

DYNAMIQUE ÉCOLOGIQUE DE LA MANGROVE PÉRIURBAINE DE MAHAJANGA : APPROCHE ÉCOSYSTÉMIQUE ET PAR TÉLÉDÉTECTION

RANAIVOJAONA S.B. ^{1,2} et RANARIJAONA
H.L.T. ^{1,2}

Auteur correspondant : RANAIVOJAONA ; *École Doctorale
Écosystèmes Naturels, Université de Mahajanga,
Madagascar ; ranaivojaona.sariaka@gmail.com*

Résumé

La mangrove, un écosystème bien particulier, est intégrée dans la plupart des villes côtières de l'ouest de Madagascar. La vie de la population côtière dépend largement de ces écosystèmes littoraux par la pêche, l'alimentation mais également l'écotourisme. Dans le cas de la mangrove de Mahajanga, des zones de reboisement sont mis en place en soutenant la gestion durable de ces ressources naturelles. Par ailleurs, les événements extrêmes liés au changement climatique impactent directement sur la mangrove. L'objectif est d'analyser l'évolution spatio-temporelle de la mangrove tout en considérant les conditions environnementales. Pour ce faire, une étude écologique est menée, mettant en relief les paramètres physico-chimiques, parachevée par une étude cartographique. Des images satellitaires Sentinel 2 de 2015 et 2020 sont utilisées. Sept espèces de palétuviers sont observées dans ce site, présentant une potentialité de régénération moyenne, appuyée par le reboisement à *Rhizophora mucronata*. Le pH du sol varie de 5 à 7,1 présentant une affinité à l'espèce *Avicennia marina*. La survie des mangroves dépend des conditions extrêmes dont la salinité, la durée d'inondation et le taux de sédimentation. Une augmentation du taux de mortalité de l'ordre de 14,56% est enregistrée pour la mangrove à *Avicennia marina*. La mort sur pied est en partie due à la dégradation du substrat, mais également à la sénescence des palétuviers. L'assèchement en zone interne est remarqué tandis que les rivages et les pseudo-flots se développent par sédimentation. Une dynamique positive est remarquée sur une période de 5 ans. Ainsi, la progradation de la mangrove périurbaine de Mahajanga implique la colonisation des palétuviers vers les zones de migration modelées par l'apport en sédiments depuis le fleuve Betsiboka et les cours d'eau.

Mots-clés : mangrove, écologie, changement climatique, télédétection, Mahajanga.

Fintina

Ny ala honko dia tontolo iainana manokana, tafiditra ao amin'ny ankamaroan'ny tanàna amoron-tsiraka andrefan'i Madagascar. Ny fiainan'ny mponina amoron-tsiraka dia miankina indrindra amin'ny fisian'ireo tontolo iainana ireo amin'ny alalan'ny jono, ny hazandranomasina ary koa ny zahavaoary. Ny ala honko ao Mahajanga dia manana toeram-pambolena izay manohana indrindra ny fitantanana maharitra ireo harena voajanahary ireo. Na eo aza izany, ny fiantraikan'ny fiovaovan'ny toetr'andro dia mipàka mivantana amin'ny ala honko. Ny tanjona dia ny hamakafakana ny fivoaran'ny ala honko manoloanan'ny tontolo misy azy. Araka izany, dia nisy ny fikarohana ara-ekolojika izay manasongadina ireo masontsivana fizika sy simika. Nanampy izany, ny taosaritany namariparitana ny velarantany tamin'ny alalan'ny sary azo avy amin'ny zanabolana Sentinel, ny taona 2015 sy 2020. Karazan-kazo miisa fito no hita tao amin'ny ala honko ao Mahajanga, izay manana taha-pamerenana antoniny ary mahazo tosika amin'ny alalan'ny fambolena honkolahy (*Rhizophora mucronata*). Ny vaika-na hydrozenina (pH) ny tany dia manodidina ny 5 ka hatramin'ny 7,1 izay mifantana indrindra amin'ny karazana afiafy (*Avicennia marina*). Miankina indrindra amin'ny toe-java-misy eo amin'ny tontolony; toy ny tahan'ny sira, ny faharetan'ny tondra-drano ary ny tahan'ny fitombon'ny tany, ny fisian'ny ala honko. Kanefa kosa, nahitana fiakaran'ny taham-pahafatesana eo amin'ny 14,56% ny karazana afiafy. Ny fahafatesana eo am-pototra dia isan'ny vokatra ny fahasimban'ny tany ary koa ny fahanteran'ny hazo. Tsikaritra ihany koa, fa maina ny tany anatin'ny ala honko, fa ny moron-drano sy ny nosy kosa anefa dia mitombo velarana. Nahitana fivoarana tsara, araka izany, ireo ala honko ireo tao anatin'ny 5 taona. Ny firosoan'ny ala honko manodidina ny Mahajanga makany amin'ny ranomasina dia midika fimpariahan'ny honko amin'ny faritra vaovao fifindrana izay voavolavola tamin'ny alalan'ny fotaka noentin'ny renirano Betsiboka sy ireo ony manodidina.

Teny fototra : ala honko, ekolojia, fiovaovan'ny toetrandro, fitsirihan-davitra, Mahajanga.

Abstract

The mangrove is a particular ecosystem often integrated in the coastal cities of western Madagascar. These marine and coastal ecosystems have an important role both ecologically and socio-economically. Mangroves provide a population's livelihood by fishing, food and ecotourism. In the case of Mahajanga's

periurban mangroves, reforestation areas are being set up to support the sustainable management of these natural resources. However, extreme events linked to climate change have a direct impact on the mangrove. The aim is to analyse the spatio-temporal evolution of the mangrove including the environmental conditions. An ecological study was carried out considering the physico-chemical parameters, completed by a mapping using satellite images Sentinel 2 in 2015 and 2020. As results, the site present a floristic richness with seven species. These species have generally a medium regeneration potential, which supported by reforestation with *Rhizophora mucronata*. The soil pH varies from 5 to 7,1 which have an affinity with *Avicennia marina*. The survival of mangroves depend on extreme conditions including salinity, flood duration and sedimentation rate. The mortality rate of *Avicennia marina* increases to 14,56%. The death is partly due to substrate degradation, but also to the senescence of mangroves. The draining in the area close to land is observed while the shores and pseudo-islands develop by sedimentation. Thus, the positive dynamic of Mahajanga's peri-urban mangroves involves mangrove colonization towards migration areas, which are modelled by the sediment supply from Betsiboka river and streams.

Keywords : mangrove, ecology, climate change, remote sensing, Mahajanga.

Introduction

Les mangroves malagasy représentent 2% de la mangrove mondiale, et la deuxième plus grande étendue de l'Océan Indien Occidentale avec une superficie de 236 402 ha (Spalding, 2010 ; Shapiro et al., 2019). La mangrove offre d'innombrables services écosystémiques notamment la protection du littoral, la pêche et l'alimentation en tant qu'habitat et lieu de nurserie de diverses espèces marines. La présence de la mangrove, son intégrité en l'occurrence avantage les communautés côtières. En effet, une corrélation entre la couverture de mangrove et la production de crabes et de crevettes est confirmée (Rasolofo, 2011). Dans le cadre d'une gestion durable des mangroves malagasy, des

aires protégées ont été mises en place comme la Nouvelle Aire Protégée (NAP) Bombetoka-Belemboka dans la Région Boeny. Bien qu'une superficie importante de mangroves soit intégrée dans ces aires protégées ou gérées par les communautés locales, un net déclin des mangroves est enregistré dans l'ensemble de 2000 à 2018 (Shapiro et al., 2019). Cette perte résulte majoritairement de l'exploitation des bois de mangroves et de la conversion des terres (Andriamalala, 2007 ; Giri & Muhlhausen, 2008). L'analyse des images Landsat 5, 7 et 8 a montré une nette régression de la mangrove limitrophe de Mahajanga de 1997 à 2015, essentiellement due à l'urbanisation (Ranaivojaona, 2016). En outre, les événements extrêmes tels que les cyclones et les inondations sont devenus plus forts et fréquents en saison pluvieuse, aggravés par les effets du changement climatique. La mangrove limitrophe de la ville de Mahajanga, conjointe à la mangrove de Belobaka, ainsi que les pseudo-îlots aux alentours de Mahajanga constituent le site d'étude. Le présent travail a pour objet de déterminer la situation écologique de la mangrove périurbaine de Mahajanga face au changement climatique et de cartographier sa dynamique de 2015 à 2020.

Matériels et Méthodes

Site d'étude

La zone de mangrove étudiée se situe entre les Districts de Mahajanga I et de Mahajanga II, incluant respectivement la Commune Urbaine de Mahajanga et la Commune Rurale de Belobaka. Ce site d'étude se localise entre 15°43'5" et 15°44'30" de latitude Sud et 46°20'0" et 46°23'0"

de longitude Est, et se limite au sud par la Commune Rurale de Boanamarly et à l'ouest par le Canal de Mozambique (Fig. 1).

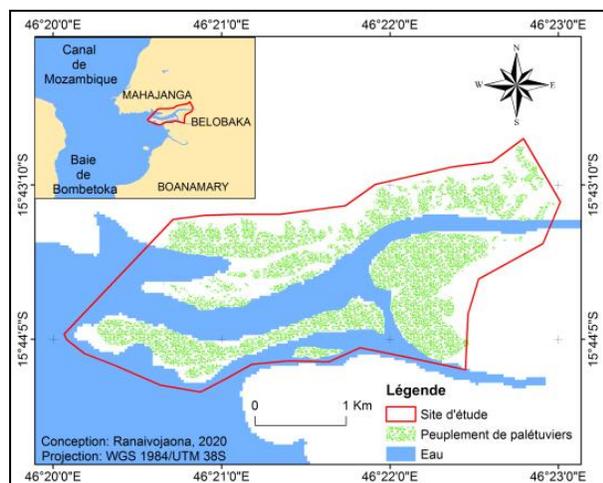


Figure 1. Localisation du site d'étude

Relevés écologiques

Des relevés écologiques ont été réalisés afin d'évaluer l'état de santé de la mangrove face au changement climatique. Cinq transects de 50 à 100 m ont été réalisés dans la mangrove limitrophe ; et huit relevés de surface de 10m x 10 m sont effectués dans les pseudo-îlots. Dans chaque relevé, l'espèce, la phénologie, le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur ont été notés. Les individus morts sur pied et les souches des arbres coupés ont aussi été dénombrés. Ces données de base ont servi pour la distribution des espèces, le calcul du taux de régénération (Rothe, 1964) et du taux de mortalité des peuplements.

Étude cartographique

Les images satellitaires Sentinel 2 (2015 et 2020), avec une résolution spatiale de 10 m, ont été utilisées pour cartographier l'évolution de la mangrove. L'indice de végétation NDVI ou *Normalized Difference Vegetation Index* a été

choisi afin de décrire la couverture végétale sur chaque image. La zone d'étude étant extraite, une classification non supervisée a été réalisée dans un premier temps, suivie d'une classification supervisée appuyée par des vérités de terrain. Trois classes ont été retenues dont la mangrove, l'eau et les sédiments. Les différences de classes entre les 2 dates ont été analysées par détection de changement sur Erdas Imagine. Ce procédé a ainsi mis en relief les mangroves stables, la perte en surface et le gain caractérisé par la régénération ou encore la colonisation. La classe sédiments a permis de déterminer la présence/absence des zones de migration en mangrove.

Résultats

Caractéristiques de la mangrove périurbaine de Mahajanga

La mangrove étudiée comporte la mangrove limitrophe de Mahajanga, se situant vers la sortie de la ville, et la mangrove de Belobaka conjointe à celle-ci. Le tableau suivant donne les informations sur les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques influant les conditions environnementales de ces mangroves.

Tableau 1: Paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau

Surface du sol (0 – 20 cm)				Eau de surface			
Température (°C)		pH		Température (°C)		Salinité (ppt)	
SS	SP	Min	Max	SS	SP	SS	SP
28,3 ± 4,4	29,6 ± 5,6	< 5	≥ 7,1	27,7 ± 6,1	28,2 ± 5,1	26,7 ± 9,8	11,5 ± 4,9

SS : saison sèche, SP : saison pluvieuse, ppt : part per thousand

Le pH du sol varie selon la zonation de la mangrove. Les rivages ont un pH fortement acide de 5,1 à 5,5 tandis que la zone interne a un pH faiblement acide à neutre. Les températures du

sol et de l'eau de surface ainsi que la salinité de cette dernière sont, par ailleurs, fonction des saisons. Les températures augmentent en saison pluvieuse alors que la salinité diminue.

Diversité spatiale de la mangrove

La mangrove périurbaine de Mahajanga est prédominée par l'espèce pionnière *Avicennia marina* toutefois les autres espèces sont également présentes et réparties selon une zonation bien définie. Les figures ci-après illustrent la modélisation du gradient de distribution de la mangrove dans les zones de relevés, établies à partir des transects (Figures 2 et 3).

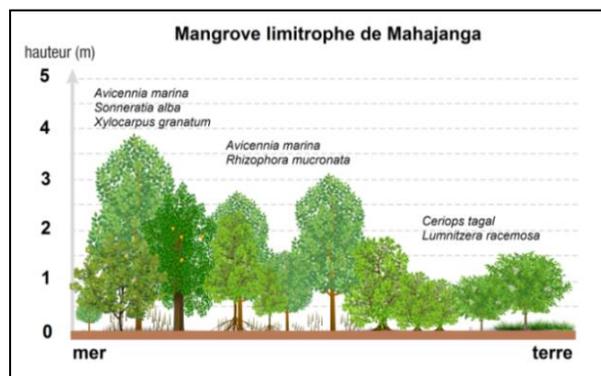


Figure 2. Modélisation du gradient de distribution de la mangrove de Mahajanga

La figure 2 donne un aperçu sur la colonisation des palétuviers à Mahajanga, depuis le rivage vers la terre ferme allant de la zone externe vers l'interne. L'espèce *Avicennia marina* prédomine dans les zones externe et intermédiaire. Les espèces *Sonneratia alba* et *Xylocarpus granatum* s'associent à cette espèce pionnière en front de mer. Les Rhizophoraceae dont *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal* caractérisent la zone intermédiaire, colonisant respectivement en zone externe et en zone interne. *Lumnitzera racemosa* est une espèce caractéristique de transition entre

la mangrove et l'écosystème terrestre. Quant à la physionomie, la mangrove limitrophe de Mahajanga se limite à 4 m de hauteur. Les palétuviers observés sont généralement de jeunes espèces et pré-adultes. Les espèces adultes sont anciennement coupées laissant des souches dans la mangrove.

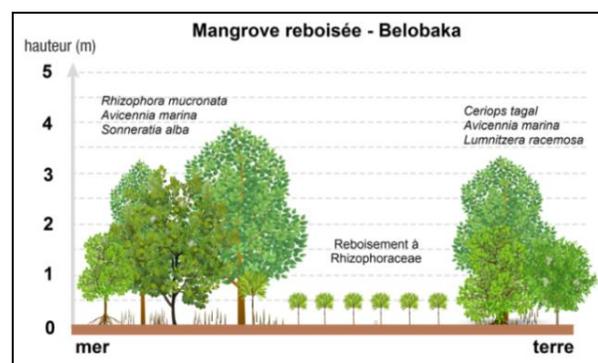


Figure 3. Modélisation du gradient de distribution de la mangrove de Belobaka

La mangrove de Belobaka, relativement dégradée fait l'objet d'une campagne de reboisement à Rhizophoraceae (Figure 3). *Avicennia marina* demeure l'espèce pionnière et caractéristique du site. Les espèces *Rhizophora mucronata* et *Sonneratia alba* viennent s'associer à cette espèce en front de mer. Tandis que *Ceriops tagal* et *Lumnitzera racemosa* colonisent en zone interne.

Étude écologique

Diversité floristique et abondance relative

Sept espèces de palétuviers sont recensées dans la mangrove périurbaine de Mahajanga (Tabl. 2).

Tableau 2. Liste floristique de la mangrove périurbaine de Mahajanga

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Abondance relative (%)
Avicenniaceae	<i>Avicennia marina</i> (Forsk.) Vierh.	Afiaty	35,0
Combretaceae	<i>Lumnitzera racemosa</i> Willd	Lovinjo	4,1
Meliaceae	<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	Sarigavo	34,2
Rhizophoraceae	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Lam.	Tsitolomy	8,9
	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C.B.Rob.	Honkovavy	9,2
	<i>Rhizophora mucronata</i> Lam.	Honkolahy	7,6
Sonneratiaceae	<i>Sonneratia alba</i> Smith	Farafaka	1,0

Parmi les espèces inventoriées, *Avicennia marina* et *Ceriops tagal* prédominent. Par ailleurs, *Ceriops tagal* sont généralement de jeunes plants et des espèces adultes rabougries tandis qu'*Avicennia marina* est essentiellement représenté par des espèces pré-adultes.

Potentialité de régénération

La potentialité de régénération des espèces ayant une mode de dispersion par hydrochorie varie de moyenne à forte. *Xylocarpus granatum* et *Lumnitzera racemosa* présentent une faible potentialité du fait de leur mode de dispersion des semences végétales respectivement par barochorie et anémochorie (Tabl. 3).

Tableau 3. Régénération des espèces de palétuviers

Espèces	Mode de dispersion des diaspores	Taux de régénération (%)	Potentialité
<i>Avicennia marina</i>	Hydrochorie	< 150	Moyenne
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Hydrochorie	< 300	Bonne
<i>Ceriops tagal</i>	Hydrochorie	< 300	Bonne
<i>Lumnitzera racemosa</i>	Anémochorie	> 100	Faible
<i>Rhizophora mucronata</i>	Hydrochorie	< 100	Moyenne
<i>Sonneratia alba</i>	Hydrochorie	> 200	Moyenne
<i>Xylocarpus granatum</i>	Barochorie	> 50	Très faible

Taux de mortalité des palétuviers

Le taux de mortalité des palétuviers a nettement augmenté sur une période de trois ans pour les espèces *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza* et *Sonneratia alba*. Les individus d'*Avicennia marina* et *Sonneratia alba* sont généralement en sénescence (fig. 4).

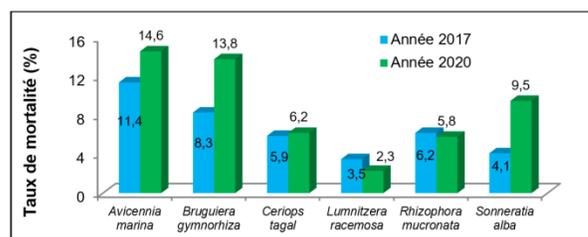


Figure 4. Taux de mortalité des palétuviers

Étude cartographique

Dynamique de mangrove

La mangrove périurbaine de Mahajanga est sous l'influence des marées et des affluents de Betsiboka et des cours d'eau de Belobaka. Ces deux facteurs remodelent les fronts de mer et les pseudo-îlots. L'évolution de la mangrove est fonction de l'alternance d'envasement et de dévasement. La figure suivante donne un aperçu sur la dynamique des rivages et de la zone de mangrove périurbaine de Mahajanga (fig. 5).



Figure 5. Dynamique des rivages et de la zone de mangrove périurbaine de Mahajanga

Une dynamique positive est remarquée dans la mangrove périurbaine de Mahajanga se traduisant par une accrétion sédimentaire. Cette dernière implique une avancée vers la mer de la mangrove qui constitue ainsi une zone de migration. Néanmoins, la sédimentation a favorisé la surélévation de la zone interne, entraînant un assèchement. Ce phénomène incite la population à se déplacer vers la zone de mangrove. En outre, les rivages sont, en partie, sujets à un phénomène d'érosion.

Par ailleurs, l'accrétion sédimentaire a favorisé la migration et la colonisation des palétuviers sur les rivages. La figure 6 suivante illustre l'évolution spatio-temporelle de la mangrove périurbaine de Mahajanga.

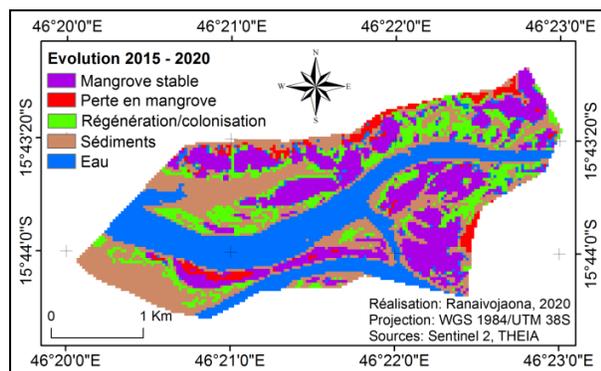


Figure 6. Évolution spatio-temporelle de la mangrove périurbaine de Mahajanga

Dans les zones d'accrétion, les espèces *Avicennia marina* et *Sonneratia alba* se sont installées. L'alluvionnement forme les pseudo-îlots et augmente leur superficie. La dynamique positive ou encore la progradation de la mangrove résulte ainsi de l'accrétion sédimentaire et de la colonisation des palétuviers.

Discussion

La flore de mangrove est caractérisée par une faible diversité résultant des conditions environnementales comme le substrat hydromorphe et anoxique (Spalding, 2010). La flore des mangroves malagasy appartient au domaine Indo-Pacifique Occidental, mais semblable à celle de l'Afrique de l'Est (Tostain, 2010). Huit espèces de palétuviers réparties dans 6 familles sont recensées à Madagascar (Spalding, 2010). Avec sept (7) espèces observées, la mangrove périurbaine de Mahajanga présente une richesse floristique (Tabl. 2) par rapport aux mangroves malagasy. L'absence de l'espèce *Heritiera littoralis* pourrait s'expliquer par la sédimentation en zone interne de la mangrove. En outre, les zones d'habitation se développent au fur et à mesure vers la mangrove. À cet effet, dans le cas de la ville de Mahajanga, des études antérieures ont démontré que des quartiers sont des anciennes zones de mangroves (Ranaivojaona, 2016). La sédimentation, impliquant l'assèchement en arrière mangrove et l'élévation du niveau du sol (Ranaivojaona et al., 2020), favorise davantage l'installation de nouvelles habitations.

Par rapport aux paramètres physico-chimiques, le taux de salinité voit une considérable augmentation en saison sèche, ce qui expliquerait la faible proportion des espèces *Bruguiera gymnorrhiza* (4,1%) et *Xylocarpus granatum* (1%). Ces espèces sont fortement sensibles à l'augmentation de salinité, contrairement à *Avicennia marina*, *Ceriops tagal* et *Sonneratia alba* (Lebigre, 1989). La sensibilité de l'espèce *Bruguiera gymnorrhiza* s'explique également par

son taux de mortalité de 13,8% (Figure 4). D'où sa faible proportion malgré sa forte potentialité de régénération par hydrochorie (Tabl. 3). Par ailleurs, la tendance à la hausse du taux de mortalité des espèces pourrait être due à l'augmentation de température.

La potentialité de régénération des espèces et leur mode de dispersion ainsi que la présence d'une zone de migration ont permis d'analyser la résilience de la mangrove périurbaine de Mahajanga. Les espèces *Avicennia marina* et *Ceriops tagal* sont les plus résilientes grâce à leur potentialité de régénération (Tabl. 3). Bien que ces deux espèces se caractérisent par leur mode de dispersion par hydrochorie, *Ceriops tagal* est plus avantage grâce à ses propagules. En effet, les Rhizophoraceae présentent généralement un taux élevé de régénération comparés aux espèces qui se multiplient par des fruits telles qu'*Avicennia marina* et *Sonneratia alba*.

En dépit de la perte en superficie, l'évolution spatio-temporelle de la mangrove montre une dynamique positive vers la mer. Les dépôts de sédiments venant du Betsiboka constituent la zone de migration de la mangrove périurbaine de Mahajanga (fig. 5). Les sédiments se sont accumulés au fur et à mesure de 2015 à 2020 et les palétuviers ont colonisé ces zones (Fig. 6). *Avicennia marina* est une espèce pionnière et colonise naturellement les zones de migration. Toutefois, des repiquages de propagules de *Rhizophora mucronata* sont réalisés pour la restauration de cette zone périurbaine notamment sur les rivages et les zones intermédiaires.

Conclusion

La présente étude a permis de faire l'état de lieu de la mangrove périurbaine de Mahajanga tout en déterminant son évolution sur une période de 5 ans. L'envasement et le dévasement influencent la dynamique de la mangrove ainsi que la répartition des espèces de palétuviers. Les espèces tolérantes telles qu'*Avicennia marina* et *Rhizophora mucronata* sont à privilégier sur les rivages qui sont fortement exposés aux inondations. Le site présente une potentialité de régénération moyenne. La régénération naturelle des palétuviers, l'apport en sédiments et la colonisation de l'espèce pionnière sur les rivages ont montré une dynamique positive de la mangrove. En outre, le reboisement par l'espèce *Rhizophora mucronata* est déjà effectif, néanmoins la considération de l'affinité de l'espèce au substrat est primordiale et la protection de ces écosystèmes serait mieux soutenue en impliquant principalement la population riveraine.

Remerciements

Sincères remerciements à l'endroit de la Direction Interrégionale de l'Environnement et du Développement Durable (DIREDD) Boeny-Betsiboka pour leur collaboration. Nous remercions particulièrement Razafindrasoa Noeline de son dévouement pour la protection des mangroves qui nous était précieux dans la réalisation des travaux de terrain.

Références bibliographiques

- Andriamalala, C.A.J. (2007). *Étude écologique pour la gestion des mangroves ; Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection*. Thèse de Doctorat. Université de Basel, Allemagne. 227 pages.
- Giri, C. and J. Muhlhausen, (2008). Mangrove Forest Distribution and Dynamics in Madagascar (1975 - 2015). *Sensors*, **8**: 2104 - 2117. Doi : 10.3390/s8042104
- Lebigre, J.M. (1989). Le marais maritime de la Tsiribihina (Madagascar) : paysage végétal et

dynamique. *Bois et Forêts des Tropiques*, **215** :
37 - 60.
<https://www.researchgate.net/publication/281105306>

- Ranaivojaona, S.B. (2016). *La mangrove limitrophe de la ville de Mahajanga (Ouest de Madagascar) : Écologie et Dynamique spatio-temporelle suivie par télédétection de 1997 à 2015*. Mémoire de fin d'études en Master. Faculté des Sciences, de Technologie et de l'Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar. 85 pages.
- Ranaivojaona, S.B., T.J. Tsiavahananahary et H.L.T. Ranarijaona (2020). Vulnérabilité des mangroves face au changement climatique dans deux villes côtières de l'ouest de Madagascar. In V. Bonnardot et H. Quénel (éds). *Changement climatique et Territoires*. Actes du Colloque de l'AIC, 33, Rennes, France : 565-570. ISBN 978-2-907696-26-5.
- Rasolofo, V.M. (2011). *Étude 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. Université d'Antananarivo, Madagascar. 213pages.
- Rothe, P.L. (1964). Régénération en forêt tropicale. Le *Dipterocarpus drey* sur le versant cambridgien du Golf du Siam. *Bois et forêts des tropiques*, 94 pages.
- Shapiro, A., D. Randriamanantena, F. Kuechle, et F. Razafindramasy, (2019). *Les mangroves de Madagascar : Superficies, condition et évolution 2000 – 2018*. WWF Germany, Berlin & WWF Madagascar, Antananarivo, 39 pages.
- Spalding, M., M. Kainuma and L. Collins (2010). *World Atlas of Mangroves*. Earthscan Publications, London. 319 pages.
- Tostain, S. (2010). *Les espèces de palétuviers dans les mangroves de Tuléar*. Formad Environnement. 32 pages.