

Suivi de la restauration des espèces de Rhizophoraceae dans la mangrove d'Ambondrolava, Région Atsimo Andrefana, Madagascar

Myria Flore Horthancya Rasoavololonjanahary

Lily-Arison Rene De Roland

Mention Sciences de la vie, Domaine des Sciences et Technologies,
Université de Toliara, Madagascar

Daudet Andriafidison

Université de Menabe, Madagascar

Approved: 08 October 2026

Posted: 10 October 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Rasoavololonjanahary, M.F.H., Rene De Roland, L-A., & Andriafidison, D. (2026). *Suivi de la restauration des espèces de Rhizophoraceae dans la mangrove d'Ambondrolava, Région Atsimo Andrefana, Madagascar*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2026.p146>

Résumé

Cette étude porte sur le suivi de la restauration des espèces de la famille des Rhizophoraceae dans la mangrove d'Ambondrolava. Elle vise à évaluer l'efficacité des techniques de restauration et à déterminer les conditions écologiques et saisonnières favorables à la survie et à la croissance des jeunes plants. Plusieurs méthodes ont été adoptées pour la collecte des données entre autres la méthode d'étude des paramètres physiques du site de plantation (sol et salinité) et la technique et le suivi de plantation. Ainsi, trois espèces de palétuviers sont cibles de cette recherche dont *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza*. La plantation se fait en deux saisons dont la saison sèche et la saison de pluie. Les résultats montrent que les sols des sites de plantation sont de type sableux et la salinité de l'eau est plus élevée en saison sèche (27,4‰) qu'en saison de pluie (24,9‰). Le taux de survie des espèces est élevé pour *Rhizophora mucronata* ($\geq 94\%$) et faible pour *Ceriops tagal* (4% en saison de pluie et 15% en saison sèche). Donc, la survie dépend significativement de l'espèce. Pour la croissance en hauteur, elle est relativement élevée en saison sèche qu'en saison de pluie avec une différence de 2,04 cm en moyenne. Et

pour la croissance moyenne en diamètre, *Rhizophora mucronata* affiche une valeur élevée par rapport aux autres espèces plantées. Ces résultats soulignent la nécessité de tenir compte des caractéristiques du sol, de la salinité et des exigences écologiques propres à chaque espèce avant toute opération de restauration.

Mots-clés : Mangrove, restauration, Rhizophoraceae, Ambondrolava, Région Atsimo Andrefana, Madagascar

Monitoring of Planted Rhizophoraceae Species in the Ambondrolava Mangrove, Atsimo-Andrefana Region, Madagascar

Myria Flore Horthancya Rasoavololonjanahary

Lily-Arison Rene De Roland

Bachelor's degree in Life Sciences, Faculty of Science and Technology,
University of Toliara, Madagascar

Daudet Andriafidison

University of Menabe, Madagascar

Abstract

This study investigated the restoration of Rhizophoraceae species in the Ambondrolava mangrove, with the aim of assessing the effectiveness of restoration techniques and identifying the ecological and seasonal conditions that favor seedling survival and growth. Data were collected through the assessment of physical characteristics of the planting sites, particularly soil texture and water salinity, as well as through monitoring of planting performance. Three mangrove species were investigated: *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal*, and *Bruguiera gymnorhiza*. Planting was conducted during both the dry and rainy seasons. The results showed that the planting sites were characterized mainly by sandy soils. Water salinity was higher during the dry season (27.4‰) than during the rainy season (24.9‰). Survival rates varied markedly among species, with *Rhizophora mucronata* showing a high survival rate ($\geq 94\%$), whereas *C. tagal* exhibited low survival rates (4% during the rainy season and 15% during the dry season). These results indicate a significant effect of species on seedling survival. Mean height growth was higher during the dry season than during the rainy season, with an average difference of 2.04 cm. *Rhizophora mucronata* also exhibited the highest mean diameter growth among the three species. Overall, these findings highlight the importance of considering soil

characteristics, salinity, seasonal conditions, and species-specific ecological requirements when planning and implementing mangrove restoration programs.

Keywords: Mangrove, restoration, Rhizophoraceae, Ambondrolava, Atsimo Andrefana Region, Madagascar

Introduction

Les mangroves un des écosystèmes forestiers, qui se développent dans les zones de balancement des marées des régions tropicales (Didier, 2008). Elles présentent un intérêt tant sur le plan écologique, économique que pharmaceutique car elle abrite une grande diversité de formes de vie pour la faune marine et terrestre ainsi qu'une source importante de bien-être fournissant des produits ligneux et non ligneux aux populations riveraines.

Ces dernières décennies, les pressions sur l'écosystème des mangroves ont considérablement augmenté à Madagascar (Lebigre, 1990; Faiyidathi, 2005; Falizanina, 2009). Ces pressions semblent souvent dépasser la capacité de régénération à cause de l'insuffisance des arbres semenciers; à cela s'ajoute l'effet du changement climatique. La dégradation de cet écosystème résulte de la surexploitation de ces ressources tant au niveau des arbres eux-mêmes que de la faune ichtyique et d'autres espèces aquatiques, alors que de nombreuses ressources exploitées au large comme les crevettes dépendent des mangroves pour le recrutement (Rasolofo, 2011).

En effet, les mangroves disparaissent progressivement du fait de l'anthropisation et d'une absence de gestion et de protection (Blasco, 1991). Ces différentes pressions entraînent ainsi la diminution de la surface des mangroves. Face à cette situation, selon Lebigre (1990), la superficie des mangroves malgaches était estimée à 320 000 ha et selon la valeur donnée par la FAO en 2005, la végétation des mangroves à Madagascar tournait autour de 303 814 ha. Et la valeur récente donnée par WWF, 2019 estime que la superficie des mangroves malgaches est de 236 402 ha. Ces estimations présentent une diminution progressive de la superficie tous les 15 ans. Donc, toutes les différentes perturbations observées induisent des changements parfois importants dans les communautés végétales et peuvent avoir des effets directs sur la structure des formations végétales.

Il apparaît que la protection et la gestion d'un écosystème ne peuvent pas garantir la conservation à long terme de tous les composants de la biodiversité (Bennett, 1997). Ainsi, la restauration des écosystèmes permet de constituer un ensemble de techniques indispensables pour assurer leur sauvegarde. Selon Cristofoli et Mahy (2009), la restauration écologique se révèle un complément essentiel à la conservation. Elle sera de plus en plus indispensable pour assurer la préservation de l'écosystème (Poignonec,

2006). Ainsi, l'action de restauration des mangroves a été menée dans le site d'Ambondrolava notamment sur les espèces de Rhizophoraceae afin d'apporter des solutions, sous forme de méthodes et de techniques pour rétablir les mangroves dégradées.

Dans cette recherche, l'objectif général est d'évaluer l'efficacité de la plantation des espèces de la famille des Rhizophoraceae dans la mangrove d'Ambondrolava, afin de déterminer des mesures adaptées pour améliorer la technique de plantation des espèces de palétuviers.

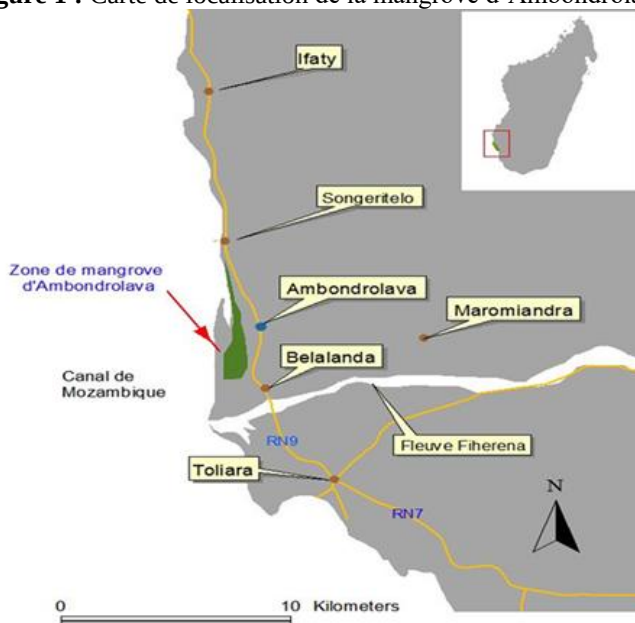
Deux hypothèses sont à vérifier lors de la réalisation de cette recherche (i) La croissance en hauteur et en diamètre des espèces diffère d'une saison à l'autre, (ii) La mortalité des espèces est plus élevée en saison sèche du fait d'une salinité élevée.

Méthodologie

Site d'étude

Cette recherche a été menée dans la mangrove d'Ambondrolava. Administrativement, la mangrove d'Ambondrolava appartient à la Commune Rurale de Belalanda, située à 12 km au nord de la ville de Toliara sur la route RN9, district de Toliara II et région Atsimo Andrefana, Madagascar. Plus précisément, le village d'Ambondrolava se localise entre 23°15'41" S, 43°37'42" E. La gestion de cette mangrove est actuellement transférée à l'association des communautés locales de base nommée « Honko Mamelolo » (figure 1).

Figure 1 : Carte de localisation de la mangrove d'Ambondrolava



Source : BD 500/FTM, 2023

Méthodes d'étude

Plusieurs méthodes ont été suivies pour la réalisation de la restauration des palétuviers telles que :

- La méthode d'étude des paramètres physiques du site (étude granulométrique du sol, salinité de l'eau)
- La technique de la restauration des espèces

Période d'étude

L'étude a été faite durant les deux saisons dont la saison de pluie (octobre- mars) et la saison sèche (mai-septembre) en 2017.

Méthode d'étude des paramètres physiques du site de plantation

Etude granulométrique

Les caractéristiques granulométriques du sol ont des influences sur la composition des espèces et leurs répartitions. Ainsi, une étude granulométrique du sol dans le site de plantation a été réalisée pour mieux connaître leur composition. Les prélèvements des échantillons s'effectuent durant la marée basse où l'eau se retire et l'accès y est facile. A l'aide d'une pelle, un trou de profondeur (0 à 60 cm) a été creusé par site de plantation. Les échantillons de 250g ont été pris à l'aide d'une pelle sur chaque horizon, en fonction de la variation de la couleur du sol à partir de l'horizon supérieur (couche supérieure). Ces échantillons sont mis dans des sacs plastiques numérotés et nommés pour être analysés au laboratoire de Géologie, à la Faculté des Sciences et à l'Institut Halieutique et des Sciences Marines (IH.SM.) de l'Université de Toliara. Cette étude granulométrique consiste à caractériser les proportions d'argile, de limon et de sable contenues dans les sols.

Etude de la salinité de l'eau

La mesure de la salinité de l'eau est effectuée directement en marée haute et en marée basse dans les sites de plantation durant les deux saisons de plantation (saison de pluie et saison sèche) en utilisant un conductimètre. Notons que les résultats de la salinité ne sont pas représentatifs du milieu car le prélèvement ne se fait qu'une fois alors que la salinité varie selon la marée et selon la saison. Mais seulement, les résultats obtenus donnent des indications sur l'organisation des palétuviers et les préférences de chaque espèce selon la zonation floristique.

Méthode d'étude de la restauration

La méthode de restauration des espèces de palétuviers consiste à identifier :

- Le site de restauration
- La période de plantation

- Les espèces à replanter
- La technique de plantation
- Le suivi de plantation

Choix de la période de plantation

La plantation des espèces de palétuviers dépend étroitement à la saison de maturation des propagules. Il a été constaté que les propagules des espèces vivipares (Rhizophoraceae) sont disponibles en toutes saisons.

Technique de plantation des espèces de palétuviers

Collecte des propagules

Les propagules locales ont été collectées pour assurer la survie des jeunes plants, leur adaptation au site de plantation et pour réduire l'incidence de dommages dus aux transports (Donald, 2005). Notons que seules les propagules matures sont collectées sur l'arbre-mère. Elles sont très reconnues par la coloration de leur hypocotyle qui vire du vert au rougeâtre ou au brun de la partie inférieure (figure 2).

La collecte des propagules se fait à marée basse selon l'indice de maturité basée sur la couleur des propagules, soit collectées lorsque les propagules tombent et flottent sur l'eau ou même par terre. Mais, il est à noter que ce sont des propagules intactes non abîmées, qui ne présentent ni morsure ni cassure sont collectées.

Figure 2 : Propagule mature de *Bruguiera gymnorhiza*



Rasoavololonjanahary, 2013

Technique de disposition des parcelles

Trois parcelles ont été définies préalablement selon les critères de choix. Une surface de 100 m² soit 10 m × 10 m ont été établies pour la plantation des propagules de chaque espèce ainsi collectées. Pour cette recherche, six parcelles sont installées dont trois pour la plantation en saison sèche et trois pour la saison de pluie.

Technique de plantation des propagules

Les propagules ainsi collectées sont transportées directement dans les parcelles de plantation en utilisant des seaux en plastique. Ensuite, elles sont mises en terre durant la marée basse en s'enfonçant manuellement jusqu'au tiers de la longueur totale de chaque propagule avec un positionnement vertical si le substrat est mou. Par contre, si le substrat est sec, il faut creuser tout d'abord un trou de 20 à 25cm avant leur mise en terre dont l'espace entre deux propagules consécutives est de 1m environ (Donald, 2005). Et la plantation se fait en ligne espacée de 1 m.

Suivi de restauration

La restauration nécessite un suivi régulier permettant de déterminer la croissance de chaque espèce de palétuviers plantée ainsi que la variation de leur croissance en fonction des paramètres écologiques du milieu. Selon SER, (2004), il est nécessaire de choisir adéquatement les variables ou les indices qui seront étudiés à la suite de la restauration. Le suivi a été commencé après 30 jours de plantation, ensuite pendant la première année de plantation, il se fait tous les 3mois soit 90jours. Et après une année de plantation, le suivi des paramètres de croissance a été fait après 12mois (tableau 1). De ce fait, la collecte de données des éléments mesurables tels que la hauteur totale de chaque individu, le diamètre de la nouvelle tige, le nombre de jeunes plants morts sur pieds et le nombre de jeunes plants survivants, à différents moments précis après les travaux de plantation constitue la façon la plus efficace d'évaluer l'évolution de la plantation. La mesure se fait manuellement en utilisant un mètre à ruban pour la hauteur et la circonférence de la nouvelle tige se mesure avec un pied à coulisse lors du suivi. Le diamètre sera calculé en multipliant la valeur de la circonférence obtenue avec la valeur de π (3,14).

À chaque phase de suivi, les paramètres ci-après sont pris en compte:

- le nombre de jeunes plants survivants ;
- le nombre de propagules mortes sur pied dans chaque parcelle
- la croissance en longueur des jeunes plants ;
- la croissance en diamètre des tiges nouvellement apparues;

Tableau 1 : Récapitulation des temps de suivi

Temps de suivi	Saison de pluie	Saison sèche
T0 (Première plantation)	Février	juillet
T1 (30 jours après T0)	mars	août
T2 (3 mois)	juin	novembre
T3 (6 mois)	septembre	février
T4 (9mois)	décembre	mai
T5 (12 mois)	Mars	août
T6 (24 mois)	mars	août

Traitements et Analyse des Données

Les données collectées sur le terrain ont été saisies dans Microsoft Excel 2016 à des fins de préparation. Le fichier ainsi préparé a ensuite été exporté au format CSV (séparateur point-virgule) pour être importé dans le logiciel R version 4.3.0 (R Core Team, 2024), utilisé pour l'ensemble des traitements statistiques et des représentations graphiques. Pour tous les tests statistiques, le seuil de significativité retenu est $p = 0,05$.

Analyse de la salinité de l'eau

La comparaison de la salinité de l'eau entre les deux saisons a été réalisée à l'aide du test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945). Ce test non paramétrique évalue si les deux échantillons proviennent de la même population ou si l'un présente une tendance systématiquement supérieure à l'autre. Deux hypothèses devraient être à vérifier pour cette analyse dont comme première hypothèse ; la mortalité des espèces est fonction de la salinité de la saison de plantation. Et la deuxième : la mortalité des espèces est plus élevée en saison sèche du fait d'une salinité élevée

Analyse de la survie des plantules

L'analyse de la survie a été conduite selon deux approches complémentaires (Therneau & Grambsch, 2000 ; Therneau, 2026 ; Kassambara et *al.*, 2026) telles que :

- La méthode de Kaplan-Meier (Kaplan & Meier, 1958) : cette méthode permet d'estimer la probabilité de survie des plantules au cours du temps. Elle repose sur le principe des probabilités conditionnelles dont la probabilité de survie est recalculée à chaque événement, en prenant en compte le nombre d'individus encore à risque. Elle est particulièrement adaptée à l'analyse du temps de suivi (T0 à T6) et permet d'exploiter l'ensemble des observations temporelles plutôt qu'un seul point de mesure.
- Test du log-rank (Mantel, 1966) : les courbes de survie obtenues par la méthode de Kaplan-Meier ont ensuite été comparées à l'aide du test du log-rank. Ce test permet de déterminer si les différences observées

entre deux ou plusieurs courbes de survie sont statistiquement significatives. Il compare l'ensemble des points de suivi de chaque groupe, ce qui garantit une évaluation globale de l'effet des facteurs étudiés. L'hypothèse nulle testée est celle d'une superposition parfaite des courbes de survie entre les groupes comparés. Trois tests du log-rank ont été appliqués : un test d'effet global (espèce $\times$ saison), un test d'effet isolé de la saison et un test d'effet isolé de l'espèce. Des tests du log-rank ont également été conduits séparément pour chaque espèce, afin de détecter un effet saison espèce-dépendant.

Analyse de la croissance en hauteur et en diamètre

La normalité des résidus a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), et l'homogénéité des variances par le test de Levene (Levene, 1960 ; Fox & Weisberg, 2019), préalablement à toutes analyses de croissance en hauteur et en diamètre. Lorsque ces deux conditions d'application des modèles paramétriques (normalité et homoscedasticité) ne sont pas remplies, l'analyse de croissance est conduite au moyen du test non paramétrique de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), suivi du post-hoc de Dunn (Dunn, 1964) avec correction de Benjamini-Hochberg (Benjamini & Hochberg, 1995) pour les comparaisons multiples entre espèces et saisons (Dinno, 2026). Comme hypothèse de l'analyse : la saison de plantation a des effets sur la croissance en hauteur et en diamètre de chaque espèce plantée.

Resultats

Caractéristiques écologiques du site de plantation

Avant l'action de la restauration, la connaissance des caractéristiques écologiques du site de plantation devrait tenir compte, il s'agit de la salinité de l'eau et de la texture du sol.

Texture du sol

Les résultats de l'analyse granulométrique sur chaque horizon dans les trois sites de plantation sont présentés par le tableau suivant (tableau 2).

Tableau 2 : Composition granulométrique des sites de plantation

	Argile (en %)	Limon (en %)	Sable (en %)	Site	Texture
Composition du sol	12	10	78	Parcelle de <i>Rhizophora</i>	Sablo-argileuse
	4	5	91	Parcelle de <i>Cerriops</i>	Sableuse
	7	10	83	Parcelle de <i>Bruguiera</i>	Sableuse

D'après ces résultats, la texture de sols dans les sites de plantation est généralement sableuse.

Salinité de l'eau

La valeur de la salinité de l'eau varie selon la saison de prélèvement, autrement dit, en saison de pluie, la valeur moyenne est de 24,91‰ et 27,30‰ en saison sèche. En analysant avec le test de Wilcoxon, la salinité moyenne diffère significativement entre les deux saisons ($W = 4\,140\,000$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$), elle s'élève à $27,4 \pm 1,34$ en saison sèche contre $24,9 \pm 0,91$ en saison des pluies, soit un écart moyen de +2,5‰.

Espèces cibles de la plantation

Pour cette recherche, trois espèces sont cibles dont *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza*, appartenant à la famille des Rhizophoraceae. Elles sont choisies pour les raisons suivantes :

- espèces utiles par les populations dues à leurs duretés et leurs résistances aux phytophages ;
- les zones cibles pour la restauration sont des zones qui étaient occupées par ces espèces ;
- la disponibilité des propagules toutes l'année.

La plantation proprement dite des espèces cibles

Comme les espèces de la famille des Rhizophoraceae sont vivipares, la plantation directe de propagules a été pratiquée. Elle se fait directement dans le site préalablement choisi après la collecte des propagules.

Suivi des plantations

Le suivi de plantation se fait en deux périodes bien précises dont en saison sèche et en saison de pluie en 2017.

Taux de survie

Les taux de survie des espèces en deuxième année de plantation (t6), calculés sur 100 individus par espèce et par saison, révèlent des contrastes majeurs entre espèces (Tableau 3).

Tableau 3 : Taux de survie (%) à t6 par espèce et saison (n = 100)

Espèce	Saison sèche	Saison des pluies
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	0%	15%
<i>Ceriops tagal</i>	15%	4%
<i>Rhizophora mucronata</i>	98%	94%

La figure suivante présente les résultats de survie des espèces plantées durant les deux saisons en deuxième année de plantation ou T6 (figure 3).

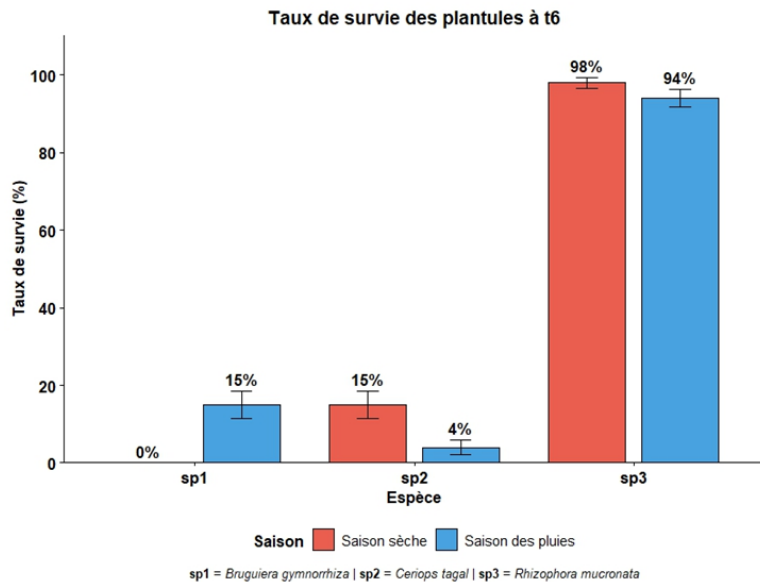


Figure 3: Taux de survie des espèces plantées

Rhizophora mucronata affiche une survie remarquable ($\geq 94\%$ dans les deux saisons), tandis que *Bruguiera gymnorrhiza* présente une mortalité totale en saison sèche (0%). *Ceriops tagal* montre une survie faible dans les deux saisons (15% et 4%), avec un résultat inversé par rapport à l'hypothèse initiale, c'est-à-dire une survie plus faible en saison de pluie.

En analysant avec la méthode de Kaplan-Meier, puis comparées par le test du log-rank. La figure suivante présente les courbes stratifiées par espèce, permettant de visualiser l'effet de la saison dans chaque espèce (figure 4).

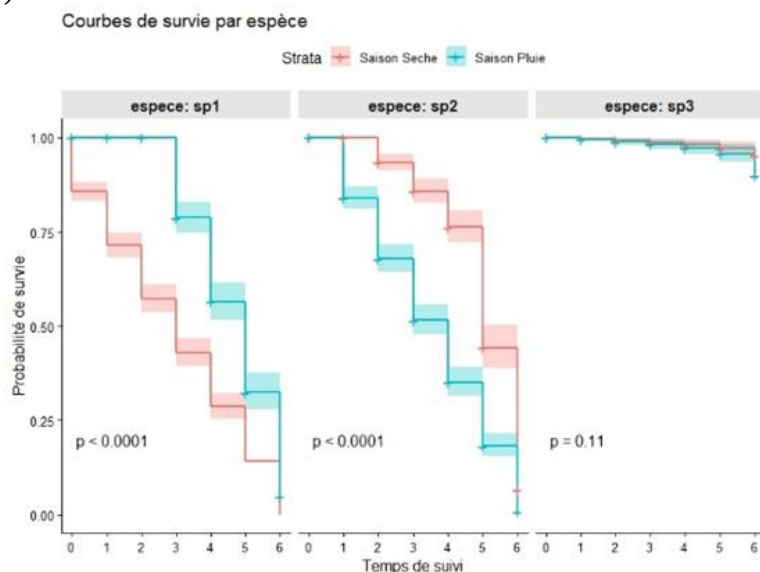


Figure 4: Courbes stratifiées par espèce

D'après l'analyse, l'effet global de la saison n'est pas significatif ($\chi^2 = 1,3$; ddl = 1 ; $p = 0,30$), indiquant que la saison, considérée isolément, n'explique pas la mortalité. Et l'effet de l'espèce est hautement significatif ($\chi^2 = 1188$; ddl = 2 avec $p < 2,2 \times 10^{-16}$), confirmant que la survie dépend principalement de l'espèce.

L'interaction espèce $\times$ saison est hautement significative ($\chi^2 = 1656$; ddl = 5 avec $p < 2,2 \times 10^{-16}$), révélant que l'effet de la saison sur la survie est espèce-dépendant c'est-à-dire l'effet de la saison sur la survie dépend significativement de l'espèce.

Le test du log-rank réalisé séparément pour chaque espèce confirme les résultats suivants :

- *Bruguiera gymnorrhiza* : $\chi^2 = 197$; ddl = 1 ; $p < 2,2 \times 10^{-16}$ (effet de la saison massif)
- *Ceriops tagal* : $\chi^2 = 180$; ddl = 1 ; $p < 2,2 \times 10^{-16}$ (effet de la saison majeur, mais inversé)
- *Rhizophora mucronata* : $\chi^2 = 2,5$; ddl = 1 ; $p = 0,10$ (NS) (survie stable)

Croissance en hauteur des jeunes plants

Les moyennes ($\pm$ erreur-type) de la hauteur par espèce et saison sont présentées dans le tableau suivant (tableau 4).

Tableau 4 : Moyenne des hauteurs par espèce

Espèce	Saison	n	Hauteur
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Saison de pluie	100	$3,67 \pm 0,17$
<i>Ceriops tagal</i>	Saison sèche	100	$3,49 \pm 0,17$
<i>Ceriops tagal</i>	Saison de pluie	100	$1,94 \pm 0,32$
<i>Rhizophora mucronata</i>	Saison sèche	100	$7,05 \pm 0,22$
<i>Rhizophora mucronata</i>	Saison de pluie	100	$4,98 \pm 0,09$

La croissance en hauteur moyenne de *Bruguiera gymnorrhiza* enregistrée durant la saison de pluie est de ($3,67 \pm 0,17$), notons que toutes les plantules plantées en saison sèche sont mortes. Les deux autres espèces montrent des différences marquées. Pour *Rhizophora mucronata*, la croissance en hauteur moyenne ($7,05 \pm 0,22$ en saison sèche et $4,98 \pm 0,09$ en saison de pluie), est systématiquement plus haute et plus vigoureuse, tandis que pour *Ceriops tagal*, la croissance en hauteur ($3,49 \pm 0,17$ en saison sèche et $1,94 \pm 0,32$ en saison de pluie) présente les valeurs les plus faibles (figure 5).

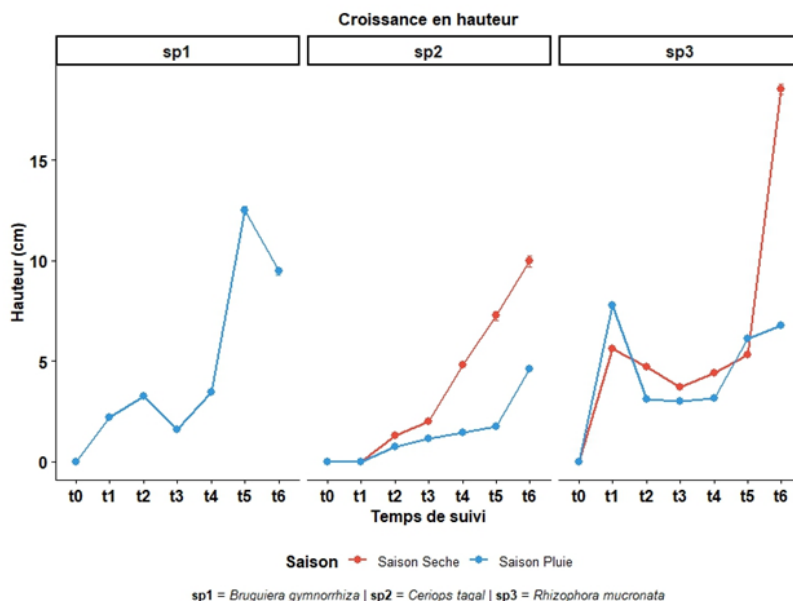


Figure 5 : Croissance en moyenne des hauteurs

Les conditions d'application des modèles paramétriques n'étant pas satisfaites, la normalité des résidus ayant été rejetée par le test de Shapiro-Wilk ($W = 0,76$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$) et l'homogénéité des variances par le test de Levene ($F = 15,18$; $p = 3,4 \times 10^{-12}$), la comparaison des hauteurs entre les cinq groupes espèce $\times$ saison a été réalisée au moyen du test non paramétrique de Kruskal-Wallis, suivi du post-hoc de Dunn avec la correction de Benjamini-Hochberg.

Le test de Kruskal-Wallis met en évidence des différences hautement significatives de hauteur entre les groupes ($\chi^2 = 370,58$; $df = 4$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$). Les comparaisons post-hoc de Dunn (BH) montrent que 9 des 10 paires comparées présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Seule la paire opposant *Ceriops tagal* en saison sèche, à *Bruguiera gymnorrhiza* en saison de pluie ne présente pas de différence significative ($p = 0,3011$), ces deux groupes affichant des hauteurs médianes comparables.

Le classement général des hauteurs moyennes, toutes saisons confondues, s'établit comme suit: *Rhizophora mucronata* > *Bruguiera gymnorrhiza* > *Ceriops tagal*. *Rhizophora mucronata* présente systématiquement les hauteurs les plus élevées, quelle que soit la saison ($7,05 \pm 0,22$ en saison sèche contre $4,98 \pm 0,09$ en saison de pluie), tandis que *Ceriops tagal* affiche les valeurs les plus faibles ($3,49 \pm 0,17$ en saison sèche contre $1,94 \pm 0,32$ en saison de pluie). Pour les deux espèces présentes dans les deux saisons (*Ceriops tagal* et *Rhizophora mucronata*), la hauteur est significativement supérieure en saison sèche qu'en saison de pluie ($p < 0,001$).

Croissance en diamètre des jeunes plants

Les moyennes ($\pm$ erreur-type) du diamètre par espèce et saison sont présentées dans le tableau suivant (tableau 5).

Tableau 5: Croissance moyenne des diamètres

Espèce	Saison	n	Diamètre
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	Saison de pluie	100	$0,67 \pm 0,01$
<i>Ceriops tagal</i>	Saison sèche	100	$0,40 \pm 0,01$
<i>Ceriops tagal</i>	Saison de pluie	100	$0,78 \pm 0,03$
<i>Rhizophora mucronata</i>	Saison sèche	100	$0,76 \pm 0,01$
<i>Rhizophora mucronata</i>	Saison de pluie	100	$0,86 \pm 0,01$

L'absence de *Bruguiera gymnorhiza* en saison sèche (aucun survivant) empêche toute estimation de sa croissance en diamètre. En saison de pluie, le diamètre moyen enregistré est de ($0,67 \pm 0,01$). La croissance moyenne en diamètre de *Rhizophora mucronata* est relativement élevée de l'ordre de $0,76 \pm 0,01$ en saison sèche et $0,86 \pm 0,01$ en saison de pluie, que celle de *Ceriops tagal* ($0,40 \pm 0,01$ en saison sèche et $0,78 \pm 0,03$ en saison de pluie) (figure 6).

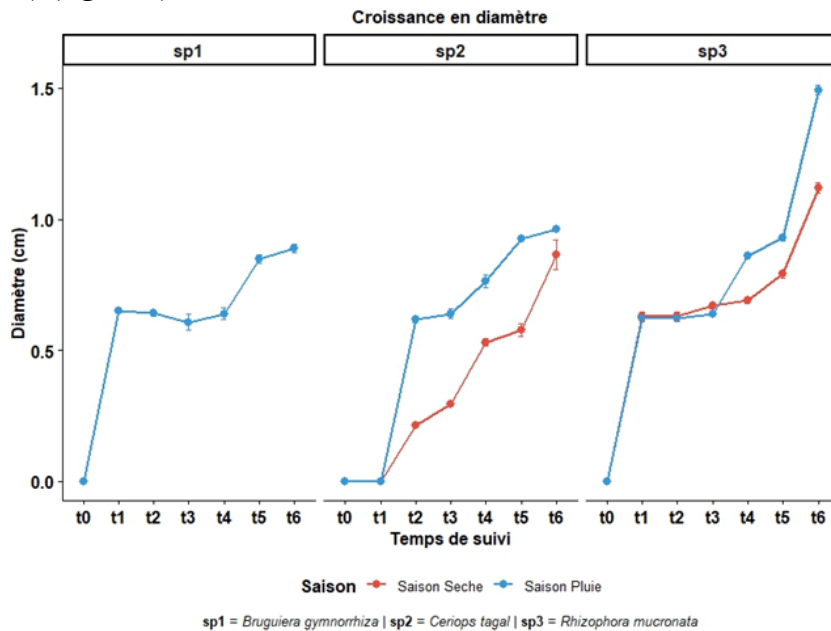


Figure 6 : Croissance en diamètre des espèces plantées

La normalité des résidus ayant été rejetée d'après le résultat du test de Shapiro-Wilk ($W = 0,91$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$) et l'homogénéité des variances par le test de homoscedasticité de Levene ($F = 31,29$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$). Par conséquent, la comparaison entre les cinq groupes espèce $\times$ saison a été conduite à partir du test Kruskal-Wallis, complété par un post-hoc de Dunn avec correction de Benjamini-Hochberg.

Ce test révèle des écarts hautement significatifs de diamètre entre les groupes ($\chi^2 = 425,78$; $df=4$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$). Le post-hoc de Dunn (BH) indique que 8 des 10 paires comparées diffèrent significativement ($p < 0,05$). Deux paires demeurent non distinguables : *Rhizophora mucronata* en saison sèche contre *Ceriops tagal* en saison de pluie ($p = 0,1592$), et *Ceriops tagal* contre *Rhizophora mucronata*, toutes en saison de pluie ($p = 0,4611$), ces groupes présentant des diamètres médians comparables.

Durant la saison sèche, *Rhizophora mucronata* affiche un diamètre nettement supérieur à celui de *Ceriops tagal* ($0,76 \pm 0,01$ contre $0,40 \pm 0,01$; $p < 0,0001$). En saison de pluie, *Rhizophora mucronata* détient le diamètre le plus élevé ($0,86 \pm 0,01$), significativement supérieur à celui de *Bruguiera gymnorrhiza* ($0,67 \pm 0,01$; $p < 0,0001$). En revanche, aucune différence significative n'apparaît entre *Bruguiera gymnorrhiza* et *Ceriops tagal* ($p = 0,1364$), ni entre *Ceriops tagal* et *Rhizophora mucronata* ($p = 0,3829$), bien que *Ceriops tagal* enregistre la moyenne la plus faible ($0,78 \pm 0,03$).

Toutes saisons confondues, le classement des diamètres moyens s'établit ainsi : *Rhizophora mucronata* > *Ceriops tagal* > *Bruguiera gymnorrhiza*. À noter cependant que *Ceriops tagal* montre une hausse marquée de son diamètre entre la saison sèche ($0,40 \pm 0,01$) et la saison de pluie ($0,78 \pm 0,03$), signe d'une réponse saisonnière propre à l'espèce.

Discussion

L'analyse des résultats obtenus à travers la plantation des espèces de Rhizophoraceae dans les différentes parcelles d'étude a permis de mettre en évidence l'influence des paramètres écologiques tels que la salinité de l'eau sur la mortalité et la survie des jeunes plants ainsi que leur croissance. Tous ces facteurs semblent être conditionnés par le pédoclimat (Sadio, 1986). En effet, le déficit hydrique provoque une période de sécheresse persistante, et cette dernière va contribuer à l'amplification de l'influence de la salinité sur le comportement des plantes. Selon Marius (1977), l'évolution de la salinité des eaux dans les zones des mangroves est liée essentiellement au climat. De plus, le substrat y est vaseux en général, selon Andrianjafy (2009), la sédimentation de la mangrove modifie le type de substrat. Et la majorité des matériels déposés sur le littoral est d'origine continentale (Salomon, 2009), qui sont déversés soit directement à la mer ou soit déposés sur la côte, en formant des dunes ou une flèche sableuse. Ces sables attaquent ainsi la zone à mangrove sous l'action des vagues ou du vent violent.

Influence de la salinité sur la mortalité et /ou la croissance des jeunes plants

Quelles que soient les parcelles de plantation, il existe une relation entre la salinité et le taux de mortalité des jeunes plants, qui se manifeste soit

par une forte mortalité, soit par le ralentissement de la croissance (Sadio, 1986). La salinité des parcelles d'essais de plantation est de $27,4 \pm 1,34$ en saison sèche et $24,9 \pm 0,91$ en saison de pluie. Selon Diagne (2007), chaque espèce de palétuvier correspond à un degré de salinité optimum qui lui est propre. Ainsi, chaque espèce occupe la zone de salinité à laquelle elle est le mieux adaptée pour consacrer le maximum de son énergie à sa croissance. Cependant, la forte mortalité de *Bruguiera gymnorrhiza* durant la plantation, surtout pendant la saison sèche indique que cette espèce tolère difficilement la salinité élevée du site ($27,4\text{‰}$). Ce résultat confirme la constatation de Degue-Nambona (2009) que *Bruguiera gymnorrhiza* ne tolère pas l'eau interstitielle beaucoup plus salée, mais elle supporte l'eau faiblement saumâtre. Il est également en accord avec celle de Marchand (2007) que ce type de palétuvier se développe dans des zones sous l'influence des eaux douces continentales. Ces résultats confirment des travaux suggérant que le sel est une condition essentielle à la croissance de certaines espèces de mangroves (Downton 1982 et Clough, 1984).

Par contre, le développement de *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal* ne semble pas affectée par la salinité du milieu car ce sont les deux espèces de palétuviers qui sont les mieux adaptées à la salinité du site de plantation. On peut dire donc que la résistance à la salinité est fonction de l'espèce pour les palétuviers. Selon Sadio (1986), certaines espèces ont la propriété de sélectionner les ions présents dans le milieu, d'autres se contentent, à partir de substances contenues dans leur tissu de réguler le potentiel hydrique. Ainsi, l'hypothèse mentionnée est vérifiée, c'est-à-dire, la mortalité des jeunes plants est fonction de la salinité de la saison de plantation.

Relation entre la croissance des jeunes plants des espèces de Rhizophoraceae et la saison de plantation

L'analyse des résultats montre que la croissance diffère d'un site à l'autre suivant la variation saisonnière. En effet, les résultats révèlent que la croissance des jeunes plants est légèrement plus élevée en saison sèche qu'en saison de pluie pour les espèces plantées. Cette différence s'explique par le fait qu'en saison sèche, l'évaporation peut augmenter la concentration en sels dans le substrat alors que, les Rhizophoraceae possèdent toutefois des mécanismes d'exclusion et de régulation des sels qui leur permettent de maintenir leur fonctionnement physiologique dans des milieux salins (Parida et Jha, 2010).

En comparant la croissance entre chaque espèce de Rhizophoraceae durant les deux saisons de plantation, nous avons constaté que *Rhizophora mucronata* présente des hauteurs plus élevées quelque soit la saison de plantation ($7,05 \pm 0,22$ en saison sèche et $4,98 \pm 0,09$ en saison de pluie). La

comparaison post-hoc sur les moyennes des hauteurs pour toutes saisons confondues révèle que les moyennes de croissance de toutes les espèces sont significativement différentes ($p < 0,0001$). Et la hauteur est significativement supérieur en saison sèche qu'en saison de pluie avec $p < 0,0001$.

Concernant la hauteur en diamètre, durant la saison sèche, *Rhizophora mucronata* affiche un diamètre nettement supérieur à celui de l'espèce *Ceriops tagal* ($0,76 \pm 0,01$ contre $0,40 \pm 0,01$, $p < 0,0001$), tandis qu'en saison de pluie, l'espèce *Rhizophora mucronata* présente encore un diamètre plus élevé $0,86 \pm 0,01$ contre $0,67 \pm 0,03$ pour *Bruguiera gymnorhiza*. Pourtant, en toutes saisons confondues, *Ceriops tagal* est l'espèce ayant une croissance marquée de son diamètre entre la saison sèche et la saison de pluie car la croissance moyenne enregistrée est de l'ordre de $0,40 \pm 0,01$ en saison sèche et $0,78 \pm 0,03$ en saison de pluie. Selon les travaux de Field en 1990, la croissance de *Ceriops tagal* est de l'ordre de 3 cm/an au Bangladesh.

Et on note une croissance en diamètre de l'espèce *Bruguiera gymnorhiza*, relativement moins élevée que celle de *Rhizophora mucronata*, avec $p < 0,0001$. Ainsi, hypothèse est validée, c'est-à-dire, la saison de plantation a des effets sur la croissance en hauteur et en diamètre des espèces plantées.

Effet de la survie des jeunes plants et les saisons de plantation

Les résultats obtenus montrent effectivement une forte différence de survie entre les espèces, notamment chez *Bruguiera gymnorhiza*, pour laquelle la survie a été de **0% en saison sèche**. Cette forte mortalité peut être mise en relation avec les conditions environnementales plus contraignantes qui caractérisent généralement la saison sèche dans les mangroves. En effet, pendant la saison sèche, la diminution des précipitations et l'augmentation de l'évaporation peuvent favoriser la concentration des sels dans l'eau interstitielle et dans le substrat, qui peut entraîner des perturbations des processus physiologiques. Selon **Parida et Jha (2010)**, la salinité constitue l'un des principaux facteurs abiotiques limitant des mangroves.

Toutefois, les résultats obtenus montrent que l'effet de la saison sur la survie dépend significativement de l'espèce. Pour *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal*, l'effet de la saison sèche sur la mortalité est faible pour *Rhizophora mucronata* ($p = 0,10$, ddl=1), et inversé pour *Ceriops tagal* (ddl = 1 ; $p < 2,2 \times 10^{-16}$). Ainsi, la saison ne constitue pas un facteur déterminant de manière uniforme pour toutes les espèces, mais son effet varie selon l'espèce considérée. Par ailleurs, la tolérance à la salinité peut ainsi varier considérablement la survie entre les espèces. Lüttge (1997) souligne que les mangroves présentent diverses stratégies physiologiques permettant de faire face au stress salin, tandis que Krauss et al. (2008) montrent que la survie et

la croissance des plantules dépendent de l'interaction entre les caractéristiques propres aux espèces et les conditions environnementales du site. Ainsi, les résultats de cette recherche indiquent que la saison sèche représente une période particulièrement défavorable à l'installation de *Bruguiera gymnorrhiza*, mais que cette relation ne peut être généralisée à *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal*. Ainsi, l'hypothèse est partiellement validée, c'est-à-dire la mortalité n'est pas systématiquement plus élevée en saison sèche du fait de la salinité élevée.

Néanmoins, cette recherche a des limites qui devraient être mentionnées telles que :

- La durée limitée de suivi c'est à dire, le suivi a été réalisé sur une période relativement limitée alors que la restauration est un processus à long terme ;
- La variabilité des conditions environnementales, c'est-à-dire il faut prendre en compte d'autres facteurs comme la fréquence des marées et le pH du sol.

Conclusion

Ce travail de recherche pourrait être considéré comme un outil de base pour la restauration de la mangrove dans la Région Atsimo Andrefana de Madagascar. Ainsi, trois espèces de Rhizophoraceae sont l'objet de cette recherche. Le site de plantation est généralement sableux avec une salinité élevée en saison sèche (27,4‰) qu'en saison de pluie (24,9‰). La plantation se fait directement pendant les deux saisons d'étude. *Rhizophora mucronata* présente une survie remarquable pour les deux saisons ($\geq 94\%$) tandis que *Bruguiera gymnorrhiza* affiche une mortalité totale en saison sèche (0%). L'effet de la saison sur la survie dépend de l'espèce et la croissance en hauteur élevée est particulièrement marquée pour *Rhizophora mucronata*. Nous constatons que la croissance en hauteur est significativement plus élevée en saison sèche qu'en saison de pluie.

En effet, la salinité est l'un des facteurs les plus importants influençant la survie et la croissance des jeunes plants de Rhizophoraceae. Il est recommandé de bien comprendre à l'avance les fluctuations saisonnières de la salinité sur les sites de plantations afin de pouvoir adapter soigneusement la physiologie des jeunes plants aux conditions du terrain.

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes et institutions qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette étude sur le suivi de la plantation des espèces de Rhizophoraceae dans la mangrove d'Ambondrolava.

Nos remerciements vont également aux responsables de l'Université de Toliara et de l'École Doctorale de Biodiversité et Environnements Tropicaux pour leur accompagnement scientifique et institutionnel.

Nous remercions chaleureusement les autorités locales, les gestionnaires de la mangrove d'Ambondrolava ainsi que les communautés locales pour leur accueil, leur collaboration et leur contribution lors des travaux de terrain.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé aux activités de collecte des données, à la plantation, au suivi des plants et au traitement des informations recueillies (étudiants et techniciens).

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Andrianjafy, I.N. (2009). Etude des récifs coralliens d'Ankaraivo et de la mangrove d'Ankorohoke en vue de proposition des stratégies de conservation (baie de Sarodrano, Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire de DESS en Science de l'Environnement. Université d'Antananarivo.108p.
2. Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300.
3. Bennett, A.F. (1997). Habitat linkages: a key element in an integrated landscape approach to conservation. *Parks*, 7. 43-49pp.
4. Blasco, F. (1991). Les mangroves. La recherche. 22 :443-453pp.
5. Clough, B.F. (1984). Growth and salt balance of the mangroves *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff, in relation to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 11: 419-430pp.
6. Cristofoli, S. & Mahy, G. (2009). Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi. *Biotechn. Agron. Sc. Env.*, 203-211pp.
7. Degue-Nambona, (2009). Contribution des reboisements de mangroves du delta du Saloum (Sénégal) à la séquestration de

- carbone atmosphérique : cas des villages de Djirnda et Sanghako. Université de Cheik Anta Diop, mémoire. 60p.
8. Diagne, M.M. (2007). Rapport de l'atelier sous régional sur la conservation et la gestion durable des mangroves en Afrique de l'Ouest. Document IMAO (Initiative Mangrove en Afrique de l'Ouest). 34p
 9. Didier, A. (2008). Caractérisation de l'état initial de la mangrove de Tumbak (Indonésie) et ses usages. Master 1, ingénierie en écologie et gestion de la biodiversité. Université des Sciences. Montpellier I, Juillet 2008. 74p.
 10. Dinno, A. (2026). dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums. R package version 1.4.1. <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>
 11. Donald, J. & Asthon F. (2005). Principe pour une code conduite de la gestion et de l'utilisation durable des écosystèmes de mangroves. International Society for Mangrove Ecosystems, mars 2005. 113p.
 12. Downton, W.J.S. (1982). Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina* as influenced by salinity. Australian Journal of Plant Physiology 9: 519-528.
 13. Dunn, O. J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. Technometrics, 6(3), 241–252pp.
 14. Faiyidathi, D. (2005). Etat de la situation actuelle de la mangrove aux environs de Tuléar. Mémoire de DEA en Biodiversité et Environnement. Université de Toliara. 93p+annexes.
 15. Falizanina, J.P. (2009). Contribution à l'étude de mangroves de Lanirano. Mémoire de DEA en Biodiversité et Environnement, Faculté des Sciences. Université de Toliara. 72p +annexes.
 16. FAO (2005). Evaluation des ressources forestières mondiale : étude thématique sur les mangroves. Madagascar, profil national. 14p.
 17. Field, C.D. (1990). Mangrove ecosystem. UNDP/UNESCO, Regional mangrove project, number 4. 38p.
 18. Fox, J., & Weisberg, S. (2019). An R Companion to Applied Regression (3rd ed.). Sage, Thousand Oaks CA. <https://www.john-fox.ca/Companion/>
 19. Kaplan, E. L., & Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. Journal of the American Statistical Association, 53(282), 457–481.
 20. Kassambara, A., Kosinski, M., & Biecek, P. (2026). Survminer: Drawing Survival Curves using 'ggplot2'. R package version 0.5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=survminer>
 21. Krauss, K.W. & Lovelock, C.E. & McKee, K.L. & Lope-Hoffmann, L. & Ewe, S.M. & Sousa, W.P. (2008). Environmental drivers in

- mangrove establishment and early development : A review. *Aquatic Botany*, 86 (2), 105-127p.
22. Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621pp.
 23. Lebigre, J.M. (1990). Les marais maritimes du Gabon et de Madagascar. Contribution géographique à l'étude d'un milieu naturel tropical. Université de Bordeaux 3. Thèse de doctorat d'Etat. 3 tomes, 700 p.
 24. Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In I. Olkin (Ed.), *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press.
 25. Lüttge, U. (1997). *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer, Berlin.
 26. Mantel, N. (1966). Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration. *Cancer Chemotherapy Reports*, 50(3), 163–170pp.
 27. Marchand, C. (2007). Relation entre les caractéristiques physico-chimiques du substrat et la nature des palétuviers, implication sur la répartition spatiale des espèces. Rapport réalisé dans le cadre de l'opération ZoNéCo 2006 « Typologie et biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie ». 10 p.
 28. Marius, C. (1977). Proposition pour une classification française des sols des mangroves tropicales. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n°1, 1977. 88-102pp.
 29. Parida, A.K et Jha, B. (2010). Salt tolerance mechanism in mangroves. A review. *Trees*, 24, 199-217pp. <http://doi.org/10.1007/s00468-010-0417-Poignonec>, D. (2006). Apport de la combinaison cartographie, cognitive/ontologie dans la compréhension de la perception du fonctionnement d'un écosystème récifo-lagunaire du Nouvelle Calédonie par les acteurs locaux, Volume I. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. 292p+ annexes.
 30. R Core Team. (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
 31. Rasolofo, V.M. (2011). Etude écologique des ressources crevettières dans les mangroves de la Baie d'Ambaro (Nord-ouest de Madagascar) en vue d'une gestion durable de leur exploitation. Thèse de doctorat de 3è cycle. Université d'Antananarivo. 250p.
 32. Sadio, S. (1986). Etude pédologique des facteurs de mortalité des essences forestières introduites en milieux salés au Sénégal.

- Reboisement de Niayes et du Sine-Sénégal. Document du centre ORSTOM-Dakar. 105p.
33. Salomon, J.N. (2009). L'accrétion littorale sur la côte ouest de Madagascar, *Physio-Géo*, volume 3, 2009. 35-69pp.
 34. SER (Society for Ecological Restoration) International. (2004). L'abccdaire sur l'écologie de la restauration de la SER international. *Science & Policy working Group*. Version 2. 15p.
 35. Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611.
 36. Therneau, T. M. (2026). A Package for Survival Analysis in R. R package version 3.8-6. <https://CRAN.R-project.org/package=survival>
 37. Therneau, T. M., & Grambsch, P. M. (2000). *Modeling Survival Data: Extending the Cox Model*. Springer, New York.
 38. Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83.