm$ 1,1
<i>R. heudelotii</i>	100	9,1 $\pm$ 1,9	33,0 $\pm$ 7,4	4,9 $\pm$ 0,5	7,0 $\pm$ 1,2
<i>P. angolensis</i>	100	8,7 $\pm$ 1,9	29,0 $\pm$ 5,4	4,3 $\pm$ 0,6	5,9 $\pm$ 1,2
<i>M. laurentii</i>	100	9,1 $\pm$ 2,0	27,0 $\pm$ 4,9	4,1 $\pm$ 0,6	5,8 $\pm$ 1,2

Tests globaux : hauteur initiale, ANOVA, $p < 0,001$; diamètre au collet, ANOVA, $p < 0,001$, nombre de feuilles, Kruskal-Wallis, $p < 0,001$

Ces différences indiquent que les sauvageons ne présentaient pas exactement le même état de développement au moment de leur transplantation. Afin d'éviter que cette variabilité initiale n'influence l'interprétation des performances observées en pépinière, la hauteur initiale a été intégrée comme covariable dans les modèles mixtes de croissance.

3.2. Dynamique de croissance des sauvageons en pépinière

La croissance des sauvageons a augmenté régulièrement au cours des douze semaines de suivi, mais avec des trajectoires nettement différentes selon les espèces (Figure 2). Dès les premières semaines après transplantation, les courbes de croissance ont commencé à diverger, traduisant des capacités contrastées de reprise végétative.

Parmi les espèces étudiées, *R. heudelotii* a présenté la croissance la plus rapide tout au long de l'expérimentation. Sa hauteur moyenne est passée d'environ 27 cm à près de 44 cm en douze semaines, soit un gain de plus de 17 cm. *P. angolensis* occupait le deuxième rang, atteignant environ 38 cm en fin de suivi, suivi de *M. laurentii*, dont la hauteur moyenne avoisinait 37 cm. À l'inverse, *Erythrophleum suaveolens* et surtout *Petersianthus macrocarpus* ont présenté les vitesses de croissance les plus faibles, avec des hauteurs finales respectives d'environ 34 cm et 31 cm (Figure 2).

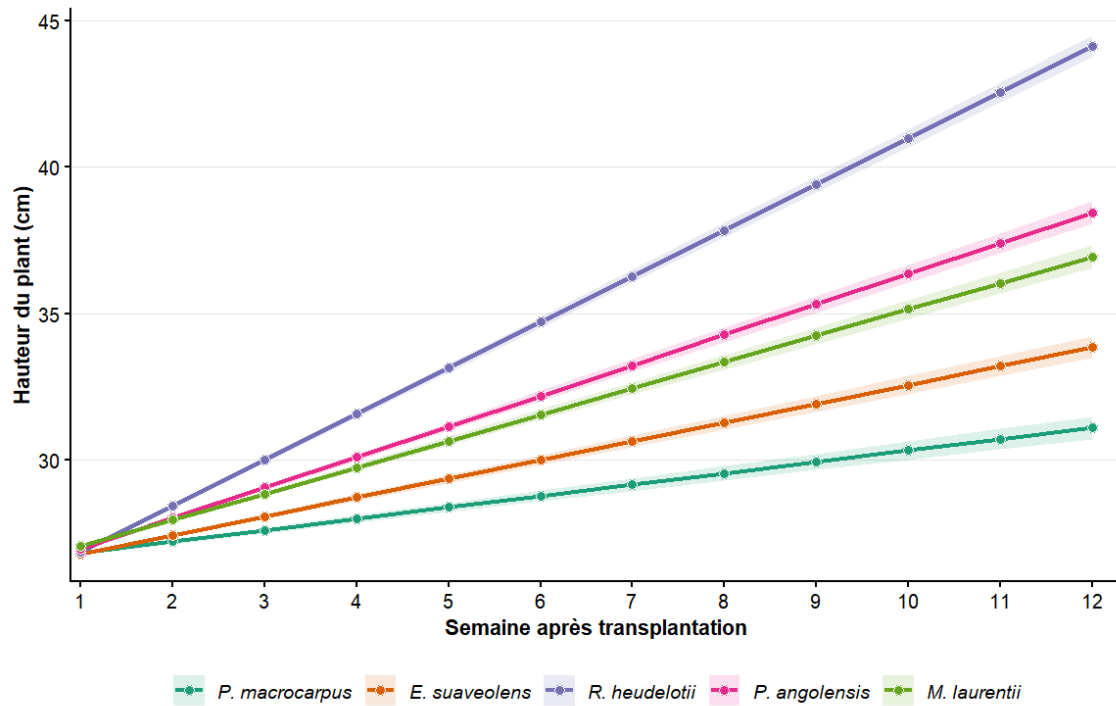


Figure 2. Évolution de la hauteur moyenne ($\pm$ IC95 %) des sauvageons durant les douze semaines de suivi. Moyennes marginales estimées et intervalles de confiance à 95 %. Les estimations tiennent compte de la hauteur initiale et des mesures répétées

Les intervalles de confiance demeuraient relativement étroits durant toute la période d'observation, indiquant une faible variabilité intra-spécifique des trajectoires de croissance. Les résultats du modèle linéaire mixte confirment ces observations graphiques. La croissance variait significativement entre espèces ($F = 591,5$; $p < 0,001$), augmentait fortement avec le temps ($F = 13\,054,4$; $p < 0,001$) et dépendait de l'interaction entre l'espèce et le temps ($F = 641,3$; $p < 0,001$), démontrant que les vitesses de croissance différaient selon les espèces. La hauteur initiale constituait également un prédicteur majeur de la croissance observée ($F = 115\,132,0$; $p < 0,001$).

Le modèle expliquait une très grande partie de la variabilité observée (R^2 marginal = 0,985 ; R^2 conditionnel = 0,999). Ces résultats montrent que les différences de croissance entre espèces se sont progressivement amplifiées au cours du suivi, révélant des capacités intrinsèques de reprise très contrastées après transplantation.

3.3. Survie des sauvageons après transplantation

Les courbes de survie de Kaplan-Meier montrent que la probabilité de survie est restée relativement élevée pour l'ensemble des espèces durant les douze semaines de suivi (Figure 3). La majorité des mortalités est intervenue au cours des premières semaines suivant la transplantation, tandis que les courbes se stabilisaient progressivement à partir de la seconde moitié de l'expérimentation.

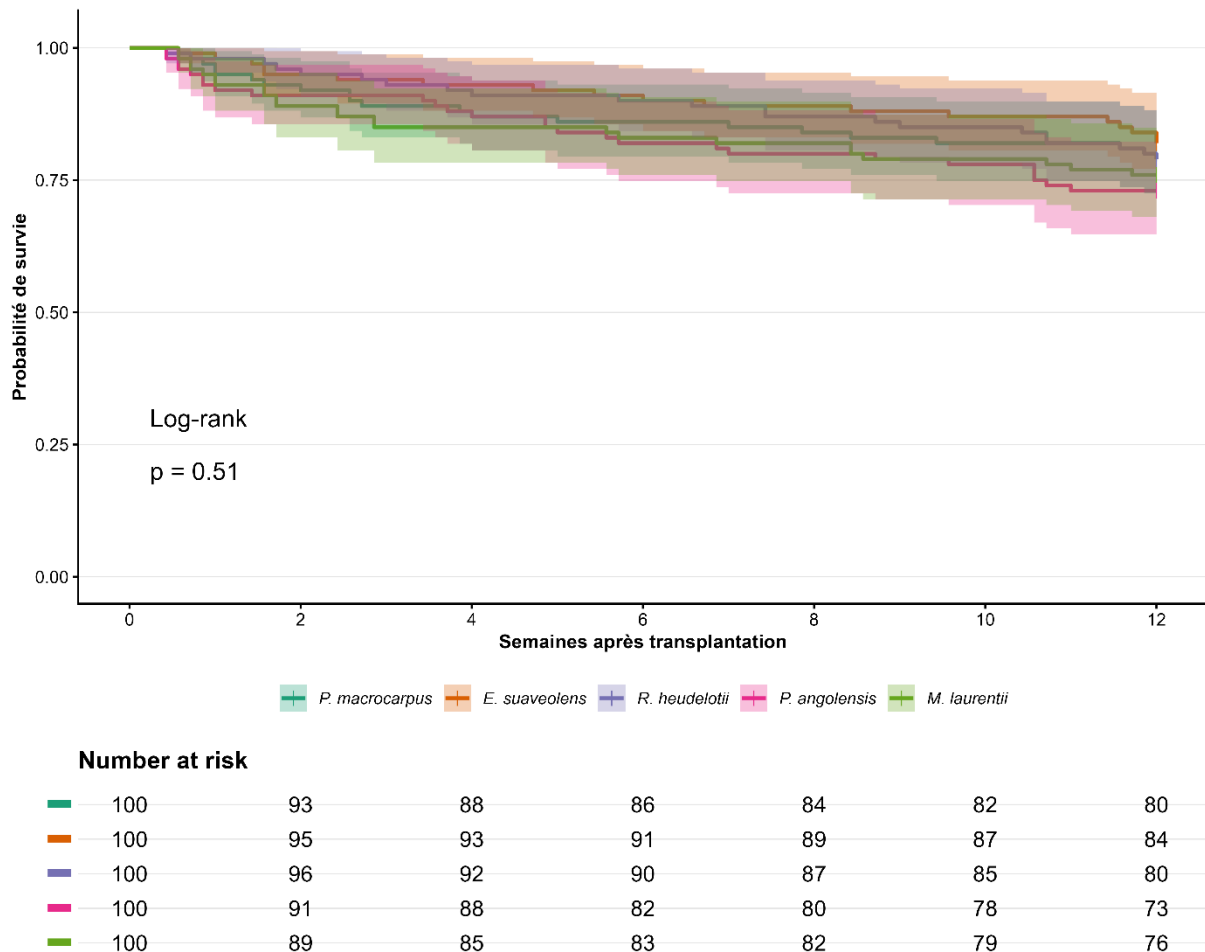


Figure 3. Courbes de survie de Kaplan-Meier des sauvageons des cinq espèces forestières au cours des douze semaines suivant leur transplantation en pépinière

En fin de suivi, les probabilités de survie demeuraient comprises entre environ 73 % et 84 %. *Erythrophleum suaveolens* présentait la survie apparente la plus élevée (84 %), suivi de *P. macrocarpus* et *R. heudelotii* (80 %), puis de *M. laurentii* (76 %). *P. angolensis* enregistrait la survie finale la plus faible (73 %).

Malgré ces différences numériques, le test du Log-rank n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre les courbes de survie des cinq espèces ($\chi^2 = 3,3$; ddl = 4 ; $p = 0,51$), indiquant que les probabilités de survie demeuraient globalement comparables durant la période d'observation.

L'analyse multivariée par le modèle de Cox apporte toutefois des informations complémentaires. Après prise en compte de la hauteur initiale, du diamètre au collet, du score racinaire et de la provenance des sauvageons, *P. angolensis* (HR = 1,92 ; $p = 0,037$) et *M. laurentii* (HR = 1,74 ; $p = 0,016$) présentaient un risque instantané de mortalité significativement plus élevé que l'espèce de référence. En revanche, *E. suaveolens* et *R. heudelotii* ne différaient pas significativement de cette dernière.

Par ailleurs, le diamètre initial au collet réduisait significativement le risque de mortalité (HR = 0,78 ; $p = 0,031$), tout comme le score racinaire (HR = 0,68 ; $p = 0,001$), indiquant que les sauvageons présentant un système racinaire mieux développé et une meilleure vigueur morphologique survivaient davantage après transplantation. Les hypothèses de proportionnalité des risques étaient satisfaites (test global : $p = 0,61$).

3.4. Influence des précipitations sur la croissance des sauvageons

Les précipitations ont présenté une variabilité marquée durant les douze semaines de suivi, avec une augmentation progressive jusqu'aux semaines 9 à 11, suivie d'une baisse au terme de l'expérimentation (Figure 4A). Cette dynamique saisonnière s'accompagnait d'une augmentation parallèle de la croissance hebdomadaire moyenne des sauvageons.

La relation entre les précipitations cumulées et la croissance hebdomadaire différait fortement selon les espèces (Figure 4B). Pour l'ensemble des espèces, la croissance augmentait avec les précipitations, mais cette réponse était

particulièrement marquée chez *R. heudelotii*, qui présentait la pente de régression la plus élevée. *P. angolensis* et *M. laurentii* montraient également une réponse positive importante, tandis que *P. macrocarpus* répondait beaucoup plus faiblement aux variations des précipitations.

Le modèle linéaire mixte confirmait un effet hautement significatif des précipitations sur la croissance hebdomadaire ($F = 1\,041,5$; $p < 0,001$), ainsi qu'une interaction significative entre l'espèce et les précipitations ($F = 98,5$; $p < 0,001$), démontrant que l'intensité de la réponse à la disponibilité en eau variait selon les espèces. Le temps de suivi conservait également un effet positif significatif ($F = 209,7$; $p < 0,001$), alors que la hauteur initiale n'influait plus significativement la croissance hebdomadaire ($p = 0,81$).

Les scores du panneau C sont normalisés entre 0 et 100 pour chaque indicateur.

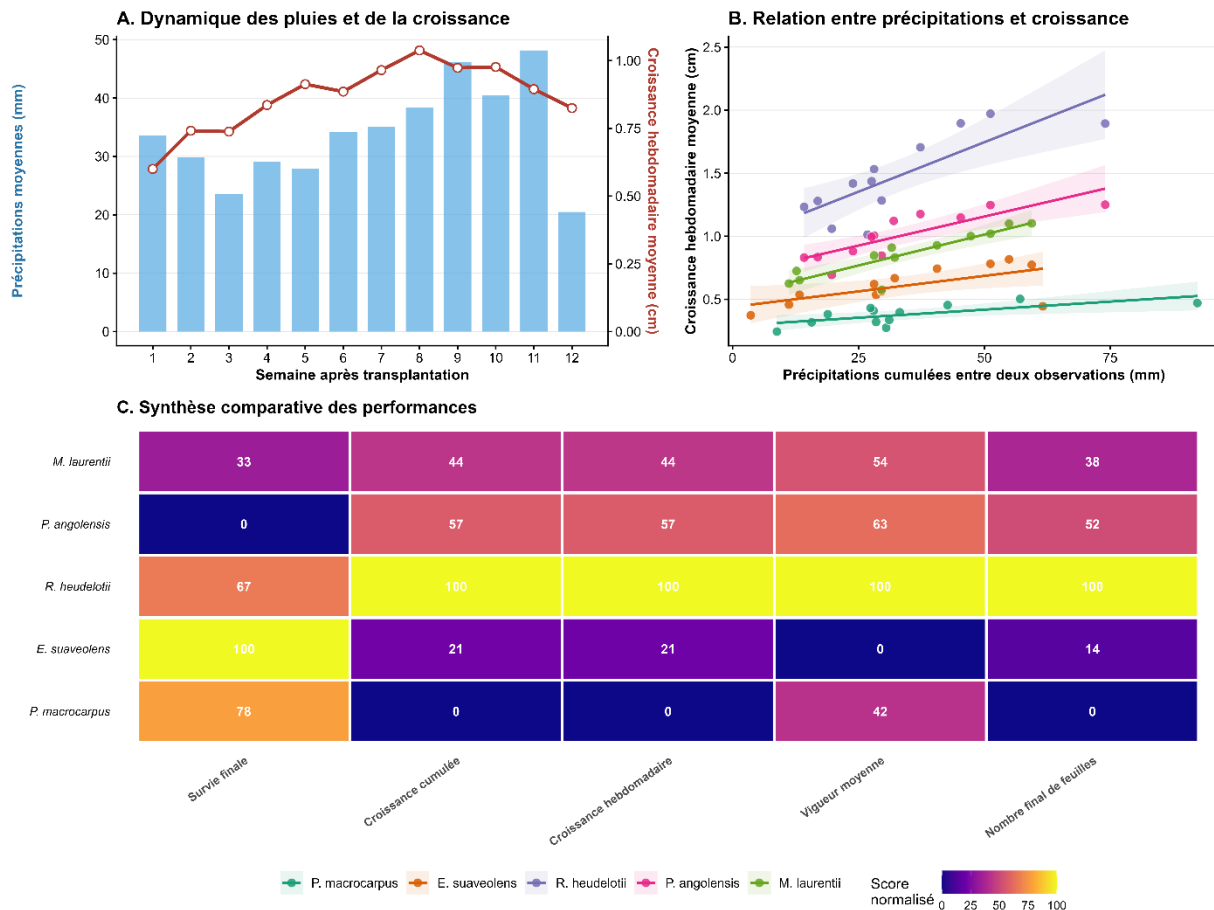


Figure 4. Influence des précipitations sur la croissance et synthèse comparative des performances des sauvagions des cinq espèces forestières en pépinière

La synthèse comparative des performances (Figure 3C) met en évidence des stratégies écologiques contrastées. *R. heudelotii* obtenait les meilleurs scores normalisés pour la croissance cumulée, la croissance hebdomadaire, la vigueur moyenne et le nombre final de feuilles. À l'inverse, *E. suaveolens* se distinguait principalement par sa forte survie finale, mais affichait des performances de croissance relativement modestes. *P. macrocarpus* présentait les croissances les plus faibles malgré une survie relativement élevée, tandis que *P. angolensis* et *M. laurentii* occupaient des positions intermédiaires, caractérisées par une bonne capacité de croissance mais une sensibilité plus importante à la mortalité après transplantation.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence un compromis entre croissance et survie chez les espèces étudiées. Alors que *R. heudelotii* apparaît comme

l'espèce la plus performante en termes de reprise et de croissance en pépinière, *E. suaveolens* privilégie une stratégie de meilleure persistance après transplantation, au prix d'une croissance plus modérée. Ces différences soulignent l'existence de réponses écophysiologiques spécifiques qui devront être prises en compte dans les programmes de domestication, de restauration forestière et de production de plants à partir de sauvagions.

4. DISCUSSION

Cette étude met en évidence des réponses contrastées de cinq espèces forestières indigènes lors de leur établissement en pépinière à partir de sauvagions. Les différences observées concernent principalement les trajectoires de croissance, tandis que les probabilités globales de survie sont restées relativement proches

entre espèces au cours des douze semaines de suivi. Les analyses suggèrent également que certaines caractéristiques morphologiques initiales, notamment le diamètre au collet et l'état du système racinaire, sont associées à une meilleure survie après transplantation. Enfin, la croissance a varié parallèlement aux conditions pluviométriques, avec des réponses d'amplitude différente selon les espèces. Ces résultats permettent d'examiner successivement les trois hypothèses formulées dans cette étude.

4.1. Trajectoires de croissance différent entre espèces

La première hypothèse, selon laquelle la croissance après transplantation diffère entre espèces, est soutenue par les résultats obtenus. Les trajectoires de croissance ont divergé progressivement au cours de la période de suivi, *R. heudelotii* présentant les gains de hauteur les plus importants, alors que *P. macrocarpus* et *E. suaveolens* affichaient des croissances plus faibles. Ces différences interspécifiques peuvent traduire des stratégies contrastées d'acquisition et d'utilisation des ressources au cours de la phase initiale d'établissement.

La croissance relativement rapide observée chez *R. heudelotii* est cohérente avec les caractéristiques généralement associées aux espèces à stratégie acquisitive. Les espèces pionnières ou associées aux milieux perturbés tendent en effet à investir davantage dans l'acquisition rapide des ressources et l'expansion des organes photosynthétiques, ce qui favorise une croissance précoce élevée lorsque les conditions environnementales sont favorables (Poorter, 1999). Dans cette perspective, la performance de *R. heudelotii* pourrait traduire une capacité importante à mobiliser rapidement les ressources disponibles après le choc de transplantation.

À l'inverse, la croissance plus lente de *P. macrocarpus* et *E. suaveolens* peut être interprétée à la lumière du continuum acquisitif-conservatif décrit chez les arbres tropicaux. Les espèces présentant des tissus plus denses et des stratégies plus conservatrices investissent généralement davantage dans la résistance mécanique, la persistance des tissus et la tolérance aux contraintes, au détriment d'une croissance rapide (Chave *et al.*, 2009 ; Wright *et al.*, 2010). Les faibles accroissements observés chez ces deux espèces ne traduisent donc pas nécessairement une mauvaise adaptation à la transplantation, mais peuvent refléter une allocation préférentielle des ressources vers la maintenance et la survie.

Les performances intermédiaires de *P. angolensis* et *M. laurentii* suggèrent également que les espèces étudiées ne se distribuent pas selon une opposition simple entre croissance rapide et croissance lente. Elles peuvent présenter des combinaisons différentes de traits de croissance, de résistance au stress et de capacité de reprise. Les résultats doivent donc être interprétés comme l'expression de stratégies

d'établissement distinctes plutôt que comme une hiérarchie absolue de performance entre espèces.

Il convient toutefois de limiter cette interprétation à la phase initiale étudiée. Les douze semaines de suivi renseignent principalement sur la reprise immédiate après transplantation et ne permettent pas de préjuger des performances à plus long terme. Une espèce à croissance initialement lente pourrait, par exemple, maintenir une survie élevée ou accélérer sa croissance après une phase plus longue d'acclimatation.

4.2. Survie dépend de l'espèce et de la qualité morphologique initiale

La deuxième hypothèse n'est que partiellement soutenue. Les courbes de Kaplan-Meier n'ont pas montré de différence significative de survie globale entre les cinq espèces, ce qui indique que leur probabilité de persistance au cours des douze premières semaines est restée relativement comparable. Cependant, le modèle multivarié de Cox met en évidence des différences de risque de mortalité après prise en compte de plusieurs caractéristiques initiales des sauvageons. En particulier, *P. angolensis* et *M. laurentii* présentent un risque instantané de mortalité plus élevé que l'espèce de référence, tandis que le diamètre initial au collet et le score racinaire sont associés à une diminution du risque de mortalité.

L'absence de différence significative entre les courbes globales de survie peut s'expliquer en partie par les conditions relativement favorables de la phase initiale de conduite. L'arrosage quotidien assuré durant la première semaine a vraisemblablement réduit le déficit hydrique immédiatement après transplantation, période durant laquelle les dommages racinaires et la réduction temporaire de l'absorption d'eau peuvent fortement affecter la survie. La culture sous ombrière a également pu limiter l'exposition au rayonnement direct et les pertes d'eau excessives. Ces conditions ont probablement contribué à maintenir une survie relativement élevée dans l'ensemble des espèces.

Les résultats du modèle de Cox montrent néanmoins que la qualité morphologique initiale constitue un déterminant important de la survie. Le diamètre au collet est couramment utilisé comme indicateur de robustesse des plants et peut refléter des réserves plus importantes ainsi qu'une meilleure capacité de résistance aux contraintes survenant après transplantation. Des travaux conduits sur des plants forestiers montrent que des individus présentant des dimensions initiales plus importantes peuvent bénéficier d'une meilleure probabilité de survie après plantation, bien que l'intensité de cet effet varie selon les espèces et les conditions environnementales (Grossnickle & MacDonald, 2018a ; Andivia *et al.*, 2021).

De même, l'association positive entre le score racinaire et la survie souligne l'importance de préserver l'intégrité du système racinaire lors du

prélèvement des sauvageons. Les racines fines jouent un rôle central dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux ; leur détérioration peut donc ralentir la reprise physiologique et augmenter la vulnérabilité du plant au stress hydrique. Les sauvageons présentant un système racinaire mieux conservé disposeraient ainsi d'un avantage durant les premières semaines suivant leur transplantation.

Ces résultats ont une implication méthodologique importante : la réussite de la transplantation ne dépend pas uniquement du choix de l'espèce, mais aussi de la qualité des individus prélevés. La sélection de sauvageons présentant un diamètre au collet suffisant, un système racinaire bien conservé et un état morphologique satisfaisant pourrait donc contribuer à améliorer les taux de reprise en pépinière.

L'interprétation des effets liés à la provenance doit toutefois rester prudente. Une partie des sauvageons de *M. laurentii* provenait d'un site différent de celui utilisé pour la majorité des autres individus. Dans ces conditions, les effets de provenance et d'espèce peuvent être partiellement confondus. Des expérimentations futures reposant sur un plan équilibré, dans lequel chacune des espèces serait représentée dans plusieurs provenances, permettraient de mieux dissocier ces deux sources de variation.

4.3. Croissance répond aux variations des précipitations, mais avec des différences entre espèces

La troisième hypothèse prévoyait une augmentation de la croissance avec les précipitations, avec une intensité de réponse différente selon les espèces. Les tendances observées au cours de l'expérimentation sont compatibles avec cette hypothèse : les périodes plus humides ont généralement coïncidé avec une augmentation de la croissance hebdomadaire, tandis que l'amplitude de cette réponse variait entre espèces.

Cette relation est écologiquement plausible. Après transplantation, la capacité d'un sauvageon à maintenir sa croissance dépend étroitement de la restauration de l'équilibre entre l'absorption racinaire et les pertes d'eau par transpiration. Une disponibilité hydrique plus élevée peut réduire le stress associé aux dommages racinaires et favoriser la reprise de l'activité cambiale et foliaire. Les travaux consacrés à la qualité et à l'établissement des plants forestiers soulignent également le rôle déterminant de l'état hydrique durant les premières phases suivant la transplantation (Grossnickle, 2012 ; Grossnickle & MacDonald, 2018b).

La réponse relativement forte observée chez *R. heudelotii* pourrait être cohérente avec sa croissance initiale rapide, cette espèce semblant mieux exploiter les périodes de disponibilité hydrique élevée. À l'opposé, la réponse plus modérée de *P. macrocarpus* pourrait correspondre à une stratégie de croissance plus conservative. Néanmoins, ces interprétations

doivent être considérées comme des hypothèses écophysiologiques et non comme une démonstration directe des mécanismes sous-jacents, aucune variable physiologique n'ayant été mesurée dans cette étude.

L'effet des précipitations doit par ailleurs être interprété avec prudence en raison de la structure temporelle du dispositif. Tous les plants présents au cours d'un même intervalle hebdomadaire étaient exposés à la même valeur de précipitations. Les individus ne constituent donc pas des répétitions indépendantes de la variable pluviométrique. L'inférence concernant l'effet de la pluie repose essentiellement sur le nombre relativement limité d'intervalles temporels observés. La relation entre précipitations et croissance doit dès lors être appréciée principalement à partir de la direction, de l'amplitude et de la cohérence des réponses entre espèces, plutôt qu'à partir de la seule significativité statistique.

En outre, les précipitations et le temps progressent conjointement au cours de la période expérimentale. Une partie de l'augmentation de croissance associée aux pluies peut ainsi refléter simultanément l'acclimatation progressive des plants après transplantation. Des expérimentations contrôlant indépendamment le régime hydrique, par exemple à travers plusieurs traitements d'arrosage, seraient nécessaires pour établir plus rigoureusement un effet causal de la disponibilité en eau.

4.4. Implications pour la production de plants et la restauration forestière

Les résultats montrent que les cinq espèces présentent des profils différents combinant croissance, survie et qualité de reprise. Il serait donc excessif de rechercher une espèce globalement « supérieure » aux autres. Le choix du matériel végétal devrait plutôt être guidé par les objectifs du programme de plantation et par les caractéristiques écologiques recherchées.

Lorsque l'objectif est d'obtenir rapidement des plants présentant une croissance initiale élevée, *R. heudelotii* apparaît comme une espèce particulièrement intéressante dans les conditions étudiées. À l'inverse, *E. suaveolens*, malgré une croissance plus faible, a maintenu une survie élevée et pourrait présenter un intérêt lorsque la priorité est accordée à la persistance des plants durant la phase de reprise. *P. angolensis* et *M. laurentii* ont montré des croissances relativement favorables mais une vulnérabilité plus importante dans le modèle de survie, tandis que *P. macrocarpus* s'est caractérisé par une croissance plus lente associée à une survie relativement élevée.

Ces profils ne démontrent pas à eux seuls l'existence d'un compromis fonctionnel strict entre croissance et survie. Ils suggèrent plutôt des stratégies d'établissement contrastées, dans lesquelles croissance rapide, persistance et résistance au stress ne sont pas nécessairement maximisées simultanément. Des suivis plus longs seraient nécessaires pour déterminer si ces

différences initiales se maintiennent après la sortie de pépinière et la plantation en conditions de terrain.

La survie relativement élevée obtenue dans l'ensemble des espèces montre par ailleurs que l'utilisation de sauvageons peut constituer une source complémentaire de matériel végétal lorsque les graines sont peu disponibles, difficiles à conserver ou irrégulièrement produites. Dans les contextes tropicaux où l'approvisionnement en semences d'espèces indigènes constitue une contrainte majeure pour la restauration, cette option peut contribuer à diversifier les sources de plants (Kettle, 2012 ; Djiofack *et al.*, 2025).

Son utilisation doit néanmoins rester raisonnée. Le prélèvement de sauvageons dans la régénération naturelle ne devrait pas compromettre le renouvellement des peuplements sources. Une telle pratique gagnerait donc à être intégrée dans des protocoles précisant les densités de prélèvement, les périodes appropriées, les critères de sélection morphologique et les modalités de conservation du système racinaire.

4.5. Limites de l'étude et perspectives

Plusieurs limites doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats. Premièrement, l'expérimentation a couvert seulement douze semaines et renseigne principalement sur la phase initiale de reprise. Un suivi prolongé est nécessaire pour déterminer si les différences interspécifiques observées persistent après acclimatation et si elles se traduisent par des différences de performance après plantation au champ.

Deuxièmement, l'étude a été conduite dans une seule pépinière et sous un ensemble relativement homogène de conditions de substrat et d'ombrage. Les résultats ne permettent donc pas de quantifier la plasticité des espèces face à des conditions de conduite différentes. Des expérimentations intégrant plusieurs niveaux d'ombrage, différents substrats et des régimes d'arrosage contrôlés permettraient de déterminer les conditions optimales pour chacune des espèces.

Troisièmement, l'interprétation de l'effet des précipitations est limitée par le faible nombre de périodes temporelles indépendantes. La mise en place de traitements hydriques répliqués permettrait de distinguer plus rigoureusement l'effet de la disponibilité en eau de celui du temps écoulé depuis la transplantation.

Enfin, l'intégration de variables physiologiques et fonctionnelles, telles que le potentiel hydrique foliaire, la conductance stomatique, la teneur en chlorophylle, la surface foliaire spécifique ou la dynamique de croissance racinaire, permettrait de mieux identifier les mécanismes responsables des différences de reprise entre espèces.

Dans l'ensemble, cette étude montre que la réussite de l'établissement de sauvageons en pépinière résulte de l'interaction entre l'identité de l'espèce, la qualité morphologique initiale du matériel prélevé et les conditions environnementales rencontrées pendant la phase de reprise. Elle souligne notamment l'importance de préserver le système racinaire lors de la collecte et de sélectionner des individus suffisamment vigoureux. Ces résultats constituent une première base pour améliorer l'utilisation des sauvageons comme matériel végétal destiné à la domestication, à l'agroforesterie et à la restauration forestière dans la province de la Tshopo.

5. CONCLUSION

Cette étude démontre que les cinq essences forestières indigènes présentent des capacités contrastées de reprise après transplantation sous forme de sauvageons en pépinière. Si la survie est demeurée globalement élevée au cours des douze semaines de suivi, les espèces ont montré des trajectoires de croissance significativement différentes. *R. heudelotii* s'est distinguée par les meilleures performances de croissance et une forte réponse aux précipitations, tandis que *E. suaveolens* a présenté la meilleure survie malgré une croissance plus modérée. La qualité morphologique initiale des sauvageons, notamment le diamètre au collet et le développement du système racinaire, s'est révélée déterminante pour limiter le risque de mortalité après transplantation. Les précipitations ont également constitué un facteur majeur de la croissance, avec une sensibilité variable selon les espèces.

Ces résultats montrent que la transplantation de sauvageons constitue une approche prometteuse pour la production de plants d'espèces forestières indigènes, en particulier lorsque la disponibilité des semences est limitée. Ils fournissent des références utiles pour orienter le choix des espèces, améliorer les pratiques de collecte et de conduite en pépinière, et renforcer les programmes de domestication, d'agroforesterie et de restauration des paysages forestiers dégradés dans le Bassin du Congo. Des suivis à plus long terme permettront de confirmer la persistance de ces différences après la mise en terre sur le terrain.

Remerciements

Les auteurs remercient les acteurs locaux de Bakilo et de Babagulu pour leur disponibilité et leur appui lors de la collecte des sauvageons et de la conduite des travaux en pépinière. Ils expriment leur sincère reconnaissance à l'Institut Facultaire des sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi) et à l'Équipe de Gestion Opérationnelle du Projet GIFT (EGOP-GIFT) pour l'appui institutionnel, technique et financier ayant permis la réalisation de cette recherche-action ainsi que la valorisation et la diffusion de ses résultats à travers la présente publication.

Cette recherche et la publication qui en découle ont bénéficié du soutien du Projet d'appui à la Gouvernance, l'Insertion et la Formation Agricole et Rurale dans la Tshopo (GIFT - COD2100311), mis en œuvre avec l'appui d'Enabel et financé par l'Agence Française de Développement (AFD), conformément à la Convention de subside COD21003-10039.

Références

Andivia E., Villar-Salvador P., Oliet J.A. *et al.*, 2021. Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restorations worldwide. *Ecol. Appl.*, 31(6), 1-11. <https://doi.org/10.1002/eap.2394>

Azenge C. & Meniko J.P.P., 2020. Espèces et usages d'arbres hors forêt sur les terres agricoles dans la région de Kisangani en République Démocratique du Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 8(2), 163-169.

Beekmann M., Gallois S. & Rondinini C., 2024. Uncertain future for Congo Basin biodiversity: A systematic review of climate change impacts. *Biol. Conserv.*, 297, 110730. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110730>

Chave J., Coomes D., Jansen S., Lewis S.L., Swenson N.G. & Zanne A.E., 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol. Lett.*, 12(4), 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>

Djiofack B.Y., Bourland N., Beeckman H. *et al.*, 2025. The potential of native tree species for forest restoration in the Central Congo Basin. *Ecol. Eng.*, 217, 107662. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107662>

Fremout T., Thomas E., Taedoumg H. *et al.*, 2022. Diversity for Restoration (D4R): Guiding the selection of tree species and seed sources for climate-resilient restoration of tropical forest landscapes. *J. Appl. Ecol.*, 59(3), 664-679. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14079>

Funk C., Peterson P., Landsfeld M. *et al.*, 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Giacomini F.L., Prempeh J.A., Jalonen R. *et al.*, 2023. Seeding African Forest and Landscape Restoration: Evaluating Native Tree Seed Systems in Four African Countries. *Diversity*, 15(9), 981. <https://doi.org/10.3390/d15090981>

Grossnickle S.C. & MacDonald J.E., 2018a. Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283. <https://doi.org/10.3390/F9050283>

Grossnickle S.C. & MacDonald J.E., 2018b. Why seedlings grow: Influence of plant attributes. *New For.*, 49(1). <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>

Grossnickle S.C., 2012. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New For.*, 43(5-6), 711-738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>

Kettle C.J., 2012. Seeding ecological restoration of tropical forests: Priority setting under REDD+. *Biol. Conserv.*, 154, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.016>

Poorter L., 1999. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: The relative importance of morphological and physiological traits. *Funct. Ecol.*, 13(3), 396-410.

Turchetto F., Araujo M.M., Tabaldi L.A. *et al.*, 2016. Can transplantation of forest seedlings be a strategy to enrich seedling production in plant nurseries? *For. Ecol. Manage.*, 375, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.029>

Wright S.J., Kitajima K., Kraft N.J.B. *et al.*, 2010. Functional traits and the growth-mortality trade-off in tropical trees. *Ecology*, 91(12), 3664-3674. <https://doi.org/10.1890/09-2335.1>