



BONHOMME Paul – CHAILLOT Eléa - MANANJARA Salimo

Juillet 2023

# Guide de restauration des forêts de mangrove de Madagascar



## Table des matières

Table des matières .....	2
Table des figures .....	4
Introduction .....	6
L'association Opti'pousse Haie dans le processus de protection des mangroves .....	6
La mangrove, un milieu à préserver.....	6
I.    Protocole et utilisation de fiches de diagnostic .....	9
A.    Méthodes de relevé et protocole .....	9
L'arbre de décision .....	9
Se rendre sur le terrain.....	10
Les protocoles.....	10
Analyse des résultats .....	11
B.    Fiches de diagnostic et état général des zones homogènes.....	12
Fiches de diagnostic.....	13
Document d'évaluation de l'état général d'un site.....	30
C.    Critères et indices complémentaires au diagnostic de la zone.....	32
La salinité du sol.....	32
La vitesse de l'eau dans les ruisseaux de marée.....	33
Les caractéristiques des arbres.....	34
Végétation de l'arrière-pays.....	38
D.    A l'avenir .....	39
La compaction du sol .....	39
Le débit du ruisseau de marée .....	39
La présence d'oiseaux.....	40
La présence de crevette et de poissons .....	41
La chimie du sol .....	41
E.    Bibliographie .....	44
II.    Les solutions à la suite de la notation des fiches terrain .....	45
A.    Les différentes espèces de palétuviers et leurs caractéristiques .....	45
B.    Les fiches de solution .....	46
C.    Recolonisation naturelle ou replantation : que choisir ?.....	58
La couverture forestière.....	58
L'espacement des arbres pour les espèces de palétuviers.....	59
La mise en place et le fonctionnement d'une pépinière .....	62
Comment effectuer le reboisement ?.....	66
D.    Densité de plants et cas d'étude concrets .....	70
Calculs de densité de plants.....	70

Les différents cas d'études réalisés .....	74
Ankatakatabé .....	74
Ambalahonko .....	78
Baie de Moramba .....	82
Ambalatsingy.....	86
E. Bibliographie .....	90
III. Méthode de suivi des zones reforestées .....	91
Protocole de suivi des zones reforestées.....	91
Les indices de biodiversité à la suite du reboisement .....	92
Précision des suivis.....	94
Conclusion .....	95
Annexes : .....	96
Annexe 1 : Analyse cartographique par les images pléiades.....	96
Annexe 2 : Analyse cartographique par des images sentinelles (BONHOMME Paul, 2023) .....	98
Annexe 3 : Protocole pour la cartographie participative.....	99
Annexe 4 : Comment se rendre sur le terrain avec des points GPS via Qgis ? (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023).....	101
Annexe 5 : Fiche de diagnostic de site .....	108
Annexe 6 : Fiche de diagnostic de zone homogène (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023) .....	111
Annexe 7 : fiche de diagnostic de quadrat (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023).....	113
Annexe 8 : Réalisation et étude d'un quadrat (BOURLET Juliette, 2020) .....	116
Annexe 9 : Réalisation d'un transect (BOURLET Juliette, 2020) .....	117
Annexe 10 : Fiche annexe de diagnostic de quadrat (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023).....	118
Annexe 11 : les fiches espèces (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023) .....	119
Annexe 12 : manuel d'utilisation durable des mangroves (Opti'pousse Haie, 2021).....	139
Annexe 13 : Protocole du calcul des espacement pour les espèces de palétuviers (BONHOMME Paul, 2023) .....	157
Annexe 14 : Utilisation de QGIS lors de la phase de planification du reboisement (CHAILLOT Eléa, 2023) .....	161
Annexe 15 : Fiche de suivi des reboisements de mangroves en français (Bourlet Juliette, Bonhomme Paul, 2023).....	164
Annexe 16 : Fiche de suivi des reboisements de mangroves en malagasy (Bourlet Juliette, Bonhomme Paul, 2023).....	167
Annexe 17 : Guide explicatif du protocole de suivi en malagasy (Bonhomme Paul, 2023).....	170
Annexe 18 : fonctionnement du modèle de télédétection.....	173

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1: REPRESENTATION DU KOLB'S LEARNING CYCLE (LEWIS & BROWN, 2014) .....	6
FIGURE 2: INTERACTIONS BIOTIQUES, ABIOTIQUES ET FLUX DE MATIERES DANS L'ECOSYSTEME DE MANGROVE ENTRE LES COMPARTIMENTS EAU, SEDIMENTS, VEGETATION ET FAUNE (UICN FRANCE, 2017) .....	7
FIGURE 3: IMAGE SATELLITE DE MANGROVE OUVERTE (AVEC PLAGES) ET FERMEE (AVEC UN TANNE) (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) .....	8
FIGURE 4: ARBRE DES DECISIONS POUR CHOISIR LE PROTOCOLE ADAPTE A LA ZONE D'ETUDE (BONHOMME PAUL, 2023) .....	9
FIGURE 5: BORNES A SUIVRE EN CAS DE MODIFICATION DU NOMBRE DE CRITERES POUR UNE SECTION CONSIDEREE (BONHOMME PAUL, 2023) .....	12
FIGURE 6: TABLEAU EXCEL PERMETTANT D'AVOIR L'ETAT GENERAL DES ZONES HOMOGENES (BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELEA, 2023) .....	31
FIGURE 7: PROFIL D'UNE MANGROVE AVEC INDICATION DES VALEURS MOYENNES DE SALINITE DANS LE SOL (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	32
FIGURE 8: SCHEMA D'UN CONDUCTIMETRE ELECTRONIQUE AVEC SA SONDE (WIKIHOW, N.D.) .....	33
FIGURE 9: SCHEMA DE LA MISE EN PLACE DU CALCUL DE VITESSE DE RUISSEAU DE MAREE (ESTIMATION DU DEBIT D'EAU, S. D.) .....	34
FIGURE 10: SCHEMA DE LA MESURE DE LA CIRCONFERENCE D'UN TRONC (FREYDET & BONNARDOT, 2020) .....	35
FIGURE 11: SCHEMA DU CALCUL DU DIAMETRE DE LA CANOPEE (FREYDET & BONNARDOT, 2020) .....	36
FIGURE 12: SCHEMA DE LA CROIX DU BUCHERON (FREYDET & BONNARDOT, 2020) .....	37
FIGURE 13: SCHEMA DE LA METHODE DE CALCUL DE LA HAUTEUR D'ARBRE AVEC LA CROIX DU BUCHERON (FREYDET & BONNARDOT, 2020) .....	37
FIGURE 14: SCHEMA DU TEST A LA BECHE AFIN DE CONNAITRE LA COMPACTION DU SOL (BOURLET JULIETTE, 2020) .....	39
FIGURE 15: SCHEMA DE PRISE DE MESURES AFIN DE CONNAITRE LA LARGEUR ET PROFONDEUR DU RUISSEAU DE MAREE (ESTIMATION DU DEBIT D'EAU, S. D.) .....	40
FIGURE 16: TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES PALETUVIERS DU NORD-OUEST DE MADAGASCAR (MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE & MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PECHE, 2019) .....	45
FIGURE 17: TABLEAU RECAPITULATIF DES MOMENTS DE FLORAISON ET PLANTATION POUR LES DIFFERENTES ESPECES DE PALETUVIERS (SALIMO MANANJARA, 2019) .....	46
FIGURE 18: A), B) ET C) DIGUES DE ROCHERS A ERMITA, DUMANGAS ET ILOILO (2007-2008). D) SUPPORT EXPERIMENTAL POUR SOUTENIR LA CROISSANCE, DIMINUER L'ENERGIE DES VAGUES ET PIEGER LE SEDIMENT (WINTERWERP ET AL., 2020) .....	47
FIGURE 19: SCHEMA DU FONCTIONNEMENT DES BARRAGES DE RIVIERE (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	48
FIGURE 20: DISTANCES ENTRE LES PALETUVIERS ADULTES POUR CERTAINES ESPECES (SALIMO MANANJARA ET AL, 2023) .....	60
FIGURE 21: TABLEAU SYNTHESE DES RESULTATS DU TEST DE LEVENE SUR LA MEDIANE AVEC UNE INCERTITUDE DE 5% EN CE QUI CONCERNE LE PROTOCOLE D'ESPACEMENT DES ARBRES (BONHOMME PAUL, 2023) .....	61
FIGURE 22: EXEMPLE D'UN SITE DE MISE EN PLACE DE PEPINIERE AVEC LES RECOMMANDATIONS ASSOCIEES (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	63
FIGURE 23: EXEMPLE DE RACKS D'UNE DIMENSION DE 1,6X6M (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	64
FIGURE 24: EXEMPLE DE RACKS DISPOSES DERRIERE ET DANS LA PEPINIERE EN FONCTION DES ESPECES (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	65
FIGURE 25: DIFFERENTS TRANSPORTS DES PLANTS A REPLANTER DANS LA MANGROVE (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	65
FIGURE 26: COUT ASSOCIES A LA MISE EN PLACE D'UNE PEPINIERE (PRIMAVERA ET AL., 2012) .....	66
FIGURE 27: INSERTION DE LA PLANTULE AVEC SON SAC DECOUPE DANS LE TROU CREUSE, IL NE RESTE PLUS QU'A TIRER LE SAC VERS LE HAUT ET COLMATER LE TROU (POLE RELAIS ZONES HUMIDES TROPICALES, 2018) .....	68
FIGURE 28: SCHEMA AFIN DE MARQUER UN POINT REPERE POUR LE SUIVI (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	69
FIGURE 29: SCHEMA DE LA PLANTATION DES SONNERATIA ALBA ET AVICENNIA MARINA SELON LES ESPACEMENTS PREVUS (BONHOMME PAUL, 2023) .....	71
FIGURE 30: SCHEMA DE LA PLANTATION DES AVICENNIA MARINA SELON LES ESPACEMENTS PREVUS (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	71
FIGURE 31: SCHEMA DE LA PLANTATION DES RHIZOPHORA MUCRONATA SELON LES ESPACEMENTS PREVUS (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	72
FIGURE 32: SCHEMA DE LA PLANTATION DES AVICENNIA MARINA ET CERIOPS TAGAL SELON LES ESPACEMENTS PREVUS (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	72
FIGURE 33: SCHEMA DE LA PLANTATION DES CERIOPS TAGAL, RHIZOPHORA MUCRONATA ET BRUGUERIA GYMNORHIZA SELON LES ESPACEMENTS PREVUS (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	73
FIGURE 34: TABLEUR EXCEL PERMETTANT LE CALCUL DU NOMBRE DE PLANTS NECESSAIRE A LA REFORESTATION AINSI QUE LA TAILLE DE LA PEPINIERE (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	73

FIGURE 35: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	74
FIGURE 36: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR ANKATAKATABE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023).....	75
FIGURE 37: TABLE ATTRIBUTAIRE DES ZONES A REBOISER (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	75
FIGURE 38: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	76
FIGURE 39: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR ANKATAKATABE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023).....	77
FIGURE 40: TABLE ATTRIBUTAIRE DE LA ZONE A REBOISER (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	77
FIGURE 41: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	78
FIGURE 42: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR AMBALAHONKO REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) ....	79
FIGURE 43: TABLE ATTRIBUTAIRE DE LA ZONE A REBOISER (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	79
FIGURE 44: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	80
FIGURE 45: SECOND PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR AMBALAHONKO REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	80
FIGURE 46: TABLE ATTRIBUTAIRE DE LA ZONE A REBOISER (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	81
FIGURE 47: CALCUL DE L'AIRE DE LA ZONE A DENSIFIER VIA QGIS 3.30.2 .....	81
FIGURE 48: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	82
FIGURE 49: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR LA BAIE DE MORAMBA AINSI QUE LA TABLE ATTRIBUTAIRE ASSOCIEE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	83
FIGURE 50: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	83
FIGURE 51: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR LA BAIE DE MORAMBA AINSI QUE LA TABLE ATTRIBUTAIRE ASSOCIEE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	84
FIGURE 52: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	85
FIGURE 53: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR LA BAIE DE MORAMBA AINSI QUE LA TABLE ATTRIBUTAIRE ASSOCIEE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	86
FIGURE 54: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	86
FIGURE 55: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR AMBALATSINGY AINSI QUE LA TABLE ATTRIBUTAIRE ASSOCIEE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	87
FIGURE 56: IMAGE SATELLITE DE LA ZONE DEBOISEE AVEC LES QUADRATS ASSOCIES (IMAGE SATELLITE : GOOGLE SATELLITE, 2023) ...	88
FIGURE 57: PLAN DE REBOISEMENT DE MANGROVE POUR AMBALATSINGY AINSI QUE LA TABLE ATTRIBUTAIRE ASSOCIEE REALISE SUR QGIS 3.30.2 (CHAILLOT ELEA, 2023) .....	89

## INTRODUCTION

### L'ASSOCIATION OPTI' POUSSE HAIE DANS LE PROCESSUS DE PROTECTION DES MANGROVES

Depuis sa création en 2014, l'association réunionnaise Opti'pousse Haie (OpH) a pour objectif de promouvoir l'écologie et le développement durable dans les pays du Sud. Elle opère uniquement à Madagascar, dans le district d'Analalava, en apportant un appui scientifique et financier aux associations locales. Depuis octobre 2022, l'association apporte son soutien à l'association malagasy VAHATRA, association ayant pour objectif de défendre les intérêts généraux et les biens communs présents et futurs des communautés locales. Cette défense passe par la collecte de données socio-environnementales et économiques permettant à l'association et à ses partenaires la mise en œuvre de projets répondant aux réels besoins des populations.

C'est dans ce contexte qu'OpH, en s'appuyant sur les connaissances du terrain de l'association Malagasy VAHATRA, a cherché à mettre en place un protocole standardisé pour connaître l'état des mangroves, mais aussi savoir comment restaurer ces zones de manière efficace et durable suivant les paramètres relevés sur le terrain.

L'approche de l'association OpH dans ce processus de reboisement s'appuie sur le Kolb's Learning Cycle (Cf. figure 1). Cette approche permet d'avoir un retour d'expérience sur ce qui a été fait en termes de reboisement pour ainsi améliorer continuellement les protocoles mis en place suivant les avancées scientifiques (Lewis & Brown, 2014).

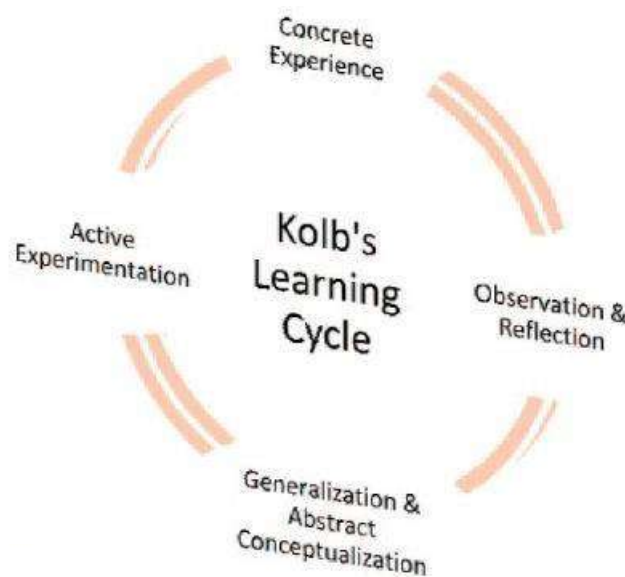


Figure 1: Représentation du Kolb's Learning Cycle (Lewis & Brown, 2014)

### LA MANGROVE, UN MILIEU À PRÉSERVER

La mangrove est un écosystème complexe, au sein duquel de nombreuses interactions biotiques et abiotiques ont lieu (UICN France, 2017) (Cf. figure 2) : l'équilibre entre ces paramètres est nécessaire pour assurer le meilleur fonctionnement possible à ces forêts. La structure même de ces milieux est très complexe, marquée par des espèces pionnières tel que *Sonneratia alba* ou *Avicennia marina* qui sont adaptées à la vie dans un substrat sableux

en front de mer, mais aussi par des espèces vivant proche en arrière de mangrove sur des substrats très chargés en sel comme *Lumnitzera racemosa* : chacune des espèces a ses propriétés propres, ce qui permet d'avoir une continuité écologique et ainsi un milieu résilient aux aléas (Lewis and Brown, 2014).

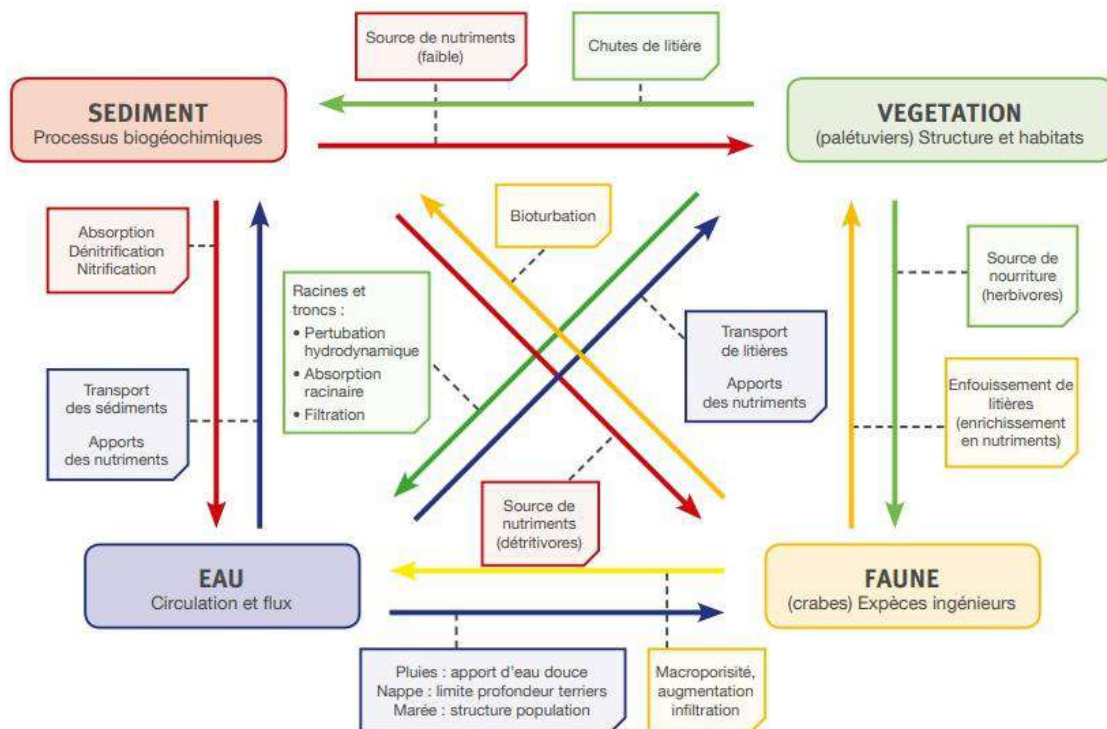


Figure 2: Interactions biotiques, abiotiques et flux de matières dans l'écosystème de mangrove entre les compartiments eau, sédiments, végétation et faune (UICN France, 2017)

En plus d'être des réservoirs de biodiversité, et malgré l'interdiction de les exploiter à des fins anthropiques, les mangroves fournissent de nombreux services écosystémiques aux populations locales. Ce milieu assure aux habitants un apport en produits issus de la pêche, en bois pour l'énergie ou la construction, en ressources médicinales, en ressources chimiques et cosmétiques, ou encore en nourriture pour les animaux d'élevage. Au contraire, d'autres zones ne sont pas exploitées mais protégées dans le cadre de croyances (Bostvironnois, 2017).

Malheureusement, les activités humaines sont responsables en grande majorité de la perte de la mangrove : 50% de sa surface a été perdue depuis 1900, dont 35% de sa superficie mondiale lors des 20 dernières années. Ces très fortes pertes font des mangroves l'une des communautés naturelles les plus menacées au monde. Le réchauffement climatique est aussi un danger pour ces milieux, avec une élévation du niveau de la mer prévu de 0.18 à 0.59m d'ici 2099 : les palétuviers au bord de mer viennent alors dépérir et ceux dans les terres reculent (Ellison et al., 2012). Cette perte de mangrove met en péril les services écosystémiques qui lui sont associés, mais cela prive également les populations locales des ressources qui lui sont associées (Bostvironnois, 2017). Par exemple, la déforestation mène à l'assèchement du terrain et à la compaction du sol, ce qui a pour conséquence de mettre à mal l'implantation des plantules ainsi que le développement racinaire des palétuviers (Communautés européennes, 1992)

La mangrove est donc, malgré son statut de zone protégée, un milieu nécessaire à la vie des communautés locales. Les moyens mis en place pour restreindre les populations à son utilisation sont compliqués et chers à mettre en œuvre, c'est pourquoi il est nécessaire de mettre en place une gestion et des plants de reboisements adaptés. Cela permettra d'assurer une santé optimale au milieu, mais aussi de permettre aux communautés d'avoir accès à ce

lieu nécessaire à leur mode de vie.

Le présent document présente une méthode de diagnostic, de reforestation et de suivi pour les mangroves du Nord-Ouest de Madagascar. Il a été réalisé sur la base de publications scientifiques, de travail sur le terrain et de vulgarisations des procédés pour inclure les populations à la préservation de leur environnement.

*Remarque : les termes de mangroves ouvertes et fermées sont utilisés dans ce document. Il est entendu par mangrove ouverte une mangrove où une plage est présente à l'arrière et non un tanne. Le terme de mangrove fermée, lui, se réfère aux mangroves présentant un tanne à l'arrière. Les espèces présentes dans ces milieux, mais aussi les espacements entre les palétuviers, ne sont pas les mêmes d'un milieu à l'autre.*



Plage

Mangrove

Tanne

Figure 3: Image satellite de mangrove ouverte (avec plage) et fermée (avec un tanne) (Image satellite : Google satellite, 2023)

# I. PROTOCOLE ET UTILISATION DE FICHES DE DIAGNOSTIC

Actuellement, il n'existe pas de protocole standardisé pour restaurer les écosystèmes de mangroves. Certaines publications telles que Lewis and Brown, 2014 proposent des pistes de réflexion et des critères à prendre en compte dans ces processus, mais sans jamais mettre en place un protocole complet et standardisé pour connaître l'état global des mangroves déboisées. Ce document mis en place par l'association présente une méthode complète pour diagnostiquer l'état d'une zone de mangrove déforestée, ou reboisée de manière inadéquate. Il est à destination de professionnels du secteur, mais aussi à toute personnes voulant apprendre à diagnostiquer correctement l'état d'un secteur de mangrove déboisé.

## A. MÉTHODES DE RELEVÉ ET PROTOCOLE

### L'ARBRE DE DÉCISION

Chaque zone d'étude a des caractéristiques spécifiques qu'il faut prendre en considération. Il faut donc un protocole pour chaque grand type de terrain. Afin de faciliter le choix du protocole adapté, un arbre des décisions a été mis en place (Cf. figure 4).

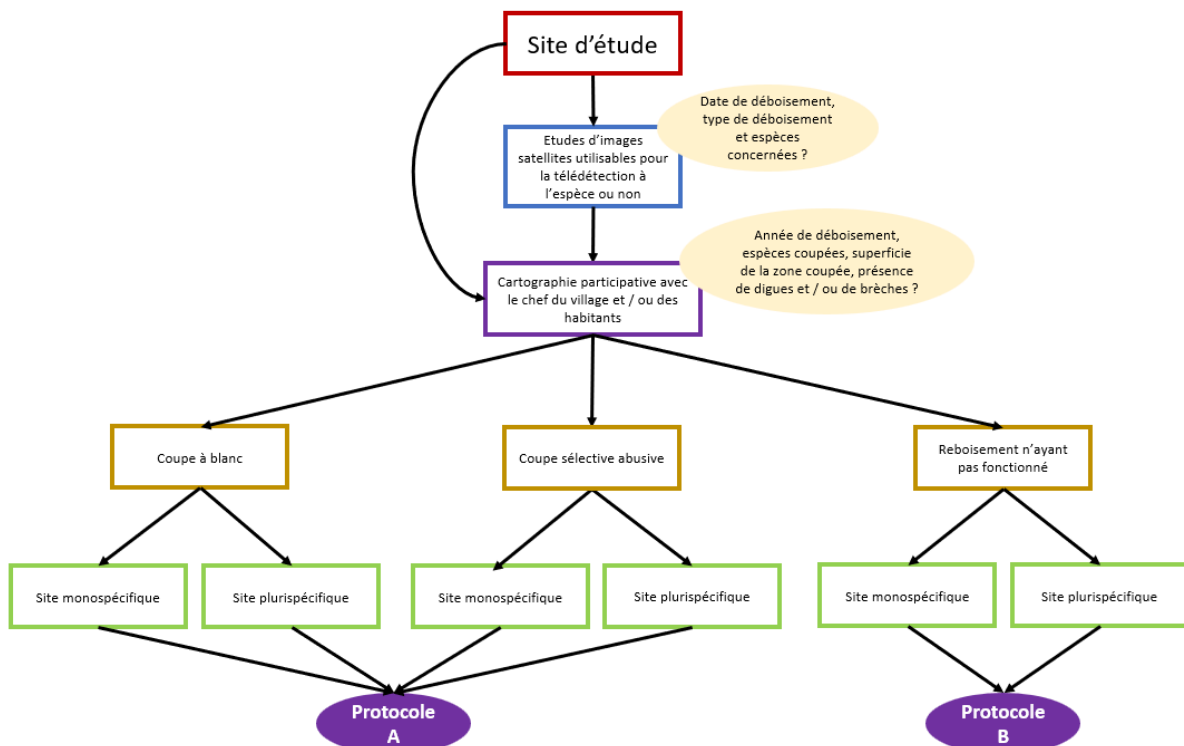


Figure 4: Arbre des décisions pour choisir le protocole adapté à la zone d'étude (BONHOMME Paul, 2023)

De cet arbre découle deux protocoles (notés A et B) qui se réfèrent aux annexes 1, 2 et 3, ainsi qu'aux différentes fiches de restauration de la partie I.B.

Les images satellites actuelles ont une résolution variable. Les images Pléiades sont de très haute résolution, avec une précision de 2m pour les bandes rouge, vert, bleu et proche de l'infrarouge. Les images Sentinel-2A ont une résolution de 10m pour les mêmes bandes (Burriat, 2022). Cette forte différence de résolution est à prendre en compte dans les protocoles d'études mis en place, notamment pour la partie d'étude par images satellites.

Pour savoir quel protocole utiliser, il faut tout d'abord chercher des données cartographiques sur la zone d'étude. Si les données sont des images Pléiades, alors il faudra suivre le protocole décrit en annexe 1. Si ce n'est pas le cas ou si les images satellites n'existent pas, il faudra suivre le protocole de l'annexe 2, lui-même lié au protocole de l'annexe 3. Dans tous les cas, le protocole de cartographie participative décrit en annexe 3 sera à suivre. Cette étude permettra de savoir le moment de la coupe, le type de coupe (coupe à blanc, etc) et le type de zone dégradée (monospécifique ou plurispécifique). En connaissant ces informations, il sera possible de se référer à l'un des deux protocoles proposés. Si l'étude d'images satellites n'est pas possible, il faudra récupérer toutes les informations au moment de la cartographie participative.

## SE RENDRE SUR LE TERRAIN

Afin d'étudier une zone de mangrove, il faut savoir cibler les points à étudier, et donc savoir se repérer. Il est possible de préparer un fichier sous format KML avec les points à étudier avant de se rendre sur le terrain. Ce fichier est ensuite exportable sur Google Maps pour avoir les coordonnées précises d'étude sur téléphone et sans connexion. Le protocole complet pour réaliser cette opération est disponible en annexe 4.

## LES PROTOCOLES

Le chemin suivi dans l'arbre des décisions abouti à l'un des deux protocoles. Nous allons dans cette partie les expliquer.

### Protocole A :

Ce protocole est dédié aux sites homogènes victimes de coupes à blanc ou de coupes sélectives abusives en zones monospécifiques ou plurispécifiques. Si le site est totalement déboisé mais à cause d'aléas naturels, c'est tout de même ce protocole qui sera utilisé. Pour ces sites, la méthode des transects n'est pas utile.

- Méthode :
- Avec les images satellites Pléiades imprimées ou les cartes issues de cartographie participative, relever les zones constamment en eau, les ruisseaux, les zones d'érosion, les digues ou brèches, les arbres coupés restés au sol ou tout autre point qui mérite d'être relevé. Si le site était plurispécifique, essayer de reporter également les patches d'espèces présentes suivant l'endroit. Bien reporter ces informations sur le fond de carte avec une légende associée, et relever les coordonnées GPS de ces zones pour plus de facilité sur le terrain.
- Une fois sur le site, s'y promener pour apprécier ses dimensions. Ensuite, aller voir les points relevés et noter toutes informations complémentaires les concernant. Également chercher les zones homogènes qui seraient présentes sur le site (zone victime de coupe à blanc, zone en bon état, tanne, etc). En utilisant la fiche de site disponible en annexe 5, réaliser un schéma du site et compléter les informations qui y sont demandées. Bien compléter le tableau concernant les zones homogènes, zones qui auront été plus ou moins déterminées préalablement par traitement des images satellites Pléiades.
- Ensuite, pour chacune des zones homogènes, relever les informations inscrites sur la fiche de diagnostic de zones homogènes visible en annexe 6. Ne pas oublier dans la liste des zones homogènes à étudier la mangrove en bonne santé qui est à proximité du site étudié.
- Enfin, réaliser au moins un quadrat sur chacune des zones homogènes. Les ou les quadrats devront être représentatifs de la zone. Pour cela, suivre la fiche de terrain

visible en annexe 7 et le protocole des quadrats décrit en annexe 8.

L'ensemble de ce protocole permettra de créer une carte avec les principaux éléments présents sur le site, que ce soit inertes ou non, mais aussi d'avoir une vision globale de l'état du site dans chacune des zones homogènes déboisées, est-ce grâce aux quadrats réalisés.

*Remarque 1 : ne pas hésiter à prendre des photos et vidéos de la zone tout en les commentant pour affiner les schémas des zones ultérieurement.*

*Remarque 2 : la place des quadrats dans les zones homogènes ne sont pas choisies aléatoirement, le but est de mettre en place des quadrats dans lesquels l'état de la faune et de la flore (vivante ou morte) est représentatif du milieu ou de la zone homogène étudiée.*

### Protocole B :

Ce protocole est dédié aux reboisements n'ayant pas fonctionné dans des sites anciennement monospécifiques ou plurispécifiques.

- Méthode :
- Avec les images satellites Pléiades imprimées ou les cartes issues de cartographie participative, relever les zones constamment en eau, les ruisseaux, les zones d'érosion, les digues ou brèches, les arbres coupés restés au sol ou tout autre point qui mérite d'être relevé. Si le site était plurispécifique, essayer de reporter également les patches d'espèces présentes suivant l'endroit. Bien reporter ces informations sur le fond de carte avec une légende associée, et relever les coordonnées GPS de ces zones pour plus de facilité sur le terrain.
- Une fois sur le site, s'y promener pour apprécier ses dimensions. Ensuite, aller voir les points relevés et noter toutes informations complémentaires les concernant. Également chercher les zones homogènes qui seraient présentes sur le site (zone victime de coupe à blanc, zone en bon état, tanne, etc). En utilisant la fiche de site disponible en annexe 5, réaliser un schéma du site et compléter les informations qui y sont demandées. Bien compléter le tableau concernant les zones homogènes, zones qui auront été plus ou moins déterminées préalablement par traitement des images satellites Pléiades.
- Ensuite, pour chacune des zones homogènes, compléter une fiche de zone homogène (Cf. annexe 6) et réaliser des transects (Cf. annexe 9) et des quadrats pour couvrir chacune des zones homogènes.
- Si cela est possible, également réaliser quelques quadrats aux abords du site d'étude pour connaître l'état de végétation aux alentours.

L'ensemble de ce protocole permettra de créer une carte avec les principaux éléments influençant le développement du milieu (dignes, etc), mais il permettra aussi d'avoir une idée précise du développement végétal sur la zone grâce aux transects réalisés.

*Remarque : ne pas hésiter à prendre des photos et vidéos de la zone tout en les commentant pour affiner les schémas des zones ultérieurement.*

### **ANALYSE DES RÉSULTATS**

Une fois tous les résultats récoltés, il va falloir reporter les notes obtenues pour chaque catégorie de critères (hydrologie, sol, flore et faune) dans Qgis. Une fois sur Qgis, il faudra reporter tous les points où ont été effectués des quadrats. Pour chaque point, dans la table attributaire, enregistrer toutes les données récupérées via les fiches de diagnostic de quadrat.

En fonction des résultats obtenus, il faudra retravailler sur les zones qui auront obtenues un score moyen ou faible afin d'avoir une zone de reforestation avec un score optimal pour replanter.

Des solutions pour traiter les zones qui auront obtenues des scores trop faibles seront fournies dans la partie II du rapport.

## B. FICHES DE DIAGNOSTIC ET ÉTAT GÉNÉRAL DES ZONES HOMOGÈNES

Quatre fiches de terrain différentes ont été créés dans le cadre de ce rapport : les fiches de site (Cf. annexe 5), les fiches de zones homogènes (Cf. annexe 6), les fiches de quadrats (Cf. annexe 7) et enfin les fiches annexes des quadrats (Cf. annexe 10).

La fiche de site permet de référencer les informations principales concernant la zone, avec notamment la création d'un schéma du site et un tableau dénombrant le nombre de zones homogènes que présentent le site. Ces zones homogènes seront déterminées en s'intéressant aux grands types de milieux que présente la mangrove, à savoir :

- Le tanne,
- La mangrove intacte,
- La mangrove déboisée totalement,
- La mangrove partiellement déboisée.

Une ligne a été laissée en plus dans le tableau pour référencer une éventuelle autre zone homogène.

La fiche de zone homogène va permettre, elle, d'étudier les zones homogènes dénombrées sur la fiche de site. Cette fiche est celle dans laquelle la salinité du sol, les critères hydrologiques et la vitesse des ruisseaux de marée (s'ils existent) seront notamment étudiés.

Enfin, la fiche de quadrat a pour but d'échantillonner chacune des zones homogènes en s'intéressant principalement à la faune et à la flore sur un espace de 25m<sup>2</sup>.

Les fiches de diagnostic présentées dans cette partie permettent d'attribuer une notation entre un et trois pour chacun des critères étudiés. La majorité de ces critères et la méthode de notation sont basées sur la publication de Lewis and Brown, 2014.

Certains critères pourraient ne pas être pris en compte dans certaines zones homogènes ou dans certains quadrats à certains endroits à cause d'un manque de données. Dans ce cas-là, le score total de la section (Hydrologie, sol, etc) sera affecté. Si cela arrive, voici les paliers à suivre :

Bornes à suivre en cas de modification du nombre de critères pour une section considérée (hydrologie, sol, flore ou faune)					
Résultat sur 3	Résultat sur 6	Résultat sur 9	Résultat sur 12	Résultat sur 15	Interprétation
[1 et 1]/3	[0 et 2]/6	[0 et 3]/9	[0 et 5]/12	[0 et 6]/15	Etat médiocre, les critères sont à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration, impossible qu'un reboisement aboutisse avec cette qualité ci
]1 et 2]/3	[2 et 5]/6	[3 et 7]/9	[5 et 9]/12	[6 et 11]/15	Etat moyen, les critères en question sont à prendre en compte dans le processus de restauration pour assurer une réussite au projet
]3 et 3]/3	[5 et 6]/6	[7 et 9]/9	[9 et 12]/12	[11 et 15]/15	Etat satisfaisant, les critères en question ne sont pas à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration

Figure 5: Bornes à suivre en cas de modification du nombre de critères pour une section considérée (Bonhomme Paul, 2023)

### Exemple :

Les deux paramètres à relever dans la catégorie sol sont le « type de sol » et le « contenu du sol ». Le résultat de la section est donc sur six.

Or, si une coupe à blanc est étudiée, le paramètre « contenu du sol » ne sera pas relevé. De ce fait, le résultat de la section ne sera plus sur six mais sur trois, il faudra alors se référer au tableau ci-dessus pour connaître les nouvelles bornes des catégories à suivre.

Dans un souci de clarté et de simplicité de lecture des fiches de terrain, la bibliographie ne sera pas indiquée sur chacune des fiches de restauration, mais ci-dessous.

### Bibliographie des fiches de diagnostic :

Burriat J. (2021). *Association des techniques d'apprentissage machine en télédétection, photogrammétrie et écologie pour la préservation et le suivi de la mangrove dans le district d'Analalava (région de Sofia, Madagascar)*.

Ellison, J., Jungblut, V., Anderson, P., & Slaven, C. (2012). *Manual for Mangrove Monitoring in the Pacific Islands Region*. [https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual\\_Mangrove\\_Monitoring\\_PICs.pdf](https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual_Mangrove_Monitoring_PICs.pdf)

Lewis, R. R., & Brown, B. (2014). *Ecological Mangrove Rehabilitation (EMR) Manual. Blue Forests*. <https://blue-forests.org/en/knowledge/resources-publications/ecological-mangrove-rehabilitation-emr/>

*La restauration des mangroves : Guide technique · Documentation Ifrecor*. (2019). <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1874>

Rue, O. (1993). *Dynamique des mangroves de guinée*. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/2021-08/39047.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-08/39047.pdf)

Photographies de l'association Opti'Pousse Haie.

Photographies personnelles des auteurs. Les fiches de restauration

## FICHES DE DIAGNOSTIC

Ces fiches ont pour but d'aider à la notation des critères sur le terrain. Sur chacune des fiches, une partie « Comment l'observer sur le terrain ? » permet de savoir comment diagnostiquer le paramètre en question une fois sur la zone. Une fois ce protocole mis en place, le résultat sera à déterminer en se référant à la partie « les différents résultats attendus », ce qui permettra d'obtenir la notation.

Les résultats émanant des fiches de restaurations sont à rentrer dans les différentes fiches de terrain visible en annexe 5, 6 et 7. Si certains des critères des fiches ne sont pas identifiables sur la zone d'étude, alors il faudra simplement laisser la case vide et revoir adapter les bornes de résultat avec la figure 5.

*Remarque : la note « \*voir avec le guide » dans les fiches de restauration signifie qu'il faut se référer au guide pour ce critère car il connaît mieux le terrain. Son avis sur la question permettra alors de savoir si le critère est normal par rapport à ses connaissances sur des zones semblables.*

CRITÈRES DE DIAGNOSTIC À RELEVÉR À L'ÉCHELLE DES ZONES HOMOGÈNES

1

FICHE DE RESTAURATION – L'HYDROLOGIE

L'ÉROSION

- Comment l'observer sur le terrain ?

Absence de vase dans certaines zones homogènes qui devraient en contenir. Racines de palétuviers tel que *Avicenia marina* (Afiaty) visibles.

Présence de beaucoup de sable dans la mangrove à la place de la vase.



Image 1 : Perte de vase et apparition de racines



Image 2 : Racines visibles



Image 3 : Erosion qui permet de voir les rochers



Image 4 : Falaises à 90° avec vue sur les racines et rochers

- Les différents résultats possibles :

1. Érosion grave (falaises à 90 degrés, érosion du rivage mesurable et visible, grande partie de la mangrove touchée) : photos 1 à 4.
2. Érosion modérée (dans certaines zones), traces d'érosion mais le sédiment est toujours présent en quantité.
3. Absence d'érosion.

\*Voir avec le guide

## RUISSEAUX / RIVIÈRES

- Comment l'observer sur le terrain ?
- Eau stagnante dans les mangroves, même lors de la marée basse.
- Présence ou absence d'écoulement d'eau vers la mer lors de la descente de la mer. Est-ce que cet écoulement est large ? Voir l'image ci-dessous.
- Nombre d'écoulements vers la mer lors de la descente de la mer.
- Présence dans les parties de mangroves les plus proches des terres d'algues vertes au sol (voir les zones entourées sur les photos ci-dessous) sous forme de biofilm (ressemble à des tâches vertes).



Résultat  
associé :

1

2

3



Images 1 et 2 : Voile algal laissée par l'eau stagnante à marée basse et que l'on retrouve dans les zones en retrait de la mer

- Les différents résultats possibles :
  1. Eau stagnante (eau stagnante dans les mangroves même lors de la marée basse et / ou écoulement vers la mer trop lent ce qui amène à de la stagnation et / ou grande quantité de biofilm d'algues au sol dans les rangs de palétuviers les plus proches du tanne).
  2. Réseau d'écoulement faible, l'eau a du mal à retourner à la mer (un seul bras de ruisseau pour renvoyer l'eau à la mer et / ou écoulement trop lent par rapport à la quantité d'eau à évacuer et / ou présence de biofilms épars dans les rangs de palétuviers les plus proches du tanne).
  3. Réseau d'écoulement fonctionnel (toute l'eau repars à la mer via les ruisseaux qui peuvent être multiples et avoir plusieurs bras et / ou pas ou très peu de stagnation d'eau et / ou pas ou très peu de biofilm d'algues au sol dans les rangs de palétuviers les plus proches du tanne).

**INONDATION / SÉCHERESSE**

- Comment l'observer sur le terrain ?

Est-ce que la zone est trop inondée ou pas assez en comparaison à d'autres milieux semblables (mêmes espèces, même place dans la mangrove) ?

Les arbres ont-ils des feuilles flétries en comparaison à la normale ? Est-ce que c'est le cas même après la marée haute ?

S'il y a de la vase, est-ce que on s'enfonce beaucoup dedans en comparaison à d'autres milieux semblables ? Légèrement ? Pas du tout ? Un terrain sec peut être visible si le substrat est craquelé (voir la photo ci-dessous).



Images 1 et 2 : sol craquelé et / ou dans lequel on ne s'enfonce pas ou très peu

- Les différents résultats possibles :

1. Faiblement inondé et / ou souvent sec (arbres avec des feuilles baissées et / ou feuilles jaunies et / ou sol craquelé et / ou sol dans lequel on s'enfonce très peu en comparaison à des milieux semblables) : images 1 et 2.
2. Moyennement inondé et / ou moyennement sec (arbres avec quelques feuilles baissées et / ou feuilles jaunies de manière très occasionnelle et / ou sol dans lequel on s'enfonce moyennement en comparaison à des milieux semblables).
3. Souvent inondé et / ou faiblement sec (arbres sans feuilles baissées et / ou sans feuilles jaunies et / ou sol dans lequel on s'enfonce comme dans les autres milieux semblables).

*Remarque : le sol de la mangrove ne doit pas être sec pour faciliter la pénétration de l'eau et donc pour assurer un bon fonctionnement au milieu.*

*\*Voir avec le guide*

### PRÉSENCE DE DIGUES ET/OU DE BRÈCHES

- Comment l'observer sur le terrain ?

Est-ce que l'homme a créé des digues sur le site d'étude et à ses alentours immédiats ? Est-ce que ces digues affectent la zone homogène étudiée ? Est-ce que ces digues sont solides et très étanches ? Est-ce que ces digues présentent des brèches et laissent passer l'eau en partie ? Est-ce qu'il n'y a pas de digue ? (Voir la photo ci-dessous).

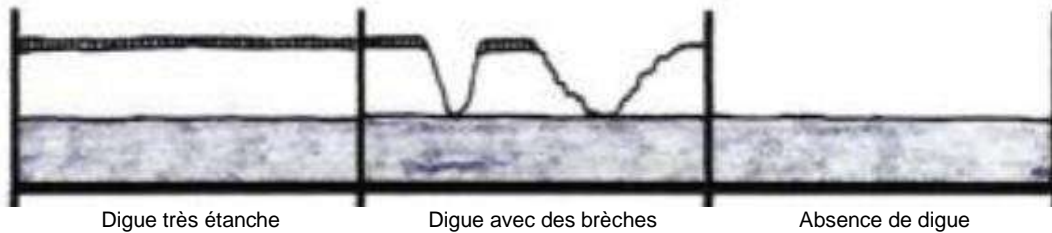


Image 1 : Mise en place d'une digue afin de protéger les habitations derrière la mangrove.

- Les différents résultats possibles :
  1. Présence de digues très étanches affectant la zone homogène.
  2. Présence de digues avec des brèches affectant la zone homogène.
  3. Absence de digue.

*Remarque : il est important de considérer la présence de digues et de brèches car ces aménagements viennent modifier les apports d'eau dans la mangrove.*

## FORCE DU COURANT, DE LA HOULE ET DU VENT

- Comment l'observer sur le terrain ?

Est-ce que le site se situe face à la mer ? Le long d'une rivière ? Est-ce qu'une île, une barrière, un platier corallien ou encore une barrière de palétuvier est présente en face de la zone homogène et diminue la force des vagues ?

Y a-t-il de la houle dans la zone ? Est-elle forte ?

Est-ce que le courant aux abords de la zone est fort ? On peut considérer le courant fort si le développement de la mangrove au niveau des *Sonneratia alba* (Farafaka) ou des *Avicenia marina* (Afiaty) se fait en suivant la force du courant (voir image ci-dessous).



*Sonneratia alba* poussant de côté à cause de la force de la houle et / ou du vent.

- Les différents résultats possibles :

1. Haute énergie de houle et basse énergie de courant : les fronts de mer reculent et s'ensablent, recul de la mangrove qui se trouve en front de mer.
2. Présence de petites vagues, notamment lors de la montée de l'eau. Courant et houle modéré, la mangrove reste stable.
3. Haute énergie de courant et basse énergie de houle : les mangroves de front de mer progressent sur la mer.

\*Voir avec le guide

**QUEL ÉTAT HYDROLOGIQUE SUIVANT LE RÉSULTAT ?**

[0 et 6]/15 : état hydrologique médiocre, les critères hydrologiques sont à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration, impossible reboiser avec cette qualité hydrologique.

[6 et 11]/15 : état hydrologique moyen, les critères hydrologiques sont à prendre en compte dans le processus de restauration pour assurer une réussite au projet.

[11 et 15]/15 : état hydrologique satisfaisant, les critères hydrologiques ne sont pas à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration.

*Pour un résultat moyen ou médiocre, s'intéresser aux critères les moins bien notés et se référer aux fiches d'actions pour savoir comment pallier les manquements.*

## STRATES DES PALÉTUVIERS PAR RAPPORT AU FRONT DE MER

- Comment l'observer sur le terrain ?

Observer les espèces présentes les plus proche du front de mer, plus en arrière dans les terres, etc et ce jusqu'au tanne.

Est-ce que les espèces sont placées comme dans le tableau ci- contre ?

Y a-t-il des propagules ou des jeunes plants plantés dans des zones où l'espèce en question n'est pas censé être présente ?

Famille	Nom de l'espèce	Nom Malagasy Sakalava en	Première description	Position dans la mangrove	Photo
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Sonneratia alba</i>	Farafaka	S.m, 1816	En première ligne	 © Hessm
<i>Avicenniaceae</i>	<i>Avicennia marina</i>	AfiAfy	(Forssk.)Vierh., 1907	En première ligne ou vers la tanne	 © Tom Rulkens
<i>Rhizophoraceae</i>	<i>Rhizophora mucronata</i>	Honko lay	Lam., 1804	Au centre	
<i>Rhizophoraceae</i>	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Tsitolonina	(L.) Savigny, 1798	Au centre	 © Ria Tin
<i>Rhizophoraceae</i>	<i>Ceriops tagal</i>	Honko vavy	(Perr.) C.B.Rob., 1908	Au centre parfois, le plus souvent vers la tanne	 © Alchetron © Lalithamba Avadhutam

Les différents résultats possibles :

1. Organisation de la mangrove très déstructurée, les espèces ne se trouvent pas dans les zones où elles devraient être et peuvent donc avoir du mal à se développer. Il peut y avoir des propagules ou des jeunes plants plantés dans des zones où ils ne devraient pas être.
2. Organisation de la mangrove telle que ça apparaît dans la nature, mais jeunes plants et propagules plantés sans suivre les stratifications.
3. Organisation de la mangrove telle que ça apparaît dans la nature, jeunes plants et propagules plantés en suivant les stratifications.

\*Voir avec le guide

CRITÈRES DE DIAGNOSTIC À RELEVÉR À L'ÉCHELLE DES QUADRATS

7

FICHE DE RESTAURATION – LA FLORE

ÉTAT DE LA VÉGÉTATION

- Comment l'observer sur le terrain ?

Est-ce que des microalgues / de la vase viennent se déposer sur les feuilles et les racines et réduisent la photosynthèse ? (Voir photo ci-contre)

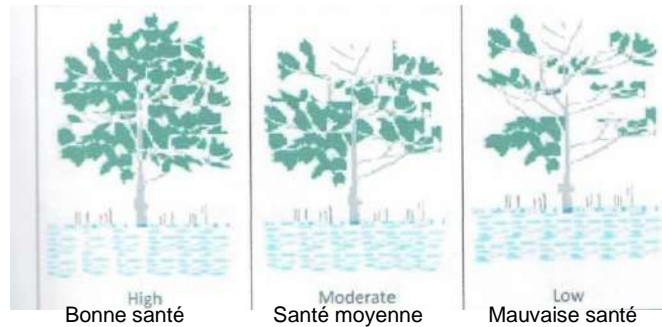
En se basant sur une analyse rapide des couronnes foliaires, est ce que les plants sont en bonne santé ? (Voir figure ci-contre)



Y a-t-il des traces de feuilles mangées par les chèvres sur les arbres ? Des feuilles coupées par l'homme ?

Est-ce qu'on l'on trouve des feuilles avec des tâches noires ? De même pour les propagules ? Est-ce que l'on voit que les plants blanchissent ? (Voir photo ci-contre)

Est-ce qu'il y a peu ou beaucoup de branches mortes naturellement ou par coupe sur les pieds ?



- Les différents résultats possibles :

1. Mauvaise santé : beaucoup de plants blanchis et/ou beaucoup d'arbres broutés et/ou beaucoup de feuilles jaunies et/ou noircies et/ou chutes de feuilles importantes et/ou beaucoup de jeunes plants avec de la vase ou des microalgues sur les feuilles et/ou beaucoup de branches mortes naturellement ou par coupe sur les pieds.
2. Santé moyenne : quelques plants blanchis et/ou une petite partie d'arbres broutés et/ou feuilles jaunies et/ou noircies et/ou chutes de feuilles importantes et/ou quelques jeunes plants avec de la vase ou des microalgues sur les feuilles et/ou quelques branches mortes naturellement ou par coupe sur les pieds.
3. Bonne santé : pas ou peu de plants blanchis, pas de signe particulier sur les feuilles de mauvaise santé ou très peu, pas ou peu de jeunes plants avec de la vase ou des microalgues sur les feuilles et/ou pas ou peu de branches mortes naturellement ou par coupe sur les pieds.

\*Voir avec le guide

## ÉTAT DE LA ZONE HOMOGÈNE

- Comment l'observer sur le terrain ?

Observez la quadra d'étude, qui est représentatif de la zone homogène. Est-ce que le terrain est totalement dénué d'arbres ou est ce qu'il reste uniquement quelques arbres épars ? Est-ce qu'une coupe sélective abusive a eu lieu sur la zone, ou une destruction des plants du même type mais par cause naturelle (pression des vagues, etc) ? Est-ce que la zone est une parcelle qui a été replantée de la mauvaise manière ?

*Remarque : pour savoir si c'est une coupe sélective abusive, il est possible de poser cette question aux habitants ou au guide local présent lors de l'étude de terrain.*



Images 1 : coupe à blanc des arbres



Image 2 : coupe sélective de quelques arbres dans une zone



Images 3 : parcelle plantée de la mauvaise manière, des plants de *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal* ont été plantés en bord de mer, un milieu qui ne correspond pas à leur zone de développement.

- Les différents résultats possibles :

1. Entre 0 et 30% de couverture forestière ou zone replantée de la mauvaise manière : images 1 et 3.
2. Entre 31 et 50% de couverture forestière : image 2.
3. Entre 51 et 75% de couverture forestière.

### QUEL ÉTAT FLORISTIQUE SUIVANT LE RÉSULTAT ?

[0 et 3]/9 : état de la flore médiocre, les plants de palétuviers sont dans un état dégradé, il faut absolument prendre en compte les critères de restauration de la flore pour assurer la bonne réalisation de la restauration.

[3 et 7]/9 : état de la flore moyen, les plants de palétuviers n'ont pas un état optimal, les critères de restauration en ce qui concerne la flore sont à prendre en compte pour assurer la bonne réalisation de la restauration.

[7 et 9]/9 : état de la flore satisfaisant, les plants de palétuviers sont en bonne santé malgré une déforestation possible de la zone.

*Pour un résultat moyen ou médiocre, s'intéresser aux critères les moins bien notés et se référer aux fiches d'actions pour savoir comment pallier les manquements. De plus, s'intéresser aux critères de restauration du sol et hydrologiques car ils sont fortement interconnectés avec ceux de la flore.*

## FICHE DE RESTAURATION – LE SOL

## LE TYPE DE SOL

- Comment l'observer sur le terrain ?

Observations à l'œil nu et texture à la main.

Il faut chercher à savoir si le type de substrat est adapté au milieu étudié.



Image 1 : sable, retrouvé en front de mer



Image 2 : mélange sablo-vaseux, retrouvé en front de mer jusqu'en mangrove centrale et au niveau du tanne



Image 3 : vase, retrouvée en mangrove centrale et interne

- Les différents résultats possibles :

1. Substrat qui ne correspond pas au milieu étudié (par exemple, du sable en mangrove centrale).
2. Substrat qui ne correspond pas tout à fait à celui du milieu en bonne santé (par exemple, mélange sablo-vaseux à la place de la vase).
3. Substrat qui correspond au milieu étudié.

## LE CONTENU DU SOL

- Comment l'observer sur le terrain ?

Observer si on retrouve des couches de matière organique au sol, des éléments morts en décomposition, de la biodiversité.



Image 1 : présence de beaucoup de matière organique au sol



Image 2 : présence moyenne de matière organique au sol



Image 3 : pas ou peu de matière organique au sol

- Les différents résultats possibles :

1. Beaucoup de matière organique, on retrouve un nombre important de feuilles, bois et faune morte sur le sol.
2. Quantité de matière organique au sol moyenne, on retrouve un peu de feuilles, bois et faune morte au sol
3. Pas ou peu de matière organique, on ne retrouve peu voire pas de feuilles, bois et faune morte au sol

## Fiche de diagnostic – La flore

### QUEL ÉTAT DU SOL SELON LE RÉSULTAT ?

10 et 21/6 : sol de qualité médiocre, ce sol ne permet pas le bon développement de plantes, ces critères sont à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration, autrement la reforestation risque d'être compromise.

12 et 51/6 : sol de qualité moyen, certaines espèces peuvent vivre dans ce sol mais les conditions ne sont pas optimales, ces critères sont à prendre en compte dans le processus de restauration pour assurer une réussite au projet.

15 et 61/6 : sol de qualité satisfaisant, les plantes peuvent bien s'y développer, ces critères ne sont pas à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration.

## FICHE DE RESTAURATION – LA FAUNE

## LES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES (CRABES, MOLLUSQUES)

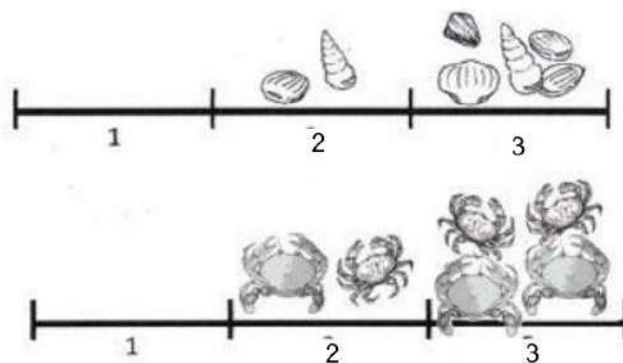
- Comment l'observer sur le terrain ?

Effectuer un quadrat de 1mx1m dans un angle d'un quadrat de 5mx5m. Rester à proximité de ce coin du quadrat pendant 5 minutes, dans le silence, et compter les différentes espèces que l'on peut recenser. Les images ci-dessous sont des exemples des espèces les plus représentées. Est-ce que le nombre de macroinvertébrés est important par rapport aux zones semblables dans d'autres mangroves ?

Image 1 : *Neosartium meinerti* (crabe-araignée)Image 2 : *Uca annulipes* (crabe violoniste)Image 3 : *Goniopsis pelii* (crabe mangeur de feuilles)

- Les différents résultats possibles :

1. Peu de présence de macroinvertébrés benthiques.
2. Présence moyenne de macroinvertébrés benthiques.
3. Forte présence de macroinvertébrés benthiques.



\*Voir avec le guide

## PRÉSENCE D' AUTRES ANIMAUX MARINS

- Comment l'observer sur le terrain ?

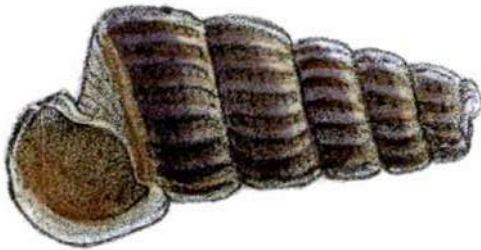
Lors des relevés de terrain, des animaux marins sont visibles à marée basse. Dans les quadrats réalisés dans les zones homogènes ou ces animaux peuvent être présents en temps normal (voir avec le guide), relever leur présence sans les comptabiliser. Le faire pour les espèces *Scylla serrata* (crabe de mangrove, dit « Drakaka » en malgache), de *Periophthalmus sp* (gobies, dit « Kitrantran » en malgache), de *Terebralia palustris* (bulots, dit « Ankora » en malgache), de *Pagurus bernhardus* (Bernard l'Hermite) et de *Saccostrea cuculla* (huîtres de mangroves, dit « Saja » en malgache).



*Periophthalmus sp* (gobies)



*Terebralia palustris* (bulots)



*Pagurus bernhardus* (Bernard l'Hermite)



*Saccostrea cuculla* (huîtres de mangroves)



*Scylla serrata* (crabe de mangrove)

- Les différents résultats possibles
1. Aucune des espèces présentes.
  2. Entre une et trois des espèces présentes.
  3. Plus de quatre espèces présentes.

\*Voir avec le guide

QUEL EST L'ÉTAT DE LA FAUNE SELON LE RÉSULTAT ?

[0 et 2]/6 : peu de présence de la faune, beaucoup d'espèces ne sont pas présentes et leurs réinsertions sera cruciale pour le bon fonctionnement de l'écosystème, ce critère sera à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration, impossible reboiser.

[2 et 5]/6 : présence de la faune qui est moyenne, certaines espèces ne sont pas présentes ou en trop faible quantité pour permettre le bon fonctionnement de l'écosystème. Il faudra songer à restaurer leurs habitats. Ce critère sera à prendre en compte dans le processus de restauration pour assurer une réussite au projet.

[5 et 6]/6 : présence satisfaisante de la faune, l'écosystème fonctionne bien, ce critère ne sera pas à prendre en compte prioritairement dans le processus de restauration.

## DOCUMENT D'ÉVALUATION DE L'ÉTAT GÉNÉRAL D'UN SITE

Ce tableau permet de rentrer les notations pour chaque critère et de donner une note générale qui reflète l'état de chacune des zones homogènes relevées sur le site étudié. En fonction de la notation, certains critères seront à revoir afin que la reforestation soit optimale. Cette manière de traiter les données vient en complément de celle via QGIS, et non en remplacement.

Dans un souci d'harmonisation, chacun des fichiers Excel seront nommés sous la forme : « année\_mois\_jours\_commune\_fokontany\_nomdusite » avec :

Année = année de la réalisation du diagnostic,

Mois = mois de la réalisation du diagnostic,

Jour = jour de réalisation du diagnostic,

Commune = commune ou la zone étudiée est située,

Fokontany = nom du chef du village étudié,

Nomdusite = nom du site étudié (exemple : « site1 »).

Il est à noter que aucun accent ou caractères spéciaux ne doivent être mis dans le nom des tableaux.

### Exemple :

Un technicien mangrove réalise le 15 juillet 2023 à Ambalatsingy (après avoir eu l'accord du chef fokontany Monsieur Velomaso) un diagnostic de site de mangrove. Il nomme sur sa fiche le premier site étudié « site 1 ». Le fichier Excel associé à ce site sera donc nommé « 2023\_07\_15\_ambalatsingy\_velomaso\_zone1 ».

Pour chacun des sites, le fichier Excel sera donc à remplir. Une feuille sera remplie pour chacune des zones homogènes, et les informations pour chacun des quadrats seront également reportées de manière à ce que les deux tableaux en figure 6 soient complétés.

Numéro de la zone homogène :	1	Nom de la zone homogène :		
<b>Critères à relever au niveau de la zone homogène</b>				
Valeur	1	2	3	Score
<b>HYDROLOGIE</b>				
Erosion	Erosion grave	Erosion modérée	Absence d'érosion	
Ruisseaux / rivières	Eau stagnante	Réseau faible	Réseau fonctionnel	
Inondation/sécheresse	Faible/souvent	Modéré/modéré	Souvent/faible	
Présence de digues et / ou de brèches	Digues solides et très étanches	Digue avec des brèches	Pas de digue	
Force du courant, de la houle et du vent	Recul de la mangrove	Stabilité de la mangrove	Avancement de la mangrove	
			<b>Total</b>	
<b>FLORE</b>				
Strates des palétuviers par rapport au front de mer	Très destructurée	Moyennement destructurée	Bien structurée	
			<b>Total sur 18</b>	<b>0</b>

Critères à relever au niveau des quadrats : quadrat 1				
FLORE				
Etat de la végétation	Mauvaise santé	Santé moyenne	Bonne santé	
Etat de la zone	Entre 0 et 30% de couverture forestière ou mal planté	Entre 31 et 50% de couverture forestière	Entre 51 et 75% de couverture forestière	
Total				0
SOL				
Type	Substrat ne correspondant pas au milieu d'étude	Substrat ne correspondant pas tout à fait au milieu étudié	Substrat correspondant au milieu étudié	
Contenu	Beaucoup de matière organique	Présence moyenne de matière organique	Peu de matière organique	
Total				0
FAUNE				
Macroinvertébrés benthiques (crabes, mollusques)	Peu présent	Moyen	Fort	
Présence d'autres animaux marins	Aucune espèce	Entre une et trois espèces	Plus de quatre espèces	
Total				0
Total sur 18				0

Figure 6: Tableau Excel permettant d'avoir l'état général des zones homogènes (BONHOMME Paul, CHAILLOT Eléa, 2023)

## C. CRITÈRES ET INDICES COMPLÉMENTAIRES AU DIAGNOSTIC DE LA ZONE

Les critères et indices présentés dans cette partie se réfèrent à des données qui seront issus des phases de terrain, ils seront donc à analyser en retour de mission.

### LA SALINITÉ DU SOL

Pourquoi la calculer ? Les palétuviers sont plus ou moins sensibles au taux de salinité du sol dans lesquels ils sont implantés (Cf. annexe 11). Il est donc important de connaître cette salinité après déforestation afin de savoir quelles espèces pourront être réimplantés.

Le tanne est une zone qui est recouverte par l'eau seulement aux forts coefficients de marée, et est soumise à un fort taux d'évaporation ce qui induit de hautes concentrations en sel. Sur cette zone, les palétuviers ne se développent pas. Sur un tanne vif, la vase est recouverte d'un voile de cyanobactéries qui forme une couche épaisse.

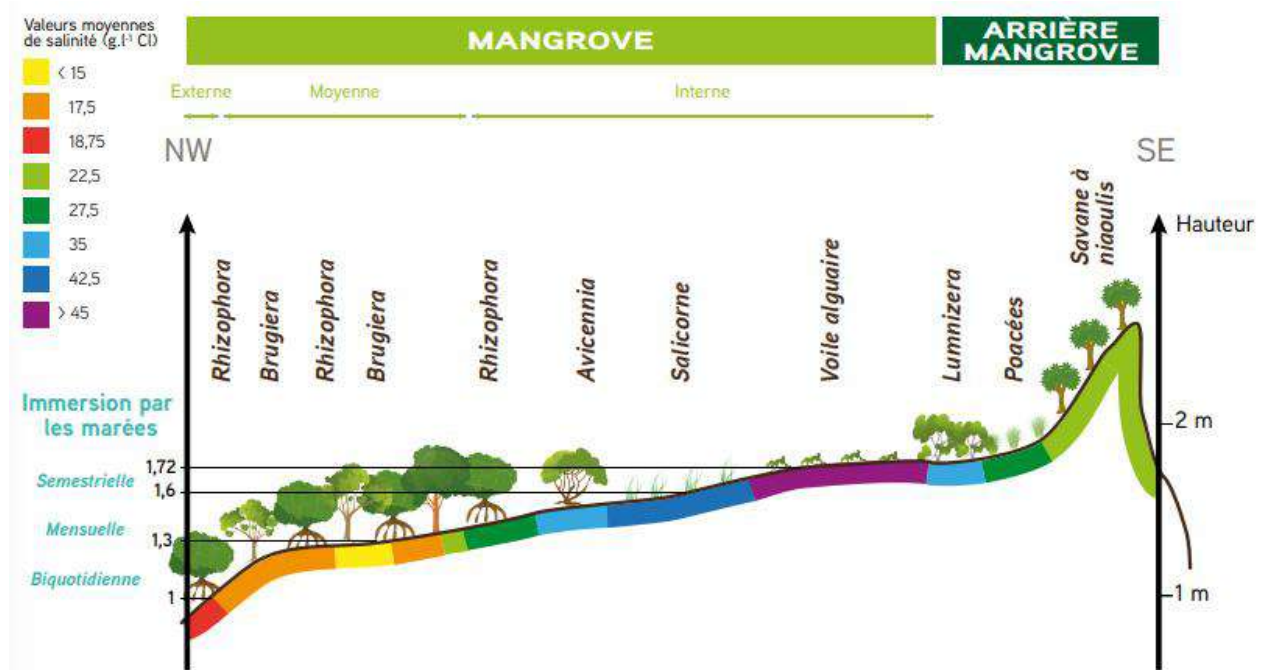


Figure 7: Profil d'une mangrove avec indication des valeurs moyennes de salinité dans le sol (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

Un conductimètre électronique peut être utilisé pour calculer le taux de salinité de l'eau comme du sol (Cf. figure 8).

Comment fonctionne un conductimètre électronique ? Le principe de l'appareil est de faire passer un courant électrique dans un matériau afin de mesurer sa résistance. Plus la salinité est élevée, plus la conductivité est élevée. Il suffit de suivre les instructions données dans le manuel d'utilisation pour l'utiliser.



Figure 8: Schéma d'un conductimètre électronique avec sa sonde (WikiHow, n.d.)

Via l'utilisation de cet appareil, nous obtiendrons un taux de salinité du sol en mS/cm.

Les différents résultats possibles :

Milieu hypersalin (>40 ppt),  
Salinité moyenne (26 à 32 ppt),  
Salinité faible (<25 ppt).

*Remarque : 1 mS/cm = 640 ppm = 640\*10<sup>6</sup>ppt.*

*ppt : partie par billion.*

*ppm : partie par million.*

## LA VITESSE DE L'EAU DANS LES RUISSEAUX DE MARÉE

Pourquoi la calculer ? Ce paramètre ne s'intéresse pas à l'arrachage des propagules, mais permet de savoir si de l'eau stagnante est présente.

- Si le ruisseau a un faible débit / vitesse ou un fort débit / vitesse et que toute la zone en eau a une qualité de drainage suffisante, alors la vitesse de l'eau dans la zone est suffisante et aucune eau ne sera stagnante.
- Dans le cas où le ruisseau a un faible débit / vitesse ou un fort débit / vitesse mais que toute la zone en eau ne se vide pas, alors il y a possiblement un problème (pas assez de pente, ruisseau pas assez profond ou large) : il est possible de trouver de l'eau stagnante dans la zone d'étude.

- Matériel :
  - Chronomètre,
  - Mètre.

- Méthode :

Le meilleur moment pour calculer ces vitesses est pendant la marée montante. Dans ce cas-là le niveau de l'eau dans le ruisseau, et donc la vitesse de l'eau, atteint généralement son maximum. En mesurant la vitesse à marée montante, il est possible d'avoir une estimation de la vitesse maximale.

Il faut poster une personne à un endroit du ruisseau et une seconde 20m plus loin en aval du ruisseau (Cf. figure 9). La première personne, en aval, lâche une feuille et lance le chronomètre. Lorsque la seconde personne, en amont, voit la feuille passer à son niveau, elle informe immédiatement la première personne qui stoppe le chronomètre. Répéter l'opération

cinq fois afin de pouvoir faire une moyenne.

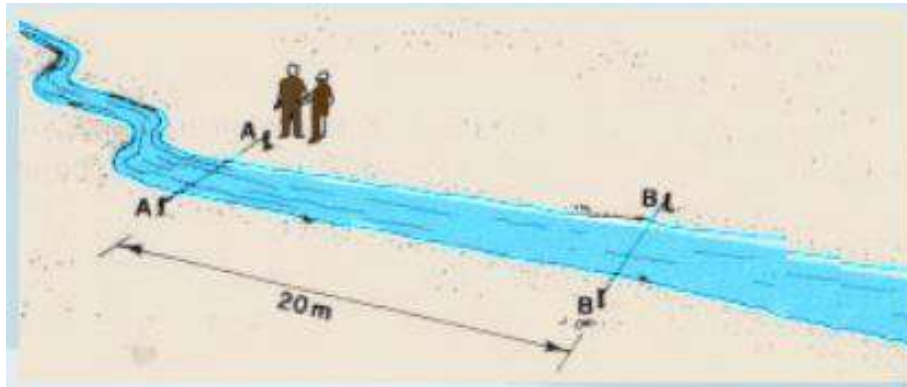


Figure 9: Schéma de la mise en place du calcul de vitesse de ruisseau de marée (Estimation du débit d'eau, s. d.)

Ensuite, la formule ci-dessous permet d'obtenir la vitesse du courant :

$$V=d/t$$

Avec :

V= vitesse en m/s,

d= la distance parcourue en mètres,

t= le temps émit pour parcourir la distance en secondes

Exemple : Les personnes sont postées à 20 mètres l'une de l'autre le long du ruisseau.

La première personne jette la feuille et démarre le chronomètre, la seconde personne informe la première que la feuille est passé et arrête le chronomètre. L'opération est réalisée 5 fois et les résultats suivants sont obtenus :

Numéro de l'essai	Temps (en secondes)
1	26
2	34
3	27
4	31
5	29

La moyenne des temps récupérés est alors calculée :

$$T = (26+34+27+31+29)/5 = 29,4 \text{ s.}$$

La vitesse moyenne est donc :

$$V = 20/29,4 = 0,68\text{m/s.}$$

De même, ce calcul peut se faire via un tableur Excel afin de gagner du temps.

Nombre d'ess	Temps (en s)		
1	26	Moyenne T=	29,4
2	34	V (en m/s)=	0,68027211
3	27		
4	31		
5	29		

## LES CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES

Pourquoi les calculer ? Ces caractéristiques peuvent donner des indications quant à l'âge de l'arbre, son développement et son état de santé.

Tous ces protocoles sont tirés de Freydet & Bonnardot, 2020, et adaptés quant aux spécificités des mangroves.

- Circonférence du tronc (DBH, diameter breast high) :
  - Matériel : un mètre ruban chevillière.
  - Méthode : Prendre la mesure entre 10 et 40 cm du sol pour les petits pieds et à environ 1.3m du sol pour les grands. Faire cela dans un plan perpendiculaire à l'axe du tronc, de manière que le mètre soit bien tendu. Une fois le placement fait, prendre la mesure. Si l'arbre a été coupé, faire de même au niveau de la souche (Cf. figure 10).

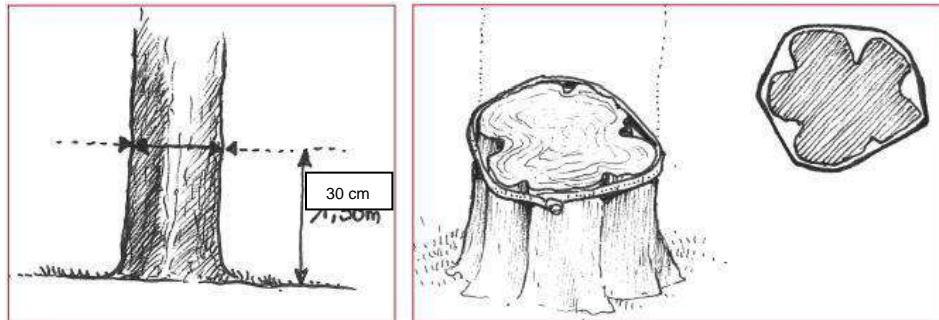


Figure 10: Schéma de la mesure de la circonférence d'un tronc (Freydet & Bonnardot, 2020)

Il est alors possible d'obtenir le diamètre du tronc, la circonférence et le diamètre au travers de la relation :  $D = C/\pi$ .

Exemple : Le technicien se place devant le tronc d'un arbre. Avec le mètre ruban, il fait le tour du tronc d'arbre à environ 1,3m de haut et regarde où les deux bouts du mètre ruban se rencontrent.

Il obtient alors sur le mètre ruban que la circonférence du tronc est  $C=24$  cm.

Il est alors possible de calculer le diamètre :  $D=24/\pi = 7,64$ cm.

Pour plus de facilité, il est possible d'automatiser cette tâche dans un tableur Excel :

Arbre	Circonférence	Diamètre (cm)
1	22	7,0028175
2	27	8,59436693
3	14	4,45633841
4	16	5,09295818
5	32	10,1859164

- Diamètre de la canopée :
  - Matériel : décamètre ou télémètre laser.
  - Méthode : Ce paramètre peut se mesurer au pas, avec une corde graduée, avec un décamètre ou encore avec un télémètre laser. Il faut prendre deux diamètres de canopée perpendiculaires pour ensuite calculer la moyenne. Cette méthode est facilitée lorsque le soleil permet la présence d'ombres au sol (Cf. figure 11).

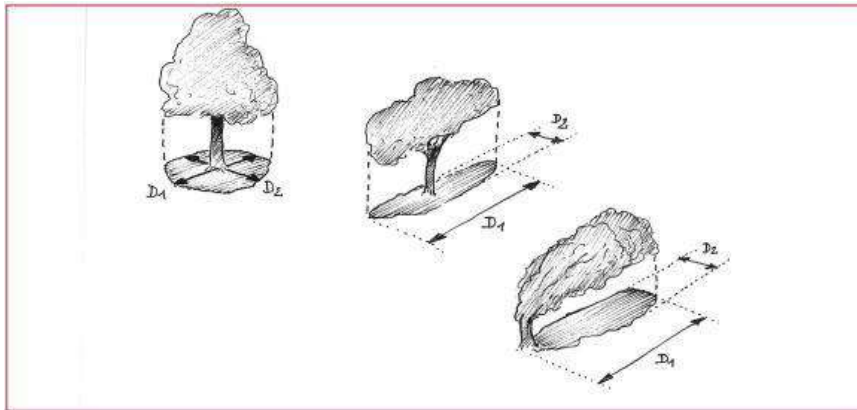


Figure 11: Schéma du calcul du diamètre de la canopée (Freytet & Bonnardot, 2020)

**Exemple :**

Un technicien se place sous un arbre lors d'un moment ensoleillé. Il se place en direction du nord à partir du tronc de l'arbre et il marche dans cette direction jusqu'à ne plus être à l'ombre de la canopée. Il obtient  $D1 = 3m$ .

Il fait de même mais cette fois-ci dans la direction de l'ouest. Il obtient  $D2 = 5m$ .

Il réalise alors la moyenne de ces deux distances :  $D = (D1 + D2) / 2 = (3 + 5) / 2 = 4m$ .

La canopée a donc un diamètre de 4m.

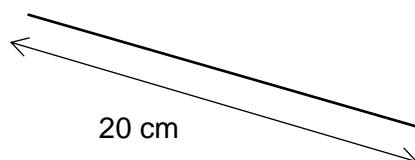
Si le calcul est effectué sur plusieurs arbres, il est possible d'automatiser la tâche dans un tableur Excel :

Arbre	D1 (en m)	D2 (en m)	Diamètre de la canopée (en m)
1	3	7	5
2	6	9	7,5
3	2	3	2,5
4	12	6	9
5	7	2	4,5

*Remarque 1 : le diamètre de canopée se mesure uniquement sur les branches vivantes.*

*Remarque 2 : la méthode de diamètre avec l'ombre ne peut pas être mise en place à n'importe quel moment de la journée. Dans ce cas, privilégier une mesure avec une corde entre le tronc et le moment où le technicien n'est plus sous les branches.*

- Hauteur de l'arbre :
  - Matériel : un dendromètre, un décamètre.
  - Méthode : La croix du bûcheron est un modèle de dendromètre rudimentaire, simple mais efficace. Il faut disposer de deux baguettes droites, d'égale longueur, d'environ 20 cm (rameaux, règles, crayons...).



La première baguette est tenue à l'horizontale, appuyée sur la base du front, entre les deux yeux. La seconde baguette est posée à l'extrémité de la première, verticalement, formant avec la première un angle droit (Cf. figure 12).

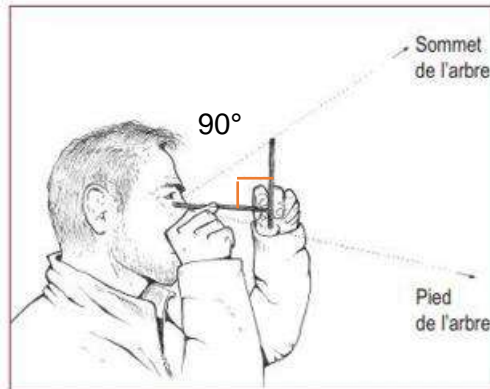


Figure 12: Schéma de la croix du bûcheron (Freytet & Bonnardot, 2020)

Il faut s'éloigner ou s'approcher de l'arbre jusqu'à ce que l'extrémité haute de la baguette verticale corresponde à la cime de l'arbre et l'extrémité basse de la baguette corresponde à la base du tronc. La distance mesurée avec un décimètre entre soi et la base du tronc est alors égale à la hauteur de l'arbre (Cf. figure 13). Il faut réaliser la mesure plusieurs fois afin d'obtenir une moyenne de la hauteur de l'arbre.

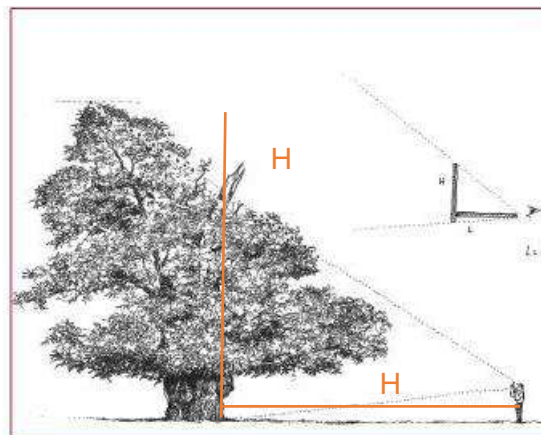


Figure 13: Schéma de la méthode de calcul de la hauteur d'arbre avec la croix du bûcheron (Freytet & Bonnardot, 2020)

Exemple : Une personne trouve 2 bâtons de 20 centimètres et forme la croix du bûcheron. Elle se place au niveau du tronc de l'arbre et met la croix du bûcheron au niveau de son front, entre les deux yeux. Cette personne recule alors jusqu'à obtenir le bas du bâton au niveau du pied de l'arbre et le haut du bâton au niveau du sommet de l'arbre. Une seconde personne vient alors avec un décimètre prendre la distance entre le tronc de l'arbre et la première personne. L'expérience est réalisée plusieurs fois et les résultats suivants sont obtenus :

Nombre d'essais	Distance tronc-personne (en m)
1	9,3
2	9,8
3	10,2

4	9,1
5	8,8

On calcul ensuite la moyenne des distances :

$$D=9,3+9,8+10,2+9,1+8,8 = 9,44$$

Cette distance correspond donc à la hauteur de l'arbre.

On peut également faire cela sur Excel :

Nombre d'essais	Distance tronc-personne (en m)
1	9,3
2	9,8
3	10,2
4	9,1
5	8,8
Moyenne D (en m)=	9,44

*Remarque : les méthodes permettant de calculer le diamètre de canopée et la hauteur d'arbre sont parfois compliqués à mettre en place sur le terrain en vue de la densité des forêt ou autres paramètres. Dans ce cas, la méthode préconisé est de faire à vue d'œil, si possible avec un seul observateur qui évalue ces mesures afin de garder un même référentiel.*

## VÉGÉTATION DE L'ARRIÈRE-PAYS

Pourquoi l'observer ? Ce critère donne des indices quant à l'état hydrologique et l'état du sol que l'on peut retrouver dans la mangrove.

- Méthode : Observer la zone présente derrière la mangrove, au niveau du tanne et au-delà. Se poser les questions :
  1. Y a-t-il des habitations ? Des routes ? Des zones déboisées ?
  2. Des zones agricoles ?
  3. Des forêts ? Des zones humides ?

Si c'est le cas 1, alors des espaces non naturels sont présents. Les espaces non naturels peuvent alors modifier le régime hydrologique et l'hydrodynamique de la mangrove en aval. Cela peut ainsi par la suite impacter le sol et l'état de santé de la forêt.

Le même constat aura lieu avec la présence de zones agricoles en arrière-pays.

Dans le troisième cas, une zone naturelle est présente, le régime hydrologique et l'hydrodynamique sont intacts, le fonctionnement du sol et la dynamique de fonctionnement de la mangrove sont intacts.

*Remarque : Une zone déforestée correspond à un espace non naturel.*

## D. A L'AVENIR

Comme expliqué au début de document, ce guide a pour but de fournir une méthode d'étude des zones de mangroves déboisées. Ce guide a été réalisé avec les connaissances scientifiques actuelles, laissant alors des idées et pistes de réflexion en suspens. Cette partie s'intéresse à ces pistes de réflexion.

### LA COMPACTION DU SOL

La compaction du sol est un paramètre permettant de savoir si des plantes et leur système racinaire peuvent se développer dans le milieu et si les macroinvertébrés peuvent y vivre.

Ce paramètre se trouve dans cette partie car traitant avec des sols sableux ou vaseux, ce paramètre peut être complexe à traiter. En effet, ce test est plus facile à réaliser sur des sols solides et dans le cas de la mangrove, en dehors d'un sol vaseux asséché, ce type de sol n'est pas visible. A l'avenir, si une autre méthode est trouvée afin d'avoir une façon de connaître de manière plus précise le taux de compaction d'un sol vaseux, voir sableux, ce calcul pourra être effectué dans la mangrove.

Un test à la bêche peut permettre d'observer le sol et sa compaction, le tout à l'œil nu (Cf. figure 14).

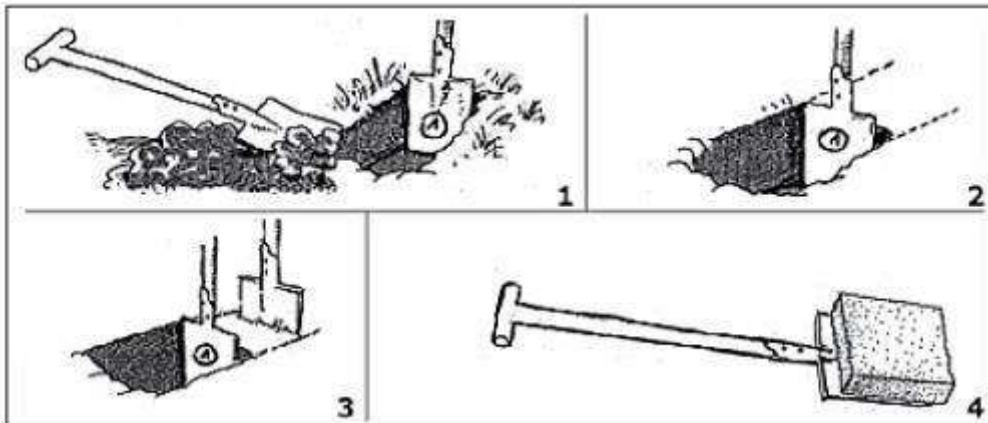


Figure 14: Schéma du test à la bêche afin de connaître la compaction du sol (BOURLET Juliette, 2020)

Puisque le milieu de travail est composé d'un sol vaseux, la méthode de la tête à la bêche est plutôt compliquée à réaliser et peut sembler inutile (la vase n'est pas compacte). De la même manière, le sol au nouveau du tanne est compact, dur et sec par nature : ce test semble encore une fois peu intéressant à réaliser.

Enfin, les crabes de mangroves se retrouvent dans le sable du front de mer jusqu'au tanne, et aucune bibliographie sur la compaction du sol de mangroves existe. Cela reste donc une idée à creuser.

### LE DÉBIT DU RUISSEAU DE MARÉE

Les ruisseaux de marées permettent à l'eau de mer rentrant dans le cœur de mangrove lors de la montée des eaux de retourner à l'océan. Ces mouvements sont nécessaires pour un bon fonctionnement des forêts de mangroves.

Dans ce contexte, le débit des ruisseaux de marées peut sembler intéressant à

calculer. Ce dernier peut nous indiquer des modifications hydrodynamique, ainsi que des modifications morphologiques des ruisseaux de marée. Un protocole de calcul du débit issu de *Estimation du débit d'eau*, s. d., est présenté ci-dessous.

- Matériel :
  - Mètre,
  - Calculatrice.

- Méthode :

Afin d'obtenir le débit, mesurer la largeur du ruisseau de marée ainsi que sa profondeur au milieu, et ce tous les 4 mètres sur 20 mètres de longueur. Ensuite, faire une moyenne de ces résultats afin d'avoir la largeur moyenne et la profondeur moyenne.

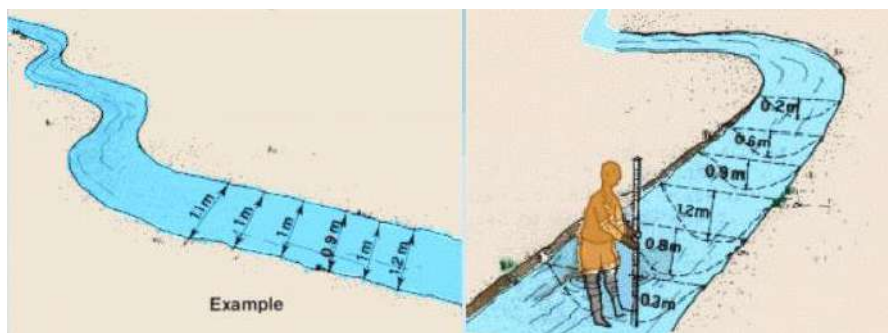


Figure 15: Schéma de prise de mesures afin de connaître la largeur et profondeur du ruisseau de marée (*Estimation du débit d'eau*, s. d.)

Enfin, il est possible d'obtenir le débit en multipliant la vitesse par la largeur moyenne et la profondeur moyenne :

$$Q = V * L * P$$

Avec :

Q= le débit en  $m^3/s$ ,

V= la vitesse,

L= la largeur moyenne,

P= la profondeur moyenne.

Or, bien que ce calcul soit réalisable, son résultat ne sera pas exploitable. En effet, ce qu'il faut surtout savoir est « est ce que l'ensemble de l'eau de marée qui rentre dans les terres repars à la mer ? ». En plus du débit du ruisseau de marée, il faudrait surtout savoir la quantité d'eau drainée par ce ruisseau, ce qui nécessite aussi d'inclure les apports d'eau douce par les terres. Cela n'est actuellement pas réalisable de manière aisée, d'où la présence de ce paramètre dans cette section.

## LA PRÉSENCE D' OISEAUX

Certaines espèces d'oiseaux nichent dans les palétuviers et seraient donc intéressantes à relever. Cela serait un moyen de savoir si l'écosystème de la mangrove est en bonne santé car ces arbres sont des foyers pour certaines espèces d'oiseaux. Un protocole avait été mis en place pour relever cette présence, mais il est compliqué de savoir quelles espèces sont vues et surtout si elles nichent bien à proximité des zones étudiées et non plus

loin. De plus, le protocole était long à mettre en place : il est décrit ci-dessous.

« Se mettre sur trois points stratégiques : une personne à la jonction mer-mangrove, une deuxième dans le cœur de la mangrove et une troisième à l'interface entre la mangrove et l'arrière-pays s'ils sont présent dans la zone étudiée. S'ils n'y sont pas, prendre des points de relevé sur les différents points du transect. Le but est de dresser un inventaire à ces différents points à des heures différentes, qui seront définies selon les horaires de marée. Pendant ces horaires, identifier et compter les oiseaux présents dans le secteur.

A noter : si l'espèce n'est pas reconnue, noter sur la feuille de données « espèce 1 », « espèce 2 » ... et essayer de prendre une photo d'un oiseau représentatif de l'espèce afin d'essayer de la reconnaître ultérieurement.

- Les différents résultats possibles
  1. Les oiseaux n'exploitent pas la mangrove mais leur niveau de fréquentation est plus ou moins élevé,
  2. Les oiseaux exploitent de manière occasionnelle et leur fréquence est de même occasionnelle,
  3. Les oiseaux exploitent et ont une fréquentation élevée des arbres de mangrove ».

En plus du caractère chronophage de la méthode et de la difficulté à reconnaître les espèces, il est compliqué de connaître l'exploitation de la mangrove par les oiseaux en si peu de temps et sur une zone si faible. Le but serait de développer une méthode qui permettrait de connaître les oiseaux qui viennent de manière régulière sur la zone d'étude et l'utilisation que ces oiseaux ont de la mangrove, par exemple via des pièges photos.

## LA PRÉSENCE DE CREVETTE ET DE POISSONS

Relever la présence de crevettes et de poissons dans le milieu serait un moyen de savoir si l'écosystème de la mangrove est en bonne santé car ces arbres sont des foyers pour certaines espèces de crevettes et poissons.

L'observation de ce paramètre peut être mis en place au travers de pièges photos sous-marins mis en divers endroits dans la mangrove qui est immergée à marée haute. Ensuite, récupérer les vidéos et dresser un inventaire des espèces ainsi que le nombre d'individus qui passent. Il est aussi possible de mettre en place un filet maillant que l'on relève lors de la descente de la marée pour connaître le nombre et les espèces de poissons.

## LA CHIMIE DU SOL

Un lien semblerait exister entre la salinité du sol et les nutriments présents (phosphore, azote, etc), et peut être par extension, avec la croissance des palétuviers. Ce point sera donc à développer à l'avenir de manière à avoir un protocole de diagnostic des zones de mangroves déboisées le plus complet précis. Une bibliographie indicative sur ce point est disponible ci-dessous :

Alongi, D. (2018, septembre 25). *Impact of Global Change on Nutrient Dynamics in Mangrove Forests*. <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/10/596>

Alongi, D. m., Boto, K. g., & Robertson, A. i. (1992). Nitrogen and Phosphorus Cycles. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 251-292). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0251>

Alongi, D. m., & Sasekumar, A. (1992). Benthic Communities. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 137-171). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0137>

- Bunt, J. S. (1992). Introduction. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 1-6). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0001>
- Clough, B. f. (1992). Primary Productivity and Growth of Mangrove Forests. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 225-249). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0225>
- Coastal and Estuarine Sciences. (1992). In *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1002/9781118665084.oth1>
- Coutinho, Melo, H., Roberto, M., & Ferreira, T. (2022). *Sustainability | Free Full-Text | Applying the Soil Management Assessment Framework (SMAF) to Assess Mangrove Soil Quality*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/3085>
- Duke, N. C. (1992). Mangrove Floristics and Biogeography. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 63-100). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0063>
- Ellegaard, M., Nguyen, N. T. G., Andersen, T. J., Michelsen, A., Nguyen, N. L., Doan, N. H., Kristensen, E., Weckström, K., Son, T. P. H., & Lund-Hansen, L. C. (2014). Temporal changes in physical, chemical and biological sediment parameters in a tropical estuary after mangrove deforestation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 142, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.03.007>
- Ferreira, T. O., Queiroz, H. M., Nóbrega, G. N., de Souza Júnior, V. S., Barcellos, D., Ferreira, A. D., & Otero, X. L. (2022). Litho-climatic characteristics and its control over mangrove soil geochemistry: A macro-scale approach. *Science of The Total Environment*, 811, 152152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152152>
- Front Matter. (1992). In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. ii-x). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1002/9781118665084.fmatter>
- Inoue, T., Nohara, S., Matsumoto, K., & Anzai, Y. (2011, mai 21). *What happens to soil chemical properties after mangrove plants colonize ? | SpringerLink*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-0816-9>
- Kondo, A. K., Nyomora, A., & Njau, K. N. (2013). Pollutants Removal Efficiency of two Mangroves Species (*Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*) in Treating Domestic Sewage. *Huria: Journal of the Open University of Tanzania*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.4314/huria.v15i1>
- Mei, K., Liu, J., Fan, J., Guo, X., Wu, J., Zhou, Y., Lu, H., & Yan, C. (2021). Low-level arsenite boosts rhizospheric exudation of low-molecular-weight organic acids from mangrove seedlings (*Avicennia marina*): Arsenic phytoextraction, removal, and detoxification. *Science of The Total Environment*, 775, 145685. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145685>
- Oxmann, J., Schwendenmann, L., & Lara, R. (2009, juillet 31). *Interactions among phosphorus, pH and Eh in reforested mangroves, Vietnam : A three-dimensional spatial analysis | SpringerLink*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-009-9345-5>
- Robertson, A. i. (1992). Concluding Remarks : Research and Mangrove Conservation. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 327-329). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0327>
- Robertson, A. i., Alongi, D. m., & Boto, K. g. (1992). Food Chains and Carbon Fluxes. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 293-326). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0293>
- Robertson, A. i., & Blaber, S. j. m. (1992). Plankton, Epibenthos and Fish Communities. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 173-224). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0173>
- Singh, G., Chauhan, R., Ranjan, R. K., Prasad, M. B., & Ramanathan, Al. (2015). Phosphorus dynamics in mangroves of India. *Current Science*, 108(10), 1874-1881.
- Sjöling, S., Mohammed, S. M., Lyimo, T. J., & Kyaruzi, J. J. (2005). Benthic bacterial diversity and nutrient processes in mangroves: Impact of deforestation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63(3), 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.12.002>
- Smith III, T. J. (1992). Forest Structure. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 101-136). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0101>
- Tripathi, R., Shukla, A. K., Shahid, Md., Nayak, D., Puree, C., Mohanty, S., Raja, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyya, P., Panda, B. B., Kumar, A., Jambhulkar, N. N., & Nayak, A. K. (2016). Soil quality in mangrove ecosystem deteriorates due to rice cultivation. *Ecological*

- Engineering*, 90, 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.062>
- Wang, H., Gilbert, J. A., Zhu, Y., & Yang, X. (2018). Salinity is a key factor driving the nitrogen cycling in the mangrove sediment. *Science of The Total Environment*, 631-632, 1342-1349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.102>
- Wolanski, E., Mazda, Y., & Ridd, P. (1992). Mangrove Hydrodynamics. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 43-62). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0043>
- Woodroffe, C. (1992). Mangrove Sediments and Geomorphology. In *Tropical Mangrove Ecosystems* (p. 7-41). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/CE041p0007>
- Zilius, M., Bonaglia, S., Broman, E., Gonzalez, V., Samuiloviene, A., Nascimento, F., Cardini, U., & Bartoli, M. (2020, août 18). *N<sub>2</sub> fixation dominates nitrogen cycling in a mangrove fiddler crab holobiont* | *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-70834-0>

## E. BIBLIOGRAPHIE

- Bostvironnois, A. (2017). Les interactions homme/mangrove dans le cadre de la mise en place d'une Aire Marine Protégée à Gestion Communautaire (AMPGC), Madagascar. Communautés européennes. (1992). Mangroves d'Afrique et de Madagascar. 273.
- Ellison, J., Jungblut, V., Anderson, P., & Slaven, C. (2012). Manual for Mangrove Monitoring in the Pacific Islands Region. [https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual\\_Mangrove\\_Monitoring\\_PICs.pdf](https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual_Mangrove_Monitoring_PICs.pdf)
- Estimation du débit d'eau. (s. d.). Consulté 16 mai 2023, à l'adresse [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6705f/x6705f03.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705f/x6705f03.htm)
- Freytet, F., & Bonnardot, A. (2020). Mesurer les arbres. <http://www.arbres-caue77.org/medias/files/fiche-mesurer-les-arbres-au-24-mars-2020-.pdf>
- Lewis, R. R., & Brown, B. (2014). Ecological Mangrove Rehabilitation (EMR) Manual. Blue Forests. <https://blue-forests.org/en/knowledge/resources-publications/ecological-mangrove-rehabilitation-emr/>
- Rue, O. (1993). *Dynamique des mangroves de guinée.* [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/2021-08/39047.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-08/39047.pdf)
- UICN France. (2017). La liste rouge des écosystèmes en France- Chapitre Mangrove de Mayotte. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2017/04/uicn-lre-mayotte-webbd.pdf>

## II. LES SOLUTIONS À LA SUITE DE LA NOTATION DES FICHES TERRAIN

Cette seconde partie vient en complément à la partie de diagnostic. Elle propose, suivant les résultats des diagnostic de terrain, des pistes et des protocoles de reboisement issus de publications scientifiques pour recréer des forêts de mangroves résilientes. En effet, la plantation de propagules pour reboiser est souvent mise en œuvre, est-ce peu importe la zone dans la mangrove. Seulement, les semis peuvent atteindre 60cm en utilisant uniquement leurs ressources semencières. Au-delà de cette taille, ils peuvent mourir si les conditions ne sont pas adéquates (Ellison et al., 2012). Ce document a donc pour objectif de proposer des plants de reboisements optimaux et durables, est-ce au regard des connaissances actuelles.

### A. LES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE PALÉTUVIERS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

Comme tout végétaux, les différentes espèces de palétuviers ont besoin chacune de substrats et d'apports en eau différentes. Cette section présente un tableau récapitulatif des caractéristiques (type de substrat, taux de salinité, localisation...) (Cf. figure 16) ainsi qu'un second tableau récapitulatif pour les périodes de floraison et plantation pour chacun des palétuviers rencontrés dans les forêts de mangrove du Nord-Ouest de Madagascar (Cf. figure 17). Cela permettra de connaître les conditions de vie de chacune des espèces, et donc de savoir quelles espèces replanter suivant le type de sol et les apports hydriques. En complément, des fiches espèces plus imagées sont fournies en annexe 11.

Espèce	Nature du substrat	Durée d'immersion	Taux de salinité requis	Localisation	Station préférentielle pour la régénération	Morphologie des individus adultes
<i>Sonneratia alba</i> ( <i>Sonneratiaceae</i> )	Sablo-vaseux sur les fronts	Longue à permanente	Moyenne (13,92 à 35,190g/l)	Zones externes (front de la mer)	Sédiments nouvellement formés	3 à 12 m de haut, 15 à 25cm de diamètre, à pneumatophores
<i>Xylocarpus granatum</i> ( <i>Meliaceae</i> )	Sablo-vaseux	Occasionnelle	Faible (10 à 20g/l)	Zones intermédiaires	Sur les bancs externes peu salés	Grands arbres, 10 à 12m de haut, de gros diamètre (60cm),
<i>Rhizophora mucronata</i> ( <i>Rhizophoraceae</i> )	Vaseux riche en substance colloïdale	Régulière et quotidienne	Forte (7,753 à 42,410g/l)	Zones externes (bord des chenaux) et zones intermédiaires	Vase inondée périodiquement	7 à 12m de haut, 10 à 15cm de diamètre, port droit et à racine échasse
<i>Ceriops tagal</i> ( <i>Rhizophoraceae</i> )	Sablo-vaseux à sableux	Courte mais régulière (résistante à une Exondation prolongée)	Forte (15 à 45g/l)	Zones internes et intermédiaires	Bien éclairée	2 à 4m de haut, de petit diamètre (<10cm), port plus moins droit et à contrefort
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> ( <i>Rhizophoraceae</i> )	Sablo-vaseux à compact	Courte mais régulière	Forte (15 à 45g/l)	Zones externes (bord des chenaux) et zones intermédiaires	Vase peu salée périodiquement inondée	10 à 14m de haut, 10 à 15cm de diamètre, à contrefort
<i>Avicennia marina</i> ( <i>Avicenniaceae</i> )	Sablo-vaseux	Immersion quotidienne à occasionnelle (Espèce ubiquiste)	Forte (15 à 45g/l)	Zones externes (bord des chenaux)	Plus ou moins sableux Occasionnellement inondée	4 à 10m de haut, 15 à 20cm de diamètre, à pneumatophores
<i>Lumnitzera racemosa</i> ( <i>Combretaceae</i> )	Sableux	Occasionnelle	Forte (2,625 à 43,021g/l)	Zones internes	Limite interne de l'arrière mangrove	arbuste (<1,5m de haut), feuilles succulentes
<i>Heritiera littoralis</i> ( <i>Sterculiaceae</i> )	Sableux	Occasionnelle	Faible (10 - 20g/l)	Zones internes à la limite des formations non mangroves	Limite interne de l'arrière mangrove	3 à 4m de haut, 7 à 10cm de diamètre

Figure 16: Tableau récapitulatif des caractéristiques des palétuviers du nord-ouest de Madagascar (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable & Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, 2019)

Espèces		Année											
Nom scientifique	Nom en malagasy	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<i>Sonneratia Alba</i>	Farafaka												
<i>Rhizophora Mucronata</i>	Honko Lahy												
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Tsitolonina												
<i>Avicennia Marina</i>	Afiafy												
<i>Ceriops tagal</i>	Honko Vavy												
<i>Lumnitzera racemosa</i>	Lovinjo Vavy												
<i>Pemphis acidula</i>	Lovinjo Lahy												
<i>Xylocarpus Granatum</i>	Antalaotro												
<i>Heritiera Littoralis</i>	Morimony												

	Floraison
	Fructaison
	Plantation

Figure 17: Tableau récapitulatif des moments de floraison et plantation pour les différentes espèces de palétuviers (Salimo Mananjara, 2019)

L'ensemble des sources utilisées pour les fiches espèces sont les suivantes :

Accueil—PI@ntNet. (s. d.). Consulté 13 juin 2023, à l'adresse <https://plantnet.org/>  
D. Blois. (s. d.). Lexique des termes de botanique et d'horticulture.

DORIS - Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatique. (s. d.). Consulté 13 juin 2023, à l'adresse <https://doris.ffesm.fr/>

Douzet, R. (2007). *Petit lexique de botanique à l'usage du débutant*. <http://gentiana.org/sites/commun/generique/fckeditor/File/Systematique/LexiqueDouzet2007.pdf>

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, & Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. (2019). *Etat des lieux des Mangroves de Madagascar*. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/mangrove/etat\\_des\\_lieux\\_des\\_mangroves\\_madagascar\\_2020-01-29.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/mangrove/etat_des_lieux_des_mangroves_madagascar_2020-01-29.pdf)

Museum national d'Histoire naturelle. (s. d.). *INPN - Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)*. Inventaire National du Patrimoine Naturel. Consulté 13 juin 2023, à l'adresse <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

## B. LES FICHES DE SOLUTION

Le but de ce rapport est de proposer un plan de restauration pour les espaces déboisés, il faut donc proposer des solutions afin de mettre en place un plan adapté. La section ici présente présentera des solutions générales pour chacun des critères relevés, et des cas d'étude concrets illustreront ces solutions générales.

## L'ÉROSION

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Érosion grave (falaises à 90 degrés, érosion du rivage mesurable et visible, grande partie de la mangrove touchée).
  2. Érosion modérée (dans certaines zones), traces d'érosion mais le sédiment est toujours présent en quantité.
- Les solutions possibles :

Dans les cas où l'érosion est forte ou modérée (score de 1 ou 2), il sera nécessaire de lutter contre cette dernière. L'érosion est amenée par la force de l'eau, sur des zones qui sont donc présentes face à la mer, près des ruisseaux de marées ou dans des mangroves fluviales. La force de l'eau entraîne également la perte de boue de mangrove et le déplacement de bancs de sables.

Pour une zone face à la mer :

- Si l'érosion est modérée (score de 2), la lutte contre l'érosion doit se faire en plantant les espèces adaptées à ces milieux difficiles, à savoir les *Avicennia marina* et les *Sonneratia alba*. En effet, ces palétuviers fixent le sédiment avec leurs nombreuses racines rayonnantes. Ces deux espèces devront être mises en pépinière au début de leur vie pour maximiser leur chance de développement une fois dans le milieu (voir la partie II.C pour l'espacement entre les plants et pour la mise en place d'une pépinière).
- Si l'érosion est forte (score de 3), alors des digues et/ou des brises lames sont à envisager. Cela permettra également de stabiliser d'éventuels bancs de sable mobiles. Ces structures sont fabriquées avec des matériaux disponibles localement (pierre, bois, etc) et placés devant la plantation. Cela protégera les jeunes plants mis en terre après un début de croissance en pépinière. De plus, ces installations permettront une élévation du sédiment, et donc une diminution de l'érosion (Winterwerp et al., 2020)



Figure 18: a), b) et c) digues de rochers à Ermita, Dumangas et Iloilo (2007-2008). d) support expérimental pour soutenir la croissance, diminuer l'énergie des vagues et piéger le sédiment (Winterwerp et al., 2020)

Remarque : la mise en place de digues est couteuse. Pour être certain que leur mise en place

est nécessaire, ne pas hésiter à interroger le technicien terrain sur la pertinence de cette installation, son vécu est autant d'outils d'aide à la décision.

Pour une zone proche d'un ruisseau de marée :

- Si l'érosion est modérée (score de 2), la lutte contre l'érosion doit se faire en plantant les espèces adaptées à ces milieux difficiles, à savoir les *Avicennia marina* et les *Sonneratia alba*. En effet, ces palétuviers fixent le sédiment avec leurs nombreuses racines rayonnantes. Ces deux espèces devront être mises en pépinière au début de leur vie pour maximiser leur chance de développement une fois dans le milieu (voir la partie II.C pour l'espacement entre les plants et pour la mise en place d'une pépinière).
- Si l'érosion est forte (score de 3), alors c'est la vitesse de l'eau dans le ruisseau de marée qui est trop importante. Si cela est possible, il faudrait le dévier de manière à diminuer sa pente, ce qui diminuera la vitesse du courant et donc l'érosion. Ensuite, replanter la zone avec des *Avicennia marina* et des *Sonneratia alba* qui auront été mis préalablement en pépinière.

S'il n'est pas possible de dévier le ruisseau de marée, alors il est envisageable de mettre en place des petits barrages perpendiculaires à la rivière afin de freiner l'eau, mais aussi de retenir les sédiments qui pourront par la suite servir afin de replanter les espèces *Avicennia marina* et *Sonneratia alba*. Selon la force de l'érosion, il sera possible de mettre plusieurs barrages le long de la rivière.

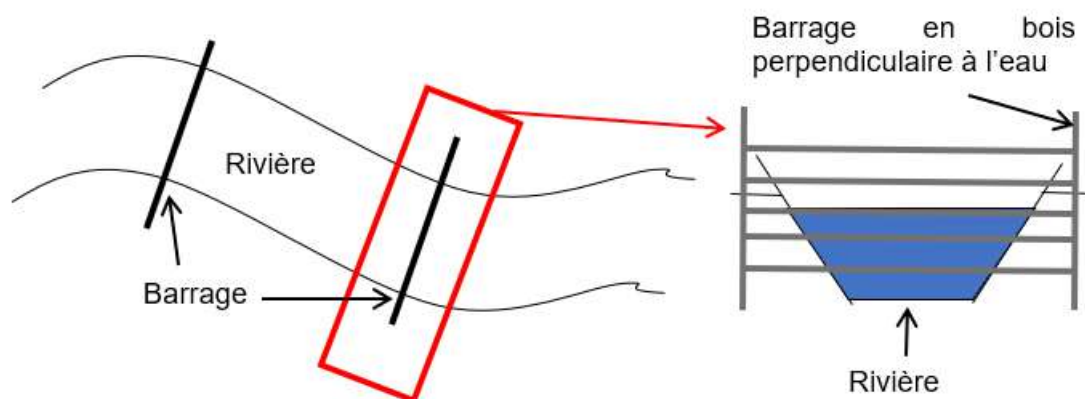


Figure 19: Schéma du fonctionnement des barrages de rivière (CHAILLOT Eléa, 2023)

Pour une zone en mangrove fluviale :

- Que l'érosion soit modérée ou forte (score de 2 ou 3), ce sont toujours des *Avicennia marina* et des *Sonneratia alba* mis préalablement en pépinière qui seront plantés. Au niveau de la mangrove fluviale, il n'est pas possible de dévier les cours d'eau, d'où cette unique solution apportée dans ces milieux.

## RUISSEAUX / RIVIÈRES

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Eau stagnante (eau stagnante dans les mangroves même lors de la marée basse et / ou écoulement vers la mer trop lent ce qui amène à de la stagnation et / ou grande quantité de biofilm d'algues au sol dans les rangs de palétuviers les plus proches du tanne).
  2. Réseau d'écoulement faible, l'eau a du mal à retourner à la mer (un seul bras de ruisseau pour renvoyer l'eau à la mer et / ou écoulement trop lent par rapport à la quantité d'eau à évacuer et / ou présence de biofilms épars dans les rangs de palétuviers les plus proches du tanne).
- Les solutions possibles :
  - Que la notation soit de 1 ou 2, il faudrait pour ce critère recréer un réseau d'écoulement fonctionnel afin d'éviter la stagnation d'eau. En regardant le terrain, sa topographie et les écoulements d'eau sur la zone, il sera possible de creuser des nouveaux ruisseaux de marée. Ils permettront alors un meilleur écoulement de l'eau dans la zone.

## INONDATION / SÉCHERESSE

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Faiblement inondé et / ou souvent sec (arbres avec des feuilles baissées et / ou feuilles jaunies et / ou sol craquelé et / ou sol dans lequel on s'enfonce très peu en comparaison à des milieux semblables).
  2. Moyennement inondé et / ou moyennement sec (arbres avec quelques feuilles baissées et / ou feuilles jaunies de manière très occasionnelle et / ou sol dans lequel on s'enfonce moyennement en comparaison à des milieux semblables).
- Les solutions possibles :

Que les résultat soit de 1 ou de 2 pour ce critère, les solutions seront les mêmes. Elles vont différer suivant si les zones sèches se trouvent en front de mer, en cœur de mangrove ou proche du tanne.

- Proche du front de mer, le réseau hydrographique peut être repensé pour que l'eau atteigne la zone sèche. Cela est valable pour un résultat de notation de 1 ou de 2.
- En cœur de mangrove, si la zone est sèche, c'est que le substrat n'est pas assez perméable à l'eau car la marée recouvre ce milieu de manière journalière. Dans ce cas, s'intéresser au nombre de crabes présents. En effet, les galeries de ces derniers permettent une perméabilité du substrat à l'eau. Si leur nombre est faible en comparaison à la normale (interroger le guide sur ce point pour avoir un retour sur ses connaissances), alors cela peut expliquer la sécheresse plus ou moins forte de la zone. Pour remédier à ce problème, il faut reboiser la zone avec les espèces typiques de la zone (communément, *Rhizophora mucronata* pour un cœur de mangrove) et attendre la recolonisation naturelle du milieu par les crabes. La réintroduction de crabes ne sera pas proposée ici car s'ils ne sont pas présents ou peu, c'est que le milieu n'est pas propice à leur développement. Cela est valable que le résultat de la notation soit de 1 ou de 2.  
 Dans le cas où la zone est sèche mais que le nombre de crabes est normal, alors reboiser la zone avec les espèces typiques de la zone. Le développement racinaire viendra décompacter le substrat et permettre une meilleure infiltration de l'eau. Cela est valable que le résultat de la notation soit de 1 ou de 2.
- Si la zone obtient une note de 2 en étant proche du tanne, il est intéressant de voir si le réseau hydrographique ne peut pas être légèrement modifié pour qu'à marée haute, l'eau aille jusqu'à la zone. De plus, en prévision d'une mortalité importante, il faudra replanter les propagules/graines dans cet endroit avec un faible espacement, environ 1m entre les plants. Si tous poussent, cela ne sera pas pour autant un problème, certains plants pourront être coupés de manière sélective pour les besoins des populations, pour aérer le milieu et pour que la faible quantité d'eau qui arrive puisse permettre à tous les plants de pousser.
- Enfin, si la zone obtient une note de 3 en étant proche du tanne, il faudra se référer aux connaissances du guide terrain pour savoir le mode opératoire à suivre. En effet, un espace sur le tanne et avec cette notation pourrait être en cours de tannification, et donc non propice au développement de palétuviers. S'ils poussaient, ils risqueraient de mourir très prématurément. Dans le cas où la zone semble tout de même propice au développement des palétuviers, suivre la même méthode que si l'on obtenait la note de 2.

Exemple : Cas d'étude d'Ambalahonko, cas 2

## PRÉSENCE DE DIGUES ET/OU DE BRÈCHES

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Présence de digues très étanches affectant la zone homogène.
  2. Présence de digues avec des brèches affectant la zone homogène.
  
- Les solutions possibles :

Les digues sont installées pour protéger les activités humaines de l'eau des grandes marées, c'est donc souvent vers le tanne que ces installations sont mises en place. Elles permettent d'éviter une immersion de zones habitées ou cultivée par de l'eau de mer.

- Dans le cas où des digues avec des brèches sont présentes (notation de 2), un apport d'eau journalier a toujours lieu. Si ces digues poreuses ne sont plus utilisées par les habitants, alors il faudrait les démolir pour retrouver l'apport d'eau originel dans la zone. Si ces digues servent toujours, alors il faudra planter dans la zone impactée par ces digues des espèces demandant un apport d'eau faible, c'est-à-dire des espèces vivant proche du tanne (espèces telles que *Heritiera littoralis* ou *Pemphis acidula*). Puisque ces espèces ne sont pas soumises aux mouvements des vagues, les graines et propagules pourront être mises en terre directement, sans soins préalables en pépinière.
  
- Si des digues étanches sont présentes (notation de 3), il est possible de voir leur utilité directement avec les populations pour voir s'il est possible de les retirer. S'il est possible de les enlever, alors les mêmes espèces avec les mêmes soins qu'en cas de notation 2 seront plantées, mais aussi les propagules de *Cerriops tagal*. S'il n'est pas possible d'enlever ces digues, alors les espaces coupés de l'eau salée ne pourront tout simplement pas être reboisés.

## FORCE DU COURANT, DE LA HOULE ET DU VENT

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Haute énergie de houle et basse énergie de courant : les fronts de mer reculent et s'ensablent, recul de la mangrove qui se trouve en front de mer.
  2. Présence de petites vagues, notamment lors de la montée de l'eau. Courant et houle modéré, la mangrove reste stable.
  
- Les solutions possibles :

Ce point est lié avec la fiche numéro 1 sur l'érosion. De ce fait, les solutions apportées dans cette précédente fiche au niveau des zones en front de mer sont sensiblement les mêmes pour ce critère.

- Si la force du courant et de la houle est modérée (score de 2), la lutte se fait en plantant les espèces adaptées à ces milieux difficiles, à savoir les *Avicennia marina* et les *Sonneratia alba*. En effet, ces palétuviers fixent le sédiment avec leurs nombreuses racines rayonnantes. Ces deux espèces devront être mises en pépinière au début de leur vie pour maximiser leur chance de développement une fois dans le milieu (voir la partie II.C. pour l'espacement entre les plants). Pour les premières lignes, les plants pourraient être plantés plus serrés que sur les suivantes pour prévoir une mortalité plus forte face aux vagues.
  
- Si la force du courant et de la houle est forte (score de 3), alors des digues et/ou des brises lames sont à envisager. Cela permettra également de stabiliser d'éventuels bancs de sable mobiles. Ces structures sont fabriquées avec des matériaux disponibles localement (pierre, bois, etc) et placés devant la plantation. Cela protégera les jeunes plants mis en terre après un début de croissance en pépinière. De plus, ces installations permettront une élévation du sédiment, et donc une diminution de l'érosion (Winterwerp et al., 2020). Pour les premières lignes, les plants peuvent être plantés plus serrés que sur les suivantes pour prévoir une mortalité plus forte face aux vagues.

*Remarque 1 : la mise en place de digues est couteuse. Pour être certain que leur mise en place est nécessaire, ne pas hésiter à interroger le technicien terrain ou encore les populations sur la pertinence de cette installation, leurs expériences passées sont autant d'outils d'aide à la décision.*

*Remarque 2 : les conditions du milieu (force de la houle, etc) peuvent amener à un mouvement de bancs de sable. Si cela arrive, il ne faut pas replanter sur ce banc de sable mais essayer de diminuer la force des vagues avec les digues et planter des *Avicennia marina* et/ou des *Sonneratia alba* aux abords du banc de sable pour tenter de le stabiliser. Bien entendu, le banc de sable pourrait être de nouveau mobile et endommager les plantations, mais dans l'hypothèse où il ne se déplacerait pas, il faut replanter pour préserver les éventuelles mangroves présentes plus en arrière vers les terres.*

Exemple : Cas d'étude Ambalahonko, cas 1.

Exemple : Cas d'étude Ankatakatabé cas 1 et cas 2.

**LE TYPE DE SOL**

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Substrat qui ne correspond pas au milieu étudié (par exemple, du sable en mangrove centrale).
  2. Substrat qui ne correspond pas tout à fait à celui du milieu en bonne santé (par exemple, mélange sablo-vaseux à la place de la vase).
  
- Les solutions possibles

Le substrat et l'apport hydrologique sont les deux principaux critères pour connaître les espèces à replanter. Que le résultat de la notation soit 1 ou 2, il faut pour ce critère se référer au tableau de la partie II.A et planter des espèces adaptées au substrat et à l'apport hydrologique de la zone.

Exemple : Cas d'étude Baie de Moramba, cas 1.

## LE CONTENU DU SOL

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Beaucoup de matière organique, on retrouve un nombre important de feuilles, bois et faune morte sur le sol.
  2. Quantité de matière organique au sol moyenne, on retrouve un peu de feuilles, bois et faune morte au sol.
  
- Les solutions possibles :

La forte présence de matière organique dans une zone de mangrove déboisée peut être due à deux facteurs principaux : l'absence d'animaux décomposeurs (crabes, poissons, etc) ou à une coupe ayant laissé des branches et/ou des troncs au sol.

Dans les deux cas, et que la note du critère soit 1 ou 2, c'est le retour d'un milieu propice au développement des animaux décomposeurs qui sera nécessaire à la dégradation de la matière. Pour cela, il faut reboiser la zone et la recolonisation naturelle par ces organismes décomposeurs se fera naturellement par la suite.

Dans le cas d'une quantité trop importante de branches au sol qui pourraient venir gêner la replantation, enlever les branches en surplus.

## ÉTAT DE LA VÉGÉTATION

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Beaucoup de plants blanchis et/ou beaucoup d'arbres broutés et/ou beaucoup de feuilles jaunies et/ou noircies et/ou chutes de feuilles importantes et/ou beaucoup de jeunes plants avec de la vase ou des microalgues sur les feuilles.
  2. Quelques plants blanchis et/ou une petite partie d'arbres broutés et/ou feuilles jaunies et/ou noircies et/ou chutes de feuilles importantes et/ou quelques jeunes plants avec de la vase ou des microalgues sur les feuilles.
  
- Les solutions possibles :

Dans le cas où les feuilles sont broutées par des animaux des populations, essayer de discuter avec celles-ci afin de voir s'il est possible de trouver d'autres alternatives afin de nourrir ces animaux, comme la plantation d'arbre fourrager terrestre.

Si les plants sont blanchis ou recouvert de microalgues, il serait envisageable de prévoir un entretien de ces plants réalisé par des bénévoles ou les villageois. Un calendrier d'entretien pourrait alors être mis en place afin de faire participer l'ensemble de la population.

En ce qui concerne le jaunissement des feuilles, celui-ci peut provenir d'une carence en fer ou en potassium, mais sans certitude. Si ce jaunissement est important, il serait intéressant de mener des recherches sur le sujet, recherches qui ne seront pas présentées dans ce rapport.

## ÉTAT DE LA ZONE

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Coupe à blanc ou destruction naturelle (par un ensablement, un cyclone...) à blanc (plus d'arbres ou que quelques arbres présents).
  2. Coupe sélective abusive ou forte destruction par cause naturelle.
  
- Les solutions possibles :
  - Si ce critère obtient la note de 2 (coupe sélective abusive ou forte destruction par cause naturelle), alors le reboisement de la zone sera à prévoir en incluant la couverture végétale déjà présente dans les calculs. Pour cela, se référer à la partie II.C (tableau sur le recouvrement) et aux études de cas Ambalatsingy, cas 1 et cas 2.
  - Si ce critère obtient la note de 1 (coupe à blanc ou destruction naturelle à blanc), alors le reboisement de la zone est à prévoir sans se soucier d'une couverture végétale existante dans les calculs. Cela a été fait dans les études de cas Baie de Moramba, cas 1 et Ankatakatabé, cas 1.

*Remarque : dans certaines zones reboisées ou densifiées, il faut tout de même prévoir un accès pour les bateaux dans certains cas. Pour ces zones, il est préférable de planter de part et d'autre de l'accès des *Avicennia marina* et/ou des *Sonneratia alba* pour stabiliser d'éventuels mouvements de sédiments qui pourraient pénétrer en trop grande quantité dans la mangrove replantée.*

## STRATES DES PALÉTUVIERS PAR RAPPORT AU FRONT DE MER

- On obtient 1 ou 2 lors de la notation :
  1. Organisation de la mangrove très déstructurée, les espèces ne se trouvent pas dans les zones où elles devraient être et peuvent donc avoir du mal à se développer. Il peut y avoir des propagules ou des jeunes plants plantés dans des zones où ils ne devraient pas être.
  2. La stratification de la zone est naturelle, les différentes espèces de palétuviers se trouvent à l'endroit propice à leur développement. Seulement, on y trouve des plants ou propagules qui sont plantés dans la zone qui ne suivent pas la stratification trouvée dans la zone.
- Les solutions possibles :
  - Si la zone obtient une notation de 1 ou 2, la technique à adopter sera la même. Il serait bien entendu contreproductif d'essayer de remplacer les plants plantés au mauvais endroit par d'autres. Il faut alors voir leur développement : s'ils meurent, alors planter de nouveaux plants et/ou graines et/ou propagules qui correspondent à la strate. Le faire en prenant en compte le pourcentage de recouvrement toujours en place de la zone, comme expliqué dans les cas d'étude d'Ambalatsingy cas 1 et cas 2 notamment.

## C. RECOLONISATION NATURELLE OU REPLANTATION : QUE CHOISIR ?

### LA COUVERTURE FORESTIÈRE

Pour savoir si la zone étudiée est à reboiser, il faut notamment connaître son pourcentage de couverture forestière. Selon Joanna Ellison et., al, 2012, Ce pourcentage de couverture forestière peut être découpé en cinq classes, visibles ci-dessous (Cf. tableau 1) :

Numéro	Impact	% couverture forestière	Exemples
0	Pas d'impact	96-100%	Couverture forestière complète ; pas de trous ; aucun signe d'interférence humaine
1	Faible impact	75-95%	Couverture forestière globalement continue mais quelques trous ; certaines repousses ; des coupes isolées ou d'autres signes d'utilisation ponctuelle par l'homme de la mangrove
2	Impact modéré	51-75%	Couverture forestière dégradée avec faible repousse et faible taux de recrutement des arbres. Plusieurs arbres coupés, morts, ou trop petits.
3	Impact relativement élevé	31-50%	La couverture forestière est quasi-inexistante ; la grosse partie de l'aire ne montre aucun signe de repousse ; boue à nue
4	Impact élevé	11-30%	Seule une très petite quantité d'arbre reste à hauteur de la couverture forestière ; grande ouverture de lumière ; larges aires de boue à nue
5	Impact sévère	0-10%	Très large clairière sur un sol à nu ; faible recrutement ; quelques arbres encore vivants.

Tableau 1: Classes d'impacts à cause du déboisement dans les forêts de mangroves suivant le pourcentage de couverture forestière (Ellison et al., 2012).

Dans le présent document, il sera considéré qu'un espace est à reboiser ou à assister dans son développement lorsque l'impact est de « modéré » à « sévère » (numéros de 2 à 5). Ce sont donc des zones où la colonisation naturelle n'est pas ou peu efficace ou des zones contenant anciennement une mangrove. Pour cette méthode, les espèces à planter seront à choisir selon la distance du front de mer, les apports hydriques et le type de substrat de présent. Bien entendu, les méthodes mises en œuvre sera variable pour chacun des cas et des zones d'études (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

Lorsque les zones ne seront pas ou peu déboisées (numéros 0 et 1), alors la colonisation naturelle sera privilégiée. Cette méthode consiste à laisser la nature faire pour retrouver un milieu en bonne santé. Cela peut donc se réaliser lorsque l'on constate que de nouveaux individus se développent seuls avec les apports naturels de propagules et / ou de graines. Pour cette méthode, le substrat et l'apport hydrique doivent également être favorables

à l'espèce. Enfin, la zone doit se trouver dans une zone de balancement des marées (Pôle relais zones humides tropicales, 2018).

*Remarque : il est difficile de connaître à l'œil nu un pourcentage de recouvrement d'une zone, surtout quand de grands arbres sont encore présents en nombre. Il faut alors ne pas hésiter à interroger les techniciens de terrain, ils sauront aiguiller la décision quant à la classe à choisir, mais aussi quant à la méthode de reboisement à adopter. Il est également possible pour cette partie d'utiliser des images pléiades haute résolution et les indices de recouvrement du sol.*

## L'ESPACEMENT DES ARBRES POUR LES ESPÈCES DE PALÉTUVIERS

La replantation des palétuviers implique de connaître la distance entre chacun des pieds et / ou propagules à planter. En règle générale, la distance retenue est de 1.5m entre chacun des pieds (Pôle relais zones humides tropicales, 2018). Seulement, la mortalité des jeunes plants peut être forte, et les populations utilisent le bois de mangrove, bien que cela soit interdit par la loi Malagasy (Slobodian & Badoz, 2020). Sachant cela, il semble intéressant de densifier légèrement plus les zones de reboisements, en mettant un plant tous les mètres. Cela permettra alors de prendre en compte cette mortalité juvénile, mais aussi de former les populations aux coupes sélectives pour leurs besoins, sans porter préjudice au milieu. Cette méthode permettra également d'éviter les coupes rases, méthode d'utilisation des mangroves totalement destructrice.

*Remarque : Il existe à Madagascar plusieurs mécanismes pour impliquer les communautés locales dans la gestion des mangroves. La première entité est la loi GELOSE. Cette loi « crée une entité, la communauté de base (COBA), fonctionnant comme une ONG. Les transferts de gestion ne peuvent être accordés qu'à la COBA. Elle implique les mêmes représentants que le Fokonolona, qui est l'autorité de la communauté de base et serait plus approprié pour gérer les mangroves » (Slobodian & Badoz, 2020). Seulement, l'interdiction de coupe au sein de la mangrove à Madagascar est régie par l'arrêté interministériel n° 32100/2014. Cet arrêté va donc à l'encontre des droits d'exploitation et de gestion prévus par la loi GELOSE (Slobodian & Badoz, 2020). De ce fait, abroger l'arrêté interministériel n° 32100/2014 a notamment été proposé par l'union internationale pour la conservation de la nature et des ressources naturelles. Cela permettrait alors au gouvernement et aux associations de former les populations à la gestion durable des mangroves, ce qui éviterait les coupes à blanc détruisant ces milieux. Dans ce sens, l'association Opti'pousse Haie a développé un manuel d'utilisation durable des mangroves, visible en annexe 12.*

Dans le cas de la plantation de palétuviers (que ce soit avec des propagules ou des jeunes plants issus de pépinières), il faut reboiser en mettant un espacement défini entre les plants. Pour cela, un protocole d'espacement a été mis en place, et est expliqué ci-dessous. Une explication plus imagée est également disponible en annexe 13.

### **Matériel :**

- Mètre ruban de 20m,
- Pointeur GPS,
- Feuille papier ou tableur Excel.

### **Protocole :**

- Se rendre sur le terrain dans une zone homogène sur au moins 50m et présentant des plants adultes de l'espèce étudiée. Se placer à l'extrémité de cette zone.
- Choisir un arbre adulte et le géoréférencer. Il sera considéré comme le premier arbre de référence.

- Avec le mètre ruban, mesurer la distance entre l'arbre de référence et les arbres adultes de la même espèce les plus proches, de manière à avoir cette distance pour chacun des arbres de la première couronne d'arbres autour de cet arbre de référence. Reporter chacune des mesures sur une feuille ou dans un tableur Excel.
- Ensuite, parmi les arbres dont les longueurs ont été mesurées, repérer celui le plus loin dans le sens d'avancé au sein de la zone. Se rendre au pied de cet arbre.
- Une fois au pied de cet arbre, repérer le prochain arbre adulte le plus proche dans le sens d'avancée au sein de la zone. Cet arbre sera le nouvel arbre de référence.
- Pour ce nouvel arbre de référence, réaliser le même protocole.
- Réaliser cela de manière à avoir au moins 8 arbres de référence (10 arbres de référence est l'idéal).

*Remarque : pour savoir si les palétuviers sont « adultes », se référer à la légende de la fiche d'étude de quadrat disponible en annexe 7.*

Ce protocole a donc été réalisé et des relevés ont été faits pour plusieurs palétuviers. La question a été de savoir s'il était possible de tirer une règle générale d'espacement pour chacune des espèces, lorsque les plants sont adultes. En effet, selon si la mangrove est ouverte, fermée, si l'espèce est en front de mer ou plus en cœur de mangrove, ces distances pourraient varier. Les espèces étudiées et les résultats préliminaires sont disponibles dans la figure 20.

Espèce	Placement dans la mangrove	Coordonnées GPS de la zone de relevé	Longueur moyenne entre les arbres (en m)
<i>Avicennia marina</i>	Front de mer, mangrove ouverte	-14.861485; 47.341125	6.3
<i>Avicennia marina</i>	Arrière de mangrove, mangrove ouverte	-14.856603; 47.344702	3.0
<i>Ceriops tagal</i>	Proche du tanne, mangrove fermée	-14.863442; 47.376036	1.6
<i>Rhizophora mucronata</i>	Cœur de mangrove, mangrove ouverte	-14.888809; 47.334774	2.9
<i>Rhizophora mucronata</i>	Cœur de mangrove, mangrove fermée	-14.922473; 47.369892	1.9
<i>Sonneratia alba</i>	Front de mer, mangrove fermée	-14.884189; 47.323501	7.7

*Figure 20: Distances entre les palétuviers adultes pour certaines espèces (Salimo Mananjara et al, 2023)*

A cause de la contrainte de temps, ces espacements n'ont pas pu être réalisés sur toutes les espèces. Cependant, le test de Kruskal-Wallis a été réalisé pour savoir d'une part si les distances entre les plants chez les *Avicennia marina* en front de mer et en arrière-mangrove sont significativement différentes, et d'une autre part si ces distances sont également significativement différentes entre des *Rhizophora mucronata* dans une mangrove ouverte et fermée. Ce test a été réalisé avec une incertitude de 5%. Pour les deux espèces, le test conclu que la différence est significative, l'espacement au sein d'une même espèce selon leur placement au sein de la mangrove varie donc de manière significative.

Ce test serait à réaliser sur toutes les espèces vivant dans plusieurs types de mangroves (ouverte, fermée, fluviale) pour savoir si oui ou non des règles générales d'espacement pour

une même espèce chez les individus adultes vivant dans différents types de mangroves pourrait exister. Si des règles générales d'espacement ne sont pas trouvées, alors il faudra essayer de savoir si des espacements sont semblables au sein d'une même espèce, et pour une même zone (par exemple, voir si des *Avicennia marina* en front de mer ont toujours des espacements semblables, peu importe les zones). Pour cela, un nombre important de relevés pour chacune des espèces sera à réaliser. Cela permettrait alors de ne plus réaliser ce protocole des distances à proximité de chacune des zones déboisées, mais de simplement se référer à ces distances calculées qui seraient valables statistiquement et scientifiquement.

La question a également été de savoir si, pour une même espèce, les distances entre chacun des arbres de référence et les arbres de la première couronne associés est significativement variable. Cela donnera encore une fois des indications sur l'espacement, mais aussi des indications sur les coupes qui pourraient être faites à l'avenir tout en garantissant une bonne santé au milieu. Pour cela, le test de Levene sur la médiane avec une incertitude de 5% a été réalisé, et les résultats inscrits dans le tableau ci-dessous (Cf. figure 21). Dans ce tableau, H0 non rejeté signifie que le test conclu que les variances sont identiques, avec une incertitude de 5%.

Espèce	Placement dans la mangrove	Coordonnées GPS de la zone de relevé	Distance moyenne entre les arbres (en m)	Résultat test de Levene (médiane)
<i>Avicennia marina</i>	Front de mer, mangrove ouverte	-14.861485; 47.341125	6.3	H0 non rejeté
<i>Avicennia marina</i>	Arrière de mangrove, mangrove ouverte	-14.856603; 47.344702	3.0	H0 non rejeté
<i>Ceriops tagal</i>	Proche du tanne, mangrove fermée	-14.863442; 47.376036	1.6	H0 non rejeté
<i>Rhizophora mucronata</i>	Cœur de mangrove, mangrove ouverte	-14.888809; 47.334774	2.9	H0 non rejeté
<i>Rhizophora mucronata</i>	Cœur de mangrove, mangrove fermée	-14.922473; 47.369892	1.9	H0 non rejeté
<i>Sonneratia alba</i>	Front de mer, mangrove fermée	-14.884189; 47.323501	7.7	H0 non rejeté

Figure 21: Tableau synthèse des résultats du test de Levene sur la médiane avec une incertitude de 5% en ce qui concerne le protocole d'espacement des arbres (Bonhomme Paul, 2023)

Les résultats de ce test de Levene sur la médiane conclu donc que les variances sont identiques, avec une incertitude de 5%. De ce fait, il est possible de conclure que les distances moyennes entre les arbres pour chacune des espèces étudiées est une bonne représentation de l'espacement entre les arbres dans une forêt mature.

Il serait pertinent de faire ces relevés de distances dans plusieurs zones du même type (par exemple dans plusieurs zones de *Rhizophora mucronata* au sein de mangroves fermées) pour pouvoir affirmer avec certitude que ce test de Levene sur les médianes ne rejette pas H0. En effet, la contrainte de temps n'a pas permis de réaliser ce protocole des distances dans plusieurs zones semblables pour une même espèce.

Pour conclure cette partie, le traitement de ces premiers données statistiques conclut que :

- Les distances entre les plants d'*Avicennia marina* en front de mer ou en arrière de mangrove dans une mangrove ouverte sont significativement différentes,
- Les distances entre les plants de *Rhizophora mucronata* en front de mer ou en arrière de mangrove dans une mangrove ouverte sont significativement différentes,
- Les distances moyennes entre les arbres pour chacune des espèces étudiées est une bonne représentation de l'espacement entre les arbres dans une forêt mature pour chacune des espèces étudiées.

## LA MISE EN PLACE ET LE FONCTIONNEMENT D'UNE PÉPINIÈRE

Cette partie se base sur les documents Pôle relais zones humides tropicales, 2018 et Slobodian & Badoz, 2020.

Pourquoi choisir de planter en pépinière ?

Le développement en pépinière permet d'entamer une croissance des palétuviers dans un espace plus ou moins contrôlé.

Les pépinières sont essentielles pour les reforestations de grandes envergures, elles comblent le besoin de plants de différentes tailles, avec par exemple des plants plus hauts pour les sites avec une hauteur d'eau plus grande ou avec une sédimentation plus rapide. De plus, elles peuvent permettre la conservation d'excès de graines et propagules qui auront été produits lors de la saison de floraison ; ils ne seront ainsi pas perdus.

Elles permettent aussi d'augmenter les chances de survie lors de la plantation de graines. En effet, les graines sont facilement emportées par le courant. Ce n'est pas un problème dans une mangrove saine (il est normal dans ce cas-là de ne pas avoir tous les plants qui poussent), mais cela l'est quand la volonté est de reboiser une zone à nue.

L'implantation d'une pépinière dans un espace repose sur plusieurs critères importants :

1. Le site doit être compris dans la zone de balancement des marées afin de minimiser le travail d'arrosage des plants.
2. Le site doit être protégé des événements météorologiques extrêmes afin d'éviter leur destruction lors de ces événements (avec par exemple des brise-lames).
3. Le site doit être relativement plat avec un substrat ferme et bien drainé.
4. Le site doit être ombragé, que ce soit par les arbres présents autour ou par l'utilisation de géotextiles qui permettent l'infiltration de l'eau de pluie.
5. Le site doit être à proximité du site de replantation afin d'éviter des coûts de transport.
6. Le site doit être, de manière préférable, près d'une source d'eau douce.
7. Le site doit être, de manière préférable, près d'un site de collecte de graines/propagules.

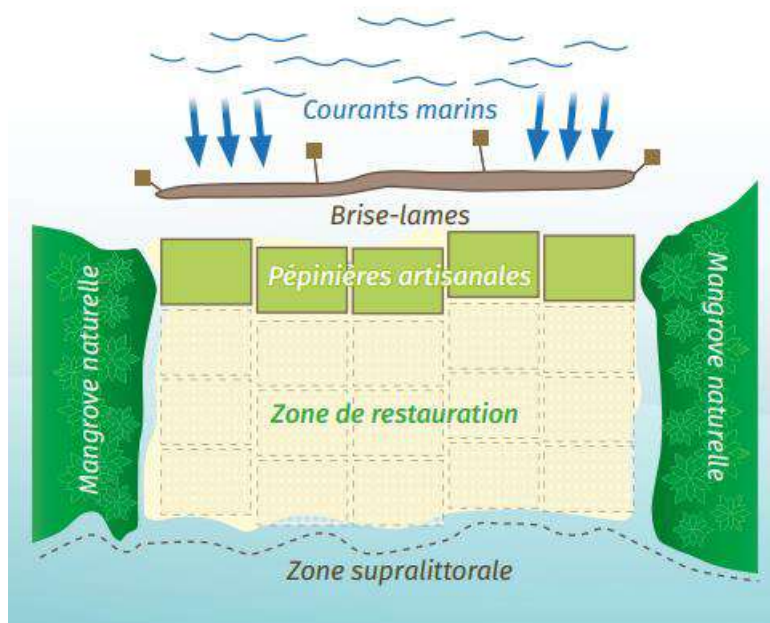


Figure 22: exemple d'un site de mise en place de pépinière avec les recommandations associées (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

Une fois le site sélectionné, une équipe de bénévoles ou d'employés va devoir aller collecter des graines/propagules. Il va donc falloir former cette équipe, avant et aussi pendant la collecte. Certaines recommandations peuvent être données à ces bénévoles/employés avant de partir sur le terrain :

1. Il faut tout d'abord consulter un calendrier des marées afin de choisir un jour et une heure convenable à la collecte. Même si cela dépend de la marée, la collecte devrait se faire idéalement tôt le matin ou tard dans l'après-midi afin d'éviter le soleil à son zénith.
2. Les bénévoles/employés devraient prévoir de quoi éviter le soleil, des vêtements appropriés (tee-shirts manches longues, chapeaux...) ainsi que des chaussures adéquates.
3. Prévoir à l'avance la logistique de cette/ces journée(s) de collecte (le transport, de quoi grignoter, de l'eau...), ainsi que le matériel nécessaire (des sacs de récolte, des pelles et mini pelles).

Une fois sur le terrain, une réunion préparatoire sur l'importance de la pépinière et des contraintes de celle-ci sera faite aux bénévoles/employés. Une fois cette réunion faite, les bénévoles/employés seront séparés en groupe de collecteur de graines/jeunes plants, de porteurs de sacs et de transporteurs. Pour chaque groupe de 15-20 personnes, un superviseur est conseillé afin d'éviter une mauvaise méthode de récolte.

Une fois que tout ceci est prêt, la récolte peut commencer. Deux récoltes sont alors possibles : soit la récolte de jeunes plants ou la récolte de graines/propagules.

En ce qui concerne tout d'abord la collecte de jeunes plants, la méthode préconisée est la suivante :

1. On peut souvent trouver ces jeunes plants au niveau de l'arbre mère, retenu par les racines de mangrove, des trous ou encore au niveau de la plage.
2. Les plants à choisir doivent être préférentiellement d'une longueur entre 10 et 30cm, mais pas plus de 40cm. Cela est dû au fait que les plus petits plants sont moins encrés, alors que les plus grands plants ont des racines plus longues qui seraient plus enclins à être endommagés.
3. En utilisant une pelle ou une mini-pelle il faut enlever le plant en laissant de la terre attachée aux racines, et tout ça de manière délicate. Les plants pris dans un substrat

sableux peuvent avoir une mortalité supérieure comparé à ceux pris dans un substrat vaseux, dû au fait que les particules de sable ont plus facilement tendance à tomber, exposant alors les racines à l'air.

4. Les plants les plus petits (entre 10 et 20cm de long) vont devoir être conditionnés en pépinière (3/4 mois jusqu'à 1 an) jusqu'à ce qu'ils atteignent au minimum 30cm de longueur et que les tiges soit suffisamment rigides. Pour les plus gros plants (20 à 30cm de long), ils peuvent être replantés directement au site de réhabilitation en laissant assez de terre avec les racines afin d'éviter la déshydratation et les coups sur celles-ci.

Pour la collecte de graines/propagules, la méthode préconisée est celle-ci :

1. La collecte doit être effectuée durant le pic de la saison des fruits, de manière générale en juin-août (Cf. figure 17). La collecte de fruits ou propagules peut se faire sur l'arbre parent manuellement, en prenant soin de ne pas abimer les fleurs et jeunes fruits. Les fruits nouvellement tombés peuvent aussi être récupérés au sol, en vérifiant qu'ils ne présentent pas d'insectes ou de coups. Il est recommandé de récolter les graines/propagules dans un grand échantillon d'arbres afin de diversifier le pool génétique de la zone à restaurer.
2. Lors de la collecte, vérifier la couleur et la texture afin d'être sûr de la maturité du fruit. De plus, il faut isoler les fruits présentant des insectes, des maladies ou encore des malformations.
3. Pour maximiser la diversité génétique des plants, récolter ces graines / propagules sur différents pieds. Cependant, pour éviter tout impacts négatifs sur le pool génétique local ou le possible transfert de maladies, les propagules ne doivent pas être transportées d'une île à l'autre.
4. Les graines et propagules récoltés peuvent être conservés dans un endroit ombragé, frais et sec et doivent être plantés dans la semaine jusqu'au mois en fonction des espèces.
5. Après la collecte, les graines sont semées et doivent germer avec un apport d'eau et de fertilisant, elles seront ainsi rigides avant le transport ou la plantation.

Afin de pouvoir planter les graines/propagules et jeunes plants, il faut alors construire la pépinière. Pour cela il faut construire des racks, ce sont des structures en bois permettant de contenir les sacs de plants. Il est aussi possible de faire des racks en dehors de la pépinière, racks qui pourront accueillir temporairement les plants dans le but d'un transvasement ultérieur dans la pépinière. Dans un racks de dimension de 1,6x6m, il est possible de mettre en moyenne 100 plants par m<sup>2</sup>, soit un plant tous les 10cm.



Figure 23: Exemple de racks d'une dimension de 1,6x6m (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

Le positionnement des racks dépend des espèces qu'ils contiennent, il convient donc de les placer en fonction des exigences écologiques des espèces.



Figure 24: Exemple de racks disposés derrière et dans la pépinière en fonction des espèces (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

Une fois la pépinière mise en place avec les plants plantés et les graines germées, celle-ci va demander de l'entretien. Il se fait de cette manière :

1. La pépinière doit être visitée au moins 2-3 fois par semaine pour vérifier que les plants restent droits et en bonne santé. Cela permet aussi de vérifier la régularité en apport d'eau et de vérifier que les plants ne soient pas attaqués par des animaux errants ou des nuisibles.
2. Les plants en bonne santé ont des feuilles vertes et aucun nuisibles. La présence de feuilles jaunes au début du mois peut être dû au stress mais si la décoloration persiste et qu'un film poudreux apparaît à la surface, la plante peut être malade. Il faut alors enlever les plants malades et les enterrer afin d'éviter de répandre la maladie.
3. Si les plants sont rabougris, c'est à cause d'un sac trop petit. Il faut alors transférer le plant dans un sac plus grand sans endommager les racines.

Une fois que les plants sont développés dans la pépinière, il faut sélectionner puis transporter les plants jusqu'à la zone à reboiser. Afin de faciliter le transport, les plants peuvent être triés par espèces et/ou taille. Si la pépinière est loin du site de reboisement et que le transport est obligatoire, il faut préparer une caisse ou un porteur de plants, comme par exemple des sacs de plants attachés à des poteaux de bambous.



Figure 25: différents transports des plants à replanter dans la mangrove (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)

En ce qui concerne le prix de mise en place d'une pépinière (prix valable en 2012 et aux Philippines), il est présenté dans la figure 26. Ces prix sont basés sur le document Primavera et al., 2012 qui est en pesos philippin. Ces prix ont ensuite été convertis en ariary (et aux taux locaux) afin d'avoir un ordre d'idée de ce que pourrait coûter une pépinière à Madagascar.

Objet	Quantité	Prix à l'unité	Coût total
Sacs plastiques	300-500 pièces	166	49 800-83 000
Sacs	5 pièces	826	4130
Poteaux de bambou	10 pièces	1652	16 520
Pelle	2 pièces	41 300	82 600
Petite pelle	2 pièces	41 300	82 600
Kit de premier secours	1 kit	41 300	82 600
Encas (bénévoles)	30 paquets	2065	61 950
Transport	2 voiture	8260	16 520
Coût de mise en sac de 5000 plants			5 286 400-8 260 000
Abris de pépinière	1	413 000	413 000
Entretien	1 pour 3 mois	8260/mois	24 780
Total des coûts			6 120 900-9 127 700

Figure 26: Coût associés à la mise en place d'une pépinière (Primavera et al., 2012)

## COMMENT EFFECTUER LE REBOISEMENT ?

Sélection du site :

La sélection du site est critique pour la replantation en front de mer parce que l'espace disponible pour les mangrove le long de la plage est majoritairement intertidale (zone comprise entre les deux niveaux de marée).

1. Pendant une période de marée haute il faut se rendre sur le site potentiel afin de délimiter et marquer avec des bâtons la zone propice. Utiliser un GPS afin de marquer les endroits si possible ; sinon noter les points en utilisant des « marqueurs » locaux permanent. Les espaces avec beaucoup de bateaux de pêche doivent avoir des voies de navigation prévues afin de faciliter les déplacements. De plus, une barrière de plants peut aider à réduire les dommages sur les bateaux et aider à identifier clairement l'espace aux autres populations.
2. Pour les sites de front de mer, il faut noter les traits remarquables tels que les criques, les endroits remplis d'eau qui pourraient noyer les plants mais aussi les étangs, les digues et tous autres structures pouvant affecter l'arrivée d'eau. De même, identifier et noter la continuité écologique naturelle de la mangrove, les arbres mères et les espaces relativement bien protégés et qui pourraient servir de site de pépinière.
3. Enfin, dessiner une carte de l'espace en incluant la topographie, l'hydrologie et autre traits. Presque toutes les portions peuvent être plantées sauf en ce qui concerne les étangs et les digues.

Une fois le site sélectionné, il faut mettre en place un planning stratégique qui va répondre aux questions Quoi ?, Quand ? et Comment ?

### 1. Quoi ?

Il faut sélectionner les espèces de mangroves présentes naturellement dans la zone. L'ensemble des caractéristiques de chaque espèces de palétuviers sont décrites

dans les fiches espèces en annexe 11.

2. Quand ?

Il faut prévoir la plantation durant la saison où il y a le moins de fortes vagues. A cause de la relative faible montée des hauts que nécessite la plantation directe, il faudra l'effectuer au printemps. Il faudra allouer un temps entre 2 à 4 heures pour l'ensemble de l'activité, du transport au nettoyage. Si la marée le permet, planter tôt le matin ou plus tard le soir afin d'éviter les températures trop fortes.

3. Comment ?

Les sites de front de mer avec peu d'action des vagues peuvent être planter avec un espacement de 1,5/2m entre chaque plants.

Les sites confrontés à l'action des vagues de manière régulière ainsi que par les débris apporter par les marées hautes doivent être planter avec un intervalle plus serré de 0,5/1m entre chaque plants et/ou en groupe de 2/3 plants.

Organiser les plants afin qu'ils soient en quinconce afin d'éviter une uniformité des lignes et de laisser des espaces vides entre les lignes de plant.

Pour le premier patch de plantation, faire un essai de plusieurs mois, puis si cela fonctionne, planter des semences additionnelles.

Au niveau de la vitesse de plantation, cela va dépendre du nombre de bénévoles/employés qui replanteront. En règle générale, 2 à 5 rangs de plants peuvent être plantés sur une fenêtre de 2 à 4h.

Une fois le planning mis en place, un protocole de replantation doit être expliqué afin que celles-ci soit fait de la même manière pour tous les sites à reboiser.

Le protocole proposé :

1. En amont de l'activité, donner aux bénévoles/employés une introduction sur les sujets tels que les vêtements appropriés à porter, les espèces à planter et les méthodes de plantation expliqués plus bas.
2. Penser à porter un chapeau, un tee-shirt à manches longues, des pantalons longs ou des shorts descendant au genou, des chaussures fermées, appliquer un écran solaire et anti-moustique et prendre beaucoup d'eau.
3. Préparer le matériel suivant (avec le nombre approprié au nombre de bénévoles/employés) :
  - a. Des plants (de pépinière ou directement des graines/propagules),
  - b. Des pelles, petite-pelles et truelles,
  - c. Un mètre ruban,
  - d. Une corde en nylon avec des nœuds réalisés à un espacement prédéterminés (10 ou 20 mètres),
  - e. Une branche de bambou d'un mètre de long,
  - f. De la ficelle prédécoupée de 20 cm de long,
  - g. Un grand sac plastique,
  - h. Des crayons et un carnet,
  - i. Un appareil photo (téléphone),
  - j. Des porteurs de plants (Cf. figure 25),
  - k. Un GPS si possible (possible sur téléphone).
4. Prévoir le trajet de tel sorte d'arriver 1h avant que la marée soit au plus bas pour pouvoir commencer la plantation. Cette heure sera dédiée au réunion préparatoire, au transport et autres préparations.
5. Diviser les bénévoles/employés en plusieurs petits groupes pour des tâches spécifiques (transport, marquage des ligne, creusement des trous...).
6. Enfin, effectuer les différentes étapes de plantation :

- a. En utilisant un mètre ruban, marquer des rangs parallèles d'une distance d'un mètre à partir du front de mer. Pour la densification de mangrove éparés les plants doivent être plantés dans espaces vacants d'au moins 2m<sup>2</sup>.
- b. Dans un même rang, faire un marquage à chacune des distances décidées préalablement avec le bâton de bambou. Effectuer des marquages en quinconce par rapport au rang précédent.
- c. Près du bâton, creuser un trou d'environ 30 cm de profondeur en utilisant une pelle, mini-pelle ou truelle.
- d. Transporter les plants du véhicule vers le site de plantation.
- e. Pour les plants mis en sac, il faut sortir délicatement le plant du sac afin de le conserver dans la terre, puis les placer dans le trou. Le haut de la terre venant de la pépinière doit être au même niveau que le sol. Pour la plantation en cluster, placer 2 à 3 plants dans un même trou (cela reste encore expérimental).



*Figure 27: Insertion de la plantule avec son sac découpé dans le trou creusé, il ne reste plus qu'à tirer le sac vers le haut et colmater le trou (Pôle relais zones humides tropicales, 2018)*

- f. Pour les propagules de *Rhizophora*, penser à enlever le capuchon du propagule.
- g. Pour la plantation de graines et propagules, il faut les placer ensemble avec de la terre dans le trou. Puis remplir le trou avec de la terre aux alentours.
- h. Pour le front de mer ou avec un substrat vaseux, placer un bâton de bambou à côté du plant dans le sol et attacher le plant au bambou, de manière assez lâche afin d'aider le plant pendant les périodes d'action de vagues. Pour les plants qui auront besoin de suivi, placer sur le bâton de bambou un marquage.
- i. Pour finir, récupérer les sacs de transport des plants et autres déchets dans un grand sac plastique recyclé afin de le jeter dans un endroit approprié. Il ne faut pas laisser des déchets sur le site de replantation.

Le protocole enfin mis en place, certains problèmes peuvent venir affecter la croissance des jeunes plants. Pendant les deux premières années de vie, les plants sont vulnérables aux multiples facteurs de stress causés par les hommes ou la nature. De ce fait, un suivi (de la croissance et de la survie) et un entretien (par retrait d'algues notamment) sont nécessaires à la réhabilitation des sites de mangrove.

Afin d'anticiper la préparation du suivi, il faut prévoir de marquer un espace qui signifiera le début des emplacements des futurs quadrats à réaliser. La méthode afin de prendre le point à marquer est visible sur la figure 28.

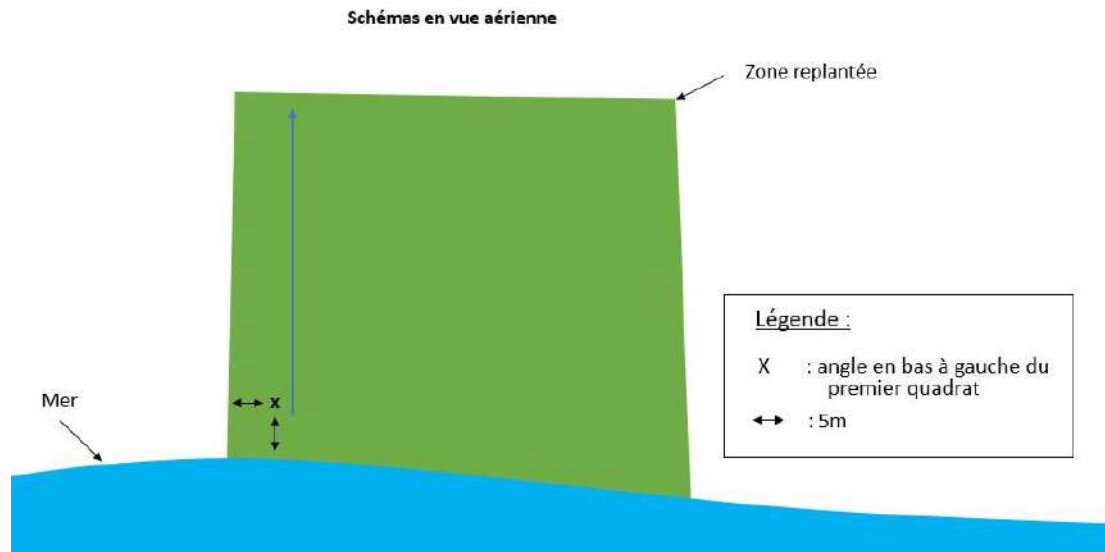


Figure 28: Schéma afin de marquer un point repère pour le suivi (CHAILLLOT Eléa, 2023)

Afin de marquer le point, il faut y mettre un objet facilement remarquable et qui est sûr de ne pas bouger dans le temps (peindre un arbre, y placer un bloc de pierre, etc). De plus, pour gagner en précision, un point GPS pourra être pris au niveau du marquage.

## D. DENSITÉ DE PLANTS ET CAS D'ÉTUDE CONCRETS

### CALCULS DE DENSITÉ DE PLANTS

La reforestation des zones nécessite des calculs préliminaires pour connaître la densité de reboisement, la taille nécessaire pour une pépinière, etc. Cette section s'intéresse à l'ensemble de ces calculs nécessaires, calculs repris dans les études de cas.

Dans la partie précédente, l'espacement propice entre les arbres pour les espèces de palétuviers a été déterminé. C'est en se basant sur ces espacements que les calculs suivants se basent.

En ce qui concerne la densité de reboisement, les calculs seront effectués pour les mélanges d'espèces suivants, mélanges rencontrés lors des phases terrain :

AM fm : *Avicennia marina* en front de mer.

AM am : *Avicennia marina* en arrière-mangrove.

RM : *Rhizophora mucronata*.

CT : *Ceriops tagal*.

SA + am fm : *Sonneratia alba* + *Avicennia marina*. SA est en majuscule car c'est l'espèce que l'on souhaite conserver par la suite ; les *Avicennia* seront par la suite coupés, d'où l'écriture en minuscule.

AM fm + CT : *Avicennia marina* + *Ceriops tagal*, les deux espèces sont en majuscules, les deux espèces sont donc à conserver par la suite.

BG + CT + RM : *Brugueria gymnorhiza* + *Ceriops tagal* + *Rhizophora mucronata*, toutes les espèces sont en majuscules, toutes les espèces sont donc à conserver par la suite.

RM + CT : *Rhizophora mucronata* + *Ceriops tagal*, les deux espèces sont en majuscules, les deux espèces sont donc à conserver par la suite.

*Remarque 1 : si d'autres mélanges venaient à être rajoutés plus tard, par l'ajout de nouveaux cas d'études, de nouveaux calculs devront donc être effectués.*

*Remarque 2 : Ces calculs doivent être effectués sur des surfaces assez importantes de manière à réduire les incertitudes et à être réellement représentatifs de la densité à mettre en place avec le reboisement.*

- Pour SA+ am fm :

Les plants de *Sonneratia alba* sont espacés de 4 mètres. Entre ces plants, un plant d'*Avicennia marina* est planté. Pour la ligne suivante, on suit cette répartition mais de manière à mettre en quinconce les espèces.

De plus, il a été pris en compte l'angle que doivent suivre ces plantation afin de protéger au mieux de la force des vagues et du vent. En effet, comme présenté sur la figure 29, il vaut mieux placer les plants avec un angle d'environ 22,5 degrés par rapport à la mer afin de permettre une meilleure protection des plants en arrière.

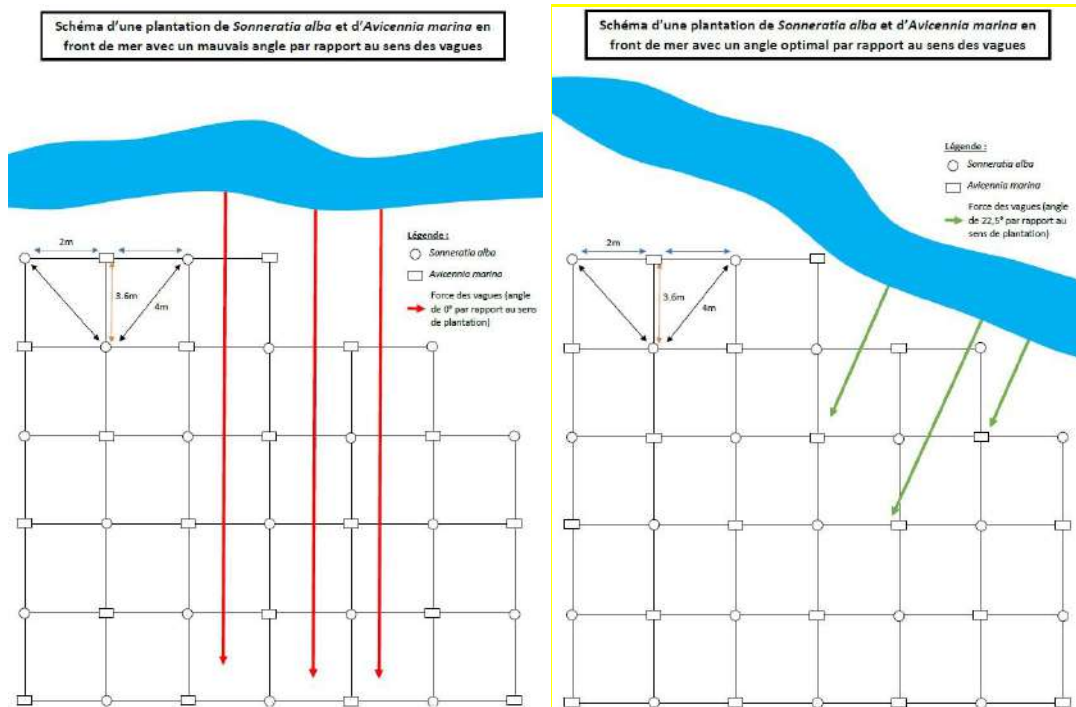


Figure 29: Schéma de la plantation de *Sonneratia alba* et *Avicennia marina* selon les espacements prévus (BONHOMME Paul, 2023)

En se basant sur l'exemple de la figure 29, la surface à reboiser est de 187,2m<sup>2</sup>.

Sur cette surface, il est compté 38 plants d'arbres (50% de *Sonneratia alba* et 50% d'*Avicennia marina*).

On obtient alors une densité d'arbre de 0,203 arbres/m<sup>2</sup>.

- Pour AM fm :

Pour la plantation de *Avicennia marina* en front de mer, les individus seront espacés de 2 mètres entre eux.

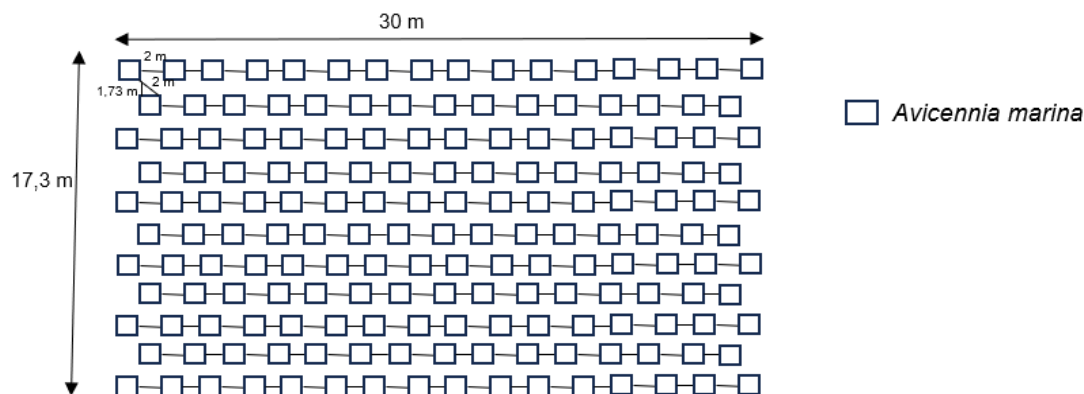


Figure 30: Schéma de la plantation des *Avicennia marina* selon les espacements prévus (CHAILLOT Eléa, 2023)

Cela représente une surface de  $30 \times 17,3 = 519\text{m}^2$  pour 171 plants d'arbres (100% d'*Avicennia marina*).

On obtient alors une densité d'arbre de 0,33 arbres/m<sup>2</sup>.

- Pour RM :

Pour la plantation de *Rhizophora mucronata*, l'espacement préconisé lors de la replantation est de 1 mètre entre chaque plant.

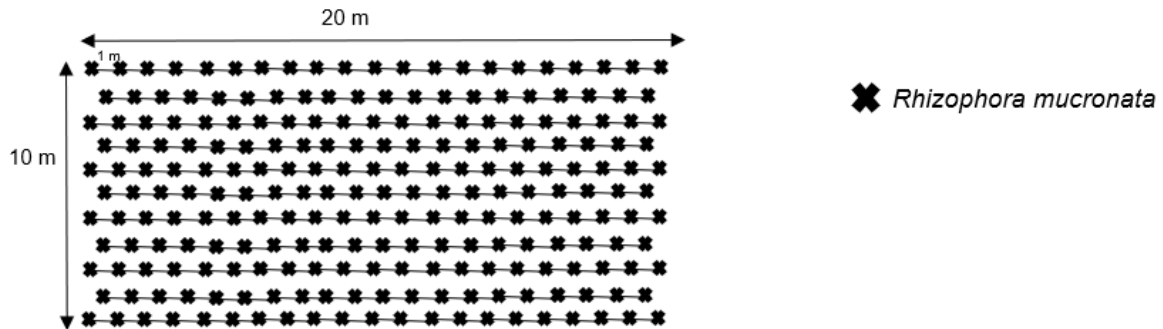


Figure 31: Schéma de la plantation des *Rhizophora mucronata* selon les espacements prévus (CHAILLLOT Eléa, 2023)

Cela représente une surface de  $20 \times 10 = 200 \text{m}^2$  pour 226 plants d'arbres (100% de *Rhizophora mucronata*).

On obtient alors une densité d'arbre de 1,13 arbres/m<sup>2</sup>.

Remarque : Cette densité vaut aussi pour les plantations de CT et AM arrière-mangrove car leur reboisement est prévu avec la même configuration.

- Pour AM + CT :

Les graines d'*Avicennia marina* seront espacés de 3 mètres entre elles. Entre ces plants, une propagule de *Ceriops tagal* sera planté. Pour la ligne suivante, on suit cette répartition mais de manière à mettre en quinconce les espèces.

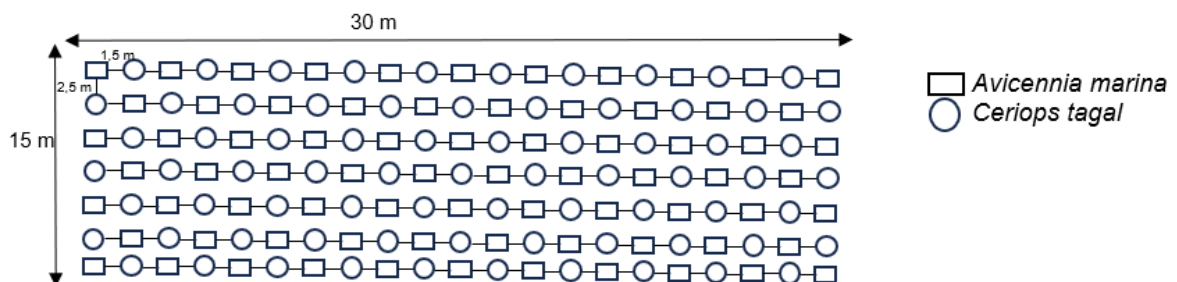


Figure 32: Schéma de la plantation des *Avicennia marina* et *Ceriops tagal* selon les espacements prévus (CHAILLLOT Eléa, 2023)

Cela représente une surface de  $30 \times 15 = 450 \text{m}^2$  pour 140 plants d'arbres (50% d'*Avicennia marina* et 50% de *Ceriops tagal*).

On obtient alors une densité d'arbre de 0,311 arbres/m<sup>2</sup>.

- Pour BG + CT + RM :

Les espèces de *Brugueria*, *Ceriops* et *Rhizophora* seront replantées l'une après l'autre, avec un espacement d'un mètre entre chaque plants. Pour les deux lignes suivantes, on suit cette répartition mais de manière à mettre en quinconce les espèces (Cf. figure 33).

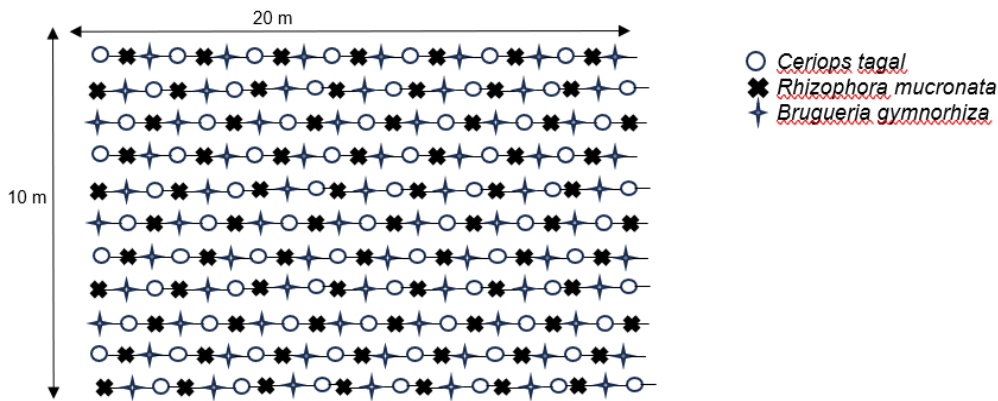


Figure 33: Schéma de la plantation des *Ceriops tagal*, *Rhizophora mucronata* et *Brugueria gymnorhiza* selon les espacements prévus (CHAILLLOT Eléa, 2023)

Cela représente une surface de  $20 \times 10 = 200 \text{m}^2$  pour 231 plants d'arbres (33% de *Ceriops tagal*, 33% de *Rhizophora mucronata* et 33% de *Brugueria gymnorhiza*).  
On obtient alors une densité d'arbre de 1,15 arbres/m<sup>2</sup>.

Remarque : Cette densité vaut aussi pour les plantations de RM+CT car leur reboisement est prévu avec la même configuration.

En connaissant la surface de la zone à reboiser, il est donc possible de connaître le nombre de plants à planter. En connaissant la proportion d'espèces dans les différents mélanges proposés, il est aussi possible de connaître le nombre de plants à planter pour chaque espèce.

Dans le cas où l'on doit replanter du *Sonneratia alba* et de *Avicennia marina* en font de mer et qu'une pépinière est nécessaire, on peut connaître aussi la taille de la pépinière qui sera nécessaire. Dans un premier temps, la mortalité en pépinière est estimée à environ 20%. Sachant cela, il faut prévoir 20% de plants en plus pour ceux qui poussent en pépinière. On sait que l'on peut planter 100 plants par m<sup>2</sup> (Pôle relais zones humides tropicales, 2018), il suffit ensuite de savoir le nombre de plants à mettre en pépinière et la taille de celle-ci sera alors dévoilée. Afin de faciliter grandement les calculs, un tableau Excel peut être créé (Cf. figure 34).

Espèce(s) replant	Espacement entr	Nombre d'arbres	Représentation d	Surface	Nb AM am	Nb AM fm	Nb RM	Nb CT	Nb SA	Nb BG
AM am	1	1,13	100%		0					
AM fm	2	0,33	100%			0				
RM	1	1,13	100%				0			
CT	1	1,13	100%					0		
RM + CT	1	1,15	50%				0	0		
SA + am fm	2	0,203	50%			0			0	
AM fm + CT	1,5	0,311	50%		0				0	
BG + CT + RM	1	1,15	33%				0		0	0
TOTAL					0	0	0	0	0	0
20% de perte en pépinière						0				0
Taille de pépinière	0									

Figure 34: Tableau Excel permettant le calcul du nombre de plants nécessaire à la reforestation ainsi que la taille de la pépinière (CHAILLLOT Eléa, 2023)

Dans ce tableau Excel, Il suffit de remplir la colonne « Surface » avec les données fournies par QGIS et les résultats s'afficheront via une automatisation mise en place au préalable.

Remarque : ces résultats fonctionnent seulement avec les espacements fournis précédemment dans les cas d'études. Si ces espacement venaient à être modifiés, la colonne du tableau Excel « Nombre d'arbres/m<sup>2</sup> pour ce mélange » sera alors à modifier.

## LES DIFFÉRENTS CAS D'ÉTUDES RÉALISÉS

Au travers des phases terrain effectuées, différentes zones déboisées ont été étudiées et un plan de reforestation pour chacune a pu être mis en place. Ces plans de reforestation se basent sur les fiches solutions, les caractéristiques du terrain ainsi que les connaissances du technicien mangrove.

En plus de proposer un plan de reforestation, une estimation du nombre de plants/propagules à replanter par espèces a été calculé, ainsi qu'une estimation de taille de pépinière à mettre en place quand cela est nécessaire.

Vous trouverez ci-dessous des représentations de zones étudiées en juin 2023. Pour ces zones, un état des lieux suivant le protocole proposé dans ce document a été réalisé. Ensuite, une proposition de reboisement a été discutée en étudiant notamment la surface totale sur le logiciel Qgis.

Légende :

AM fm : *Avicennia marina* en front de mer.

AM am : *Avicennia marina* en arrière-mangrove.

RM : *Rhizophora mucronata*.

CT : *Ceriops tagal*.

SA + am fm : *Sonneratia alba* + *Avicennia marina*, SA est en majuscule car c'est l'espèce que l'on souhaite conserver par la suite, les *Avicennia* seront par la suite coupés c'est pour cela que l'espèce est écrite en minuscule.

AM fm + CT : *Avicennia marina* + *Ceriops tagal*, les deux espèces sont en majuscules, les deux espèces sont donc à conserver par la suite.

BG + CT + RM = *Brugueria gymnorhiza* + *Ceriops tagal* + *Rhizophora mucronata*, toutes les espèces sont en majuscules, toutes les espèces sont donc à conserver par la suite.

RM + CT = *Rhizophora mucronata* + *Ceriops tagal*, les deux espèces sont en majuscules, les deux espèces sont donc à conserver par la suite.

### ANKATAKATABÉ



#### 1. CAS 1

Cette zone déboisée se trouve en front de mer, avec un substrat sablo-vaseux. C'est une coupe sélective abusive, il y a donc présence de certains arbres dans la zone. Cette coupe est, selon la parole des anciens, très ancienne (ce sont les grands parents des anciens interrogés qui avaient déboisé).

Figure 35: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

Dans un premier temps, en front de mer, un mélange de *Sonneratia alba* et d'*Avicennia marina* sera planté, dans le but par la suite de ne garder que les *Sonneratia*.

Derrière cette ligne de SA+am, seul des *Avicennia marina* seront plantés, afin de garder la continuité écologique naturelle d'une forêt de mangrove.

Afin que ces plants tiennent face à la pression de vagues, ces plants seront tout d'abord développés dans une pépinière. (Cf. fiche solution 5)

Un an après la plantation de *Sonneratia alba* et d'*Avicennia marina*, lorsque les plants seront bien fixés et auront un rôle de protection face à la mer, la plantation de propagules de *Rhizophora mucronata* pourra se faire si de la boue s'est créée.



Figure 36: Plan de reboisement de mangrove pour Ankatakatabé réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

En raison de l'emplacement de la zone de reboisement (face à la mer, sans protection face aux vagues), la mortalité des jeunes plants pourrait être élevée. Pour cette raison, les plants de *Sonneratia alba* seront espacés de 4 mètres, et entre ces plants, un plant d'*Avicennia marina* sera planté. Pour la ligne suivante, on suit cette répartition mais de manière à mettre en quinconce les espèces.

De plus, il a été pris en compte l'angle que doivent suivre ces plantation afin de protéger au mieux de la force des vagues et du vent. En effet, comme présenté sur la figure 29, il vaut mieux placer les plants avec un certain angle par rapport à la mer afin de permettre une meilleure protection des plants en arrière. Les deux espèces sont représentées à 50% chacune car il y a une alternance d'une espèce sur deux.

Par Qgis, il est possible d'obtenir les surfaces des espaces que l'on souhaite reboiser (Cf. annexe 14) :

	id	ESPECES	ANNEE REFO	surface
1	1	RM	2024	12711,315
2	3	AM fm	2023	13885,910
3	2	SA + am	2023	14267,004

Figure 37: Table attributaire des zones à reboiser (CHAILLOT Eléa, 2023)

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivants, en prenant en compte les 20% de perte au sein de la pépinière :

- 1738 plants de *Sonneratia alba*,
- 7237 plants d'*Avicennia marina*,
- 14364 propagules de *Rhizophora mucronata*.

Enfin, il faut prendre en compte le fait qu'il faille construire une pépinière afin de permettre le bon développement d'*Avicennia marina* et de *Sonneratia alba*. En se basant sur le chiffre de 100 plants par mètre carré, il faudra donc une pépinière d'environ 90m<sup>2</sup>.

## 2. CAS 2



Cette zone déboisée se trouve en front de mer, avec du substrat sableux. C'est une coupe sélective abusive, il y a donc présence de certains arbres dans la zone. Cette coupe est, selon la parole des anciens, très ancienne (ce sont les grands parents des anciens interrogés qui avaient déboisé).

Figure 38: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le même que le cas précédent, à savoir :

Dans un premier temps, en front de mer, un mélange de *Sonneratia alba* et d'*Avicennia marina* sera planté, dans le but par la suite de ne garder que les *Sonneratia*.

Derrière cette ligne de SA+am, seul des *Avicennia marina* seront plantés, afin de garder la continuité écologique naturelle d'une forêt de mangrove.

Afin que ces plants tiennent face à la pression de vagues, ces plants seront tous d'abord développés dans une pépinière (Cf. fiche solution 5).

Dans un second temps, un an après la plantation de *Sonneratia alba* et d'*Avicennia marina*, lorsque les plants pourront faire « barrière » face à la mer, la plantation de propagules de *Rhizophora mucronata* pourra se faire si de la boue s'est créée (Cf. fiche solution 6).



Figure 39: Plan de reboisement de mangrove pour Ankatakatabé réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

id	espece	annee refo	surface
1	1 RM	2025	20348,640
2	2 AM fm	2023	15430,085
3	3 SA + am	2023	33612,096

Figure 40: Table attributaire de la zone à reboiser (Chaillot Elea, 2023)

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivants, en prenant en compte les 20% de perte au sein de la pépinière :

- 4094 plants de *Sonneratia alba*,
- 10204 plants d'*Avicennia marina*,
- 22994 propagules de *Rhizophora mucronata*.

Enfin, il faut prendre en compte le fait qu'il faille construire une pépinière afin de permettre le bon développement d'*Avicennia marina* et de *Sonneratia alba*. En se basant sur le chiffre de 100 plants par mètre carré, il faudra donc une pépinière d'environ 143m<sup>2</sup>.

# AMBALAHONKO

## 1. CAS 1

Localisation de la zone déboisée à Ambalahonko



Cette zone déboisée se trouve en front de mer, avec du substrat sableux. C'est une zone de mort naturelle dû à un ensablement de la zone, puis de la coupe a été effectuée sur les plants morts naturellement. Cet ensablement est actuellement toujours en mouvement et s'avance vers la forêt.

Figure 41: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

Le banc de sable étant toujours en progression, aucune reforestation ne sera faite dans cet espace. Il faut alors chercher à replanter au niveau des mangroves encore présentes, afin de les consolider et de freiner le mouvement sédimentaire.

Les espèces *Avicennia marina* et de *Sonneratia alba* sont les espèces propices à cette reforestation, en vue du substrat et de la position de la reforestation.

Si cette reforestation fonctionne, alors la mangrove déjà présente devra naturellement être redensifiée, qui de même, permettra de stabiliser le banc de sable.

Une partie, plus en arrière de mangrove, sera alors reboisée avec uniquement de *Avicennia marina*. En effet, c'est une espèce qui peut vivre sur substrat sableux, freiner les mouvements sédimentaires et elle est très malléable quant aux apports d'eau. Pour cette reforestation, il a été décidé d'espacer les *Avicennia marina* d'un mètre. Le nombre de plants à planter est donc de 2,5 arbres/m<sup>2</sup>. Cette forte densification a été choisie en raison de l'importante force des vagues sur la zone et de la présence du banc de sable, deux paramètres qui risquent d'augmenter la mortalité des plants. (Cf. fiches solution 1 et 5).

Plan de reboisement de mangrove pour Ambalahonko

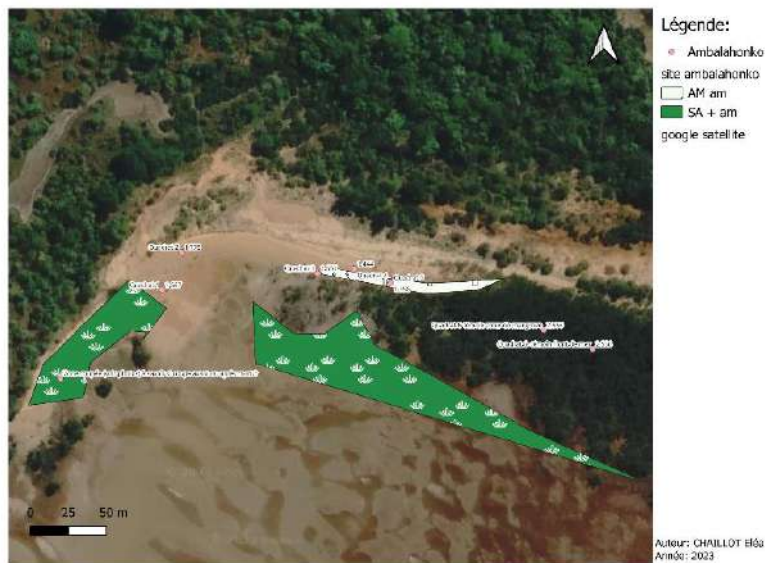


Figure 42: Plan de reboisement de mangrove pour Ambalahonko réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

id	▲	Espece	Annee refo	surface
1	1	AM am	2023	688,011
2	2	SA + am	2023	5955,719
3	3	SA + am	2023	2662,334

Figure 43: Table attributive de la zone à reboiser (Chaillot Elea, 2023)

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant, en prenant en compte les 20% de perte au sein de la pépinière :

- 1050 plants de *Sonneratia alba*,
- 1050 plants d'*Avicennia marina*.

Enfin, il faut prendre en compte le fait qu'il faille construire une pépinière afin de permettre le bon développement d'*Avicennia marina* et de *Sonneratia alba*. Il faudra donc une pépinière d'environ 21m<sup>2</sup>.

## 2. CAS 2

Localisation de la zone déboisée à Ambalahonko



Cette zone déboisée se trouve au niveau du tanne avec un substrat vaseux. C'était une zone de coupe à blanc pour le charbon.

Figure 44: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

La zone de tanne n'a pas pour vocation d'être reboisée, il n'est donc pas prévu d'agir sur cet espace.

Il est cependant pertinent de reboiser les espaces précédemment boisés en replantant les espèces que l'on trouvait auparavant dans la zone.

Dans cette démarche, il a été décidé de replanter et redensifier les espaces déboisés avec de *Avicennia marina* ainsi que du *Ceriops tagal*, espèces que l'on retrouvait dans la zone.

Puisque la zone est proche du tanne, sans pression des vagues, il a été décréter qu'une pépinière n'était pas nécessaire au développement de *Avicennia marina* et que ceux-ci pouvaient être replantés de manière directe.

Plan de reboisement de mangrove pour Ambalahonko 2

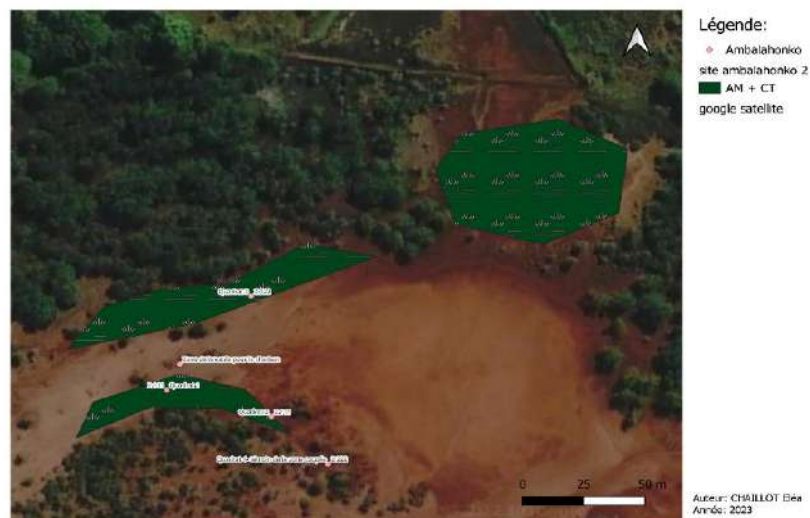


Figure 45: Second plan de reboisement de mangrove pour Ambalahonko réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

	id	especes	annee refo	surface
1	1	AM + CT	2023	3305,253
2	2	AM + CT	2023	1704,781
3	3	AM + CT	2023	933,485

Figure 46: Table attributive de la zone à reboiser (Chaillot Elea, 2023)

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivants :

- 924 plants d'*Avicennia marina*,
- 924 propagules de *Ceriops tagal*.

Puisque la zone se trouve au niveau d'un tanne, il a été décrété qu'une pépinière n'était pas nécessaire au développement de l'*Avicennia* et que celle-ci pouvait être replantée de manière directe avec des graines.

En ce qui concerne la zone à densifier, l'aire de la zone peut être calculée sur Qgis.

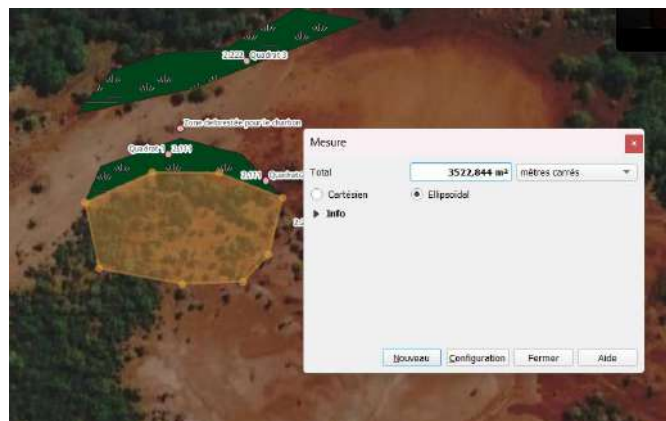


Figure 47: Calcul de l'aire de la zone à densifier via QGIS 3.30.2

De plus, il est estimé que cette zone est encore boisée à 40% (observation terrain à l'œil nu), il faut donc reboiser seulement 60% de la zone, ce qui correspond à 2113,70m². Les espacements sont conservés par rapport à la partie précédente, il est donc possible de connaître le nombre de plants nécessaires à la densification :  $2113,70 \times 0,311 = 658$  arbres à replanter.

La proportion entre les *Avicennia* et les *Ceriops* étant égale, les résultats obtenus sont :

- 329 graines d'*Avicennia marina*,
- 329 propagules de *Ceriops tagal*.

# BAIE DE MORAMBA

## 1. CAS 1

Localisation de la zone déboisée dans la baie de Moramba



Cette zone déboisée se trouve aux abords de la rivière, avec du substrat sablo-vaseux. C'est une zone de mort naturelle qui par la suite a été coupée afin de servir au charbonnier vivant sur la zone. Toute la zone est entourée de sable et il y a présence d'eau stagnante (l'eau sera remplacée à chaque marée).

Figure 48: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

La zone où le substrat est sablo-vaseux sera replantée avec des graines d'*Avicennia marina*. Il a été décidé de planter un plant tous les mètres. Cette espèce a été choisie car elle peut comme *Sonneratia alba*, se développer sur substrat sableux, mais elle peut vivre dans d'autres espaces de la mangrove que face au front de mer (Cf. fiche solution 6).

La partie sableuse qui entoure la zone ne sera pas reboisée. Si la colonisation du milieu se fait, une fois les plants d'*Avicennia* plantés, alors cette partie sableuse devrait elle aussi être reboisée de manière naturelle.

Si le reboisement fonctionne, il sera alors possible de couper certains plants d'*Avicennia* afin que l'on retrouve un espacement propice au développement de l'espèce, mais aussi pour répondre à la demande en bois des populations.

Plan de reboisement de mangrove pour Mme Brigitte



id	espece	annee refo	surface
1	AM am	2023	212,175
2	AM am	2023	313,830

Figure 49: Plan de reboisement de mangrove pour la baie de Moramba ainsi que la table attributaire associée réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant :

- 594 plants d'*Avicennia marina*,

Puisque la zone se trouve au niveau d'un bord de rivière, dans une zone derrière une portion de mangrove, sans pression des vagues, il a été décrété qu'une pépinière n'était pas nécessaire au développement de l'*Avicennia* et que celle-ci pouvait être replantée de manière directe.

## 2. CAS 2



Cette zone déboisée se trouve au niveau du tanne, avec du substrat sablo-vaseux. C'est une zone de coupe sélective non abusive, d'où le rendu en vue aérienne.

Figure 50: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

L'idée générale est de replanter la zone déboisée en suivant la continuité écologique de la zone.

Dans l'entrée de la zone déboisée, il est prévu de planter un mélange d'espèces que l'on retrouve naturellement dans cette strate de mangrove, c'est-à-dire du *Rhizophora mucronata*, du *Brugueria gymnorhiza* et du *Ceriops tagal*. (Cf. fiche solution 6)

Ces espèces seront replantées l'une après l'autre, avec un espacement d'un mètre entre chaque plants.

En cœur de mangrove, il est prévu de replanter uniquement du *Rhizophora mucronata*. Ces plants seront également espacés d'un mètre. Si le reboisement se passe bien, lorsque les plants seront adultes, il sera possible de couper des plants, afin de retrouver un espacement propice au développement de chaque espèce. Les espèces à couper seront alors déterminées par les besoin des populations, mais dans tous les cas il faudra conserver le mélange d'espèces. Puisque la zone se trouve loin du front de mer et donc à l'abri de la pression des vagues, il a été décidé qu'une pépinière n'était pas nécessaire au développement des espèces à planter et que celles-ci pouvaient être replantées de manière directe.

Plan de reboisement de mangrove pour Mme Brigitte



id	espece	surface	annee refo
1	1 BG + CT + RM	360,396	2023
2	2 RM	372,273	2023

Figure 51: Plan de reboisement de mangrove pour la baie de Moramba ainsi que la table attributaire associée réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

Il faut aussi prendre en compte le fait que la zone est déjà en partie reboisée de manière naturelle, ce qui représente environ 60% de la densité de la zone. Il reste à reboiser seulement 40% du site.

Pour l'espace où l'on replante BG + CT + RM, la surface à reboiser est donc uniquement de 144m<sup>2</sup>.

De même pour l'espace monospécifique de RM, il ne faut reboiser que 149m<sup>2</sup>.

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant :

- 55 propagules de *Brugueria gymnorhiza*,
- 55 propagules de *Ceriops tagal*,
- 223 propagules de *Rhizophora mucronata*.

### 3. CAS 3

Localisation de la zone déboisée dans la baie de Moramba



Cette zone déboisée se trouve proche du tanne, avec un substrat sablo-vaseux. C'est une zone de coupe sélective.

Figure 52: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

L'idée générale est de replanter la zone déboisée en suivant la continuité écologique de la zone, comme précédemment.

Dans la zone déboisée, il est prévu de planter un mélange d'espèces que l'on retrouve au niveau de cette zone, c'est-à-dire, du *Rhizophora mucronata*, du *Brugueria gymnorhiza* et du *Ceriops tagal*. (Cf. fiche solution 6)

Ces espèces seront replantés l'une après l'autre, avec un espacement d'un mètre entre chaque plants. Si le reboisement se passe bien, lorsque les plants auront assez grandi pour certaines utilisations (clôtures, etc), il sera possible de les couper pour retrouver un espacement propice au développement de chaque espèce et pour répondre de manière adéquate aux besoins en bois. Les espèces à couper seront alors déterminées par les besoins des population, mais dans tous les cas il faudra conserver le mélange d'espèces. Au vu de l'emplacement de la zone, une pépinière ne sera pas nécessaire au développement des espèces à planter : les propagules de ces dernières seront plantées directement.

Plan de reboisement de mangrove pour Mme Brigitte



id	espece	annee refo	surface
1	1 BG + CT + RM	2023	208,384
2	2 BG + CT + RM	2023	79,570

Figure 53: Plan de reboisement de mangrove pour la baie de Moramba ainsi que la table attributaire associée réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

Il faut aussi prendre en compte le fait que la zone est déjà en partie reboisée de manière naturelle, ce qui représente environ 30% de la densité de la zone. Il reste à reboiser seulement 70% du site.

Pour l'espace où l'on replante BG + CT + RM, la surface à reboiser est donc uniquement de 202m<sup>2</sup>.

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant :

- 77 propagules de *Brugueria gymnorhiza*,
- 77 propagules de *Ceriops tagal*,
- 77 propagules de *Rhizophora mucronata*.

## AMBALATSINGY

### 1. CAS 1

Localisation de la zone déboisée à Ambalatsingy



Cette zone déboisée se trouve au niveau du tanne, avec un substrat vaseux. C'est une zone de coupe à blanc de *Rhizophora mucronata*.

De nouvelles pousses de *Rhizophora* sont présentes (jeunes pousses et juvéniles), le but est d'aider à la recolonisation naturelle en l'accéléralant tant que le substrat est toujours de bonne qualité.

Figure 54: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

L'ensemble de la zone sera reboisé avec du *Rhizophora mucronata*.

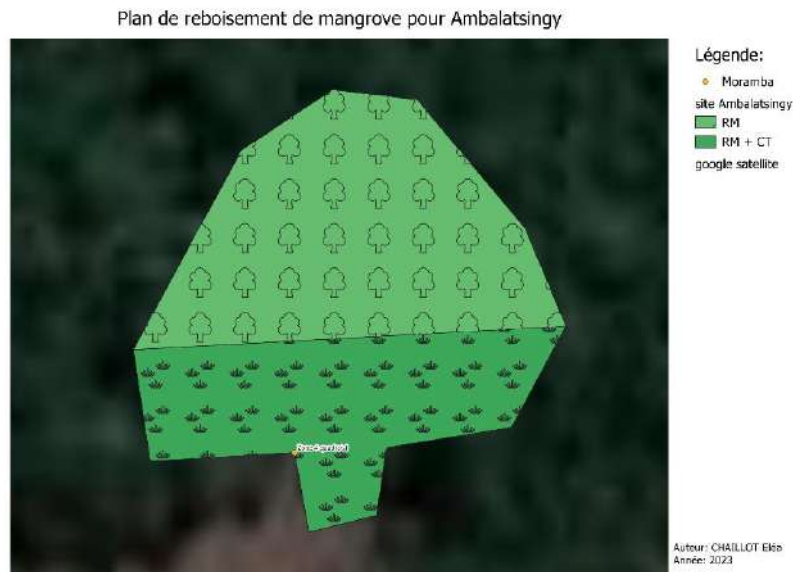
Dans l'entrée de la zone, le *Rhizophora* sera couplé avec du *Ceriops tagal* : le *Ceriops* pourra dans le futur être coupé pour répondre aux besoins en bois pour les clôtures ce qui permettra d'aérer la zone des *Rhizophora* et de donner du bois aux populations. Il ne faudra pas bien sûr pas couper l'entièreté des *Ceriops tagal* afin de garder le mélange des espèces. Cette gestion des ressources revient alors aux communautés locales qui selon leurs besoins et leurs avis, couperont ou non.

Les plants de *Rhizophora* et de *Ceriops* seront espacés d'un mètre.

Dans le fond de la zone, seul du *Rhizophora mucronata* sera planté avec une distance d'un mètre entre chacune des propagules.

En raison de l'emplacement de la zone (dans un cœur de mangrove proche du tanne et non soumis aux pressions des vagues), il a été décrété qu'une pépinière n'était pas

nécessaire au développement des espèces à planter et que celles-ci pouvaient être replantées de manière directe.



id	espece	annee refo	surface
1	1 RM + CT	2023	131.235360314...
2	2 RM	2023	190.275449943...

Figure 55: Plan de reboisement de mangrove pour Ambalatsingy ainsi que la table attributaire associée réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

Il faut aussi prendre en compte le fait que la zone est déjà en partie reboisée de manière naturelle, ce qui représente environ 5% de la zone. Il reste à reboiser seulement 95% du site. Pour l'espace où l'on replante RM + CT, la surface à reboiser est donc uniquement de 125m<sup>2</sup>. De même pour l'espace de RM, il ne faut reboiser que 180m<sup>2</sup>.

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant :

- 72 propagules de *Ceriops tagal*,
- 275 propagules de *Rhizophora mucronata*.

## 2. CAS 2

Localisation de la zone déboisée à Ambalatsingy



Cette zone déboisée se trouve au niveau du tanne, avec du substrat sablo-vaseux. Il y a sur cette zone une partie de coupe sélective et une partie de coupe à blanc.

Figure 56: Image satellite de la zone déboisée avec les quadrats associés (Image satellite : google satellite, 2023)

Le plan proposé est le suivant :

Il sera replanté, que ce soit pour la partie de coupe sélective ou la partie de coupe à blanc, du *Ceriops tagal*, l'espèce que l'on retrouve dans toute la zone naturellement. Le *Ceriops* étant déjà présents de manière naturelle, l'ajout d'*Avicennia marina*, espèce permettant la bonne implantation d'autres espèces de palétuviers ne semble alors pas nécessaire. Les *Ceriops* seront espacés d'un mètre et lorsqu'ils seront de taille à être coupés pour les besoins des populations, cela sera faisable pour en plus aérer la zone. Ainsi, le nombre de plants à planter est égal à la surface de la zone.

Puisque la zone est en bordure de tanne, il a été décrété qu'une pépinière n'était pas nécessaire au développement de l'espèce à planter et que celle-ci pouvait être replantée de manière directe.

Plan de reboisement de mangrove pour Ambalatsingy



id	espece	annee refo	surface
1	1 CT	2023	2505,093
2	2 CT	2023	852,048
3	3 CT	2023	934,830

Figure 57: Plan de reboisement de mangrove pour Ambalatsingy ainsi que la table attributaire associée réalisé sur QGIS 3.30.2 (CHAILLOT Eléa, 2023)

Il faut aussi prendre en compte le fait que la zone est déjà en partie reboisée de manière naturelle, ce qui représente environ 30% de la zone. Il reste à reboiser seulement 70% du site. Pour l'espace où l'on replante CT, la surface à reboiser est donc de 3005m<sup>2</sup>.

En rentrant ces surfaces dans le tableur Excel (Cf. figure 34), on obtient les résultats suivant :

- 3396 propagules de *Ceriops tagal*

A l'avenir, il faudra continuer d'ajouter les différentes études de cas réalisés lors de prochaines phases terrain afin d'agrandir la banque d'exemples.

## E. BIBLIOGRAPHIE

- Ellison, J., Jungblut, V., Anderson, P., & Slaven, C. (2012). *Manual for Mangrove Monitoring in the Pacific Islands Region*.  
[https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual\\_Mangrove\\_Monitoring\\_PICs.pdf](https://www.sprep.org/attachments/Publications/Manual_Mangrove_Monitoring_PICs.pdf)
- Pôle relais zones humides tropicales. (2018). *Guide technique : La restauration de Mangroves, synthèse des éléments clés à considérer pour tout chantier de restauration* (p. 32).  
<https://www.cen.nc/documents/22209/88971/Guide+technique+de+restauration+de+mangrove/bdb5e93f-e8f3-48a6-9bfc-5f690b93ebfe>
- Slobodian, L., & Badoz, L. (2020). *Racines enchevêtrées et marées changeantes Gouvernance des mangroves pour la conservation et l'utilisation durable* (1. Auflage). Umweltstiftung WWF - Deutschland. <https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2020/07/Tangled-Roots-and-Changing-Tides-FR.pdf>
- Winterwerp, J. C., Albers, T., Anthony, E. J., Friess, D. A., Mancheño, A. G., Moseley, K., Muhari, A., Naipal, S., Noordermeer, J., Oost, A., Saengsupavanich, C., Tas, S. A. J., Tonneijck, F. H., Wilms, T., Van Bijsterveldt, C., Van Eijk, P., Van Lavieren, E., & Van Wesenbeeck, B. K. (2020). Managing erosion of mangrove-mud coasts with permeable dams – lessons learned. *Ecological Engineering*, 158, 106078. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106078>

### III. MÉTHODE DE SUIVI DES ZONES REFORESTÉES

#### PROTOCOLE DE SUIVI DES ZONES REFORESTÉES

Une fois le reboisement des mangroves réalisé, il est nécessaire d'assurer le suivi du site pour connaître son évolution. Le protocole présenté ci-dessous est le protocole réalisé par Bourlet Juliette en 2020, stagiaire de l'association Opti'Pousse Haie. Il a été élaboré à partir de quatre documents :

- Besnard A & J.M. Salles. (2010). Suivi scientifique d'espèces animales. Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis (p. 62).
- Environmental Protection (Water) Policy. (2018). Monitoring and Sampling Manual Biological assessment.
- Greg M. Wagner. (2005). Participatory monitoring of changes in coastal and marine biodiversity (34(1); Indian Journal of Marine Sciences, p. 136-146).
- Lewis, R. R., & Brown, B. (2014). Ecological Mangrove Rehabilitation (EMR) Manual. Blue Forests. <https://blue-forests.org/en/knowledge/resources-publications/ecological-mangrove-rehabilitation-emr/>

Ce suivi doit témoigner de l'état général de la mangrove à l'échelle écosystémique, c'est-à-dire qu'il doit apporter des informations assez larges et doit prendre en compte le maximum de paramètres. Lors de sa création, le protocole a été testé quatre fois dans quatre villages différents. Des modifications ont été apportées au fur et à mesure, pour des raisons de compréhension et pour faciliter la réalisation du suivi. Bien que le protocole ait été repris dans ce rapport, la fiche de terrain associée a été légèrement modifiée.

Le suivi participatif se fait par groupe de quatre personnes, incluant un chef de suivi qui organise et encadre ces derniers. Ce suivi doit avoir une fréquence de 2 à 3 fois par an, avec au moins un suivi en saison sèche et un suivi en saison des pluies. La mangrove est généralement structurée en bandes parallèles à la mer, souvent mono-spécifiques (ou bispécifiques). Afin de prendre en compte toutes les espèces différentes, les quadrats sont réalisés le long d'une ligne perpendiculaire à la mer. Le trajet doit être identique à chaque suivi réalisé au cours du temps, afin de retrouver toujours les mêmes quadrats. Le suivi dure en moyenne entre 2h30 et 4h, suivant la taille de la zone. En brousse, les villageois peuvent être analphabètes, le suivi a dû donc être adapté. Il est cependant nécessaire qu'au moins deux personnes connaissent l'écriture des nombres et puissent les écrire. Les données seront ensuite à analyser par un technicien mangrove.

Une demi-journée de formation est nécessaire afin de former les équipes à la réalisation du suivi.

#### **Matériel :**

- Corde de 20m,
- Corde de 4m,
- Fiches de suivi (une par quadrat),
- Crayons,
- Pochette cartonnée pour support feuille,
- Mètre ruban.

#### **Protocole :**

- Le groupe se rend au départ du premier transect, où le chef de suivi expliquera la réalisation des quadrats. Le départ du premier transect se trouve à l'endroit marqué lors du reboisement de la zone (Cf. figure 28) par exemple sur un arbre marqué lors de la première campagne de suivi.

- Mettre en place le quadrat de 25m<sup>2</sup>. Le coin en bas à gauche du quadrat doit correspondre à l'arbre marqué par de la peinture.
- Mettre en place le quadrat de 1m<sup>2</sup> dans le coin en bas à droite du quadrat.
- Compléter l'entête de la fiche de suivi : nom du village, date de réalisation, heure, etc. Cette fiche est disponible en français en annexe 15, et en malagasy en annexe 16.
- Chacun des observateurs se place dans un coin du quadrat puis pendant 5 minutes, dans le silence, compte le nombre de *Neosarmatium meinerti* (crabe à pinces rouges), de *Uca urvillei* (crabes violonistes, dit « Kalafoba Tsinjakatambalaka » en malagasy) et de *Goniopsis pelii* (crabes mangeurs de feuilles, dit « Kalafoba gonjo » en malagasy). De plus, noter la présence ou non de *Scylla serrata* (crabe de mangrove, dit « Drakaka » en malagasy), de *Periophthalmus sp* (gobies, dit « Kitrantran » en malagasy), de *Terebralia palustris* (bulots, dit « Ankora » en malagasy), de *Pagurus bernhardus* (Bernard l'Hermite) et de *Saccostrea cuculla* (huîtres de mangroves, dit « Saja » en malagasy). Les individus de ces dernières espèces ne seront pas comptés, car elles sont soit en très faible nombre ou bien beaucoup trop nombreuses. Elles ont également moins d'intérêt écologique.
- Les cinq minutes passées, chaque personne rapporte ses observations pour qu'elles soient notées sur la fiche de suivi, à l'emplacement prévu à cet effet.
- Ensuite, deux membres du groupe mesurent le périmètre de tous les troncs à l'intérieur du quadrat à l'aide d'un mètre ruban, entre 10 et 40 cm du sol pour les petits plants, et à environ 1.3m pour les grands arbres. Au même moment, identifier le stade de vie de l'arbre (juvénile, jeune pousse, adulte, mort coupé ou mort naturellement) et inscrire l'information dans le tableau qui sera rempli par la troisième personne.
- Au même moment, une autre personne compte le nombre de trous de galeries de crabes dans le quadrat de 1m/1m. Il est important que le quadrat ne soit pas piétiné avant le comptage, car les trous de crabes seraient moins visibles. Ce nombre sera également inscrit sur la fiche de suivi.
- Une fois cette analyse effectuée, l'heure de fin est notée et les cordes des quadrats sont enlevées. Passer au deuxième quadrat (20m plus loin) dont l'angle en bas à gauche sera indiqué par un repère comme pour le premier quadrat, et réaliser de nouveau le protocole.
- Réaliser l'opération en suivant les marques laissées pour identifier chacun des angles en bas à gauche des quadrats.
- Une fois que tous les quadrats sur le transect sont réalisés, passer au prochain transect : il se situe à 20m parallèlement au premier.
- Réaliser la même opération jusqu'à ce que l'ensemble des transects à faire sur la zone aient été faits.

*Remarque 1 : les conditions du milieu sont susceptibles de détériorer les marques laissées pour indiquer l'espacement des quadrats. Si un des repères venait à ne plus être visible, il peut être retrouvé car les quadrats sont espacés de 20m entre eux. Entre le côté haut du précédent quadrat et le bord bas du prochain, il y a donc 20m de longueur.*

*Remarque 2 : ce protocole est disponible en malagasy et de manière illustrée en annexe 17.*

## LES INDICES DE BIODIVERSITÉ À LA SUITE DU REBOISEMENT

Pourquoi les calculer ? Ces indices permettent de savoir le nombre d'espèces présentes dans la zone d'étude et si ces espèces sont réparties de manière homogène ou non. Ces indices sont par la suite comparables entre plusieurs zones d'études et dans le

temps.

Dans la phase de suivi, ces indices permettront de savoir si le reboisement se fait de manière homogène et si le reboisement aura permis l'apport d'une plus grande diversité (faunistique ou floristique).

Il existe deux formules principales qui permettent d'obtenir des indices de biodiversité : l'indice de Shannon et de Simpson.

- L'indice de Shannon :

Cet indice permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement. Si le peuplement est homogène, alors  $H'=0$ . Plus il y aura la présence d'espèces différentes, plus sa valeur va augmenter de manière logarithmique. Il est souvent compris entre 0 et 5, mais n'as en théorie pas de maximum.

De manière générale, cet indice permet de savoir si beaucoup d'espèces différentes sont présentes dans la zone d'étude. S'il y a qu'une seule espèce, alors  $H'=0$ . Au contraire, plus il y aura d'espèces différentes de présentes, plus la valeur d' $H'$  va augmenter.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

Avec :

$p_i$  = l'abondance relative d'une espèce ( $p_i = n_i/N$ ),

$n_i$  = le nombre d'individus dénombré pour une espèce,

$N$  = le nombre total d'individus dénombrés toutes espèces confondues,

$S$  = le nombre d'espèces recensées en tout.

- L'indice de Simpson :

L'indice de Simpson permet d'obtenir la probabilité que deux individus choisis appartiennent à la même espèce. Il donne plus de poids aux espèces majoritaires face aux espèces rares. Plus cet indice est proche de 1, plus le peuplement est homogène.

Cet indice permet donc de donner la probabilité que si deux arbres ou animaux dans la zone d'étude sont choisis, ces deux individus soient de la même espèce. Plus d'importance est donné aux espèces retrouvées en forte quantité face aux espèces retrouvées rarement. Si une seule espèce dans la zone est retrouvée, alors  $D$  est proche de 1.

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Avec :

$p_i$  = l'abondance relative d'une espèce ( $p_i = n_i/N$ ),

$n_i$  = le nombre d'individus dénombré pour une espèce,

$N$  = le nombre total d'individus dénombrés toutes espèces confondues,

$S$  = le nombre d'espèces recensées en tout.

Exemple :

Un quadrat est effectué et une observation du nombre de crabes qui passent est faite. Toutes les espèces de crabes et le nombre de crabes par espèces sont comptés.

Après 10 minutes d'observation les résultats ci-dessous sont obtenus :

Espèce	Nombre d'individus
<i>Scylla serrata</i> (Drakaka)	12
<i>Uca urvillei</i> (Kalafoba Tsinjakatambalaka)	3
<i>Goniopsis pelii</i> ( Kalafoba gonjo)	35
Total	50

L'abondance relative de chaque espèce est alors calculée :

- Pour l'espèce *Scylla serrata* :  $p_i = 12/50 = 0,24$ .
- Pour l'espèce *Uca urvillei* :  $p_i = 3/50 = 0,06$ .
- Pour l'espèce *Goniopsis pelii* :  $p_i = 35/50 = 0,7$ .

Les indices de biodiversité sont alors :

- Indice de Shannon :  $H' = -(0,24 \cdot \log_2(0,24) + 0,06 \cdot \log_2(0,06) + 0,7 \cdot \log_2(0,7)) \rightarrow H' = 1,098$

- Indice de Simpson :  $D = 0,24^2 + 0,06^2 + 0,7^2 = 0,0576 + 0,0036 + 0,49 \rightarrow D = 0,5512$   
Afin de gagner en temps, ces calculs peuvent être réalisés via un tableur Excel :

Espèce	Nombre	Pi
Scylla serrata (Drakaka)	12	0,24
Uca urvillei (Kalafoba Tsinjakatambalaka)	3	0,06
Goniopsis pelii (Kalafoba gonjo)	35	0,7
Total	50	1
H' =	1,09786933	
D =	0,5512	

Interprétation des résultats obtenus :

- Indice de Shannon : H' est assez faible, il est loin de 5, cela signifie que le peuplement de crabe est plutôt homogène, les mêmes espèces sont souvent retrouvées, même si elles sont retrouvées en quantité différentes.
- Indice de Simpson : il se trouve à la moitié entre 0 et 1, ce qui signifie qu'il y a une répartition équitable entre les espèces.

## PRÉCISION DES SUIVIS

Dans l'article de Faridah-Hanum et al., 2019, les auteurs ont développés un indice de qualité des mangroves. Cet indice se base sur la qualité de 5 critères : la biodiversité, le sol, le phytoplancton, l'hydrologie et la socio-économie. A partir de ces critères, la mangrove pourra recevoir une notation entre 1 et 5 allant du pire à excellent.

Le protocole proposé dans l'article est long et complexe à mettre en place et les calculs associés peuvent eux aussi être compliqués. De ce fait, ce protocole n'est pas encore applicable. Le but sera à l'avenir de mettre en place le protocole afin d'obtenir une notation que l'on pourra comparer au fil du temps. Cela permettra de faire un suivi complet dans le temps.

Lien de l'article Faridah-Hanum et al., 2019 :

Faridah-Hanum, I., Yusoff, F. M., Fitrianto, A., Ainuddin, N. A., Gandaseca, S., Zaiton, S., Norizah, K., Nurhidayu, S., Roslan, M. K., Hakeem, K. R., Shamsuddin, I., Adnan, I., Awang Noor, A. G., Balqis, A. R. S., Rhyma, P. P., Siti Aminah, I., Hilaluddin, F., Fatin, R., & Harun, N. Z. N. (2019). Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove : Assessing mangrove ecosystem health. *Ecological Indicators*, 102, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.030>

## CONCLUSION

Pour conclure, ce document a pour but de fournir une méthode générale en ce qui concerne la restauration d'une forêt de mangrove après un déboisement.

De cette méthode découle trois étapes clés :

- Une première phase de diagnostic,
- Une seconde phase de reforestation,
- Une troisième phase de suivi.

Toutes ces étapes sont bien-sûr illustrées avec des exemples et photos réalisées lors de la phase de terrain.

L'idée la plus importante est de pouvoir sauvegarder la mangrove en développant une gestion durable de celle-ci. En effet, une gestion durable peut être plus bénéfique qu'une interdiction de coupe car les populations utilisent tout de même le bois issu de ce milieu. La mangrove est un milieu nécessaire à la vie des communautés locales, mais les moyens mis en place pour restreindre les populations à son utilisation sont compliqués et chers à mettre en œuvre, c'est pourquoi il est nécessaire de mettre en place des plans de gestion et des plans de reboisements adaptés à ces milieux.

De plus, ce travail nécessite la participation des populations, c'est donc en travaillant main dans la main avec ces dernières que tout cela peut fonctionner. Il est nécessaire d'avoir des techniciens connaisseurs de la mangrove afin d'effectuer une partie du travail, mais il faut aussi la présence de villageois et leur connaissance sur la mangrove en particulier afin de gérer le travail de suivi notamment.

Ce travail est à mettre à jour dans le temps, en fonction du matériel disponible, de la création de nouvelles méthodes, mais aussi en fonction des nouveaux cas étudiés.

## ANNEXES :

### **ANNEXE 1 : ANALYSE CARTOGRAPHIQUE PAR LES IMAGES PLÉIADES**

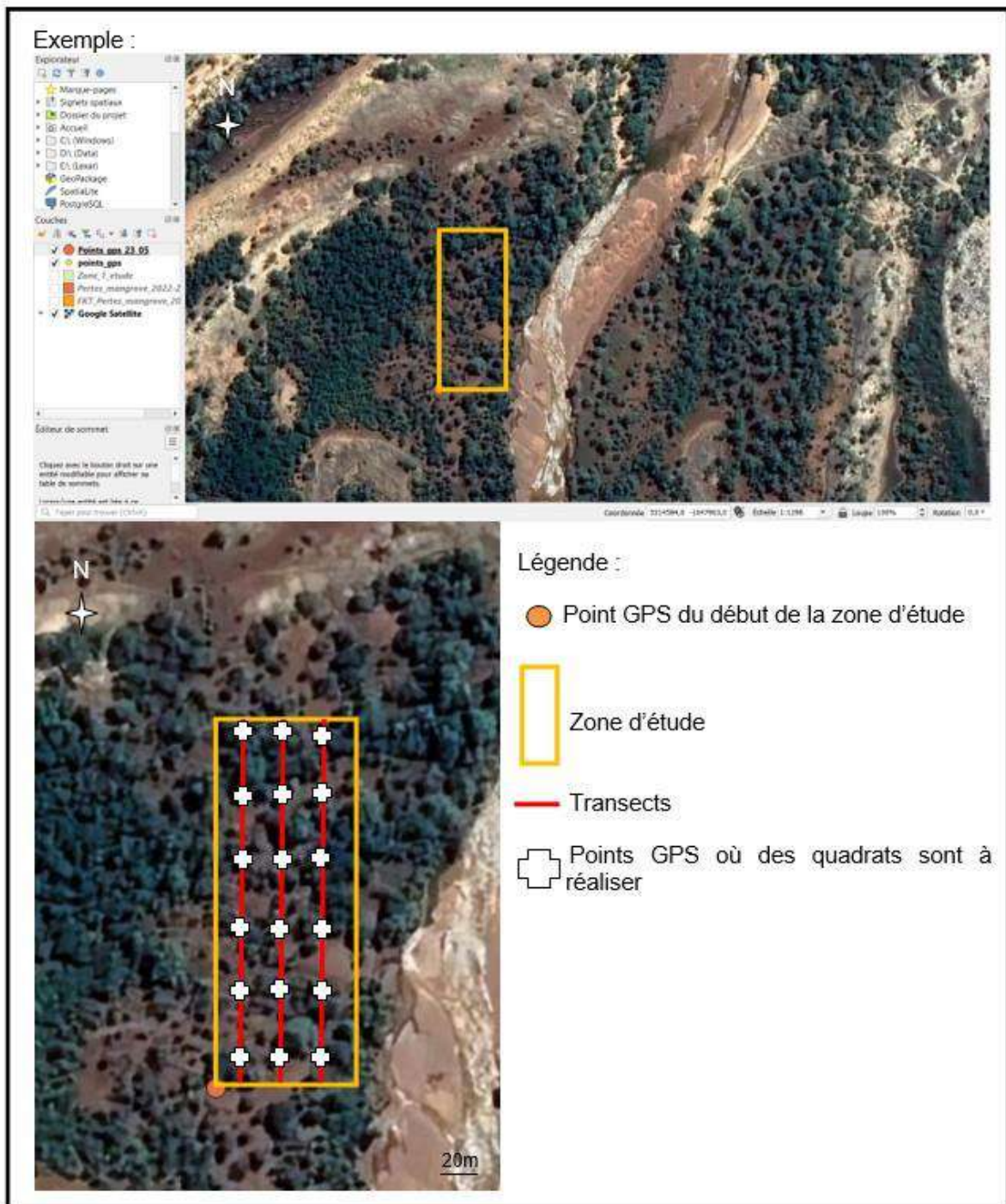
Pour être efficace et représentative du milieu, la phase de terrain doit être programmée et mise en œuvre correctement. Cette section présente un protocole opérationnel et valide scientifiquement, issu de Ellison et al., 2012 et Lewis & Brown, 2014.

#### Matériel nécessaire :

- Imprimante,
- Ordinateur,
- Crayons,
- Règle,
- GPS.

#### Protocole :

- Regarder via les résultats donnés par télédétection sur plusieurs années (Cf. annexe 18 sur le fonctionnement de la télédétection) les espèces présentes dans la zone d'étude, à quand remonte la déforestation, quel type de déforestation il y a eu (coupe à blanc, sélection des arbres...)
- Déterminer la surface de la zone d'étude sur Qgis ou tout autre logiciel (Google Earth, Google maps...). Relever également toutes autres données intéressantes sur la zone (réseau hydrographique, occupation du sol...).
- Sur ordinateur ou de manière imprimée, étudier deux cartes de la zone d'étude, une incluant l'environnement autour et une autre ciblant spécifiquement la zone. Sur chacune d'entre elles, y indiquer le Nord et l'échelle.
- Sur la carte incluant les alentours, relever les zones potentielles de perturbations de la mangrove (habitations, routes, autres déboisements, etc) ainsi que tout critère qui semblerait intéressant de confirmer sur le terrain (pousse des arbres qui suivraient le courant, etc.).
- Sur la carte précise, relever également toutes les informations qui semblent importantes à prendre en compte : stagnation de l'eau lors de la marée descendante, obstacles potentiels à la bonne réalisation de la phase de terrain, routes, canaux, ruisseaux, etc.
- Entrer les coordonnées des éléments à prendre en compte dans le traceur GPS pour avoir des points de repères sur le site. Les reporter sur un carnet appart pour savoir à quoi correspond chaque point.
- Dessiner sur la carte un premier transect à 90 degrés par rapport au littoral, et qui passe au centre apparent de la zone / de la baie de mangrove.
- Ajouter plusieurs autres transects espacés à gauche et à droite du premier d'environ 20m.
- Numéroter les transects de 1 à n, n étant le dernier transect, et ce d'Ouest en Est ou du Nord au Sud selon l'orientation de la zone.



*Rappel : si la zone d'étude est une coupe à blanc, la réalisation du transect n'est pas à faire et il faut alors se référer au protocole A.*

## **ANNEXE 2 : ANALYSE CARTOGRAPHIQUE PAR DES IMAGES SENTINELLES ( BONHOMME PAUL, 2023)**

En cas d'analyse cartographique par images sentinelles, la résolution n'est que de 10m. Pour cette raison, seule la télédétection à l'espèce sera réalisable, il ne sera pas possible d'étudier la présence de routes, ruisseaux, etc.

### Matériel nécessaire :

- Imprimante,
- Ordinateur,
- Images Sentinelles

### Protocole :

- Regarder via les résultats donnés par télédétection à l'espèce sur plusieurs années des images Sentinelles (Cf. annexe 1) les espèces présentes dans la zone d'étude et à quand remonte la déforestation. Avec une résolution de 10m, il ne sera pas possible de connaître le type de déforestation qu'il y a eu (coupe à blanc, sélection des arbres...).
- Mettre en place le protocole de cartographie participative expliqué en annexe 3.

## ANNEXE 3 : PROTOCOLE POUR LA CARTOGRAPHIE PARTICIPATIVE

La télédétection à l'espèce permet de savoir, pour une zone déforestée à blanc donnée, l'année de déboisement mais aussi les espèces qui ont été coupées. Malheureusement, les images satellites ne sont pas toujours utilisables pour cette méthode (c'est le cas lorsqu'une zone n'est pas totalement déforestée) ou n'existent tout simplement pas. Dans ce cas de figure, il faut tout de même pouvoir récolter des informations préliminaires concernant la zone d'étude, et cela passe par la cartographie participative.

Le protocole de cartographie participative expliqué ci-dessous provient de FIDA, 2009 et de l'association Opti'pousse Haie, 2021.

Dans les cas de figure présentés dans ce document, la cartographie participative à réaliser la plus adéquate est la cartographie à l'échelle géoréférencée, qui permet de représenter les informations recherchées sur des cartes préexistantes. Pour arriver à cela, il est tout d'abord nécessaire de passer par l'étape de croquis.

Durée de l'atelier : entre 1h et 1h 30.

### **Cas 1 : images satellites disponibles mais non utilisables pour la télédétection.**

#### Matériel :

- Feuilles A4,
- Crayons de couleur,
- Stylos,
- Boussole,
- Papier calque.

#### Déroulé de l'atelier :

- Dans un premier temps, créer un groupe d'une à trois / quatre personnes maximum, si possible qui connaissent bien le village ou la zone de mangrove étudiée (maire, pêcheurs, menuisiers, charbonniers, etc).
- Sur une feuille, chacun des participants va dessiner la zone d'étude et les constructions alentours pour situer le lieu. Ajouter également les lieux de pêche s'ils existent (sur terre comme sur mer), les cours d'eau, les digues et brèches, les chemins pour rejoindre la mangrove, etc. Ces zones seront représentées par des figurés simples (croix, rond, étoile, etc) et ces figurés seront reportés dans la légende de la carte.
- Ensuite, s'intéresser spécifiquement à la zone de mangrove étudiée. Ajouter sur le croquis (toujours avec des figurés) le type de palétuviers qui étaient présents.
- Demander à l'oral quand la mangrove a été déboisée, pour quelle utilisation, quelle espèce a été plantée à la place et à quelle époque de l'année, etc. Toutes ces réponses doivent alors permettre de connaître le territoire autant que par la télédétection, voire mieux.
  
- Arrive ensuite l'étape de cartographie à échelle géoréférencée. Pour cela, recouvrir l'image satellite de papier calque.
- Chacun leur tour, les participants vont redessiner leurs symboles sur un papier calque déposé sur le fond de carte. Utiliser les mêmes symboles que sur le croquis pour plus de simplicité.

- Une fois les dessins refaits, chaque participant vient redéposer son papier calque sur un seul et unique fond de carte vierge : le résultat doit illustrer l'ensemble des cartes des participants.

Cette carte commune donne alors une vision globale des dynamiques d'exploitation liées à la mangrove, ainsi que la localisation des activités, zones de tension / pression, etc. Toutes ces informations viennent donner au technicien des informations clés ce qui permet de savoir ou s'orienter sur le terrain.

Cette cartographie permet par la suite de refaire la carte sur SIG de manière uniforme et précise.

## **Cas 2 : aucune image satellite de la zone disponible ou trop peu précise.**

### Matériel :

- Feuilles A4,
- Crayons de couleur,
- Stylos,
- Boussole.

### Déroulé de l'atelier :

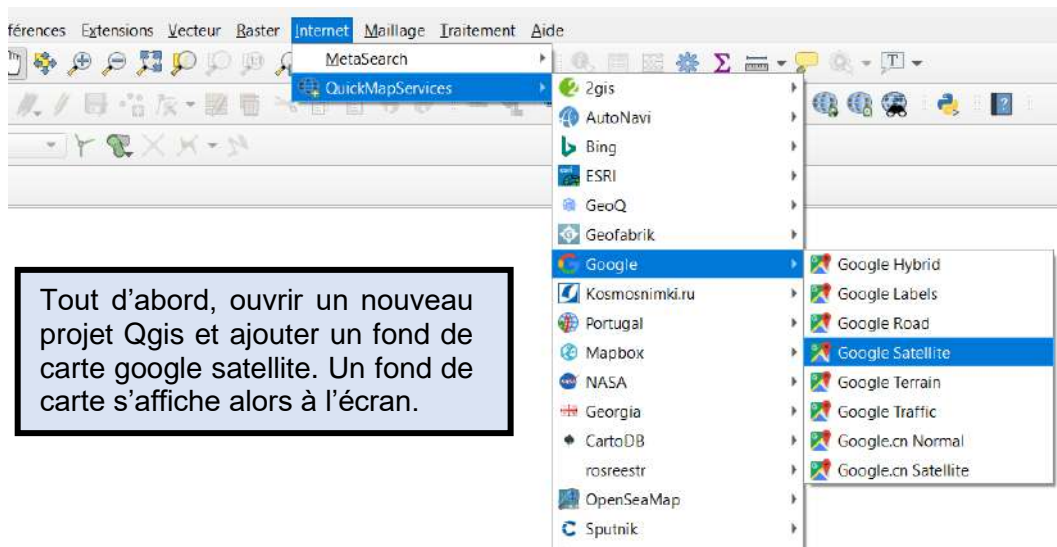
- Dans un premier temps, créer un groupe d'une à trois / quatre personnes maximum, si possible qui connaissent bien le village ou la zone de mangrove étudiée (maire, pêcheurs, menuisiers, charbonniers, etc).
- Avec une personne de ce groupe, se rendre sur la zone d'étude. Il n'est pas obligatoire de se promener dessus si les délimitations sont comprises par tous. Dans le cas contraire, ne pas hésiter à se déplacer dessus et à donner des repères dans l'espace (arbre coupé, front de mer, etc).
- Une fois la zone d'étude bien comprise, chacun des participants va sur une feuille dessiner la zone d'étude et les constructions alentours pour situer le lieu. Ajouter également les lieux de pêche s'ils existent (sur terre comme sur mer), les cours d'eau, les digues et brèches, les chemins pour rejoindre la mangrove, etc. Ces zones seront représentées par des figurés simples (croix, rond, étoile, etc) et ces figurés seront reportés dans la légende de la carte.
- Ensuite, s'intéresser spécifiquement à la zone de mangrove étudiée. Ajouter sur le croquis (toujours avec des figurés) le type de palétuviers qui étaient présents.
- Demander à l'oral quand la mangrove a été déboisée, pour quelle utilisation, quelle espèce a été plantée à la place et à quelle époque de l'année, etc. Toutes ces réponses doivent alors permettre de connaître le territoire autant que par la télédétection, voire mieux.
- Enfin, comparer les cartes des participants pour s'assurer que les informations concordent.

A la suite de cet atelier, le technicien aura en sa possession une carte de la zone avec ses principales caractéristiques, ainsi que des informations sur la date de déforestation, sur les types de palétuviers coupés, etc.

A l'avenir, l'association Vahatra souhaite développer le principe de télédétection à l'espèce avec des images obtenues par drone, ce qui serait plus rapide, moins cher et qui apporterait encore plus de précision aux études.

## ANNEXE 4 : COMMENT SE RENDRE SUR LE TERRAIN AVEC DES POINTS GPS VIA QGIS ? ( BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELÉA, 2023)

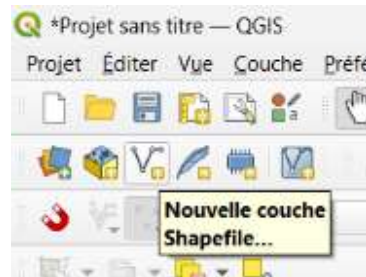
Pour se repérer facilement sur le terrain à partir de zones sélectionnées en amont sur Qgis, il est possible d'utiliser Google Maps. L'annexe ci-dessous présente cette étape de manière imagée.



Tout d'abord, ouvrir un nouveau projet Qgis et ajouter un fond de carte google satellite. Un fond de carte s'affiche alors à l'écran.

Ensuite, créer une nouvelle couche Shapefile.

Nommer le projet et le nom du nouveau champ en rapport avec le projet, et rentrer les autres paramètres comme ci-dessous : Ensuite, cliquer sur « ajouter à la liste des champs ».



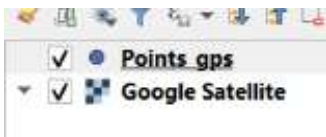
The 'Nouvelle couche Shapefile' dialog box is shown with the following settings:

- Nom de fichier: Points\_gps
- Codage du fichier: UTF-8
- Type de géométrie: Point
- Dimensions supplémentaires:  Aucun,  Z (+ valeurs M),  valeur M
- EPSG:4326 - WGS 84
- Nouveau champ:
  - Nom: Exemple
  - Type: abc Donnée texte
  - Longueur: 80, Précision: (empty)
  - Ajouter à la liste des champs
- Liste des champs:

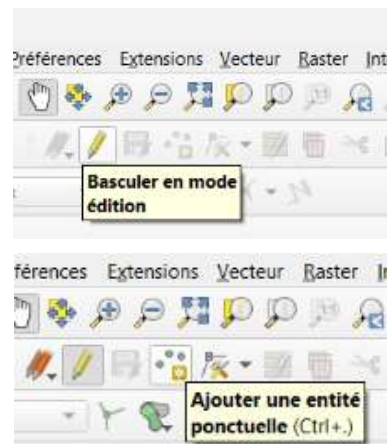
Nom	Type	Longueur	Précision
id	Integer	10	

A button labeled 'Ajouter un champ à la liste' is highlighted with a yellow box.

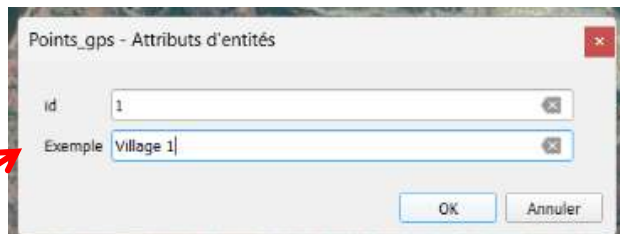
En faisant cela, la ligne « exemple » apparaît sous un type de données texte de longueur 80. Ensuite, cliquer sur « ok » : la couche s'affiche à gauche de l'écran.



Ensuite, il faut ajouter les points des zones à étudier. Pour cela, il faut passer en mode édition, puis ajouter une entité ponctuelle ».

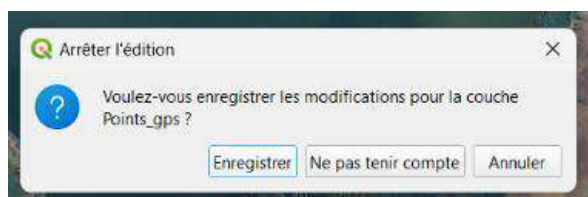


Il apparaît alors une fenêtre à l'écran. L'identifiant à mettre est alors un numéro à mettre pour savoir le numéro de point, et il faut ajouter sur la ligne de dessous une description du point (ici, « village 1 »).



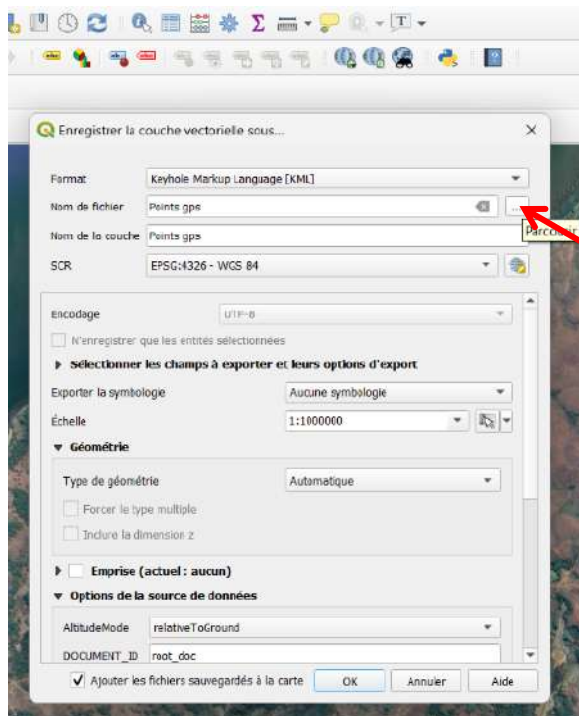
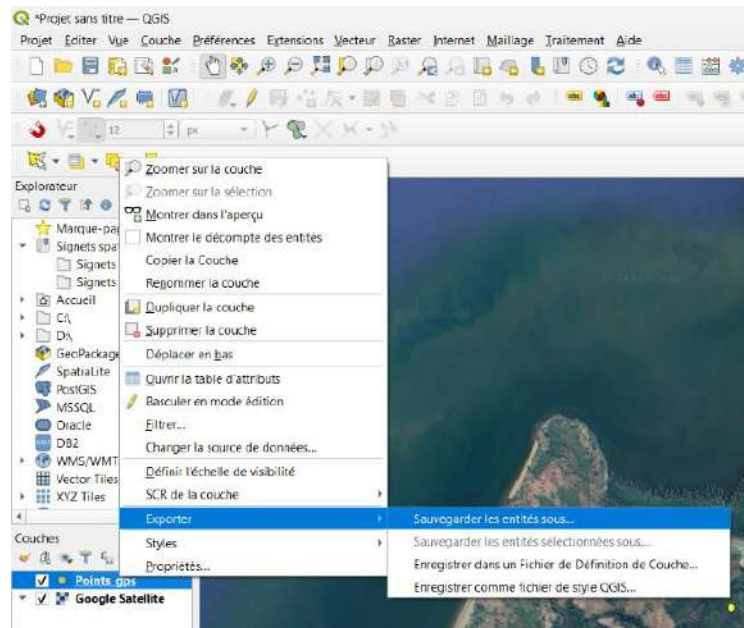
Cliquer sur « ok ». Le point apparaît alors à l'écran. Répéter l'opération pour chacun des points à créer (ici, trois points ont été faits).

Ensuite, cliquer de nouveau sur l'icône « basculer en mode édition » (cela va permettre de quitter ce mode). Sur la fenêtre qui s'affiche, cliquer sur « enregistrer ».

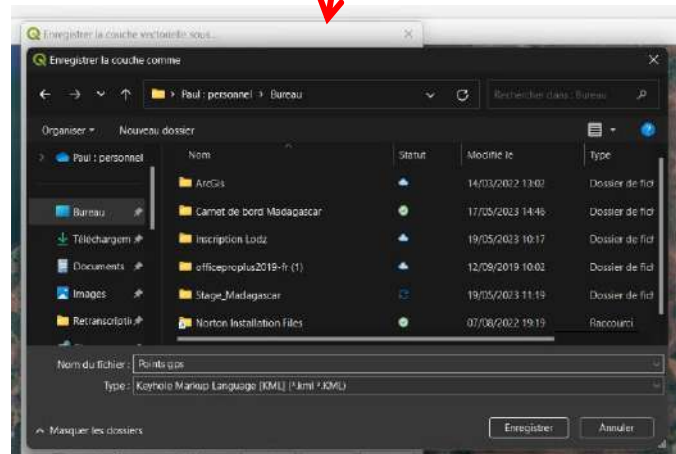


Enfin, il faut enregistrer la couche créée. Pour cela, faire clic droit sur la couche, puis suivre le chemin comme expliqué ci-contre.

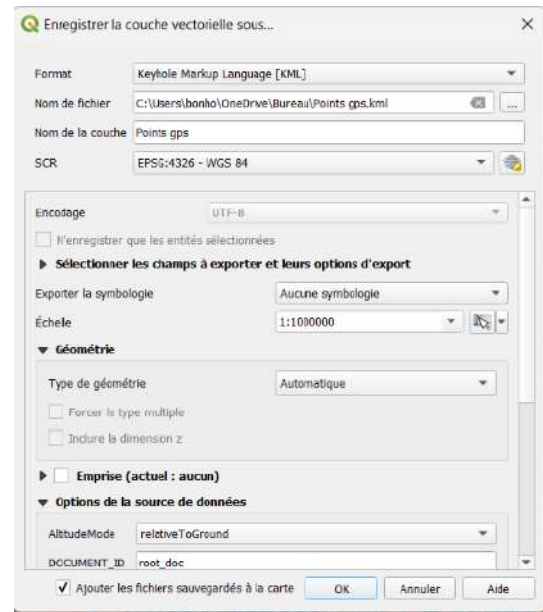
Sur la fenêtre, entrer un nom de fichier et un nom de couche en rapport avec le projet. Pour tous les autres paramètres de la fenêtre, les rentrer comme ci-dessous :



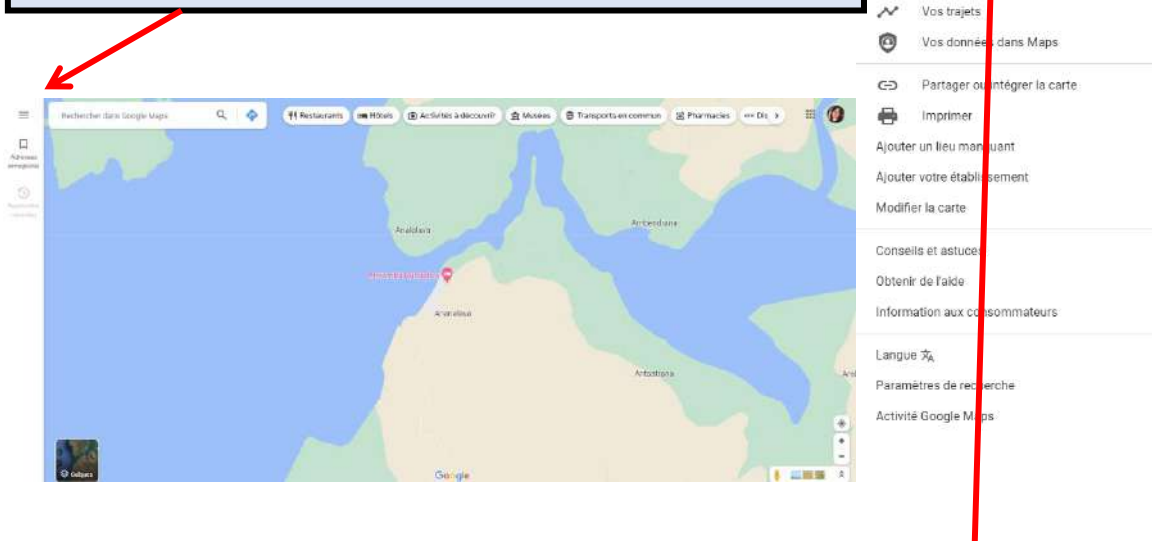
Afin d'enregistrer la couche dans les dossiers de l'ordinateur, cliquer sur « parcourir » qui se trouve à la fin de la section « Nom de fichier ». On enregistre ensuite dans le dossier souhaité en cliquant sur « enregistrer ».



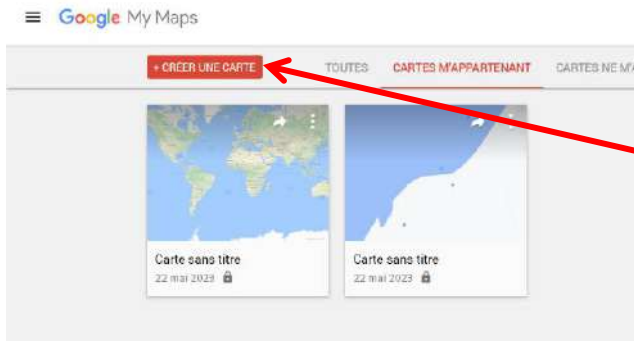
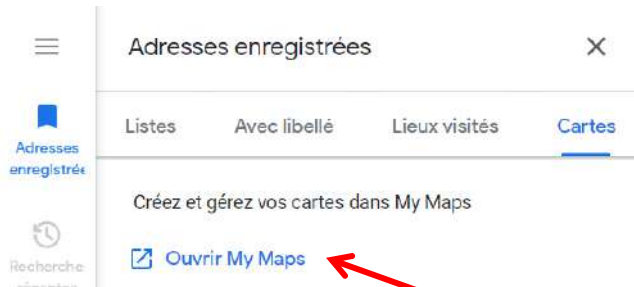
Une fois le dossier enregistré dans le dossier choisi sur l'ordinateur, cela fait retourner sur la page Qgis. Cliquer sur « ok » afin de terminer la démarche.



Une fois la partie Qgis terminée, il faut se rendre sur Google maps sur ordinateur. Il faut ouvrir l'onglet déroulant en haut à gauche.



Choisir dans le menu déroulant la section « adresses enregistrées » puis cliquer sur la section « Cartes ».



Une fois dans le menu cartes, cliquer sur « Ouvrir My Maps ». Cela renvoie à une nouvelle page comme ci-contre.

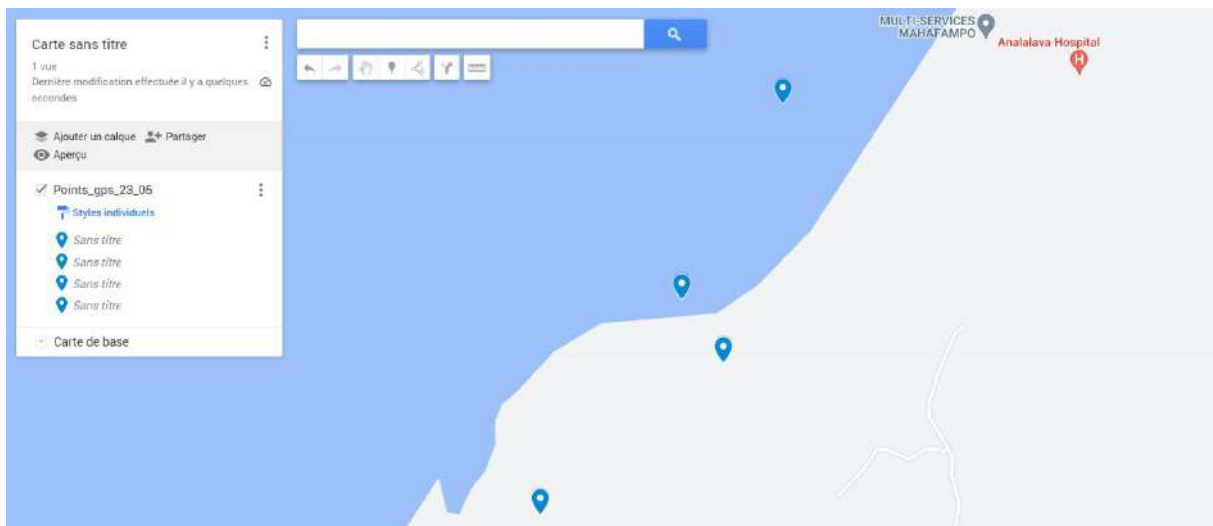
Ensuite, pour importer la couche Qgis avec les points GPS, il faut créer une nouvelle carte. Pour ce faire, cliquer sur « + créer une carte ».



Le lien amène ensuite sur cette carte. Importer les coordonnées de Qgis en cliquant sur « importer » et en faisant glisser le fichier créé sur Qgis dans la section dédiée.



Enfin, la couche est importée et les points apparaissent. La nouvelle carte s'enregistre automatiquement dans « My Maps » et peut être retrouvée sur tous les appareils liés à ce compte Google, tel un smartphone.

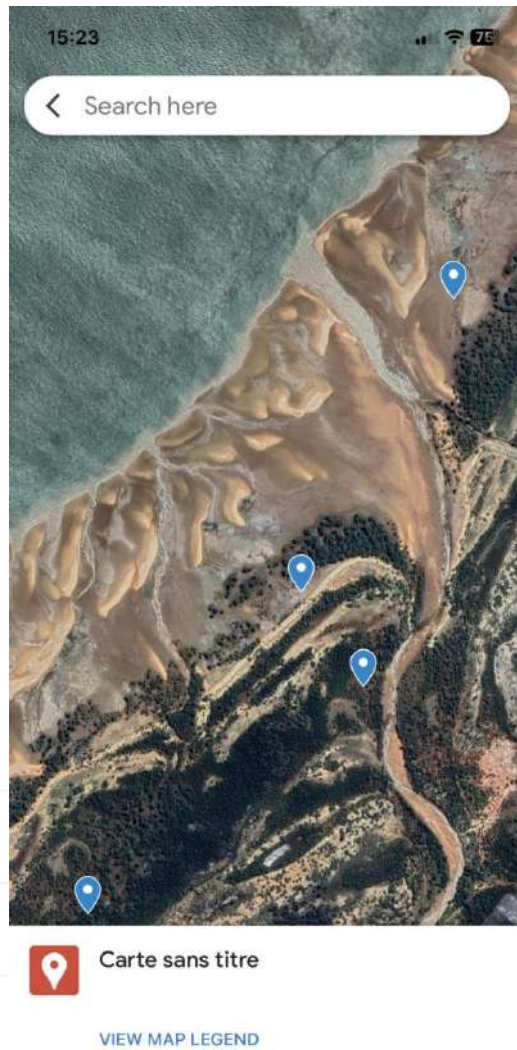
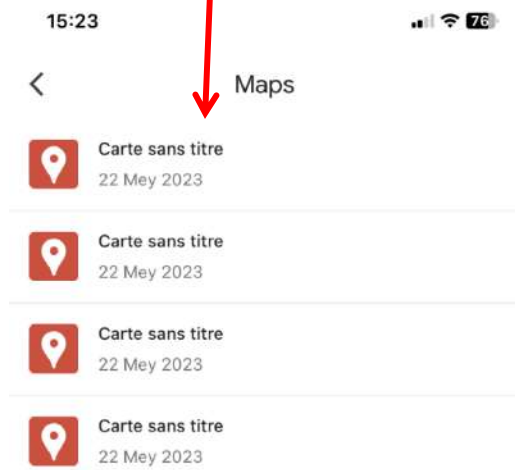


**Comment retrouver les points GPS sur téléphone ?**

Il faut se rendre sur Google maps sur téléphone. Sélectionner l'onglet « enregistrés », puis dans cet onglet, descendre tout en bas, jusqu'à voir « Voir les collections ». Cliquer sur ce lien.

The image illustrates the steps to access saved GPS points on a mobile phone. It shows the 'Saved' tab in the Google Maps app, which lists various collections like 'Favourites', 'Want to go', 'Travel plans', 'Labelled', and 'Starred places'. A red arrow points from the 'View Collections' button in the 'Find more of your Google saves' section to the 'Saved' icon in the bottom navigation bar of the satellite view on the left.

Il faut ensuite choisir la carte avec les points qui nous intéressent et cliquer dessus. La carte sera chargée et les points apparaîtront sur l'écran.



## ANNEXE 5 : FICHE DE DIAGNOSTIC DE SITE

### Fiche de diagnostic du site d'étude - Mangroves

Date :

Nom de l'observateur :

Numéro du site d'étude :

Coordonnées du site : – Latitude :

- Longitude :

Emplacement :

Tanne

Cœur de mangrove

Front de mer

Végétation de l'arrière-pays :

Espaces non naturels

Espaces agricoles

Zones humides/forêts

Présence d'oiseaux (entendus ou vus) :

Oui

Non

Fréquence d'apport en eau de mer :

Présence d'une dynamique d'ensablement :

Oui

Non

Partiellement

Zones homogènes présentes sur le site :

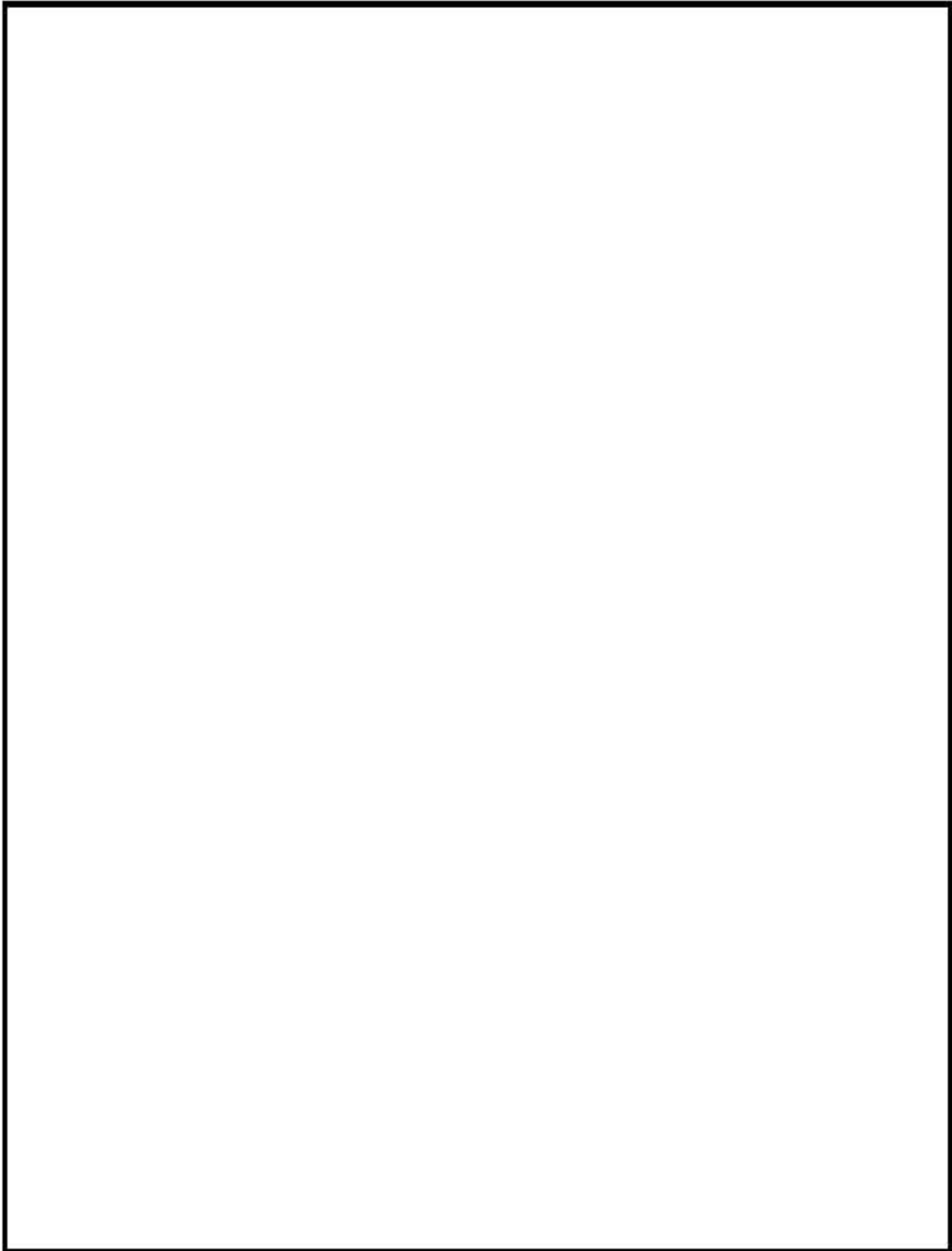
Numéro de zone homogène	Noms(s) du/des quadrat(s) associé(s)		
1			
2			
3			
4			
5			

Description du site (remarques, observations, etc) :

Utilisation et historique de la zone de mangrove (date de déforestation, pour qui, etc) :














Fiche de diagnostic du site d'étude - Mangroves

Schéma de la zone :



## Fiche de diagnostic du site d'étude - Mangroves

### Légende :

<p><u>Etat de la végétation :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li> Zone déboisée à blanc</li><li> Zone de coupe sélective abusive</li><li> Zone de coupe sélective non abusive</li><li> Zone vierge de coupe</li></ul>	<p><u>Type de sol :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li> Tanne</li><li> Roche</li><li> Sable</li><li> Sol nu sans coupe, autre que le tanne</li></ul>
<p><u>Hydrologie :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li> Mer/océan</li><li> Ruisseau de marée</li><li> Eau stagnante</li></ul>	<p><u>Autres critères :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li> Forêt terrestre</li><li> Village</li></ul>

## ANNEXE 6 : FICHE DE DIAGNOSTIC DE ZONE HOMOGENE ( BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELÉA, 2023)

### Fiche de diagnostic d'une zone homogène - Mangroves

Date : \_\_\_\_\_ Nom de l'observateur : \_\_\_\_\_  
 Numéro du site d'étude : \_\_\_\_\_ Numéro de la zone homogène : \_\_\_\_\_  
Coordonnées de la zone – Latitude : \_\_\_\_\_ - Longitude : \_\_\_\_\_  
 Nombre de quadras réalisés : \_\_\_\_\_ Nombre de transects réalisés : \_\_\_\_\_  
Type de zone :

Type de coupe	Cocher	Type de coupe	Cocher
Coupe à blanc		Destruction par phénomènes naturels	
Reboisement n'ayant pas fonctionné		Zone non impactée	
Coupe sélective abusive			

#### Salinité du sol :

Endroit sur la zone	Numéro de relevé	Valeur en mS/cm	Valeur en ppt	Moyenne en ppt
Côté tanne				
Milieu de zone				
Côté mec				

Rappel : 1 mS/cm = 640 ppm = 640\*10<sup>6</sup>ppt.

#### Critères des fiches de diagnostic :

HYDROLOGIE	Valeur	FLORE	Valeur
Erosion		Strates des palétuviers par rapport au front de mer	
Ruisseau/rivière			
Inondation/sécheresse			
Présence de digues et/ou de brèches			
Force du courant, de la houle et du vent			

#### Vitesse des ruisseaux de marées (sur 20m) :

Numéro de relevé	Temps de trajet (en secondes)	Vitesse (en m/s)	Largeur du ruisseau (en cm)	Profondeur du ruisseau (en cm)
1				
2				
3				
4				
5				
Moyenne				

Fiche de diagnostic d'une zone homogène - Mangroves

Remarques supplémentaires :

## ANNEXE 7 : FICHE DE DIAGNOSTIC DE QUADRAT ( BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELÉA, 2023)

### Fiche de diagnostic d'un quadrat - Mangroves

Date : \_\_\_\_\_ Nom de l'observateur : \_\_\_\_\_  
 Heure de début : \_\_\_\_\_ Heure de fin : \_\_\_\_\_  
 Numéro de site : \_\_\_\_\_ Numéro de zone homogène : \_\_\_\_\_  
 Numéro de transect : \_\_\_\_\_ Numéro du quadrat : \_\_\_\_\_  
 Coordonnées du point – Latitude : \_\_\_\_\_ - Longitude : \_\_\_\_\_  
 Nature du sol :   Sableux            Sablo-vaseux            Vaseux

Présence de faune au sol :

Nombre de petits trous de crabes sur 1m<sup>2</sup> :

	Nombre d'individus sur 1m <sup>2</sup>				Remarque
	Observateur 1	Observateur 2	Observateur 3	Observateur 4	
<i>Neosarmatium meinerti</i>					
<i>Uca urvillei</i> (Kalafoba Tsinjakatambalaka)					
<i>Goniopsis pelii</i> (Kalafoba gonjo)					

Critères des fiches de diagnostic :

FLORE	Valeur	SOL	Valeur	FAUNE	Valeur
Etat de la végétation		Type		Macroinvertébrés benthiques	
Etat de la zone		Contenu		Présence d'autres animaux marins	

Les caractéristiques des arbres :

Numéro de relevé	Espèce	Etat de l'arbre étudié	Circonférence du tronc (en cm)	Diamètre du tronc (en m)	Diamètre de la canopée (en m)	Hauteur de l'arbre (en m)	Nombre
1		JUV	-5cm	/	/	/	/
2		JUV	-5cm				
3		JUV	-5cm				
4		JUV	-5cm				
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							

Fiche de diagnostic d'un quadrat - Mangroves

19						
20						

*Pemphis acidula* - Longueur du bosquet (en m) :

Largeur du bosquet (en m) :

Hauteur des plus grandes branches (en m) :

Notes supplémentaires (remarques, observations, etc) :

Légende de la fiche de diagnostic de quadrats - Mangroves

Espèce	Abréviation	Nom malgache	Stade de croissance suivant le diamètre du tronc (en cm)		
			Juvenile	Jeune pousse	Adulte
<i>Xylocarpus granatum</i>	XG	Antalaotro	<5]	]5;30]	>30[
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	BG	Tsitolonina			
<i>Ceriops tagal</i>	CT	Honko vavy			
<i>Heritiera littoralis</i>	HL	Moromony		]5;35]	>35[
<i>Rhizophora mucronata</i>	RM	Honko lay			
<i>Sonneratia alba</i>	SA	Farafaka			
<i>Avicennia marina</i>	AM	Afiafy	]	]	]
<i>Pemphis acidula</i>	PA	Lovingo lay	Pas de données	Pas de données	Pas de données
			Stade de croissance suivant la hauteur du palétuvier (en cm)		
<i>Lumnitzera racemosa</i>	LR	Lovingo vavy	<20]	]20;200]	>200[

Remarque 1 : le stade de croissance de *Pemphis acidula* selon le diamètre du tronc (en cm) ou suivant la hauteur (en cm) ne sera pas déterminé car cette espèce pousse sous forme de bosquets. Il n'est alors pas possible de déterminer ces paramètres pour chacun des individus, la présence de l'espèce est alors uniquement relevée sur la fiche de terrain.

Remarque 2 : les valeurs du tableau de légende de la fiche de suivi vaut pour les espèces de palétuviers en mangrove ouverte et fermée.

Légende de l'état des arbres

Stade de vie	Abréviation
Juvenile	JUV
Jeune pousse	JP
Adulte	A
Coupe	C
Mort naturelle	MN

## ANNEXE 8 : RÉALISATION ET ÉTUDE D'UN QUADRAT (BOURLET JULIETTE, 2020)

La réalisation de diagnostic de zones sous-entend la mise en place de quadrats. Il sera expliqué dans cette section la mise en place de ces quadrats.

### Matériel :

- Crayons et bloc-notes,
- Mètre ruban de 1 mètre,
- Fiches de terrain de ce rapport,
- Fiches de diagnostic de quadrats de ce rapport,
- Corde de 20m,
- Corde de 4m.

### Méthode :

- Sur le premier point de relevé, placer la corde de 20m de manière à avoir un carré de 5m de côté autour de la zone.
- Dans un des coins du quadrat mis en place, ajouter un plus petit quadrat d'1m<sup>2</sup>.
- Commencer par compléter les informations générales de la fiche (date, observateur, etc) et cocher les cases des informations demandées (nature du sol, etc).
- Ensuite, compter le nombre de petits trous de crabe dans le quadra de 1m<sup>2</sup>, et reporter le résultat sur la fiche.
- L'étude du quadrat de 25m<sup>2</sup> arrive alors. Les observateurs se placent chacun à un angle de ce quadrat et pendant 5 minutes, ils relèvent le nombre d'individus de *Neosarmatium meinerti*, de *Uca urvillei* (Kalafoba Tsinjakatambalaka) et de *Goniopsis pelii* (Kalafoba gonjo). Bien entendu, chacun des observateurs d'occupe d'une seule partie du quadrat (1/3 du quadrat s'il y a 3 observateurs, 1/4 du quadrat s'il y a 4 observateurs, etc). Lors de ces cinq minutes, également relever la présence de toutes autres espèces (*Scylla serrata* (Drakaka), etc) mais sans compter le nombre d'individus. Le reporter dans la fiche.
- Compléter le tableau « critères des fiches de diagnostic » en s'aidant des fiches de diagnostic pour attribuer à chacun des paramètres une note entre 1 et 3.
- Relever les caractéristiques des arbres et les rentrer dans la fiche de diagnostic. Pour cela, d'abord regarder le nombre de juvéniles qui sont présents pour chacune des espèces et rentrer leur nombre. Ensuite, étudier chacun des jeunes pousses, arbres, arbres morts naturellement et arbres coupés en rentrant leurs caractéristiques dans la fiche.
- Si des remarques supplémentaires sont à écrire, les mettre dans la partie dédiée sur la fiche. Il est aussi possible d'enregistrer cela avec un magnétophone.
- Réaliser ces opérations sur chacun des quadrats.

*Remarque : lors de toute l'étude du quadrat, essayer de marcher le moins possible à l'intérieur de ce dernier pour ne pas fausser les résultats.*

## ANNEXE 9 : RÉALISATION D'UN TRANSECT (BOURLET JULIETTE, 2020)

### Matériel nécessaire :

- Crayons et bloc-notes,
- Boussole,
- GPS,
- Ruban de signalisation avec des couleurs vives,
- Corde de 20m,
- Fiches de terrain de ce rapport,
- Fiches de diagnostic de quadrats de ce rapport,
- Eventuellement, un magnétophone.

### Protocole :

- Sur le premier transect, déterminer le point de départ. Il se situe juste à la lisière du site déboisé à étudier, et perpendiculairement à la mer. Si vous n'avez pas de pointeur GPS, marquer l'endroit avec un ruban coloré.
- Enregistrer la position de ce point sur le GPS et la reporter sur une première feuille de diagnostic de quadrats (*annexe 7*).
- Etudier chacun des critères présents sur la fiche de quadrats en réalisant un quadrat comme expliqué en *annexe 8*.
- Ensuite, avancer de 20m sur le transect. Noter ce point sur le traceur GPS et sur une nouvelle feuille de données. De même, la compléter. Réaliser l'opération jusqu'à la fin du transect, en veillant à rester bien perpendiculaire par rapport à la mer en s'aidant de la boussole.
- Réaliser cette opération pour tous les transects.

ANNEXE 10 : FICHE ANNEXE DE DIAGNOSTIC DE QUADRAT ( BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELÉA, 2023)

Annexe fiche de diagnostic d'un quadrat - Mangroves

Date :

Heure de début :

Heure de fin :

Numéro de zone homogène:

Numéro de transect :

Numéro de quadrat :

Coordonnées du point – Latitude :

- Longitude :

Les caractéristiques des arbres - suite :

Numéro de relevé	Espèce	Etat de l'arbre étudié	Circonférence du tronc (en cm)	Diamètre du tronc (en m)	Diamètre de la canopée (en m)	Hauteur de l'arbre (en m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

## ANNEXE 11 : LES FICHES ESPÈCES ( BONHOMME PAUL, CHAILLOT ELÉA, 2023)



# AVICENNIA MARINA

AVICENNIACEAE | PALETUVIER GRIS | AFIAYF

## USAGES



Construction



Médicinal

## DEVELOPPEMENT



Semence : fruit

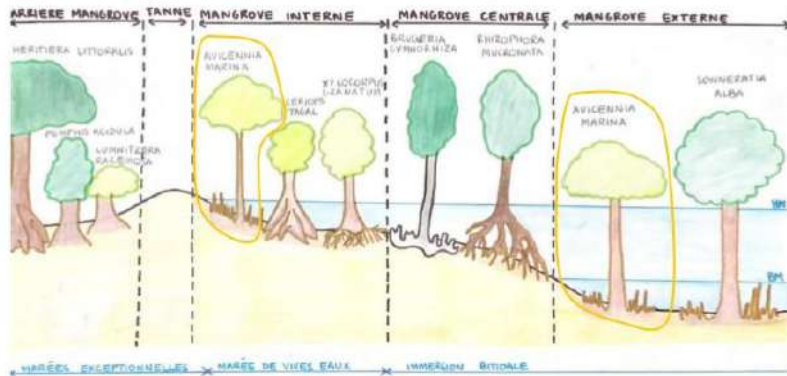
Mois : Décembre –  
Février

Maturité : fruit jaune

Taille mature : > 30g

## LOCALISATION

### MANGROVE INTERIEURE OU EXTERNE



## PROPRIETE

- Sol : Il se développe sur des sols sablo-vaseux mais il peut aussi se développer sur des zones rocailleuses et les zones plus ou moins envasées.
- Salinité : Il résiste aux conditions extrêmes de salinité et occupe des zones sursalées jusqu'à 110 g/L, mais on le trouve généralement dans des zones de salinité entre 15 et 45g/L.
- Taille : Il fait généralement entre 4 et 10 mètres de hauteur.

POLLINISATION :



DIURNE



INSECTES



ABEILLES

## FEUILLES

---



Les feuilles sont de couleur vert clair, et disposées par deux, en opposition sur la tige. Leur forme varie selon le degré de salinité du milieu : dans un milieu peu salin elles sont légèrement lancéolées avec une extrémité en pointe crochue, tandis que dans un milieu fortement salin elles deviennent elliptiques avec un bout arrondi.

## RACINES - PNEUMATOPHORES

---



Quelques racines aériennes partent du tronc et s'enfoncent dans le sol, mais la plupart des racines sont sous-terraines et s'enfoncent peu profondément dans les sols meubles et inondés du bord de mer. Elles forment un grand tapis horizontal à faible profondeur, et développent à la verticale de très nombreux pneumatophores en forme de crayon. Ces derniers émergent au-dessus de la surface du sol et ne sont totalement immergés qu'à marée haute.

## PLANTS

---





# BRUGUERIA GYMNORRHIZA

RHIZOPHORACEAE | PALETUVIER DES INDES | TSITOLONINA

## USAGES



Charbon de bois



Construction

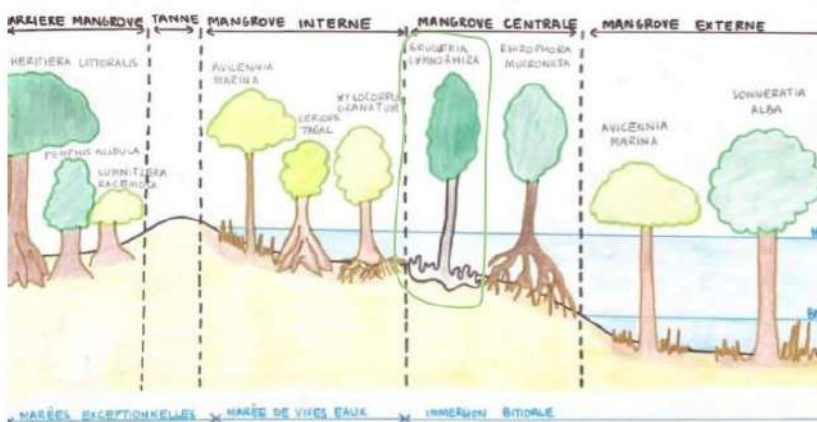
## DEVELOPPEMENT



Semence : propagule  
 Mois : Février -juin  
 Maturité : corps brun rougeâtre  
 Taille maturité : > 20cm

## LOCALISATION

### MANGROVE CENTRALE – IMMERSION QUOTIDIENNE



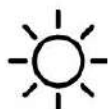
### DISTRIBUTION

Souvent associé à des palétuviers du genre rhizophora.

## PROPRIETE

- Sol : Il se développe sur des sols sablo-vaseux à compacts. Il peut aussi se développer sur des sols aérés sableux mais dans ce cas-là, les racines genoux sont peu nombreuses.
- Salinité : Il tolère une grande amplitude de salinité et se trouve généralement dans des zones comprises entre 15 et 45g/L.
- Taille : C'est un arbre de taille moyenne, communément de 10 à 20 m de haut.

POLLINISATION :



DIURNE



OISEAUX



ABELLES

## FEUILLES

---



Le feuillage est bien fourni. Les feuilles sont vert foncé, coriaces, à épaisse cuticule brillante sur la face supérieure, à bords lisses et de forme elliptique mais pointues à leur extrémités. Elles sont rassemblées au bout des branches en bouquet d'une douzaine de feuilles.

## RACINES – PNEUMATOPHORES

---



Les racines sont souterraines, mais elles présentent des expansions verticales très reconnaissables : les racines en genoux, ou pneumatophores. Ce sont les zones émergées des racines, prenant une forme coudée caractéristique des espèces du genre *Bruguiera*. Les genoux s'élèvent à 30 cm au-dessus de la vase, et sont ponctués d'orifices par lesquels se fait la respiration des racines.

## PLANT

---



Son tronc est noir, rugueux, particulièrement noueux, épais à sa base et de plus en plus irrégulier vers le haut.



# CERIOPS TAGAL

RHIZOPHORACEAE | PALETUVIER JAUNE | HONKO VAVY

## USAGES



Ecorce utilisée pour la tannerie



Manche d'outils

## DEVELOPPEMENT



Semence : propagule

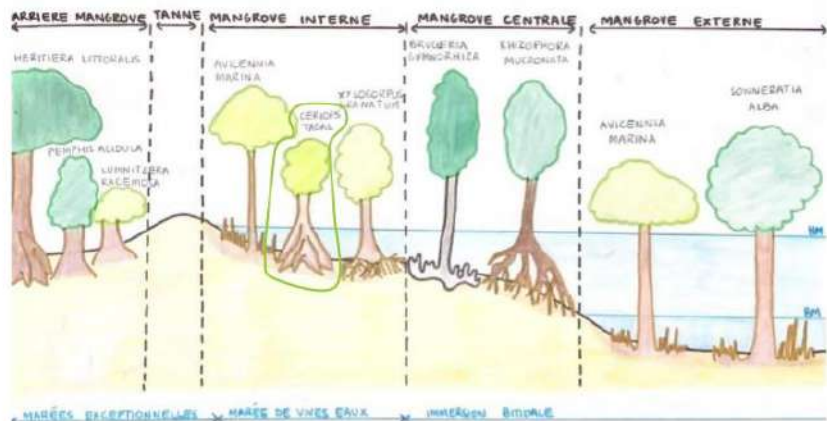
Mois : Novembre - juin

Maturité : col jaune / corps vert

Taille maturité : >20 cm

## LOCALISATION

### MANGROVE INTERIEURE - SUBMERSION PEU FREQUENTE



## PROPRIETE

- Sol : Sol sablo-vaseux à sableux.
- Salinité : La salinité du sol y est importante par évaporation de l'eau salée. Elle est généralement comprise entre 15 et 45g/L.
- Taille : Arbuste ou petit arbre atteignant 6 m de hauteur.



POLLINISATION :

DIURNE ET NOCTURNE



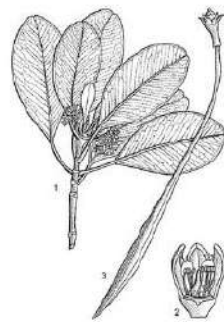
INSECTES NOCTURNES



ABEILLES

## FEUILLES

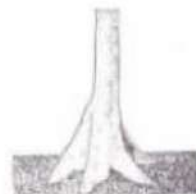
---



Feuilles opposées décussées, groupées à l'extrémité des rameaux, simples et entières.

## RACINES

---



Système racinaire constitué de quelques racines profondes et de racines superficielles rayonnant à partir du tronc, et comprenant des coudes ou des pneumatophores. Racines en contrefort.

## PLANT

---



Arbre à écorce de couleur grise à brun rouge, parfois profondément fissurée.



# HERITIERA LITTORALIS

STERCULIACEAE | LE TOTO MARGOT | MOROMONY

## USAGES



Construction de bateaux

## DEVELOPPEMENT



Semence : fruit

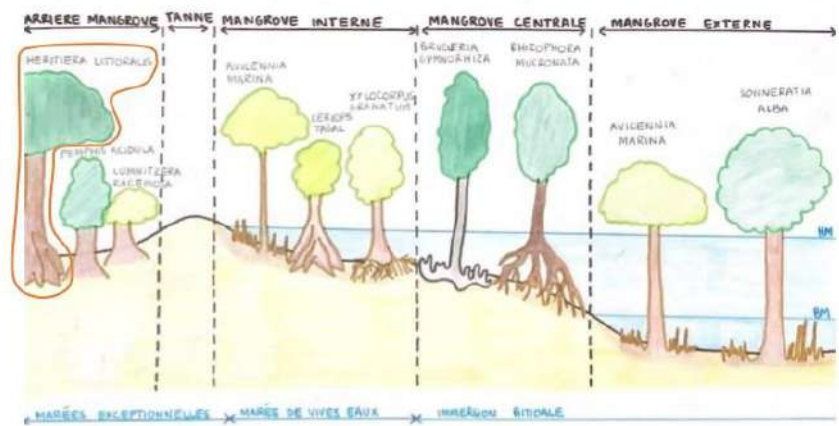
Mois : Janvier - avril

Maturité : fruit jaune/vert

Taille mature : 6cm de long

## LOCALISATION

### ARRIERE MANGROVE



## PROPRIETE

- Sol : On le trouve sur des rivages rocheux ou sur des substrats sableux.
- Salinité : Il semble être intolérant à une salinité élevée, il se trouve dans des zones de salinité comprise entre 10 et 20g/L.
- Taille : De taille petite à moyenne, généralement entre 3 à 4 mètres de haut.

## FEUILLES

---



Feuilles alternes, simples à palmatifides, pétiolées et stipulées.

## RACINES

---



Racines avec des contreforts minces, ondulés et rubanés, s'étendant souvent loin du tronc.

## PLANT

---



Arbre sempervirent, monoïque, fût jusqu'à 60 cm de diamètre, souvent tordu et rabougri. Le bois de cœur est brun rougeâtre ou brun foncé, avec souvent une teinte chocolat ou pourpre.



# LUMNITZERA RACEMOSA

COMBRETACEAE | BLACK MANGROVE | LOVINJO VAVY

## USAGES



Charbon de bois



Construction

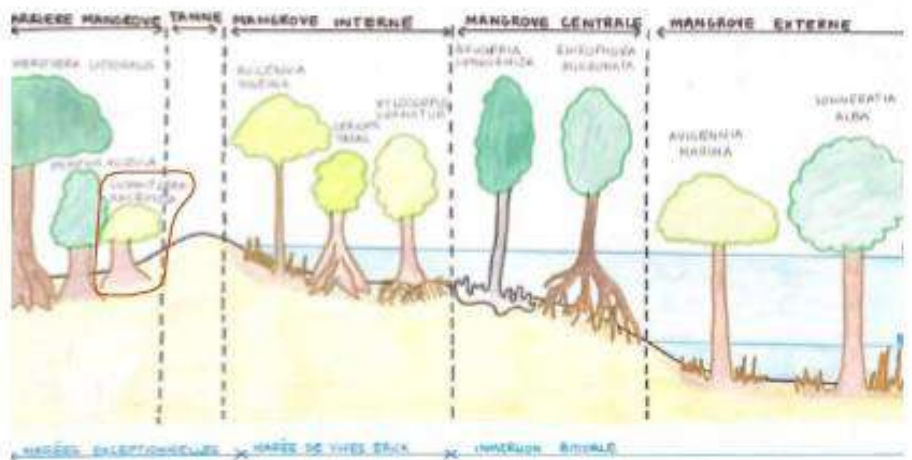
## DEVELOPPEMENT



Semence : propagules très fines

## LOCALISATION

### ARRIERE MANGROVE



## PROPRIETE

- Sol : Sol sec et sableux.
- Salinité : Hauts taux de salinité, entre 2,625 à 43,021 g/L.
- Taille : Arbuste ou arbre sempervirent très ramifié atteignant environ 2-4 m.

## FEUILLES

---



Il présente des feuilles alternes simples, succulentes, de couleur vert clair, regroupées à l'extrémité des branches, longues de 4-7 cm et larges de 1-3 cm, obovales, lancéolées ou spatulées, à marges ondulées et aux extrémités arrondies avec de petites entailles à l'apex.

## RACINES

---



Il n'y a pas de racines avec des pneumatophores comme chez d'autres espèces de palétuviers. Parfois dans les zones humides se développent dans la partie inférieure du tronc des racines aériennes qui pénètrent dans le sol en formant de véritables contreforts qui contribuent à soutenir la plante.

## PLANT

---



Arbuste à l'écorce de couleur grise ou brun rougeâtre pour les jeunes branches, tendant au noirâtre et à se fissurer avec l'âge.



# PEMPHIS ACIDULA

LYTHRACEAE | BOIS MATELOT | LOVINJO LAHY

## USAGES



Charbon de bois



Construction

## DEVELOPPEMENT



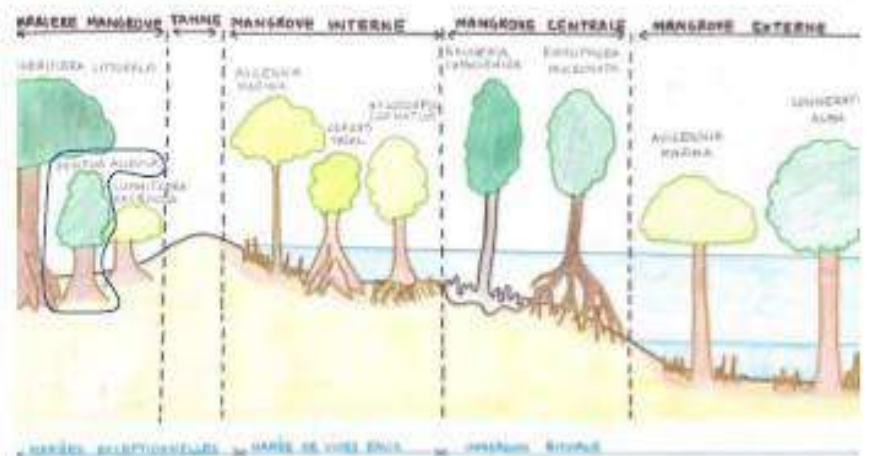
Semence : fruit

Mois : Février- mai

Maturité : opercule marron

## LOCALISATION

### ARRIERE MANGROVE



## PROPRIETE

- Sol : Il se développe dans les zones sableuses et calcaires.
- Salinité : Il peut résister à de forts taux de salinité.
- Taille : Arbuste à petit arbre atteignant 11 m de haut.

POLLINISATION :



DIURNE



OISEAUX



ABEILLES

## FEUILLES

---



Feuilles opposées, simples et entières, sessiles.

## PLANT

---



Fût généralement noueux et très ramifié ; surface de l'écorce gris foncé, rugueuse, réticulée sous l'effet de la desquamation ; rameaux anguleux, densément poilus, nœuds épaissis par des cicatrices foliaires bien visibles.



# RHIZOPHORA MUCRONATA

RHIZOPHORACEAE | PALETUVIER ROUGE | HONKO LAHY

## USAGES



Charbon de bois



Construction

## DEVELOPPEMENT



Semence : propagule

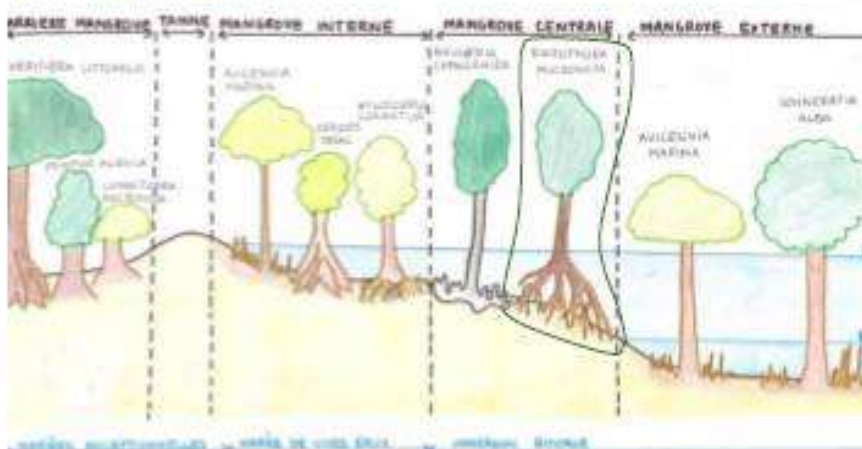
Mois : Novembre - juillet

Maturité : col jaune / corps vert

Taille maturité : >50 cm

## LOCALISATION

### MANGROVE CENTRALE



## PROPRIETE

- Sol : Zones vaseuses plus du côté océan.
- Salinité : Dans les zones entre 7,75 à 42,41 g/L.
- Taille : Les arbres sont généralement hauts de 7 à 12 mètres de haut.

POLLINISATION :



DIURNE



VENT

## FEUILLES

---



De formes plutôt elliptiques, légèrement allongées avec un arrangement opposé sur la tige.

## RACINES

---



Le plan possède des racines aériennes mais aussi des racines en échasse qui poussent à partir des branches les plus basses.

## PLANT

---



Le tronc est foncé et peut être fissuré de manière horizontale.



# SONNERATIA ALBA

SONNERATIACEAE | FARAFKA

## USAGES



Bois de chauffage

## DEVELOPPEMENT



Semence : Fruit

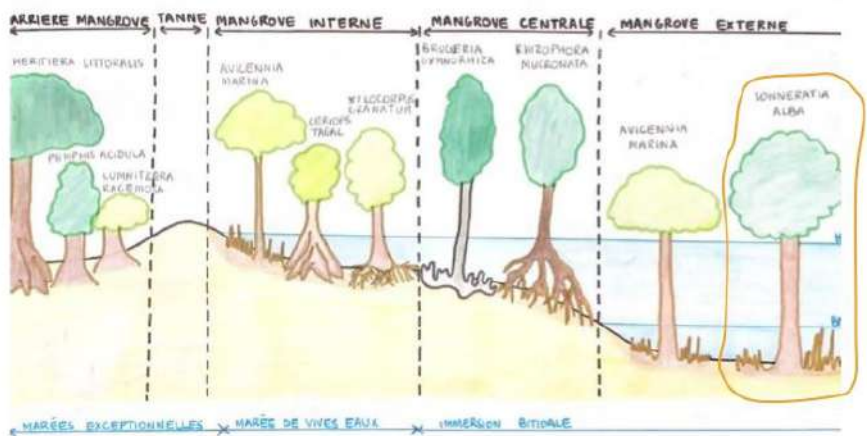
Mois : Mars - mai

Maturité : flotte dans l'eau

Taille maturité : >4 cm

## LOCALISATION

### MANGROVE EXTERNE



## PROPRIETE

- Sol : Il se développe sur des zones sableuses ou peu vaseuses.
- Salinité : Il peut se développer dans des environnements où la salinité est comprise entre 13,9 et 35,1 g/L.
- Taille : Il peut atteindre 15 m de haut.

POLLINISATION :



NOCTURNE



CHAUVES-SOURIS



PAPILLONS

## FEUILLES

---



Les feuilles sont simples et ovales, aux dimensions maximales de 5 cm de large sur 15 cm de long. Elles sont coriaces, d'un vert clair intense et situées deux par deux en opposition sur les branches. Leur base est courte et brunâtre.

## RACINES – PNEUMATOPHORE

---



Les racines de *Sonneratia alba* sont souterraines. Elles se développent horizontalement autour de l'arbre et sont surmontées de nombreux pneumatophores coniques. Ces derniers font environ 30-40 cm de haut et 1 cm de diamètre.

## PLANTS

---



Son port est bien érigé, plutôt en boule avec un branchage dense. Les branches, assez longues, démarrent de n'importe où sur le tronc et peuvent donc être très basses, à ras de la surface de l'eau. Le tronc épais porte une écorce claire et rugueuse.



# XYLOCARPUS GRANATUM

MELIACEAE | PALETUVIER CASSE-TETE | HANTALAOTRA

## USAGES



Teinture



Construction de bateaux

## DEVELOPPEMENT



Semence : fruit

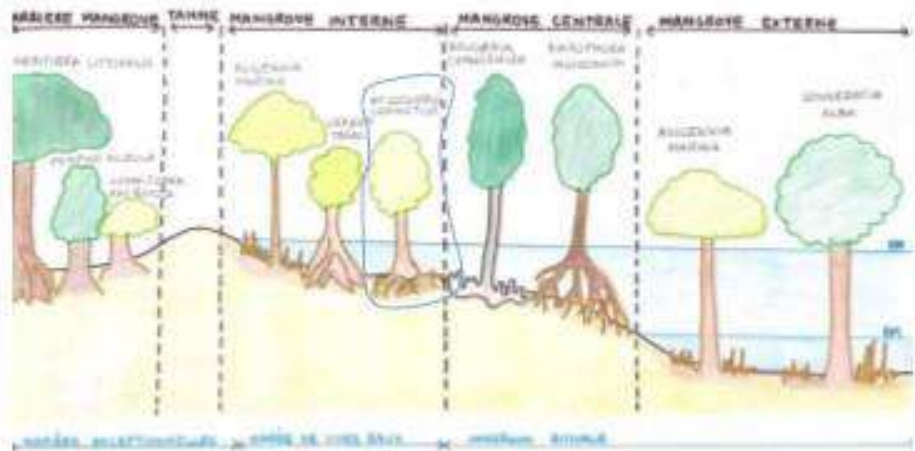
Mois : Mars- mai

Maturité : fruit jaune/vert

Taille mature : 3kg

## LOCALISATION

### MANGROVE INTERNE



## PROPRIETE

- Sol : On le retrouve dans les sols sablo-vaseux.
- Salinité : Il tolère une salinité entre 10 et 20g/L.
- Taille : Arbre de taille petite à moyenne, atteignant 15/20 m de hauteur.

POLLINISATION :



DIURNE



INSECTES



ABEILLES

## FEUILLES

---



Feuilles alternes, composées, paripennées, avec 1-2 (-3) paires de folioles.

## RACINES

---



Racines superficielles fines, ramifiées, rubanées.

## PLANT

---



Ecorce mince, lisse, écailleuse, se desquamant irrégulièrement, blanchâtre à brun-jaune, écorce interne rose rougeâtre.

Lexique associé aux fiches espèces :

Mots	Definition
Alternes	Feuilles insérées isolément sur la tige, contraire d'opposé
Apex	Pôle terminal et supérieur d'un organe. Exemple : le sommet de la tige
Coriace	Feuille, pétale ou écorce de contexture tenace
Contreforts (racines)	Elargissement de la base du tronc en forme de lames ligneuses se prolongeant vers les racines dans le sol.
Cuticule	Pellicule superficielle de l'épiderme, très résistante, protectrice des tissus sous-jacents
Décussé	Se dit des organes opposés, se croisant par paires, à angle droit
Desquamation	Élimination des couches superficielles de l'épiderme sous forme de petites lamelles (squames)
Elliptique	En forme d'ellipse
Foliaire	Relatif aux feuilles
Foliole	Petite feuille. L'une des divisions d'une feuille composée ; chacune d'elle forme un limbe distinct attaché sur un pétiole commun par un pétiole secondaire
Lancéolé	Une feuille ou un foliole lancéolé est au moins trois fois plus long que large, et plus large dans le tiers inférieur
Monoïque (arbre)	Qualifie une plante qui porte à la fois sur le même pied des fleurs exclusivement mâles, et d'autres exclusivement femelles
Noeux (tronc)	Présentant des nœuds ou renflements, nombreux et rapprochés
Obovales (feuilles)	En ovale, la partie la plus large étant en haut ou le plus loin du point d'attache
Ondulées	Marqué de sinuosités arrondies
Opposées (feuilles)	Se dit des feuilles placées en face l'une de l'autre et à la même hauteur
Palmatifides (feuilles)	Découpé en lobes disposés en éventail ou comme les doigts de la main, et dont les sinus atteignent environ le milieu du limbe
Panachures	Phénomène par lequel des fleurs ou des feuilles présentent des taches dépourvues de chlorophylle, décolorées, dû à des caractères héréditaires ou à des maladies
Paripennées	Qualifie la feuille composée pennée qui ne se termine pas par une foliole impaire
Pétiole	Partie rétrécie de la feuille en forme de queue, par laquelle elle tient à la tige
Penné	Se dit d'une feuille composée dont les folioles, disposées de chaque côté de l'axe, simulent les barbes d'une plume
Pneumatophores / racines genoux	Excroissance verticale des racines de certains palétuviers, permettant la respiration des racines en milieu aquatique, en s'élevant jusqu'à l'air libre
Rameau	Ramification d'une branche
Ramifié	Qui se sépare en plusieurs branches
Réticulé	Marqué de nervures nombreuses, entrelacées comme les mailles d'un filet ou d'un réseau
Rubané	Se dit des panachures disposées en forme de ruban ou de certains organes (comme des feuilles) en forme de

	ruban
Sempervirent	Qualifie les végétaux ligneux qui conservent un feuillage vert toute l'année
Sessile	Dépourvu de support (feuille sans pétiole, fleur sans pédoncule, anthère sans filet)
Simple (feuilles)	S'oppose à composé, à multiple Qui n'est ni ramifié ni divisé.
Spatulées (feuilles)	Allongé puis élargi et arrondi par le bout comme la spatule des pharmaciens
Stipules	Sorte de petite feuille ou appendice de forme variable, souvent écaillé, caduc ou persistant, situé à la base des feuilles auxquelles il adhère même quelquefois
Succulent	Caractère propre à certains tissus végétaux pouvant être situés au niveau des tiges, des feuilles ou des racines. Chez les plantes succulentes, les organes riches en tissus contenant surtout du parenchyme aquifère se gorgent d'eau en saison pluvieuse, cette eau est ainsi mise en réserve par le végétal et sert aux activités métaboliques pendant la saison sèche

## ANNEXE 12 : MANUEL D'UTILISATION DURABLE DES MANGROVES (OPTI' POUSSE HAIE, 2021)

**Le présent guide a été réalisé dans le but de sensibiliser les populations et les exploitants aux pratiques de coupes des bois de palétuviers à Madagascar.**

Madagascar possède une superficie de mangrove d'environ 300 815 hectares (FAO, 2007), répartie majoritairement au niveau des estuaires des grands fleuves et tout au long de certaines franges littorales, la plupart le long de la côte nord-ouest de l'île.

Si depuis 2000\* la Circonscription des Eaux et des Forêts ne délivre plus de permis d'exploitation et a rendu la coupe de mangrove illicite, l'exploitation de ces forêts est toujours présente. La dégradation des mangroves dans le pays résulte de plusieurs facteurs, dont la pression anthropique en est le facteur prédominant. Ces menaces et pressions se caractérisent principalement par une exploitation abusive des bois de palétuviers et ressources, entraînant la dégradation des écosystèmes, la disparition des espèces ainsi que la diminution de la production marine et côtière.

\* Arrêté No. 12704/2000 du 20 novembre 2000 relatif à l'arrêt de toute activité extractive de ressources ligneuses dans les zones sensibles



### Introduction au guide



**La coupe sélective est une pression non négligeable qui pèse sur la mangrove à Madagascar. Cependant, le braconnage effectué de façon plus industrielle reste la première cause de dégradation des forêts de mangroves avec une exploitation abusive des bois de palétuviers.**

L'application de pratiques de coupes et d'exploitation raisonnables et réglementées de la mangrove au sein de chaque communauté villageoise est une clé essentielle dans la mise en place d'une gestion durable de ces ressources naturelles et des ressources associées (telles que les pêcheries).

Les communautés locales ont le potentiel et les capacités nécessaires pour inverser les impacts dégradants pour l'environnement des pratiques d'exploitation passées. C'est pourquoi il est nécessaire de passer de la participation passive à l'engagement effectif des communautés.

Le présent guide s'attache à fournir des conseils et une aide sur l'utilisation durable et raisonnée des bois de palétuvier.



### Introduction au guide



## • SOMMAIRE DU GUIDE

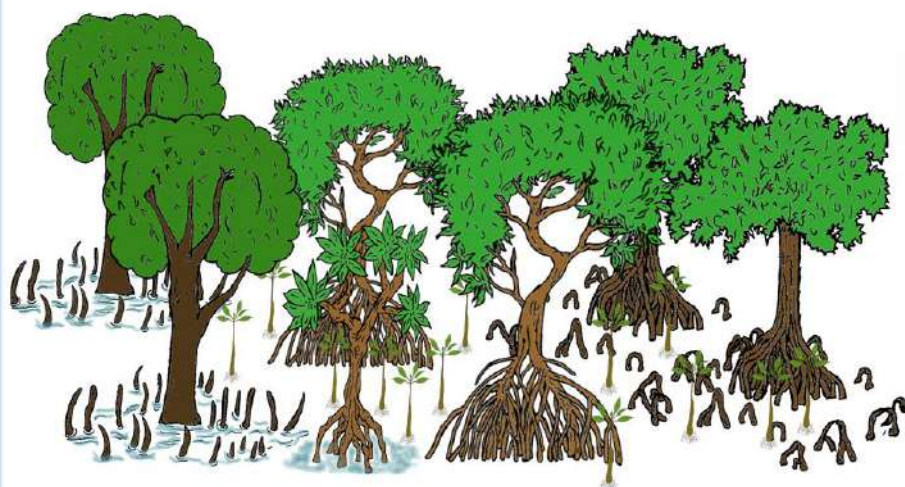
- 1. Caractéristique d'une mangrove**
  - Différencier les états de dégradation de la mangrove
  - Croissance d'un palétuvier
- 2. Choisir le site et l'arbre à exploiter**
  - Caractéristiques d'un arbre semencier
  - Définir l'objectif de l'exploitation
  - Connaître les distances de coupe
  - Impacts de la coupe sélective
- 3. Quelques règles d'exploitation**
  - Diamètre et hauteur de coupe
  - Le cas des écorces
  - Les résidus de coupe



### Sommaire

#### *Mangrove intacte*

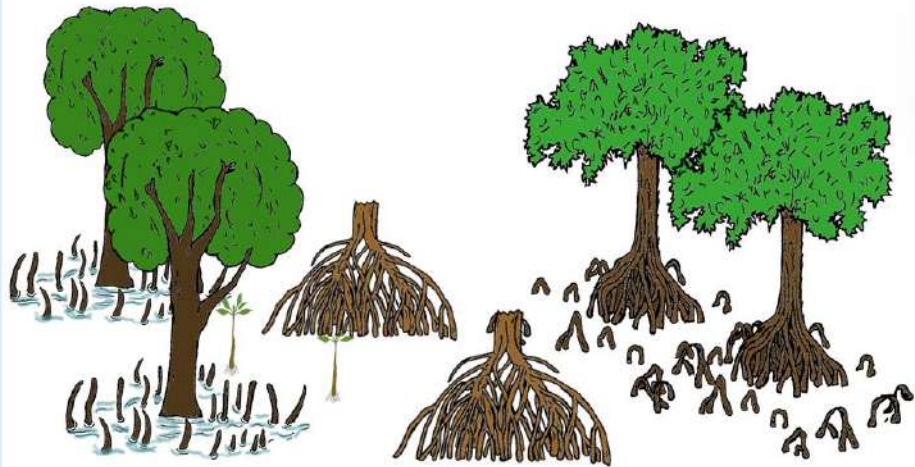
Mangrove dense, formation à cime jointive. Hauteur variant de 4 à 15 mètres. Présence d'arbres matures et de juvéniles.



### Etat général

### Mangrove en voie de dégradation

Formation composée d'individus matures, âgés, espacés. On note la présence de plusieurs souches d'arbres coupés

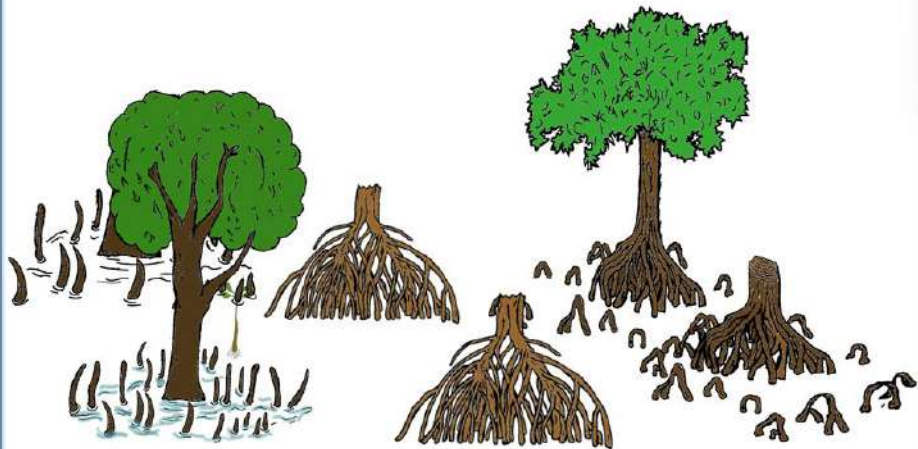


Etat général

6

### Mangrove dégradée

Formation composée d'individus matures, âgés, très espacés. On note la présence de très nombreuses souches d'arbres coupés



Etat général

7



**Illustration de la croissance d'un palétuvier**

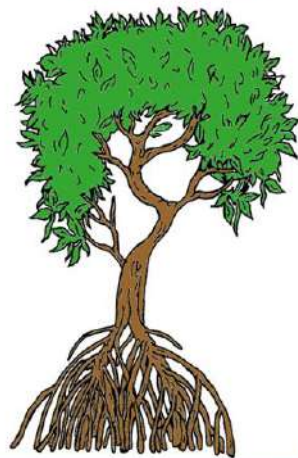
1- Propagule



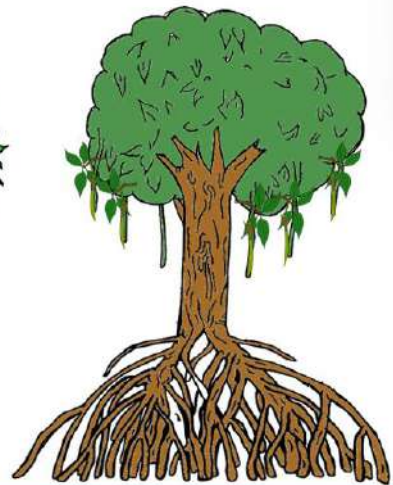
2- Jeune palétuvier



3 - Palétuvier adulte



4- Palétuvier mature et semencier



Il est important, avant de couper un palétuvier, d'avoir sélectionné au préalable le bon arbre selon l'objectif fixé.



Construction (maison, clôture...)



Plante médicinale



Bois de chauffe et charbon



Casier à crabe



Pirogue



Objectif d'exploitation

Pour éviter la coupe abusive de palétuvier, il est conseillé de bien sélectionner l'arbre que l'on souhaite couper afin de ne pas laisser des troncs coupés à terre.

#### DECONSEILLE

Troncs laissés au sol car ne correspondaient pas à l'utilisation souhaitée.



#### CONSEILLE

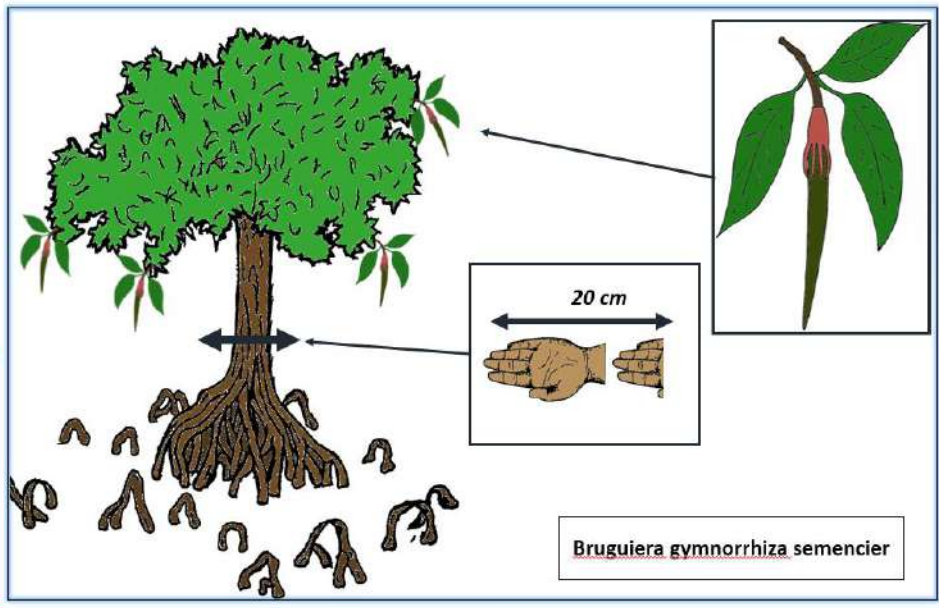
Troncs correctement sélectionnés puis emportés par l'exploitant une fois coupés.



Objectif d'exploitation

**Qu'est-ce qu'un arbre semencier ?**  
Également appelé "standard" par la FAO, c'est un arbre porteur de graine, qui est assez large pour résister aux tempêtes, à la lumière ou aux actions de houle. Diamètre moyen de 20 cm.

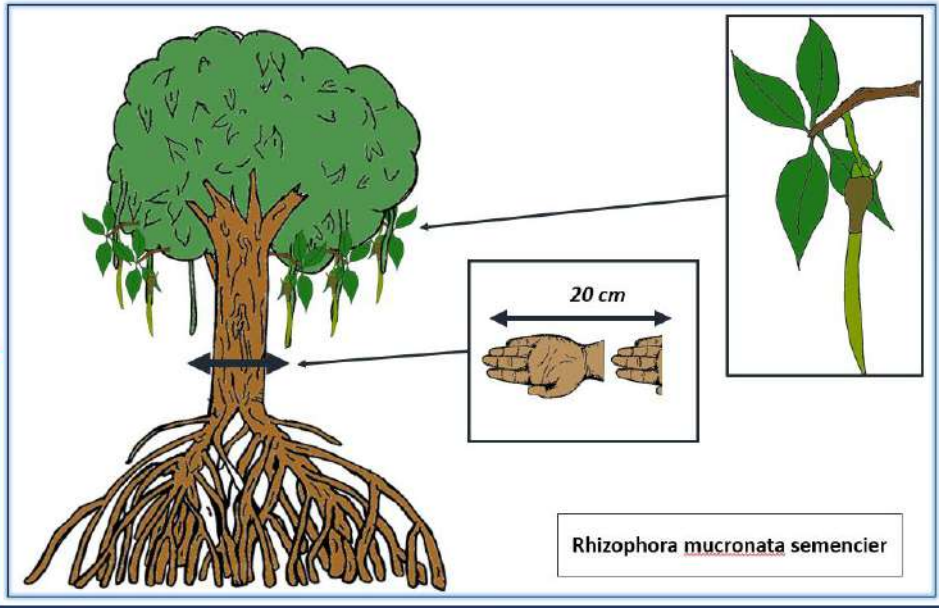
Le nombre de standard est directement limité si le nombre de standard est réduit, c'est pourquoi il est conseillé de laisser entre 10 et 12 standards par hectare exploité.



**Arbre semencier**

**Qu'est-ce qu'un arbre semencier ?**  
Également appelé "standard" par la FAO, c'est un arbre porteur de graine, qui est assez large pour résister aux tempêtes, à la lumière ou aux actions de houle. Diamètre moyen de 20 cm.

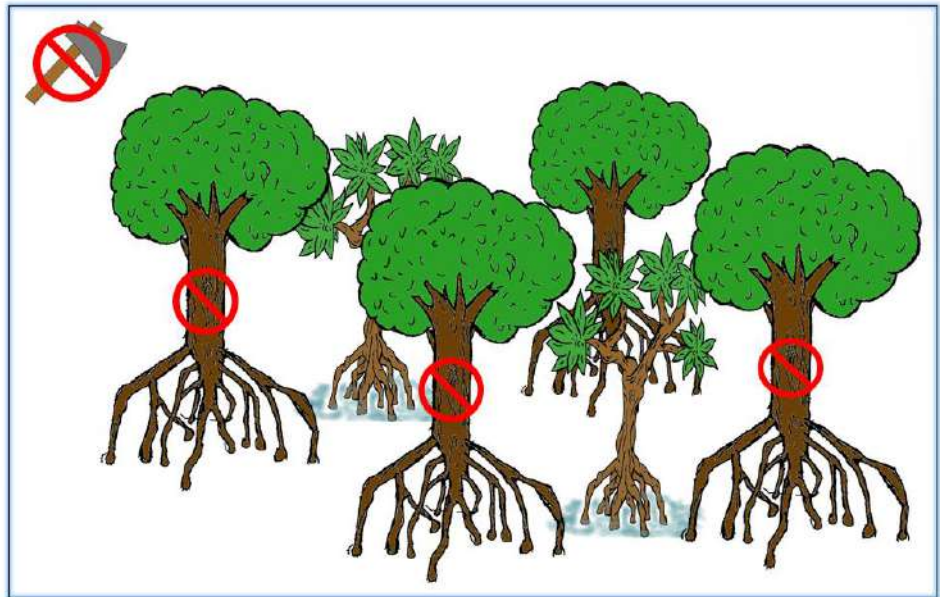
Le nombre de standard est directement limité si le nombre de standard est réduit, c'est pourquoi il est conseillé de laisser entre 10 et 12 standards par hectare exploité.



**Arbre semencier**

**DECONSEILLE**

Ne pas couper lorsque qu'il n'y a pas la présence d'arbre semencier capables d'assumer une régénération future.

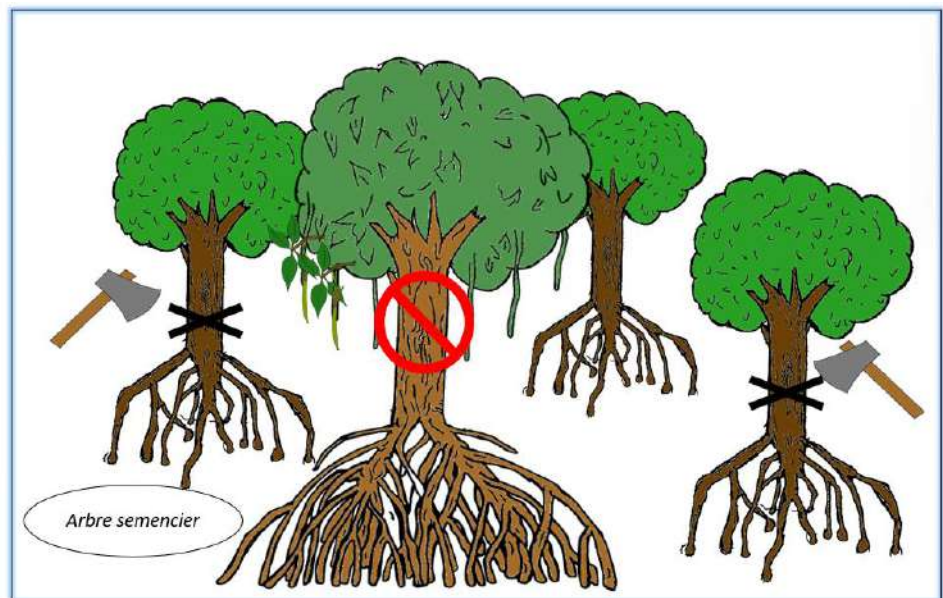


Arbre semencier

14

**CONSEILLE**

Couper de préférence à proximité d'arbres semencier afin d'assurer une future régénération

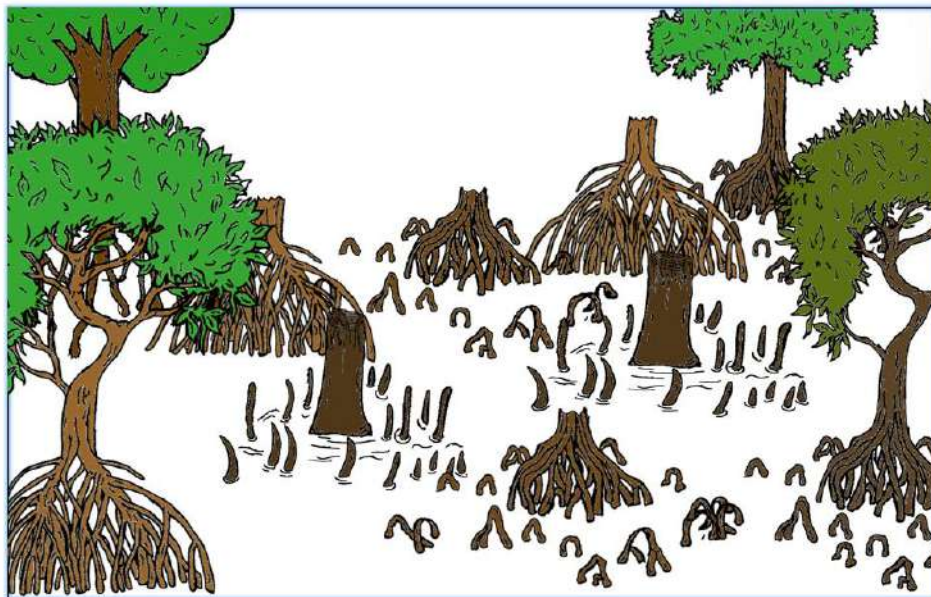


Arbre semencier

15

## DECONSEILLE

Il est déconseillé de couper une surface trop étendue de mangrove : une ouverture de canopée trop importante altère la régénération, et perturbe la répartition des espèces initialement présentes.



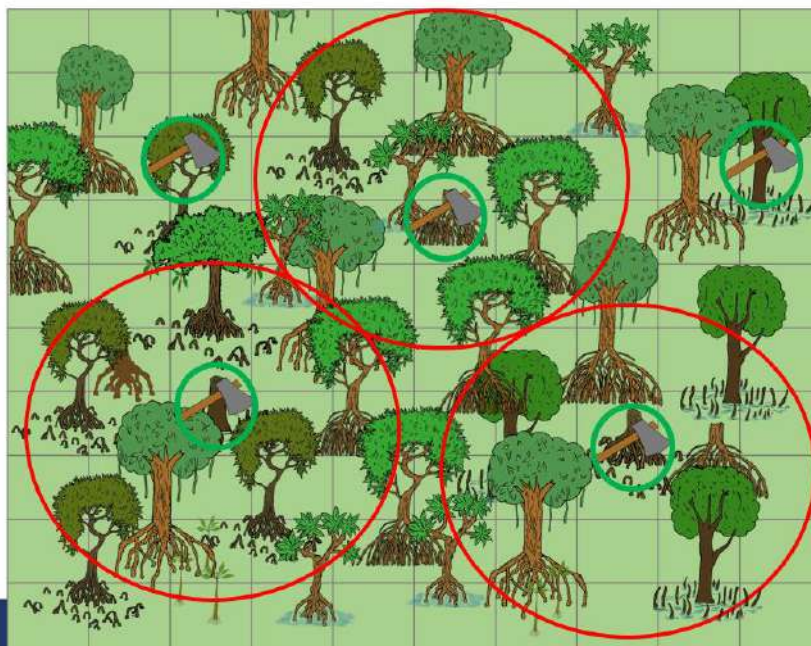
## Coupe sélective

16

## CONSEILLE

A plus grande échelle, si on respecte les distances de coupes on arrive schématiquement à cette illustration :

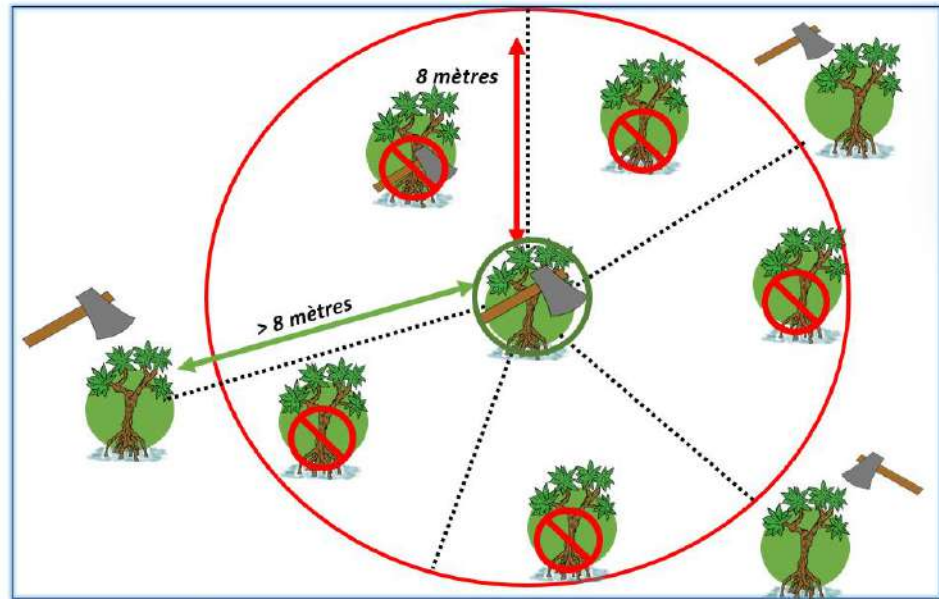
Les cercles rouges correspondent au rayon du tronc, autour duquel la coupe est déconseillée



### CONSEILLE

Les arbres peuvent être coupés s'ils sont placés à minimum 8 mètres de distance entre eux.

Ne pas couper les arbres lorsque ces derniers sont placés à moins de 8 mètres de distance entre eux.

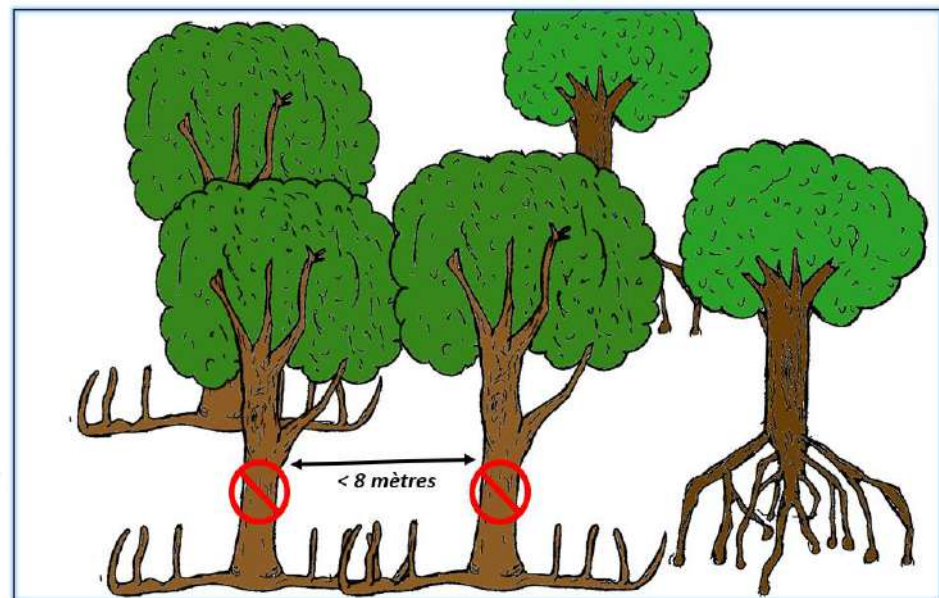


Distance de coupe

18

### DECONSEILLE

A plus petite échelle :  
Ne pas couper les arbres lorsque ces derniers sont placés à moins de 8 mètres de distance entre eux.

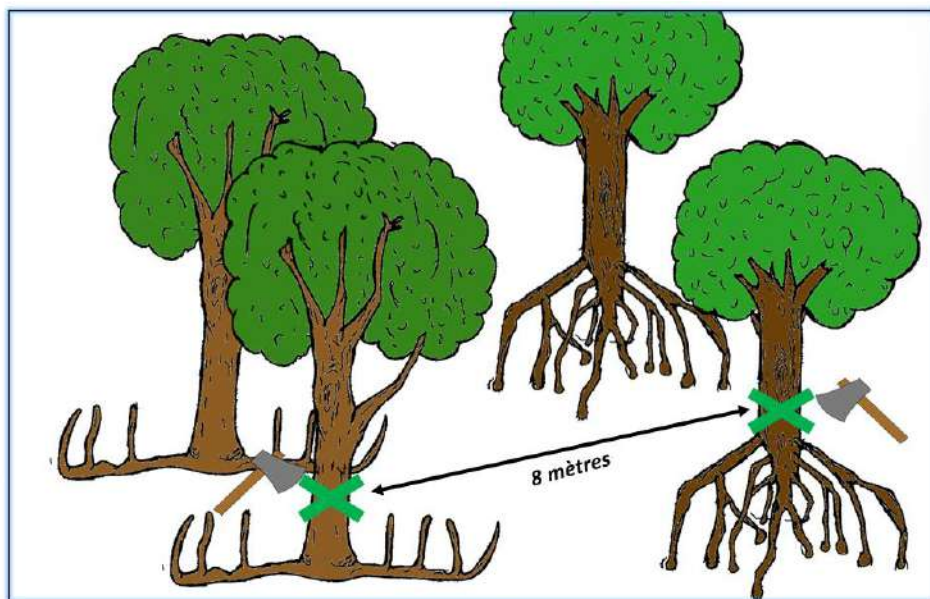


Distance de coupe

19

### CONSEILLE

Les arbres peuvent être coupés s'ils sont placés à minimum 8 mètres de distance entre eux.

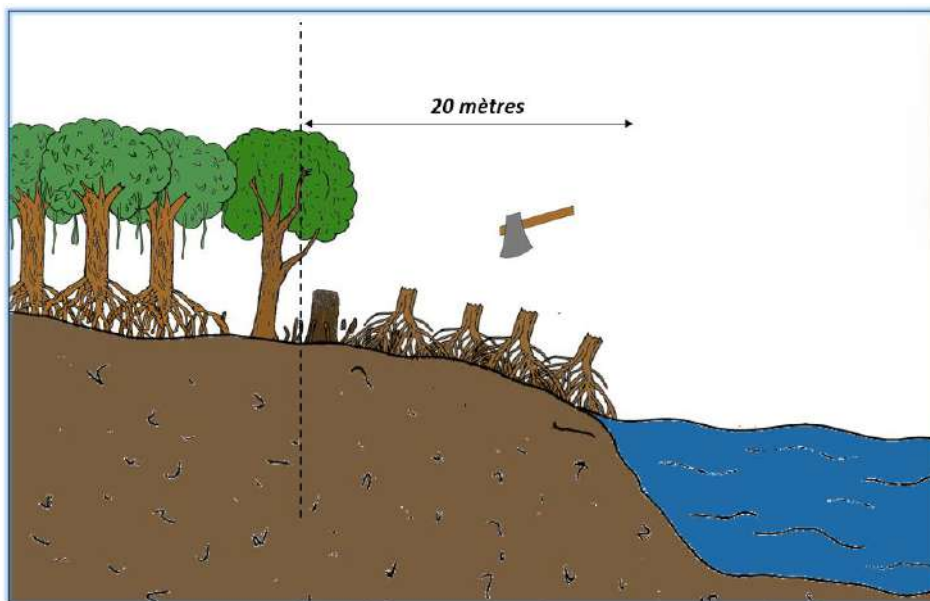


Distance de coupe

20

### DECONSEILLE

Il est déconseillé de couper de la mangrove en bordure directe de fleuve et en zone côtière avant 20 mètres. Ces dernières luttent contre l'érosion et diminuent les dégâts liés aux tempêtes et/ou tsunamis.

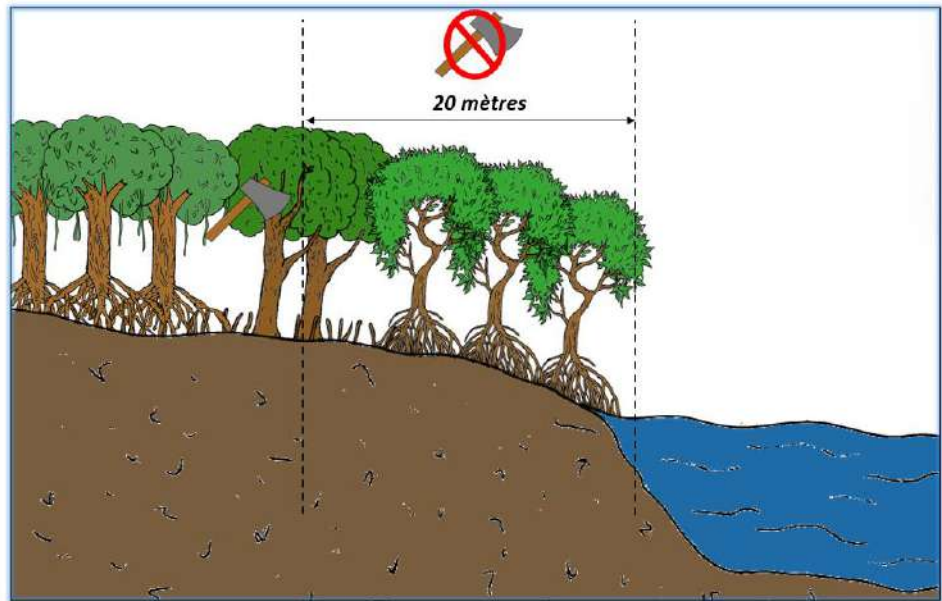


Zone-tampon

21

**CONSEILLE**

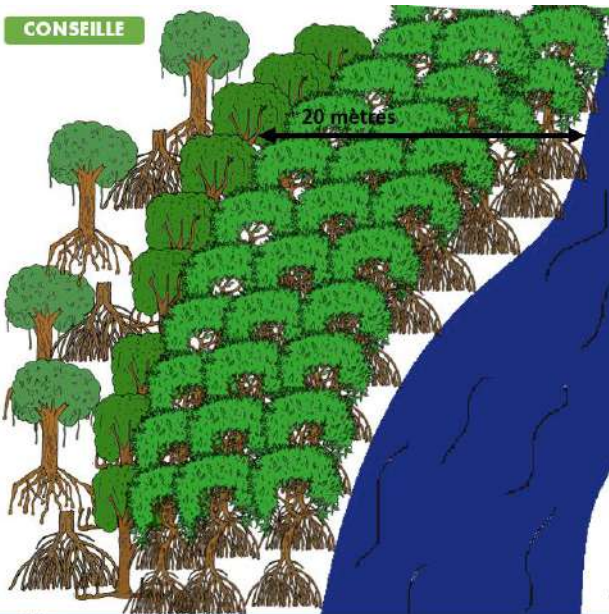
Il est conseillé de conserver une zone-tampon en bordure de fleuve et en zone côtière de mangrove intacte sur 20 mètres. Ces dernières luttent contre l'érosion et diminuent les dégâts liés aux tempêtes et/ou tsunamis.



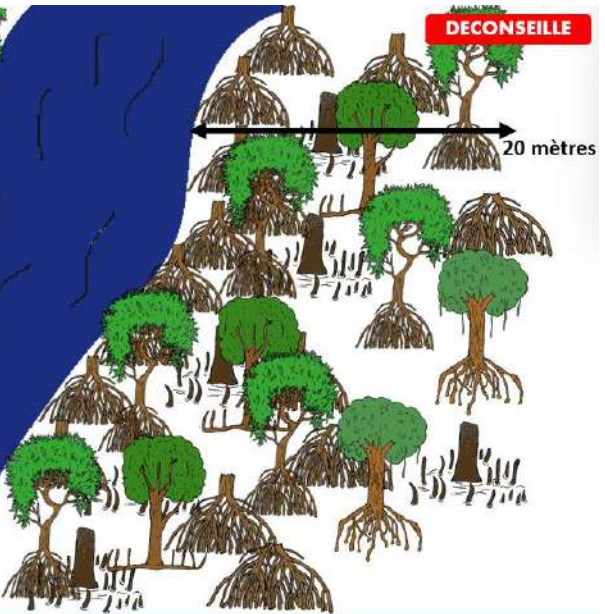
**Zone-tampon**

22

**CONSEILLE**



**DECONSEILLE**

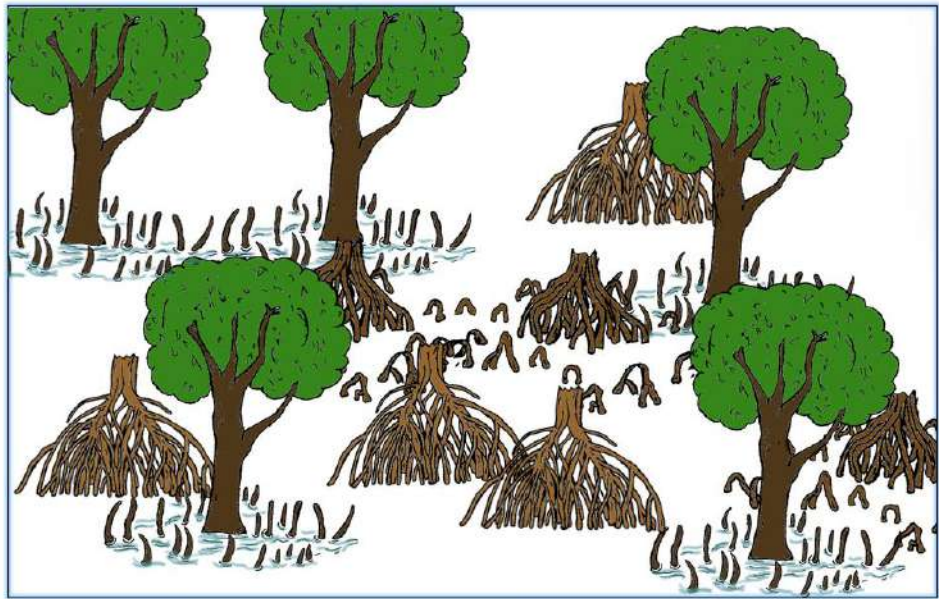


**Zone-tampon**

23

**DECONSEILLE**

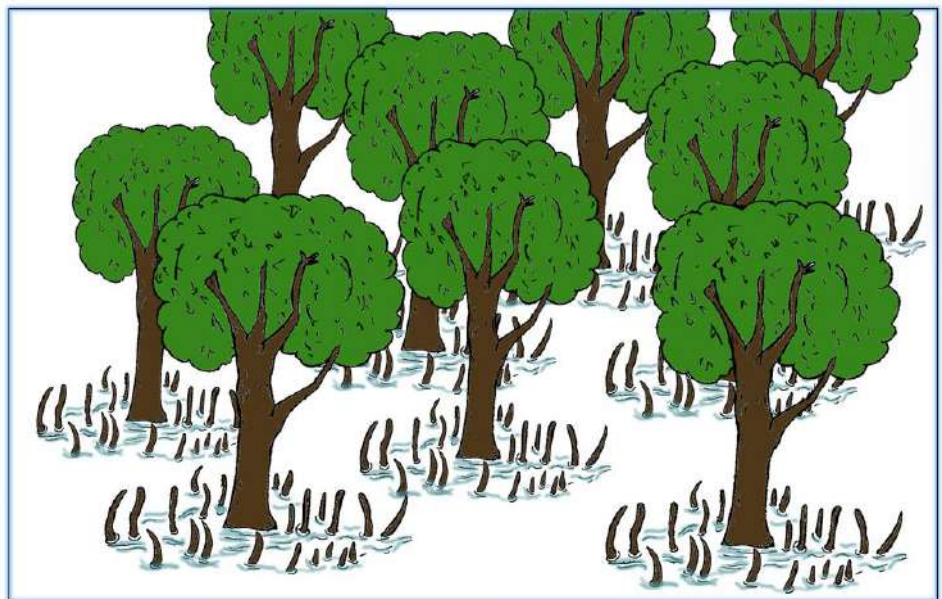
Il est déconseillé d'utiliser la coupe sélective pour ne laisser sur site qu'une seule espèce, ce qui risque de détériorer la diversité d'un site.



**Coupe sélective**

**DECONSEILLE**

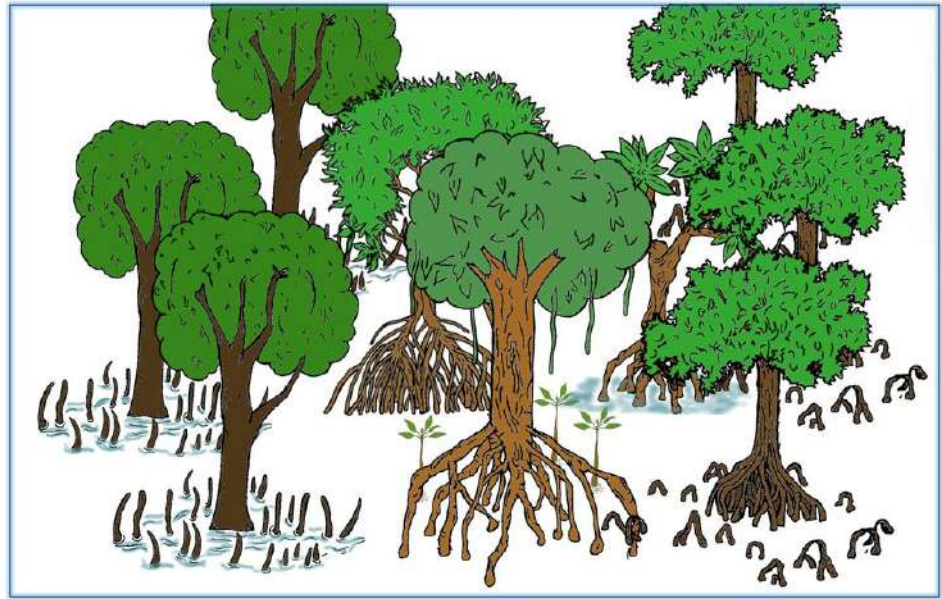
Il est déconseillé d'utiliser la coupe sélective pour ne laisser sur site qu'une seule espèce, ce qui risque de détériorer la diversité d'un site.



**Coupe sélective**

**CONSEILLE**

Afin de préserver la richesse et la diversité du milieu, il est conseillé d'établir et de conserver les mêmes espèces présentes sur un site.

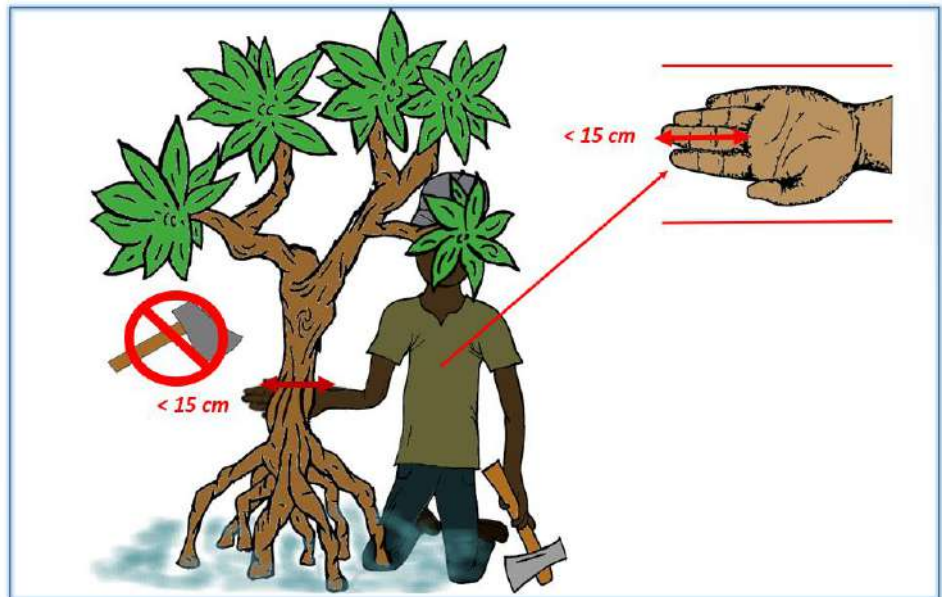


**Coupe sélective**

26

**DECONSEILLE**

Ne pas couper les arbres de moins de 15 centimètres de diamètres afin de ne pas altérer la régénération naturelle.

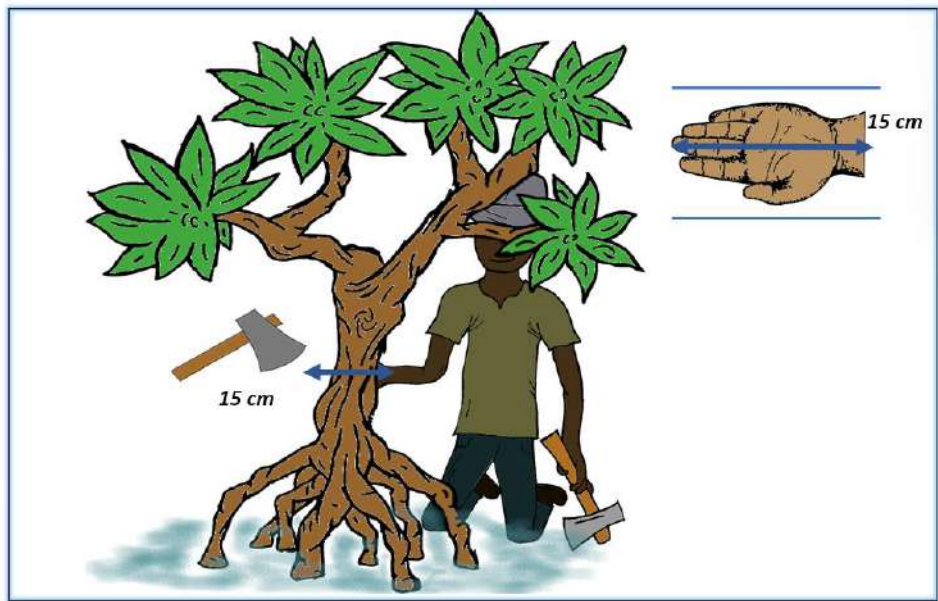


**Taille de coupe**

27

### CONSEILLE

Afin de favoriser la régénération naturelle, les arbres peuvent être coupés à partir de 15 centimètres de diamètres (soit 47 centimètres de circonférence).

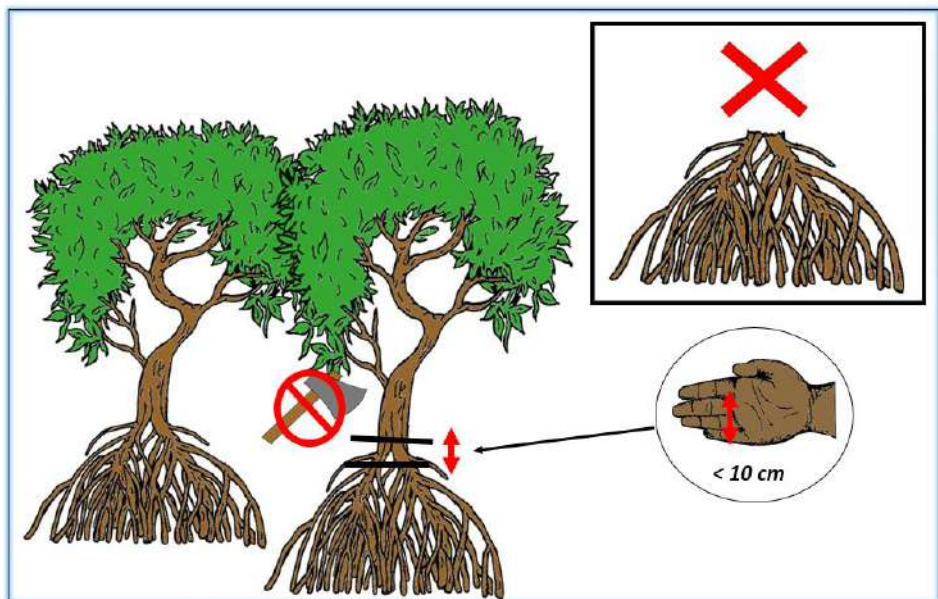


### Taille de coupe

28

### DECONSEILLE

Afin d'assurer une régénération après coupe, il est déconseillé de couper le tronc en-dessous des 10 cm à partir des racines supérieures. Cela augmente le risque de détérioration et submersion de la souche.

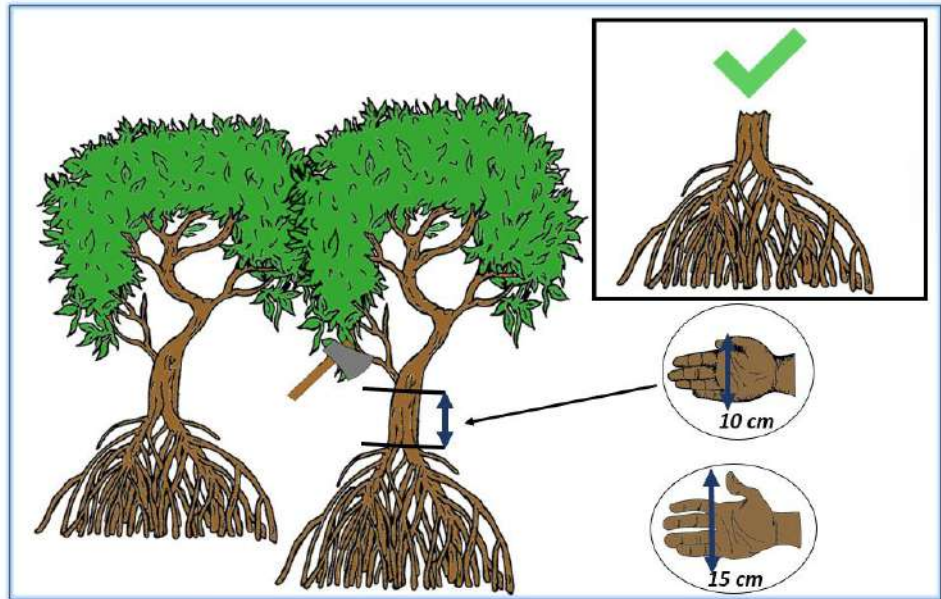


### Hauteur de coupe

29

### CONSEILLE

Afin d'assurer une régénération après coupe, il est conseillé de couper le tronc à partir de 10 cm au-dessus des racines supérieures. Cela diminue le risque de détérioration de la souche.

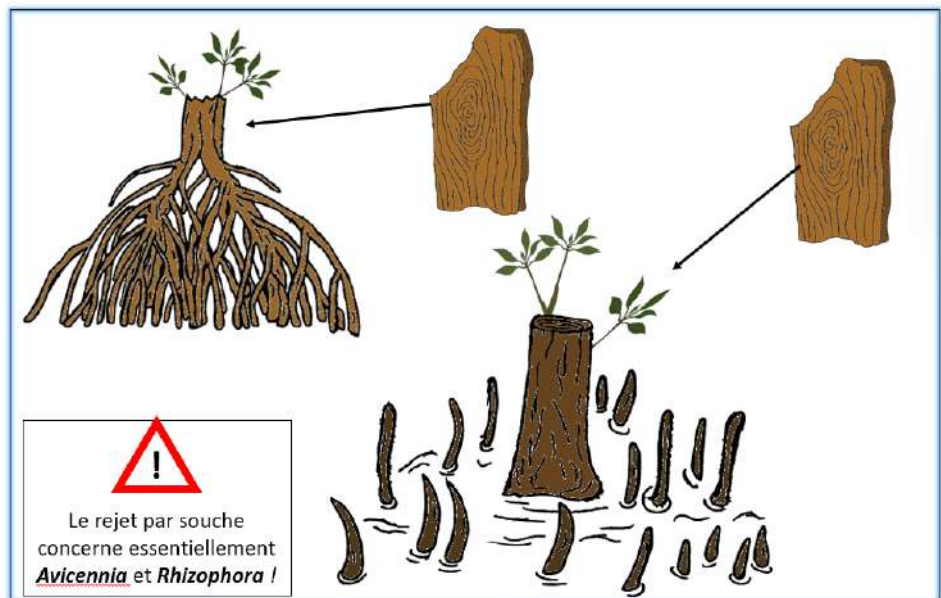


### Hauteur de coupe

30

### CONSEILLE

Il est conseillé de conserver l'écorce sur les souches coupées. L'écorce joue un rôle important dans la régénération des souches coupées : la présence d'une couche d'écorce favorise les rejets de souche.

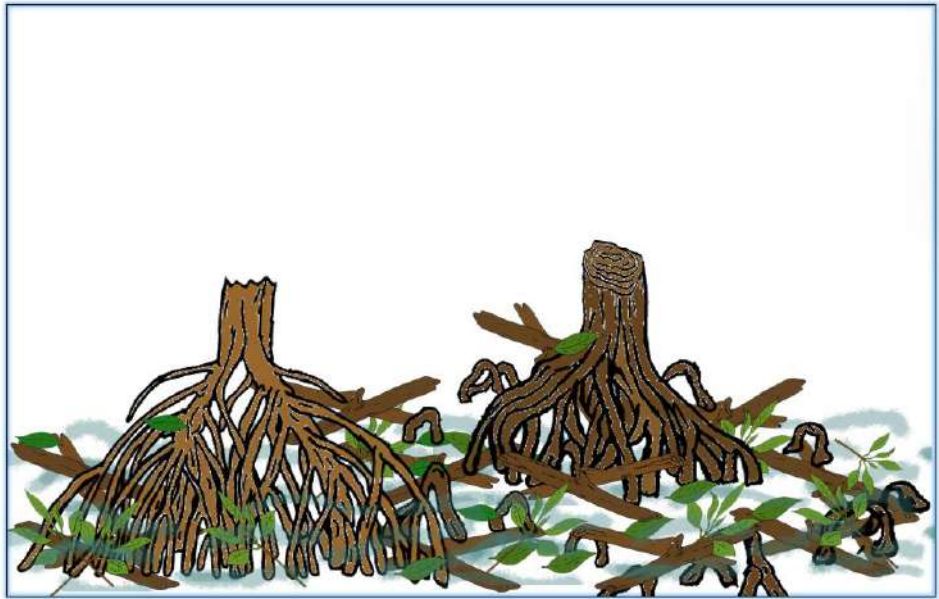


### Exploitation de l'écorce

31

**DECONSEILLE**

Il est déconseillé de laisser au sol les résidus de coupe une fois le bois coupé. Les résidus de coupe (branches, feuilles, écorce, etc) laissés au sol sont emportés lors des marées hautes et détruisent les propagules fixées au sol.

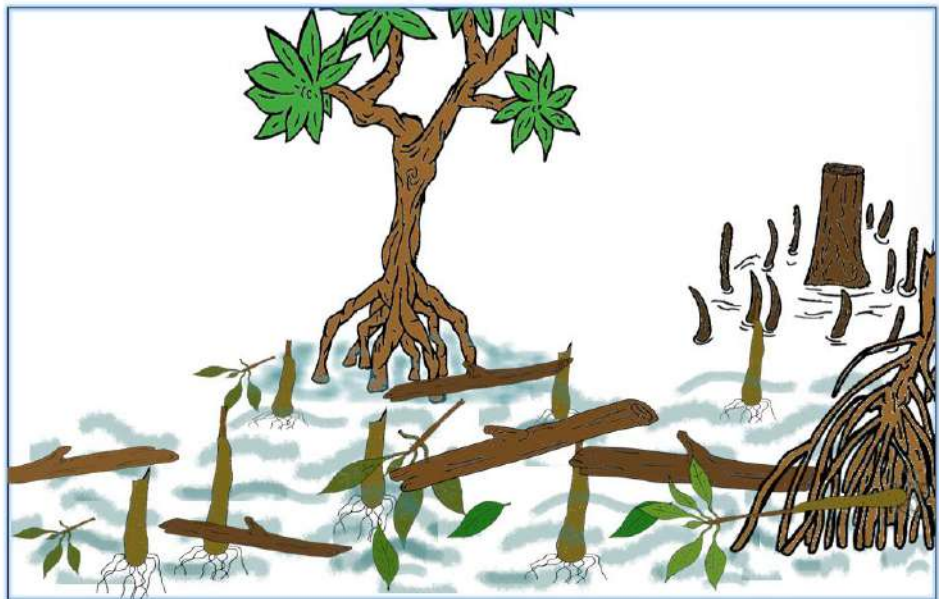


Résidus de coupe

32

**DECONSEILLE**

Il est conseillé de débarrasser les souches de tous débris forestiers afin de ne pas détruire les jeunes propagules.

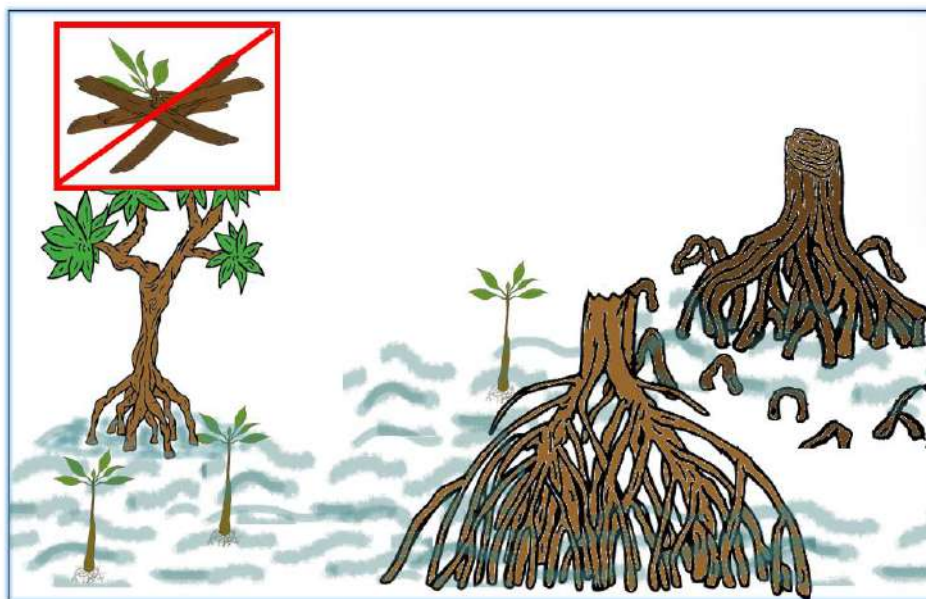


Résidus de coupe

33

## CONSEILLE

Il est conseillé de débarrasser les souches de tous débris forestiers afin de ne pas altérer la régénération et de laisser intact les propagules au sol.



Résidus de coupe

34

Bibliographie associée au manuel d'utilisation durable :

Aaron Froilan M. Raganas, Annalee S. Hadsall, Nelson M. Pampolina, Stefan Hotes, Damasa B. Magcale-Macandog (2020). Regeneration capacity and threats to mangrove areas on the southern coast of Oriental Mindoro, Philippines : Implications tu mangrove ecosystem rehabilitation. *Biodiversitas* 21: 3625-3636

Andriamalala, Clarah Arison Julie (2007). Etude écologique pour la gestion des mangroves à Madagascar : comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Doctoral Thesis, University of Basel, Faculty of Science

Anusha Rajkaran and Janine B. Adams (May 23rd 2012). The Effect of Harvesting on Mangrove Forest Structure and the Use of Matrix Modelling to Determine Sustainable Harvesting Practices in South Africa, *Sustainable Forest Management - Current Research*, Jorge Martin Garcia and Julio Javier Diez Casero, IntechOpen, DOI: 10.5772/28919

Dayarathne, VTK & Kumara, MP. (2015). Present status of small-scale exploitation of mangroves in Rekawa Lagoon, Sri Lanka. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 20(1), pp.11-22.

Dina N. Rasquinha, Deepak R. Mishra. (2021). Impact of wood harvesting on mangrove forest structure, composition and biomass dynamics in India, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.248

FAO (1957). *Sylviculture tropicale*, vol II, Rome 1957. «Mangrove», par D. S. P. Noakes, p. 309-18. «The mangrove forests of thé Andamans», par J. Banerji, p. 319-24. *Sylviculture de la mangrove* – M. A. Huberman, Division des forêts de la FAO

FAO (1994). *Mangrove forest management guidelines*. 364 p. ISBN 92-5-303445-9

Mériadec Sillanpää, Juliana Vantellingen, Daniel A. Friess (2017). Vegetation regeneration in a sustainably harvested mangrove in West Papua, Indonesia. *Forest ecology and management*, Vol.390, 137-146

FAO (2006). *Politique et stratégie pour la gestion durable des écosystèmes de mangrove du Cameroun*. 44p.

FAO (2009). L'importance des forêts de mangrove pour la pêche, la faune sauvage et les ressources en eau en Afrique. In *Nature et Faune* Vol.24, Ed. 1. Bureau régional de la FAO pour l'Afrique, Accra, Ghana. 151 p.

Geoghegan, T. & Smith, A.. (2002). Conservation and sustainable livelihoods: Collaborative mangrove management in St. Lucia. *International Forestry Review*

Goessens A, Satyanarayana B, Van der Stocken T, Quispe Zuniga M, Mohd-Lokman

H, et al. (2014). Is Matang Mangrove Forest in Malaysia Sustainably Rejuvenating after More than a Century of Conservation and Harvesting Management?

Ivan R. Scales, Daniel A. Friess (2019). Patterns of mangrove forest disturbance and biomass removal due to small-scale harvesting in southwestern Madagascar. *Wetland Ecology and Management* 27, 609-625.

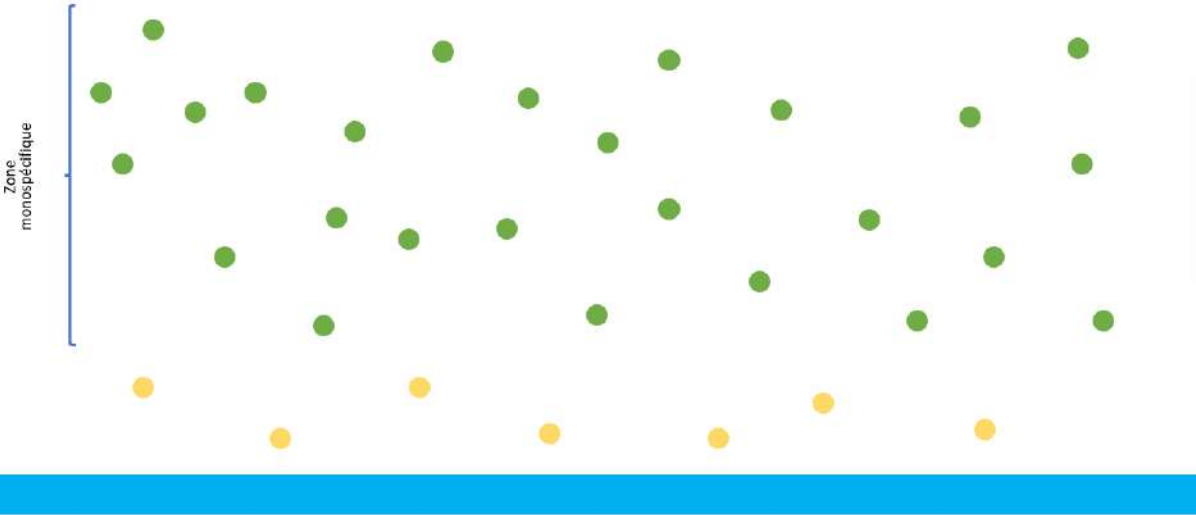
Joseph K. S. Lang'at and James G. Kairo (2013). Conservation and management of mangrove forests in Kenya. Mangrove Reforestation Program.

Owen Bovell (2011). The code of practice for mangrove harvesting. Guyana Mangrove Project Restoration. 58 P.

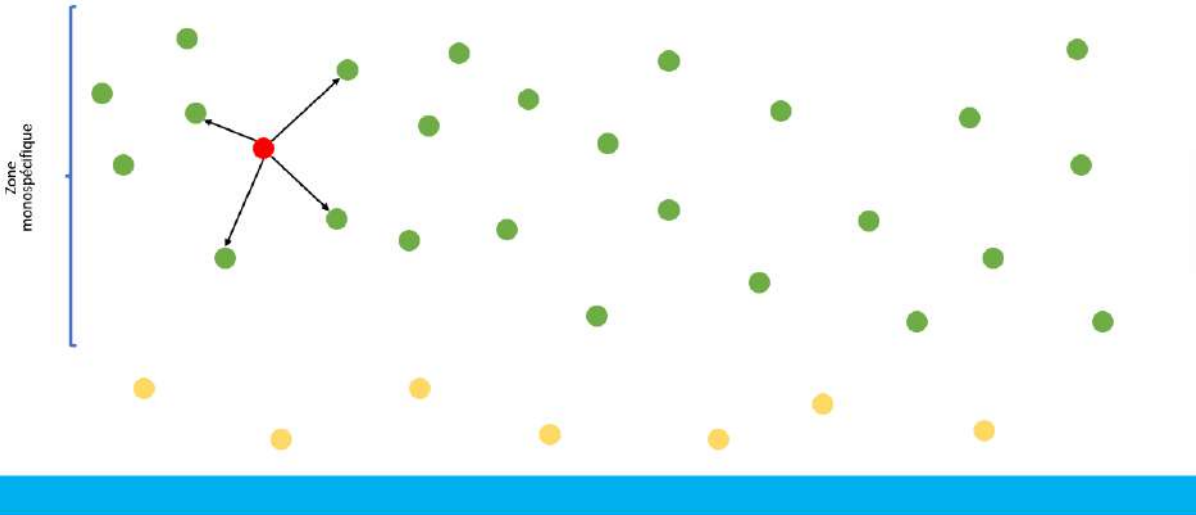
RASOAVOLOLONJANAHARY Myria Flore Horthancya (2013). Etude de la restauration des mangroves sur le littoral du sud-ouest de Madagascar, entre les fleuves de Manombo et de Onilahy.

Yvson, E. (2014). Memoire de Licence Professionnelle en Biodiversité et Environnement. RANDRIAMAROMANANA Yvson Donatien Emmanuel.

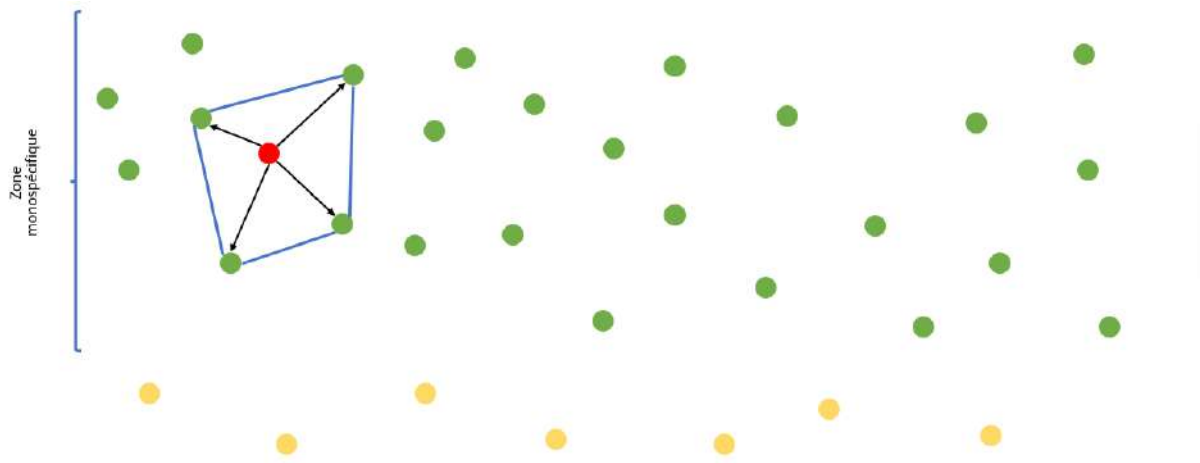
# ANNEXE 13 : PROTOCOLE DU CALCUL DES ESPACEMENT POUR LES ESPÈCES DE PALÉTUVIERS ( BONHOMME PAUL, 2023)



- Légende :**
- Arbres de l'espèce étudiée
  - Espèce non étudiée
  - Front de mer

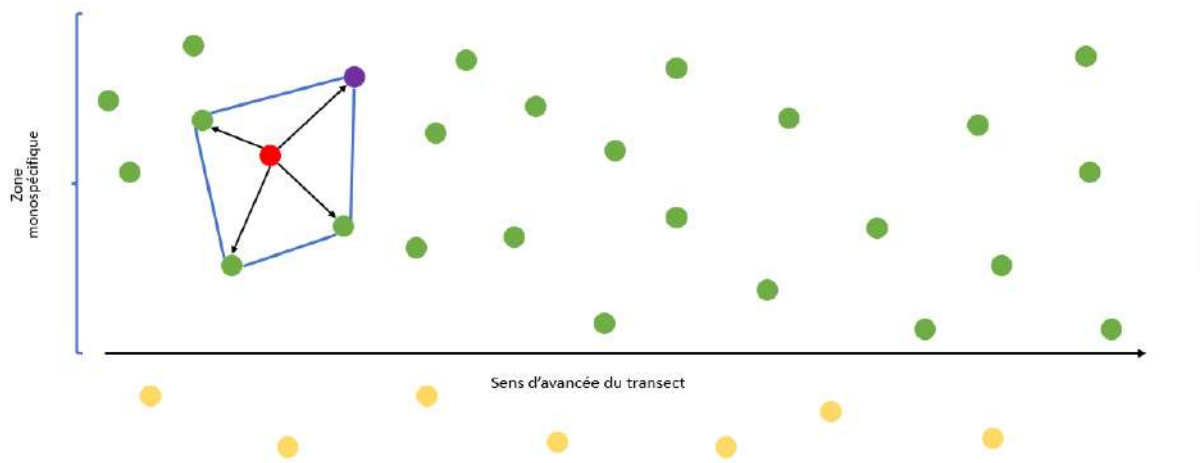


- Légende :**
- Arbres de l'espèce étudiée
  - Espèce non étudiée
  - Front de mer
  - Premier arbre de référence choisi au hasard
  - Mesure de la distance



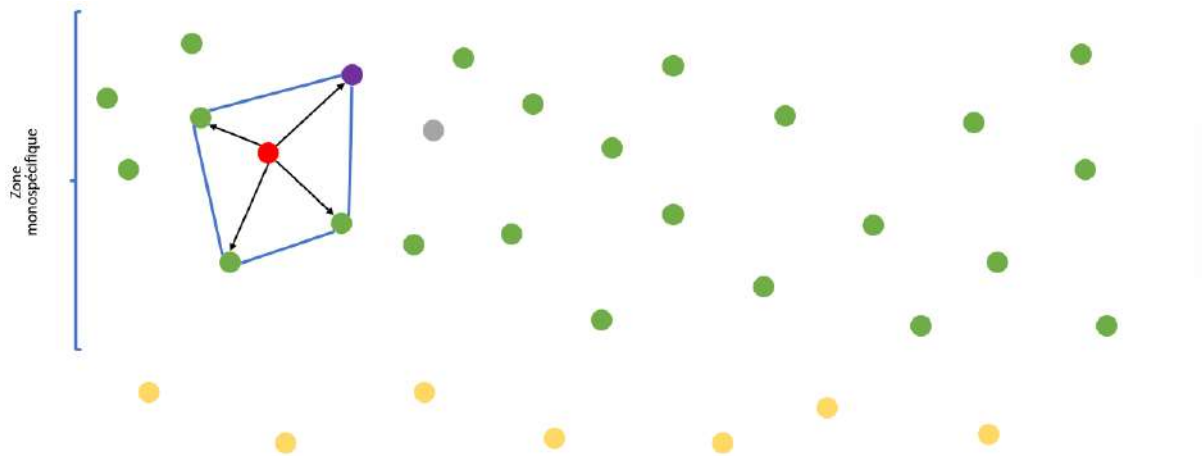
**Légende :**

- Arbres de l'espèce étudiée
  - Espèce non étudiée
  - Front de mer
- Premier arbre de référence choisi au hasard
  - Mesure de la distance
  - Zone englobant la première couronne d'arbres



**Légende :**

- Arbres de l'espèce étudiée
  - Espèce non étudiée
  - Front de mer
- Premier arbre de référence choisi au hasard
  - Mesure de la distance
  - Zone englobant la première couronne d'arbres
- Arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect

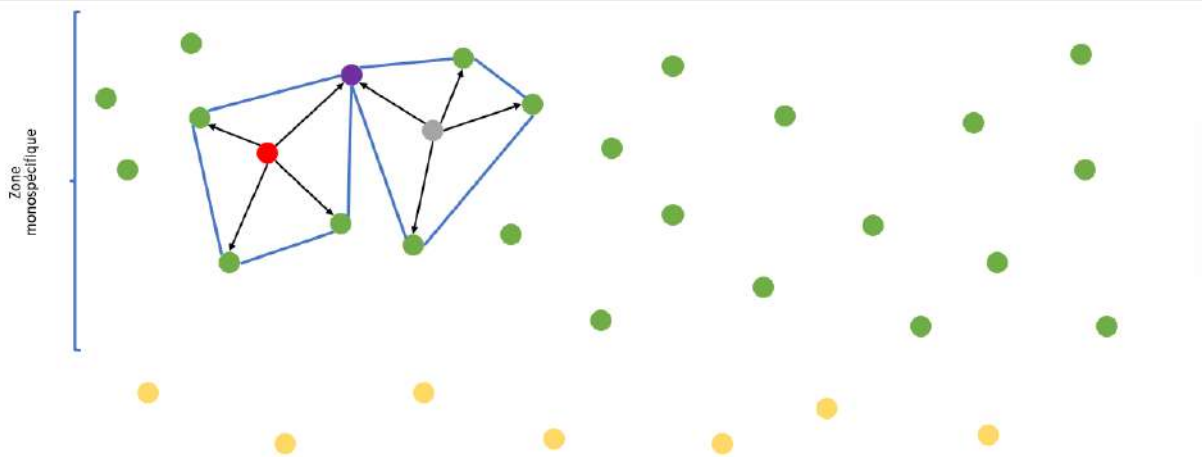


**Légende :**

- Arbres de l'espèce étudiée
- Espèce non étudiée
- Front de mer

- Premier arbre de référence choisi au hasard
- $\rightarrow$  Mesure de la distance
- Zone englobant la première couronne d'arbres

- Arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect
- Nouvel arbre de référence (arbre le plus proche de l'arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect)

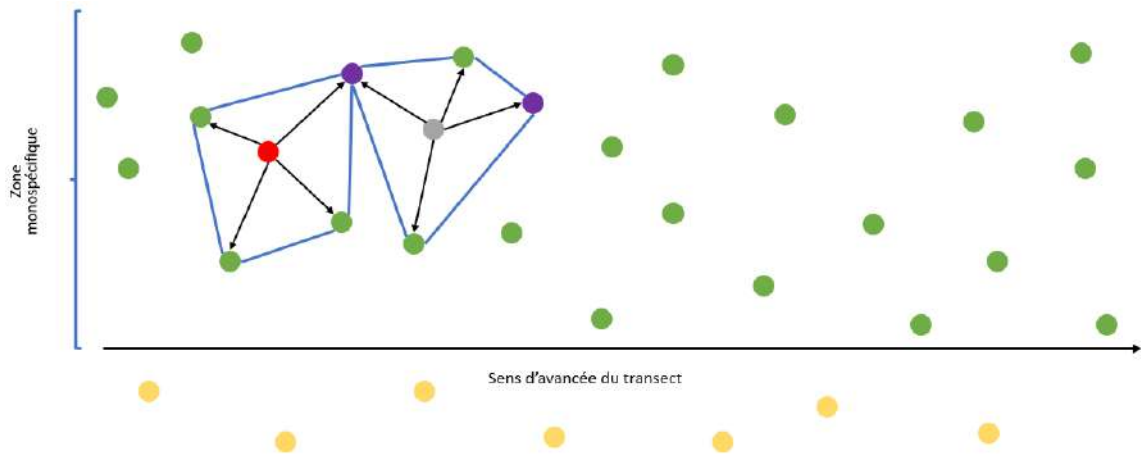


**Légende :**

- Arbres de l'espèce étudiée
- Espèce non étudiée
- Front de mer

- Premier arbre de référence choisi au hasard
- $\rightarrow$  Mesure de la distance
- Zone englobant la première couronne d'arbres

- Arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect
- Nouvel arbre de référence (arbre le plus proche de l'arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect)



**Légende :**

● Arbres de l'espèce étudiée

● Premier arbre de référence choisi au hasard

● Arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect

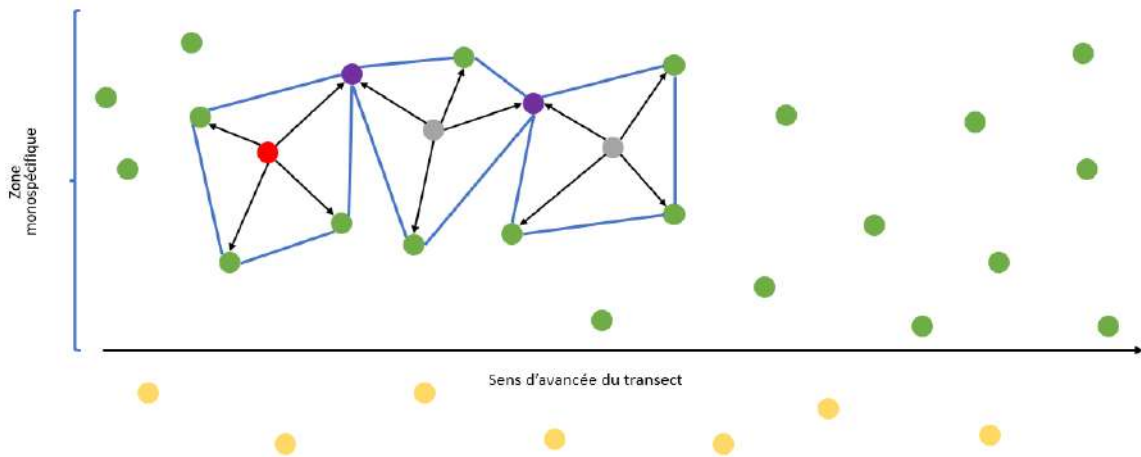
● Espèce non étudiée

→ Mesure de la distance

● Nouvel arbre de référence (arbre le plus proche de l'arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect)

■ Front de mer

— Zone englobant la première couronne d'arbres



**Légende :**

● Arbres de l'espèce étudiée

● Premier arbre de référence choisi au hasard

● Arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect

● Espèce non étudiée

→ Mesure de la distance

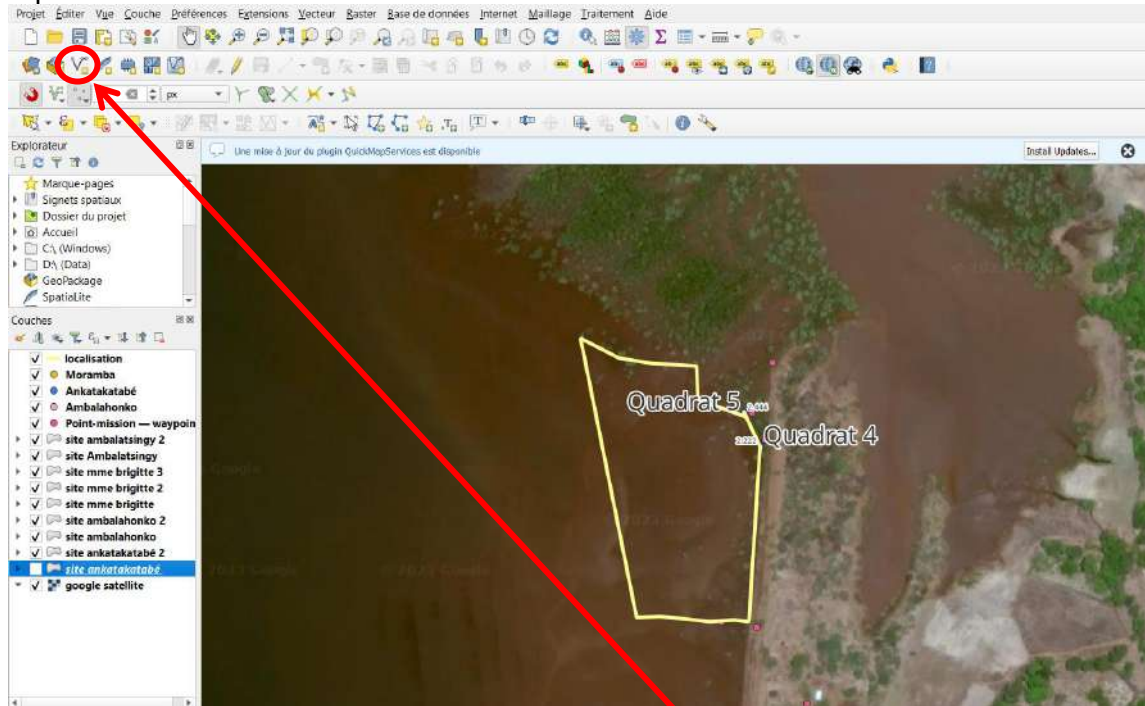
● Nouvel arbre de référence (arbre le plus proche de l'arbre le plus loin dans le sens d'avancée du transect)

■ Front de mer

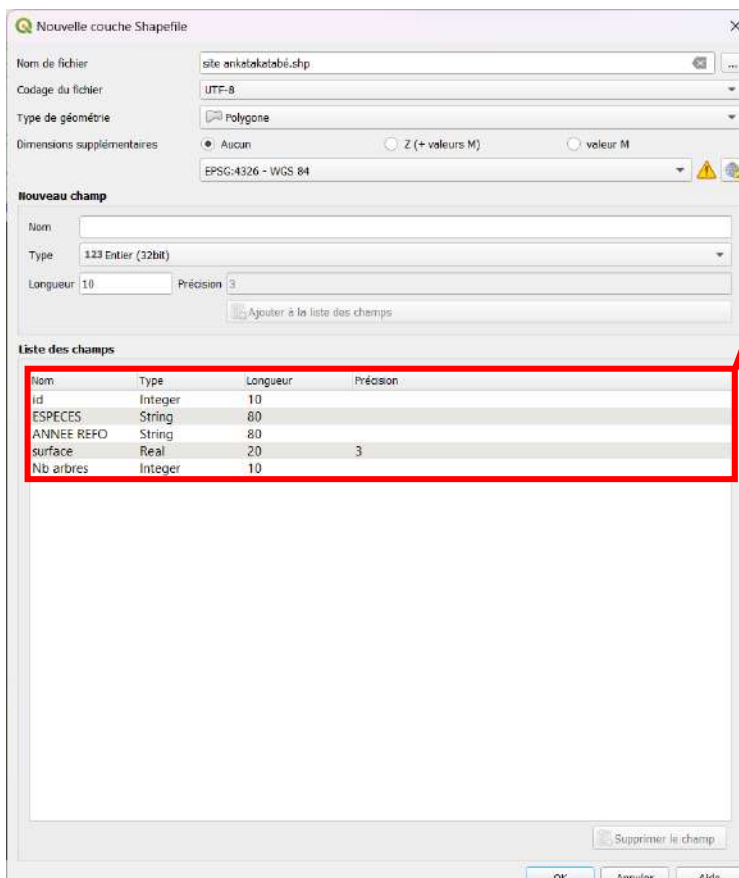
— Zone englobant la première couronne d'arbres

## ANNEXE 14 : UTILISATION DE QGIS LORS DE LA PHASE DE PLANIFICATION DU REBOISEMENT ( CHAILLOT ELÉA, 2023)

Les zones déboisées sont délimitées au préalable lors de la phase de terrain, puis elle est représentée sur QGIS.

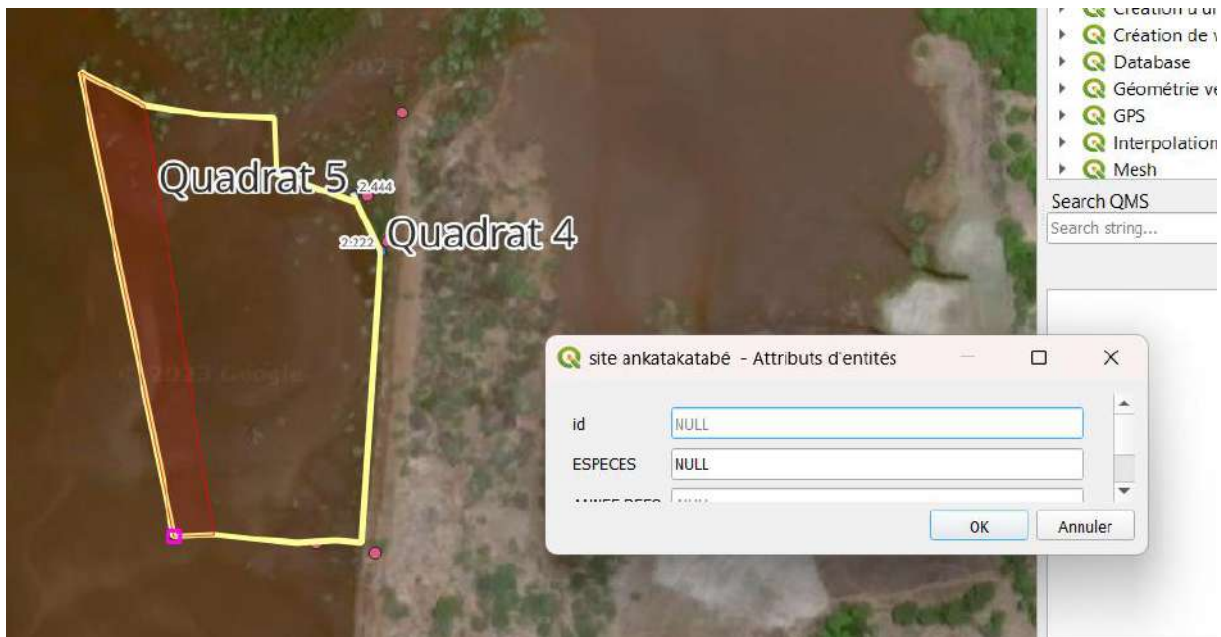


Une fois cette étape établie, une nouvelle couche shapefile sera créée. Cette couche sera de type « Polygone » et comprendra 5 champs, listés ci-dessous.

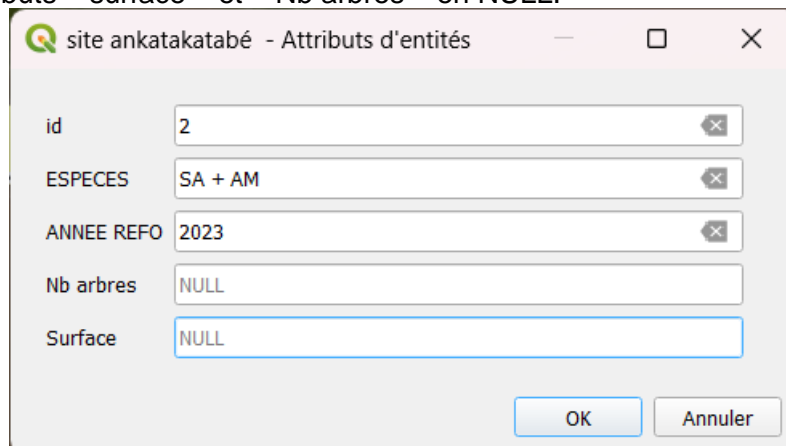


Une fois la couche créée, il faut basculer en mode « édition » (petit crayon jaune) et utiliser l'outil « ajouter une entité polygonale » afin de délimiter les différentes zones à reboiser.





Une fois une zone délimitée, il faut effectuer un clic droit et remplir les Attributs d'entités en laissant les attributs « surface » et « Nb arbres » en NULL.



On effectue cette étape pour toutes les zones à délimiter puis on se rends dans la table attributaire de la couche.

On obtient alors ceci :

id	ESPECES	ANNEE REFO	Nb arbres	surface
1	1 RM	2024	NULL	NULL
2	2 SA + am	2023	NULL	NULL
3	3 AM fm	2023	NULL	NULL

Afin de connaître la surface des espaces à reboiser il faut rentrer la formule suivante :

id	ESPECES	ANNEE REFO	surface
1	RM	2024	12711,315
2	3 AM fm	2023	13885,910
3	2 SA + am	2023	14267,004

Ensuite cliquer sur « Tout mettre à jour ». On obtient ainsi la surface.

En ce qui concerne « Nb arbres », la formule va dépendre des espèces qu'il faut planter. Dans cet exemple, en ce qui concerne les espèces « RM » et « AM fm » on a déterminé que le nombre de plants est égal à la surface (un plant par mètre carré). On rentre donc la formule :

id	ESPECES	ANNEE REFO	Nb arbres	surface
1	RM	2024	NULL	12711,315
2	SA + am	2023	NULL	14267,004
3	AM fm	2023	NULL	13885,910

En ce qui concerne SA + am, il a été décrété selon leur espacement que le nombre de plants à replanter est égal à la surface multiplier par 0,2343. Il faut alors sélectionner la ligne concernée, rentrer la formuler et enfin cliquer sur « Mettre à jour la sélection » :

id	ESPECES	ANNEE REFO	Nb arbres	surface
1	RM	2024	12711	12711,315
2	AM fm	2023	13886	13885,910
3	SA + am	2023	14267	14267,004

Le tableau suivi est alors obtenu :

	id	ESPECES	ANNEE REFO	Nb arbres	surface
1	1	RM	2024	12711	12711,315
2	3	AM fm	2023	13886	13885,910
3	2	SA + am	2023	3343	14267,004

# ANNEXE 15 : FICHE DE SUIVI DES REBOISEMENTS DE MANGROVES EN FRANÇAIS (BOURLET JULIETTE, BONHOMME PAUL, 2023)

## Fiche de suivi des reboisements - Mangroves




Date : \_\_\_\_\_ Noms des participants : \_\_\_\_\_  
 Heure de début : \_\_\_\_\_ Heure de fin : \_\_\_\_\_ Nom du village : \_\_\_\_\_  
 Numéro de zone : \_\_\_\_\_ Numéro de transect : \_\_\_\_\_ Numéro du quadrat : \_\_\_\_\_


Nature du sol :

		
Sableux <input type="checkbox"/>	Sablo-vaseux <input type="checkbox"/>	Vaseux <input type="checkbox"/>

Présence d'oiseaux (entendus ou vus) : Oui  Non

Nombre de trous de crabes sur 1m<sup>2</sup> :

	Nombre d'individus sur 1m <sup>2</sup>				Remarque
	Observateur 1	Observateur 2	Observateur 3	Observateur 4	
 <i>Neosarmatium meinerti</i>					
 <i>Uca urvillei</i> (Kalafoba Tsinjakatambalaka)					
 <i>Goniopsis pelii</i> (Kalafoba gonjo)					

 Periophthalmus sp (gobies) <input type="checkbox"/>	 Terebralia palustris (bulots) <input type="checkbox"/>	 Pagurus bernhardus (Bernard l'Hermite) <input type="checkbox"/>	 Saccostrea cuculla (huîtres de mangroves) <input type="checkbox"/>	 Scylla serrata (crabe de mangrove) <input type="checkbox"/>
---	--	---	---	---

## Fiche de suivi des reboisements - Mangroves

### Les caractéristiques des arbres :

Numéro de relevé	Espèce	Etat de l'arbre étudié	Circonférence du tronc (en cm)	Diamètre du tronc (en m)	Diamètre de la canopée (en m)	Hauteur de l'arbre (en m)	Nombre
1		JUV	-5cm	/	/	/	/
2		JUV	-5cm				
3		JUV	-5cm				
4		JUV	-5cm				
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Notes supplémentaires (remarques, observations, etc) :

Fiche de suivi des reboisements - Mangroves

**Légende des caractéristiques des arbres :**

Légende de la fiche de suivi des reboisements - Mangroves					
Espèce	Abréviation	Nom malgache	Stade de croissance suivant le diamètre du tronc (en cm)		
			Juvénile	Jeune pousse	Adulte
<i>Xylocarpus granatum</i>	XG	Antalaotro	<5]	]5;30]	>30[
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	BG	Tsitolonina			
<i>Ceriops tagal</i>	CT	Honko vavy			
<i>Heritiera littoralis</i>	HL	Moromony		]5;35]	>35[
<i>Rhizophora mucronata</i>	RM	Honko lay			
<i>Sonneratia alba</i>	SA	Farafaka			
<i>Avicennia marina</i>	AM	Afiaty	]	]	]
<i>Pemphis acidula</i>	PA	Lovingo lay	Pas de données	Pas de données	Pas de données
			Stade de croissance suivant la hauteur du palétuvier (en cm)		
<i>Lumnitzera racemosa</i>	LR	Lovingo vavy	<20]	]20;200]	>200[

Remarque 1 : le stade de croissance de *Pemphis acidula* selon le diamètre du tronc (en cm) ou suivant la hauteur (en cm) ne sera pas déterminé car cette espèce pousse sous forme de bosquets. Il n'est alors pas possible de déterminer ces paramètres pour chacun des individus, la présence de l'espèce est alors uniquement relevée sur la fiche de terrain.

Remarque 2 : les valeurs du tableau de légende de la fiche de suivi vaut pour les espèces de palétuviers en mangrove ouverte et fermée.

Légende de l'état des arbres

Stade de vie	Abréviation
Juvénile	JUV
Jeune pousse	JP
Adulte	A
Coupe	C
Mort naturelle	MN

# ANNEXE 16 : FICHE DE SUIVI DES REBOISEMENTS DE MANGROVES EN MALAGASY (BOURLET JULIETTE, BONHOMME PAUL, 2023)

Takelaka fanara-masony voly ala honko

Daty :

Anarany mpandray anjara :

Ora anonbohany :

Ora iafarany :

Toerana :

Laharany toerana :

Laharany transect :

Laharany quadrat :

Toetrany tany:




		
Fasika <input type="checkbox"/>	Fasika mifangaro godra <input type="checkbox"/>	Godra <input type="checkbox"/>




Fisiany vorona: (Heno na hitaou) :

Eny

Tsia

Hisani lavaka kalafoba anatiny 1m<sup>2</sup> :

	Hisany tsirairay antiny 1m <sup>2</sup>				Fanamariana
	Zava hita 1	Zava hita 2	Zava hita 3	Zava hita 4	
					
 Kalafoba Tsinjakatambalaka					
 Kalafoba gonjo					

 Kitrantran <input type="checkbox"/>	 Ankora <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 Saja <input type="checkbox"/>	 Drakaka <input type="checkbox"/>
---	---	---	--	--

Takelaka fanara-masonry voly ala honko

Toetran'ny hazo:

Laharana fanambarana	Karazany	sokajiny hazo ianarana	Refiny vatankazo (cm)	Refiny vatankazo (m)	Refiny halokany (m)	Ahabony hazo (m)	isany
1		JUV	-5cm	/			
2		JUV	-5cm				
3		JUV	-5cm				
4		JUV	-5cm				
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Fanamariana fanampiny (karazany zava-hita) :

## Takelaka fanara-masony voly ala honko

### Maribolana monba ny toetrany hazo :

Fanambarana amin'ny alalany takelaka ny fanarahamaso ny fitombony alahonko

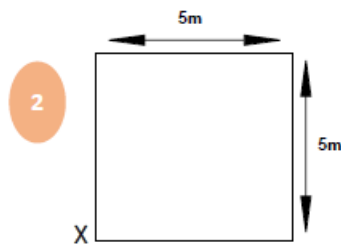
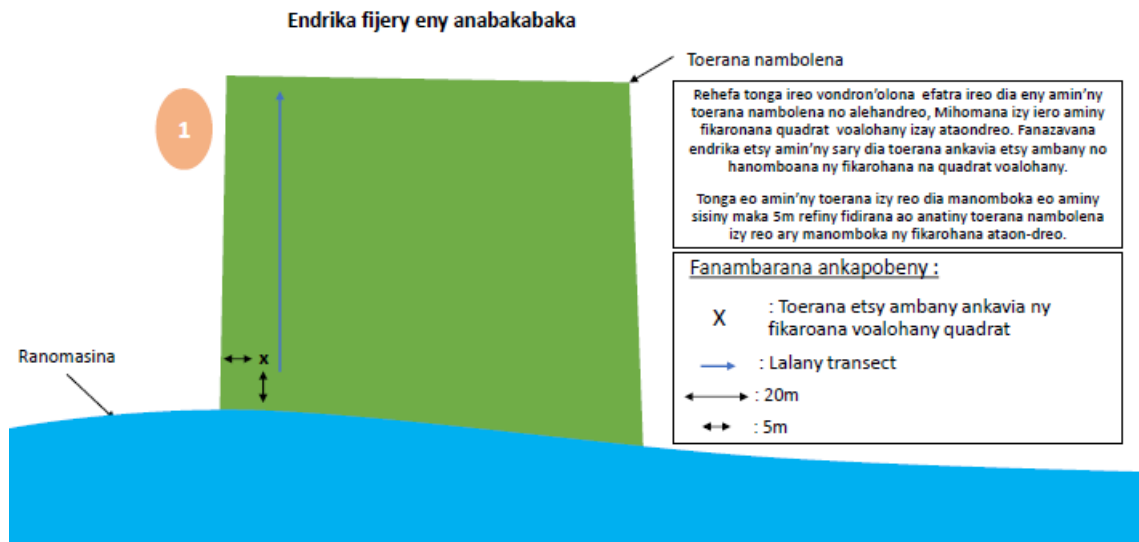
Anarana Malagasy	Famintinana	Fepotoana fitombosany fibezany vatany hazo(cm)		
		Zanan-kazo	Tanoran-kazo	Lehibe
Antalaatro	XG	<5]	]5;30]	>30[
Tsitolonina	BG			
Honko vavy	CT			
Moromony	HL		]5;35]	>35[
Honko lay	RM			
Farafaka	SA			
Afiafy	AM		]5;45]	>45[
Lovingo lay	PA	Tsy nahazoana vokatra	Tsy nahazoana vokatra	Tsy nahazoana vokatra
		Fepotoana fitombosany alavany hazo (cm)		
Lovingo vavy	LR	<20]	]20;200]	>200[

Fanambarana ny toen-javatra mikasika ny hazo

Karazany fepotoana fitombosany	Famintinana
zanan-kazo	JUY
tanoran-kazo	JP
Lehibe	A
Maty tapaka	C
Maty voa-janahary	MN

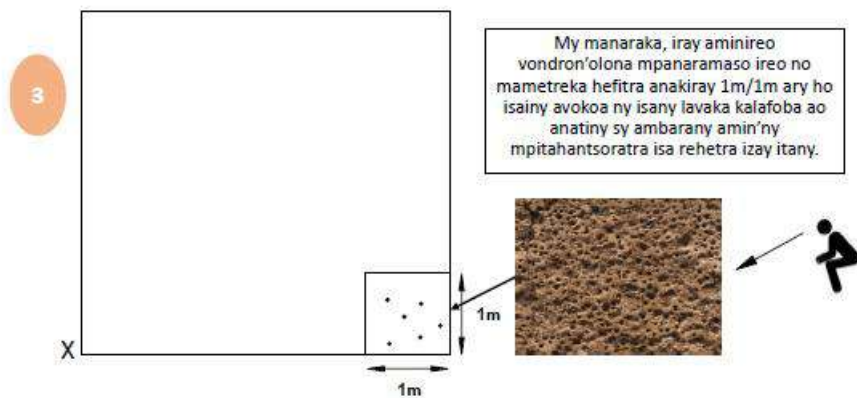
# ANNEXE 17 : GUIDE EXPLICATIF DU PROTOCOLE DE SUIVI EN MALAGASY ( BONHOMME PAUL, 2023)

Ce petit guide a été réalisé pour que les habitants des villages reboisés puissent réaliser le suivi de ces zones par eux-mêmes. Cela se fait en huit étapes qui sont écrites ci-dessous :



My manaraka, iray amin'ny vondron'olona ireo dia mametraka ny fehy tady ny quadrat.

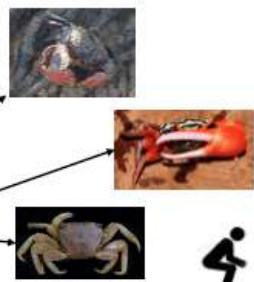
Amin'ny zay fotoana, iray olona iray afa kosa no mameno ny takelaka fanarahamaso izay ampiany olona roa izay mijery ny manodidina ao anatin'ny toerana.



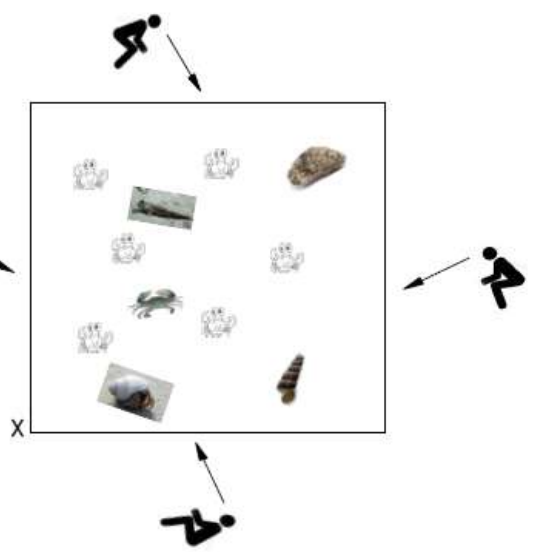
4

Mandritra ny 5 minitra dia isaina avy ny kalafoba izay voatanisa etsy ambany ireo :

- gros crabes à pincés rouges,
- Tsinjaka antalaotro,
- Gonjo.



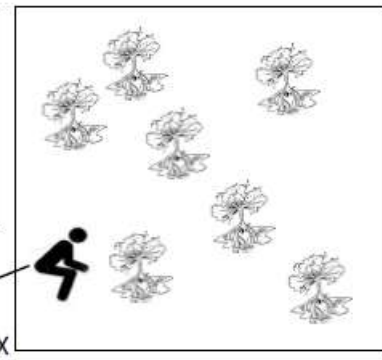
Ary izay isa rehetra azony mpanisa dia ambara ilay mpandray antsoatra. Ary amarihiny avokoa ny fisiany saja, ankora sy kitrantra ary ny tsaonfitaka na drakaka rahoatra misy ny.



5

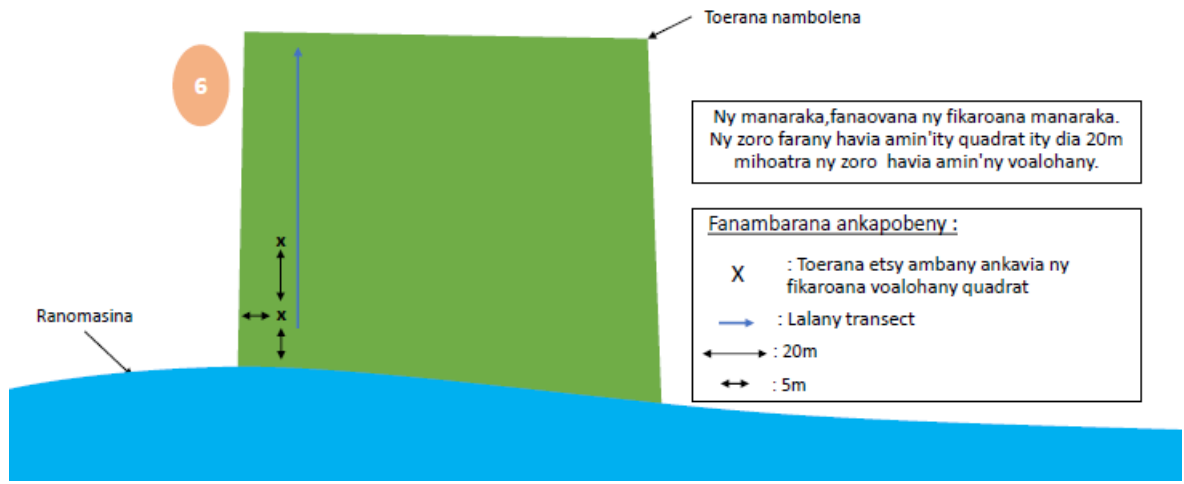
Ny mètre ruban no entina mandrefi ny vatany hazo, ary amarihina antsoatra ny karazany hazo sy sokajiny fitombosany. Ny zanakazo ambanin'y 5cm dia tsy refesina ny habeny vatany fa kosa raisina antsoatra ny isany isankarazany.

Rehefa vita ny fikarohana dia tsy adino no manoratra ora famaranana, ary mila maka takelaka vaovao isaka manao fikarohana afa atao.



**Endrika fijery eny anabakabaka**

6

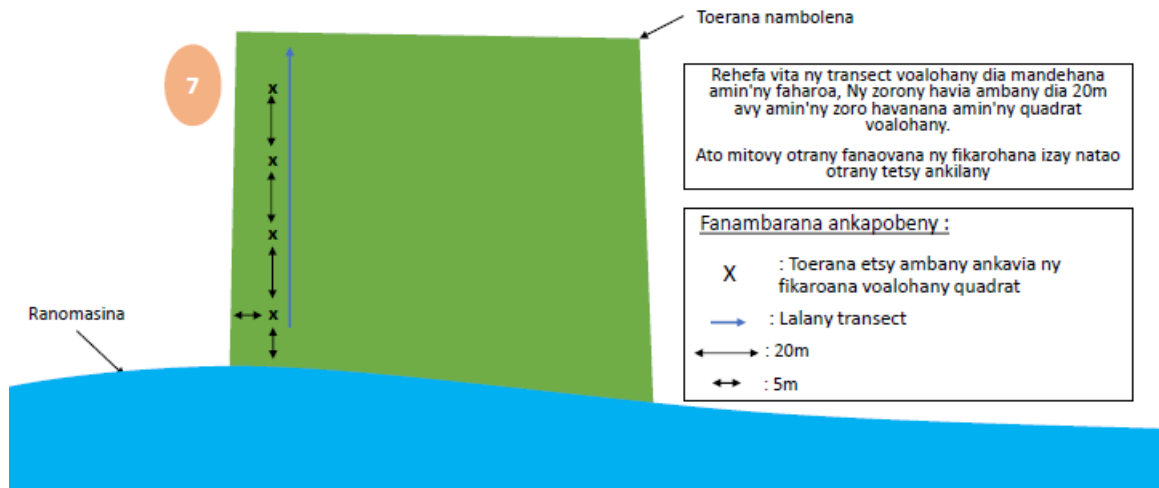


Ny manaraka, fanaovana ny fikarohana manaraka. Ny zoro farany havia amin'ity quadrat ity dia 20m mihoatra ny zoro havia amin'ny voalohany.

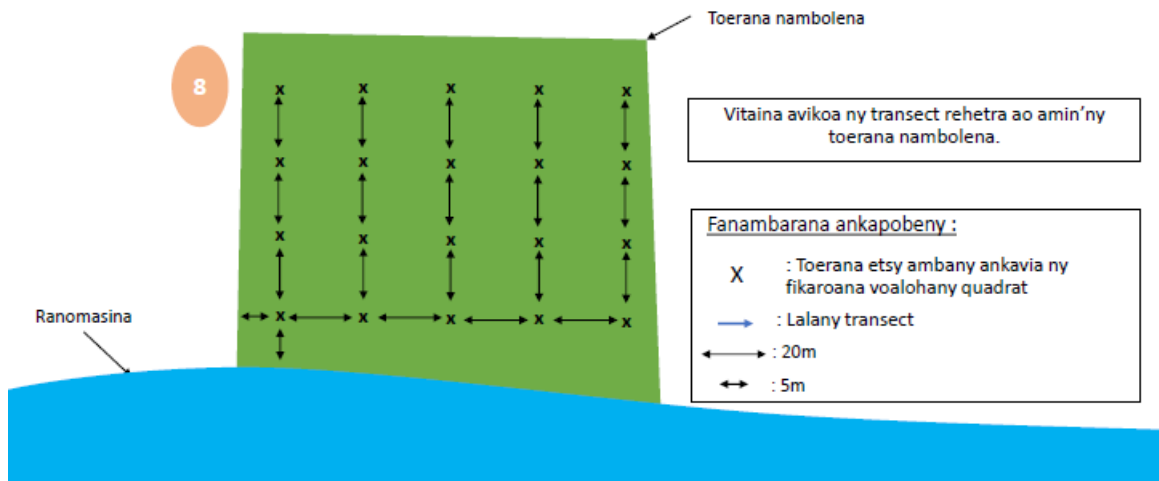
**Fanambarana ankapobeny :**

- X : Toerana etsy ambany ankavia ny fikarohana voalohany quadrat
- : Lalany transect
- ↔ : 20m
- ↔ : 5m

Endrika fijery eny anabakabaka



Endrika fijery eny anabakabaka



## ANNEXE 18 : FONCTIONNEMENT DU MODÈLE DE TÉLÉDÉTECTION

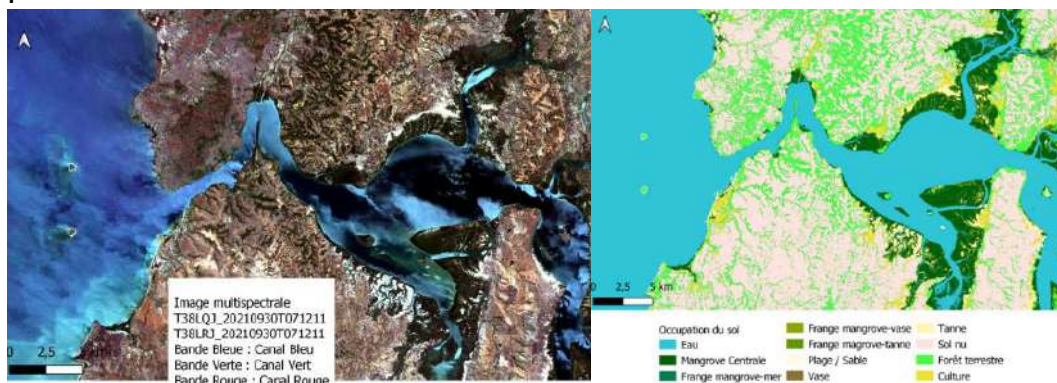
Le principe de la télédétection est qu'à partir d'une image satellite, il soit possible d'obtenir de multiples données telles que les différentes occupations du sol, et plus spécialement les différentes espèces de palétuviers dans la forêt de mangrove de la zone d'étude. Les points expliqués ci-dessous proviennent de Burriat Josselin, 2021.

Comment cela fonctionne ?

La première étape est de récupérer des images satellite de bonne qualité, des images telle que celles fournies par le satellite sentinel-2A, mais aussi les images pléiades ou encore des modèles numérique de terrain (MNT).

A partir de ces images et de leur données associées, il sera possible de calculer des indices spectraux, les pentes du terrain ou encore des éléments de texture.

Grâce à ces calculs, les images satellites vont être segmentées et une observation assez nette des différents espaces sur l'image sera réalisable, tel que les surfaces en eau, la mangrove centrale, la vase, le tanne, le sol nu et les cultures.



De plus, par le calcul des indices spectraux associés aux calculs d'activité chlorophyllienne il est possible de différencier les différentes espèces de palétuviers dans les espaces de mangrove. Afin de vérifier la précision du modèle donnée une étude de terrain a été effectuée et il a été calculé que la taux le plus bas de précision est de 92%, ce qui confirme tout de même dans l'ensemble le fonctionnement de la télédétection.

