

# Etude bio-écologique de l'écosystème de mangroves dans la zone de la baie d'Ambaro (Région DIANA) »

## Approche méthodologique

### **Elaborée par le groupe de consultants:**

- Herintsitohaina RAZAKAMANARIVO
- Tantely RAZAFIMBELO
- Hery Lisy RANARIJAONA
- Ziva RANDRIAMINAHY
- Tsinjo Ny Aina ANDRIAMANANTENA
- Andrianina ANDRIANIRINA
- Nandrianina RAMIFEHIARIVO

**Mandatée par WWF Madagascar, Mars 2024**

# TABLE DES MATIERES

<b>Liste des acronymes</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé exécutif</b> .....	<b>4</b>
<b>I. Contexte et objectifs</b> .....	<b>5</b>
<b>Objectifs spécifiques</b> .....	<b>5</b>
<b>II. Les sites, les matériels et méthodes utilisées pour la réalisation de l'étude</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. Les sites et zone d'intervention</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2. Les matériels utilisés</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Démarche utilisée pour les mesures sur terrain</b> .....	<b>8</b>
2.3.1. Choix et emplacement des transects .....	8
2.3.2. Dispositif de mesure et d'échantillonnage .....	9
2.3.3. Méthodes utilisées pour la cartographie des menaces .....	9
2.3.4. Méthodes utilisées pour les caractérisations floristiques .....	12
2.3.4.1. Paramètres relevés sur terrain.....	12
2.3.4.2. Traitement de données .....	13
2.3.5. Méthodes utilisées pour les caractérisations faunistiques .....	16
2.3.5.1. Paramètres relevés .....	16
2.3.5.2. Traitement des données .....	17
2.3.6. Méthodes utilisées pour les caractérisations pédologiques .....	18
2.3.6.1. Paramètres relevés .....	18
2.3.6.2. Prélèvement d'échantillons de sols .....	18
2.3.6.3. Détermination de la couleur et de la texture des échantillons.....	20
2.3.6.4. Détermination de la salinité.....	21
2.3.6.5. Analyse des sols au laboratoire.....	21
2.3.6.6. Traitement des données .....	22
2.3.7. Méthodes utilisées sur la détermination de l'évolution des mangroves .....	23
2.3.7.1. Paramètres relevés .....	23
2.3.7.2. Traitement des données .....	24
2.3.8. Traitements statistiques des données acquises dans le cadre du mandat .....	24
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe 1 : Fiches de relevé</b> .....	<b>26</b>
Annexe 1a : Fiche pour le relevé des pollutions et infestations.....	26
Annexe 1b : Fiche de relevé pour les bois morts, vestiges et coupes .....	27
Annexe 1c : Fiche de relevé pour la caractérisation faunistique.....	28
Annexe 1d : Fiche d'enquêtes .....	29

## Liste des acronymes

A : Argile

C : Carbone

CLB : Communauté locale de base

COS : Carbone Organique des Sols

DA : Densité Apparente

DIANA : Région Diego Ambanja Nosy Be Ambilobe

LF : Limon Fin

LG : Limon Grossier

MAEP : Ministère de l'Élevage et de l'Agriculture

MEDD : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

SF : Sable Fin

SG : Sable Grossier

STC : Stock Total de Carbone

## Résumé exécutif

La présente étude a été effectuée dans les forêts de mangrove gérées par les communautés locales de la baie d'Ambaro, district d'Ambilobe, région DIANA. Elle a été réalisée dans 04 sites qui sont Siranana, Antsatrana, Antenina et Antsohimbondrona. Les critères de choix des sites/villages ont été basés, selon les directives de l'équipe de WWF, les catégories des mangroves existantes, et de l'accessibilité. L'objectif principal est d'effectuer des études bioécologiques (flore, menaces, faune, sol) des mangroves dans les zones susmentionnées.

La principale démarche méthodologique englobe :

- L'inventaire de quatre types de mangroves: les forêts naturelles de mangrove ou mangroves denses, les mangroves restaurées activement, les mangroves restaurées passive et les mangroves dégradées. Trois répétitions (parcelles) subdivisée chacune en trois placettes de 10mx10m, par type de mangroves ont été inventoriées et ont fait l'objet de relevés phytosociologiques et faunistique (les mollusques gastéropodes et les crabes : inventaire, mesure céphalométrique, études de mue et du sexe pour ces dernières) ainsi que l'identification des menaces. L'analyse statistique répondant aux objectifs a été faite sur les données collectées.
- La biomasse et le stock de carbone dans la biomasse ont été calculées, en utilisant les équations allométriques locales utilisées (Ratefinjanahary et al., 2022).
- Une placette parmi les 3 placettes sus-citées a fait l'objet d'inventaires pédologiques.
- Pour l'évolution des mangroves, la méthode par télédétection a été faite en utilisant les images Sentinel2, et le logiciel de traitement d'image QGIS 3.28 avec l'application *Orfeo-tool-box* 8.8.1. L'analyse du sol a été effectuée sur les 11 parcelles dans les quatre catégories de mangroves.

# I. Contexte et objectifs

Les mangroves renferment une richesse biologique unique et jouent un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité mondiale. Les mangroves malgaches abritent une grande diversité d'espèces végétales et animales dont certaines endémiques.

Les mangroves de Madagascar représentent 2% de la superficie des mangroves au niveau mondial (Jones et al., 2016), dont la grande majorité est située le long des côtes Ouest de l'île, avec une forte couverture dans le paysage du Delta Manambolo-Tsiribihina de Morondava, dans la baie de Mahajamba, dans les baies de la partie Nord-Ouest (Ambaro, Ambanja, Tsimipaika, Ampasindava, Russe) et dans la baie des Assassins à Andavadoaka (Sud-Ouest).

Les mangroves tiennent également des rôles importants pour les communautés locales avoisinantes, notamment par la production de bois et de produits forestiers non ligneux (miel, soie sauvage, pharmacopée, etc.), par la fourniture d'un habitat et de nurserie pour diverses ressources marines comme les crevettes et les crabes, par la protection contre les érosions et les aléas climatiques, et par la régulation de différents cycles biogéochimiques et climatiques.

Compte tenu de l'importance des mangroves et du constat de leur dégradation accélérée depuis ces dernières années, des actions de conservation des mangroves ainsi que des activités de restaurations sont menés par les communautés locales et les communautés gestionnaires.

Le WWF appuie les communautés des différents villages de la baie d'Ambaro (dans le cadre de la mise en œuvre des transferts de gestion), et œuvre depuis des années dans la gestion communautaire et la restauration des mangroves dégradées. Dans ce sens, le WWF entend mener une étude bioécologique et pédologique de l'écosystème de mangrove dans cette zone, afin d'avoir à disposition des données et des informations à jour sur les mangroves existantes, et aussi les sites de restauration en vue de leurs suivis à long termes et aussi les améliorations des impacts

## Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de la présente étude bioécologique et pédologique menée dans la zone d'Ambaro sont les suivants :

- OS1 : Inventorier et cartographier les menaces pour les mangroves de la zone d'étude ;
- OS2 : Etablir l'état des lieux des sites de restauration et des sites identifiés pour la restauration (tannes) à travers des indicateurs spécifiques (données floristiques, faunistiques et pédologiques) ;
- OS3 : Savoir l'évolution de l'état de l'écosystème des mangroves dans les sites sous restauration.

## II. Les sites, les matériels et méthodes utilisées pour la réalisation de l'étude

### 2.1. Les sites et zone d'intervention

Les travaux ont été effectués dans les forêts de mangrove gérées par les communautés locales de la baie d'Ambaro, district d'Ambilobe, région DIANA, constituant le 21<sup>e</sup> site Ramsar de Madagascar. Elles couvrent environ 54 000 hectares des côtes nord-ouest de Madagascar, entre l'île de Nosy Faly au sud et Port Saint-Louis au nord.

Précisément, l'étude (ou les collectes de données) a été effectuée dans 04 sites (sur les 20 sites d'intervention de WWF dans la baie d'Ambaro), dont Siranana, Antsatrana, Antenina et Antsohimbondrona. Les critères de choix des sites/villages ont été basés, selon les directives de l'équipe de WWF, suivant leur emplacement (Nord/sud/centre du paysage), les catégories des mangroves existantes, de l'accessibilité, ainsi que de l'existence de type de projet de WWF dans le site.

Quatre types de mangroves ont été inventoriés :

- forêts naturelles de mangrove ou mangroves denses,
- mangroves en restauration active,
- mangroves en restauration passive,
- mangroves dégradées.

Autant que possible, 3 répétitions (parcelles) par type de mangroves ont été inventoriées, et au niveau de chaque parcelle, trois placettes de 10 x 10 m ont été utilisées pour les inventaires floristique et faunistique, et une placette parmi les 3 placettes sus-citées utilisée pour les inventaires pédologiques.

### 2.2. Les matériels utilisés

Différents matériels et équipements ont été utilisés lors des différents travaux inclus dans ce mandat.

Pour les inventaires floristiques et les études phytosociologiques, les matériels utilisés (Photo 1) sont listés ci-dessous :

- Un GPS (Global Positioning System) pour la navigation vers les points échantillonnés ;
- Une fiche d'inventaire et de relevés floristique afin d'inventorier les espèces de palétuviers présentes, relever les différents paramètres floristiques considérés ;
- Une carte de repérage ;
- Un ruban métrique pour la mesure du diamètre en mangrove ;
- Des jalons (tuyaux en plastique) pour l'établissement de la placette ;
- Une corde de 50 m pour l'installation des placettes ;
- Un appareil photo pour les illustrations.

Pour l'inventaire faunistique (crabes), les matériels spécifiques suivants ont été utilisés :

- Fiches d'inventaires faunistiques pour l'enregistrement de l'ensemble des données à récolter ;
- Mètre ruban et pied à coulisse pour la mensuration des crabes ;
- Crochet pour tirer les crabes de leurs terriers.

Pour les caractérisations pédologiques, les matériels spécifiques utilisés sur le terrain sont les suivants :

- Fiches d'inventaires pédologiques pour noter les paramètres pédologiques ;
- Tarière de 2 m de long pour la collecte des échantillons de sols ;
- Mètre ruban pour la mesure des profondeurs de sols à échantillonner ;
- Gaines pour conserver les échantillons ;
- Cuvette pour mélanger les échantillons de sols ;
- Code Munsell pour déterminer la couleur des sols ;
- Réfractomètre pour mesurer la salinité.

Concernant l'étude de l'évolution des mangroves par télédétection, les matériels spécifiques utilisés sont les suivants :

- Image sentinel2 : des images sentinel2 avec un niveau de correction L3A (Correction géométrique, correction radiométrique et moyenne mensuelle), à différentes dates ;
- Logiciel de traitement d'image QGIS 3.28 avec l'application Orfeo-tool-box 8.8.1. : ces logiciels gratuits ont été utilisés pour les traitements des images satellites.



Photo 1. Quelques matériels utilisés par les équipes de terrains

## 2.3. Démarche utilisée pour les mesures sur terrain

### 2.3.1. Choix et emplacement des transects

Préalablement à la mission de terrain, des échanges continuels entre le groupe de consultants et les équipes (centrale et antenne Ambilobe) ont eu lieu afin d'organiser au mieux les missions de terrain mais aussi de pré-identifier conjointement les sites à considérer sur le terrain.

Des travaux préalables avec les équipes centrales, des diverses réunions de discussions méthodologiques et aussi d'une mission de coordination dans une autre zone de WWF et ses partenaires, les décisions suivantes ont été convenues pour le choix des catégories de mangroves à étudier ainsi que les nombres de parcelles à étudier :

- les catégories de mangroves à considérer sont les suivantes :
  - o les mangroves existantes (denses ou intactes),
  - o les mangroves sous restauration active,
  - o les mangroves sous restauration passive, et,
  - o les mangroves dégradées.
- le nombre et la répartition des parcelles au sein de ces catégories de mangroves, représentant un total de 24 parcelles sont les suivants : 6 parcelles dans les mangroves denses, 6 parcelles dans les mangroves sous restauration passive, 6 parcelles dans les mangroves sous restauration active, et 6 parcelles dans les mangroves dégradées.

Quand à l'âge de restauration pour les mangroves sous restauration active, il est à noter que malgré les réponses obtenues auprès des communautés locales concernant les années de restauration des mangroves dans les sites cibles, les dates fournies par les différents responsables varient beaucoup (eg: de 2018 – 2020 – 2023 pour la restauration active à Siranana, de 2011- 2019 à Antsohimbondrona) ; ceci serait en relation avec les actions continues de regarnissage auprès de ces sites de restauration.

**Tableau 1. Nombre de placettes étudiées par catégorie de mangroves et par site.**

Catégories	Sites	
	Zone du projet BEF	Zone du projet BONGO
Forêt de mangroves naturelles ou Mangroves dense	3 parcelles	3 parcelles
Mangroves restaurées Activement:	3 parcelles dont : - 1 Parcelle de Restauration active 2018-2020-2023 (AMB_Rest_Act 18/20/23_A) - 1 Parcelle de Restauration active de 2016 (AMB_Rest_Act_16_B) - 1 Parcelle de Restauration active de 2012-2016-2019 (AMB_Rest_Act 12/16/19_C)	3 parcelles dont : - 1 Parcelle de Restauration active de 2017-2018-2019 (AMB_Rest_Act_17/18/19_D) - 1 Parcelle de Restauration active de 2018 (AMB_Rest_Act_18_E) - 1 Parcelle de Restauration active de 2011-2019 (AMB_Rest_Act 11/19_F)
Mangroves	3 parcelles	3 parcelles
Mangroves dégradées	3 parcelles	3 parcelles

### 2.3.2. Dispositif de mesure et d'échantillonnage

Les mesures ont été réalisées dans chaque catégorie de mangrove comprenant chacune trois placettes (Figure 3). Chaque placette comprend une superficie de 10m\* 10 m subdivisées en 4 diagonales de 5 m x 5 m (D1, D2, D3 et D4). Cette subdivision a été faite pour une mesure efficace et régulière de la placette. Pour l'étude pédologique les mesures ont été effectuées au centre de la placette : mesure de la salinité, prélèvement d'échantillons de sols pour la détermination de la densité apparente (DA) de la définition de la texture ainsi que la mesure du carbone des sols.

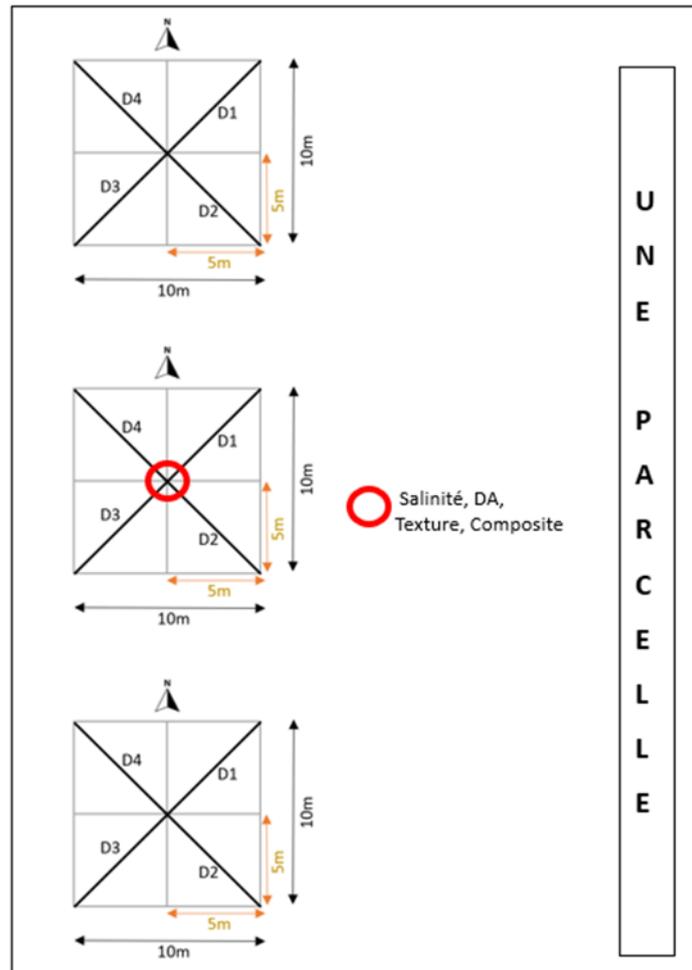


Figure 1. Dispositif d'étude floristique

### 2.3.3. Méthodes utilisées pour la cartographie des menaces

Les différentes pressions qui s'exercent sur les mangroves, entraînant leur fragilisation, ont été tout d'abord, identifiées le long des trajets effectués, lors des déplacements d'accès aux sites et à partir des observations sur terrain au niveau de chaque placette d'inventaire. Les impacts significatifs de ces pressions ont été aussi relevés. Cinq principales pressions, selon l'IPBES (2019,) ont été considérées. Il s'agit :

- du changement d'usage des mers (drainage ou création des canaux artificiels, conversion des mangroves en terrain agricole ou crevetticulture ...) et la destruction des habitats par les

activités humaines : conversion en habitats ou village, la fréquentation touristique et toutes leurs conséquences, qui sont les principales causes de la destruction des habitats marins et côtiers ;

- la surexploitation des ressources naturelles comme la coupe illicite des palétuviers : plus les stocks des ressources naturelles s'appauvrissent, moins les ressources renouvelables se régénèrent. Certaines espèces ont disparu ou sont en danger d'extinction ;
- du changement climatique global qui contribue à modifier les conditions de vie des espèces voire même leur extinction, les forçant à migrer ou à adapter leur mode de vie, l'élévation du niveau de la mer pouvant générer la migration des individus, acidification des océans perturbant les récifs coralliens impactant l'ensemble de la chaîne alimentaire marine, une hausse des températures, une aggravation des phénomènes naturels (inondation, sécheresse...);
- des pollutions : par les produits plastiques ou produits chimiques ; et ;
- de l'invasion des espèces exotiques envahissantes.

Une fois les pressions connues, les menaces au niveau des sites cibles ont été avancées. Les menaces considérées concernent :

- la dégradation de la mangrove, voire même la mort sur pieds des individus de palétuviers ou autres espèces faunistique à cause de l'assèchement de l'habitat ou l'inondation dus au changement climatique ;
- la diminution des espèces faunistiques (densité et diversité) suite à la diminution de la superficie des mangroves, à la destruction des habitats, à la surexploitation ou à l'agriculture ;
- la pollution des mangroves, ayant une répercussion sur la vie des êtres vivants, animaux et végétaux, pouvant entraîner la mortalité des individus sur place ;
- la mortalité des individus sur pieds, suite à l'infestation ancienne des chenilles ou des mollusques gastéropodes invasives.

Outre ces facteurs, d'autres caractéristiques particulières remarquées ont été aussi prises en compte. Pour étoffer les informations obtenues via les observations directes, des discussions informelles avec les guides ont été également faites.

Ces informations directes sont les suivantes :

- **Pollutions et infestations**

Sont considérées, la présence de déchets comme les plastiques ou autres résidus, les débris de coquillage, et les infestations par les mollusques gastéropodes de mangroves au niveau du substrat dans les palétuviers. Les mollusques gastéropodes en fuyant leurs prédateurs (comme le crabe *Scylla serrata*) montent sur les troncs de palétuviers, deux heures avant la montée des marées (Vanini et al., 2008). Ils sont des indicateurs de résilience des mangroves, mais leur mortalité est un signe de dégradation du milieu. Leurs débris de coquillage se trouvent sur des troncs de palétuviers. Leur existence dans le substrat en abondance suppose qu'ils entrent en compétition alimentaire avec les crabes, et que des crabes *Scylla serrata* ne sont plus entraînés par l'eau de mer dans les sites cibles. Leurs degrés d'importance sont à noter pour chaque diagonale qui constitue une placette (Fiche en Annexe).

Le Tableau 2 suivant renseigne sur le système d'évaluation de l'importance des menaces. La présence de menace dans une placette est notée par « + ». L'observation des menaces dans les trois placettes correspond à la notation « +++ ».

Tableau 2. Notation de l'importance des menaces (M)

Etat de présence	Néant	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Signification	0 %	M < 25 %	25 ≤ M ≤ 50 %	50 ≤ M ≤ 75 %	M ≥ 75 %
Notation	-	+	++	+++	++++

Le pourcentage obtenu pour chaque menace est calculé à partir du rapport entre le nombre de placettes sujettes à la menace en question et le nombre total de placettes pour chaque catégorie, extrapolé à la superficie totale des mangroves.

- **Individus morts sur pieds, coupes et vestiges**

Pour chaque diagonal d'une placette, les individus morts sur pieds, généralement dû à des causes naturelles telle la sénescence, des plants n'ayant pas survécus après mise en terre pour le cas des sites de restauration passive, l'infestation ancienne par des chenilles. Les coupes et les vestiges ont été comptés et dans la mesure du possible, une mensuration est aussi effectuée pour chaque cas (Fiche en Annexe) (Photo 2).



**Photo 2. : Mensurations des individus morts sur pieds, coupes et vestiges**

*(Site Antenina à Bengo, forêt de mangrove dégradée Tafiambato)*

Pour le cas des inventaires dans les zones de restauration active, les plantules sont considérées comme mortes si elles sont munies des petites branches complètement asséchées.

Des enquêtes ont été également réalisées afin de connaître la perception de la population concernant l'écosystème des mangroves, et pour étoffer les informations obtenues sur les menaces y existant. Au total, 6 personnes, ont été enquêtées.

## 2.3.4. Méthodes utilisées pour les caractérisations floristiques

### 2.3.4.1. Paramètres relevés sur terrain

Dans le cadre de cette étude, un inventaire floristique a été effectué dans chaque catégorie de mangrove, dans le but de connaître l'état général du peuplement des zones d'études. Des relevés ont été effectués dans chaque catégorie de mangrove en adoptant la méthode de placette ou placeau selon Braun-Blanquet (1932). Cette technique permet d'étudier quantitativement la végétation de mangroves. Au sein d'une catégorie de mangroves donnée, notamment dans les mangroves dense et dégradée, 3 placettes choisies selon la représentativité des espèces ont fait l'objet d'inventaire. La superficie de chaque placette est de 10 m x 10 m. Afin d'avoir plus de précisions sur les mesures quantitatives effectuées, une superficie de placette est subdivisée en quatre diagonales (D1, D2, D3 et D4) (Figure 1). La même méthode a été appliquée pour les mangroves restaurées.

Les placettes d'inventaires (Photo 4) ont alors été pré-identifiées via la télédétection et les échanges au niveau central et ont été adaptées en fonction des réalités sur le terrain.

Les paramètres relevés sur chaque sous placette au cours de la collecte sont les suivants :

- Diamètre à hauteur de poitrine (DHP) (Photo 5) ;
- Hauteur totale (HT) ;
- Hauteur du fut (HF) pour les grands arbres ;
- Stade phénologique : état végétatif, en fleur, en fruit (disponibilité des propagules ou des graines)



Photo 3. Matérialisation de la placette d'inventaire (Site d'Antsatrana, restauration active dominée par *Ceriops tagal*).



Photo 4. Procédé de mesure du DBH (Forêts dense d'Antsatrana).

### 2.3.4.2. Traitement de données

#### 2.3.4.2.1. Structure floristique

L'analyse de la structure floristique joue un rôle important pour toutes études qualitatives et quantitatives visant à une meilleure connaissance du point de vue floristique d'un peuplement donné. Elle permet en conséquence d'avoir une idée sur l'histoire du peuplement, ensuite de prévoir son évolution dans le futur. Divers paramètres peuvent être utilisés pour pouvoir apprécier la structure floristique du peuplement.

- Compositions spécifique et floristique

La composition spécifique qualifie les différentes espèces qui caractérisent un groupement d'êtres vivants, ici les palétuviers et la richesse spécifique est le nombre d'espèces rencontrées dans un milieu (Schnell, 1970). (Schnell, 1970). La diversité spécifique prend ainsi en compte aussi bien le nombre d'espèces que la distribution des individus au sein de ces espèces. La composition floristique concerne le nombre d'individus appartenant à une espèce donnée, elle s'interprète à travers la diversité floristique. La diversité floristique peut être appréciée par divers paramètres, tels que le coefficient de mélange et l'indice de diversité de Shannon, (Shannon-weaver, 1949) ou l'indice d'équitabilité de Piélu (Piélu, 1966).

- Coefficient de mélange

Il s'obtient par la formule

$$CM = \frac{\text{Nombre d'espèces}}{\text{Nombre d'individus inventoriés}}$$

Il est présenté sous forme de fraction et plus le dénominateur est élevé, moins grande est la diversité, et le peuplement forestier tend alors à l'homogénéité. La valeur du coefficient de mélange est simplifié en rendant le numérateur à 1 (exemple :  $CM = 82/1626$  correspond à  $CM=1/19,82$  soit  $1/20$ ).

- Indice de diversité de Shannon

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Avec **i** : espèce ; **pi** : proportion de chaque espèce

Avec **i** : espèce ; **pi** : proportion d'individus de l'espèce **i** par rapport au nombre total d'individus présents)

Pour ce paramètre, plus la valeur de H tend vers 0, plus la diversité spécifique est moindre. Plus nous sommes en présence d'espèces différentes, plus sa valeur augmente de façon logarithmique. Il est ainsi fréquent de voir des valeurs H' comprises entre 1 et 5 pour tenir compte de la diversité spécifique.

- Indice d'équitabilité de Piélu

$$Equitabilité = \frac{H}{H_{max}} \quad \text{Et} \quad H_{max} = - \sum_{i=1}^S \frac{1}{S} \ln \frac{1}{S} = \ln S$$

Avec **Hmax**= indice de diversité de Shannon maximale ; **i** : espèce ; **S** : nombre d'espèces

L'indice d'équitabilité de Pielou (E) a permis de donner une précision sur la répartition des individus des différentes espèces dans les groupements végétaux. L'indice d'équitabilité de Pielou varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 lorsqu'une espèce domine largement et elle est égale à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Frontier *et al.*, 2008).

#### 2.3.4.2.2. Structure spatiale

La structure spatiale d'un peuplement forestier qui inclut les structures horizontales et verticales permet de ressortir sa potentialité socio-économique.

##### a) Structure horizontale

La structure horizontale est caractérisée par trois paramètres : l'abondance, la dominance et la contenance.

- **Abondance**

L'abondance exprime le nombre d'individus présents ramené à l'hectare, avec tous les individus et tous types biologiques confondus.

- **Dominance**

La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce donnée. La dominance d'un peuplement forestier est obtenue par la somme de la surface terrière qui est la surface de la section du tronc de l'arbre à 1,3 m de hauteur. Elle s'obtient par la formule :

$$G = \sum g_i = \sum \frac{\pi}{4} d_i^2$$

**G** : Surface terrière totale ; **d** : diamètre à 1,30 m

- **Contenance**

La contenance ou le volume d'un peuplement forestier s'obtient en faisant la somme des volumes de chaque individu.

$$V = \sum v_i = \sum (c_f * g_i * h_i) \text{ (en } m^3 \text{ /ha)}$$

**c<sub>f</sub>** : coefficient de forme (égal à 0,53 pour une forêt naturelle)

**h** : hauteur totale d'un individu si le volume des fûts est à calculer, la hauteur du fût remplacera la hauteur totale dans la formule.

##### b) Structure verticale

La structure verticale qui renseigne la stratification de la mangrove est caractérisée par la distribution des hauteurs qui est obtenue à partir de la méthode de Gauthier (1994). Le protocole de relevé consiste à tirer une corde de 50m le long de la ligne parallèle à la plus grande pente. Tous les 1 m, la hauteur du contact entre la partie vivante de la plante et le point de lecture le long de la ligne a été

mesurée à l'aide d'une gaule de 7m ; au-delà de 7m, les points de contact ont été estimés visuellement.

Cette méthode est basée sur l'établissement d'un diagramme de recouvrement qui correspond au mode de stratification des espèces dans la formation végétale. Elle est présentée sous forme d'histogramme vertical, en arrangeant les tiges par classe de hauteur. Tous contacts des éléments végétaux, dont les tiges, les branches et les feuilles, avec la gaule graduée sont enregistrés ; et chaque contact enregistré équivaut à la coche d'une case correspondante suivant la longueur du relevé.

Les données recueillies ont été ensuite transférées sur un tableur EXCEL pour visualiser le profil structural de la végétation. Le recouvrement est tiré de ce profil structural (sous forme histogramme) qui correspond au pourcentage de nombre de contacts par rapport au nombre total des points de contact. Autrement dit, la projection verticale permet d'obtenir le taux de recouvrement représenté par le pourcentage de sol recouvert par les parties aériennes des palétuviers. Le taux de recouvrement est présenté à chaque intervalle de 2 m de hauteur. L'échelle de recouvrement (R) est classifiée comme suit selon Godron et al. (1983) :

- 10 % < R < 25 % : strate très ouverte
- 25 % < R < 50 % : strate ouverte
- 50 % < R < 75 % : strate semi-ouverte
- 75 % < R < 90 % : strate peu ouverte
- 90 % < 90 % : strate fermée

A partir de la hauteur, la strate d'appartenance résultant du niveau de concentration de la masse foliaire (Gounot, 1969) est subdivisée en 3 à savoir la strate inférieure pour les individus moins d'un mètre de haut, strate moyenne pour ceux de 1 m à 6 m et strate supérieure pour les individus de plus de 6 m de hauteur.

#### c) Structure totale

La structure totale intègre les structures floristique et spatiale. Elle est une représentation de la distribution du nombre de tiges par classe de diamètre. Elle renseigne sur la nature et la dynamique de la forêt à partir de l'allure de la courbe obtenue.

#### 2.3.4.2.4. Régénération naturelle

« La régénération naturelle recouvre un double concept : d'une part, au sens statique et d'autre part, au sens dynamique : l'ensemble des processus par lesquels la forêt dense se reproduit naturellement » (ROLLET, 1969). Selon l'échelle de ROTHE (1964), le taux de régénération a permis de juger la capacité de régénération d'une espèce.

Le taux de régénération est calculé à partir de la formule de Rothe (1964).

$$Tr = \frac{n_r}{n_s} * 100$$

**Tr** : Taux de régénération en %

$n_r$  : Nombre d'individus régénérés (appartenant aux compartiments C)

$n_s$  : Nombre d'individus semenciers (appartenant au compartiment A et B)

Selon les valeurs de taux de régénération obtenues, l'appréciation la capacité de la forêt à se régénérer peut se classer comme suit :

- Tr est inférieur à 100 % : la forêt a une difficulté de régénération ;
- Tr est compris entre 100 % et 1000 % : la forêt a une bonne capacité de régénération ;
- Tr est supérieur ou égale à 1000 % : la forêt a un très bon potentiel de régénération.

Le potentiel de régénération qui renseignera sur la dynamique de l'écosystème forestier pourra ainsi être estimé.

#### 2.3.4.2.5. Calcul du stock de biomasse et du carbone de la biomasse

La méthode non destructive ou indirecte est adoptée pour l'estimation de la biomasse, en utilisant les mesures réalisées sur chaque individu. Cette méthode tient compte de la présence-absence de chaque espèce, son abondance et la mesure du diamètre à hauteur de poitrine.

A partir des mesures facilement disponibles sur le terrain, un modèle allométrique (Tableau 4) permet d'obtenir des quantités qui sont directement difficile d'accès. Les individus de plus de 1 cm de diamètre à hauteur de poitrine ont été considérés. Le tableau suivant montre les équations allométriques locales à Madagascar utilisées dans le calcul de la biomasse aérienne et racinaire pour chaque espèce présente dans les mangroves.

**Tableau 3. Equations allométriques locales utilisées (Ratefinjanahary et al., 2022) lors du calcul de la biomasse**

Espèces	Biomasse aérienne (kg)	Biomasse racinaire (kg)
<i>Avicennia marina</i>	$0,129 * dbh^{2,298}$	$0,069 * d^{1,889}$
<i>Brugueria gymnorhiza</i>	$0,343 * d^{1,998}$	$0,159 * d^{1,870}$
<i>Ceriops tagal</i>	$0,826 * d^{1,675}$	$0,333 * d^{1,656}$
<i>Rhizophora mucronata</i>	$0,297 * d^{2,139}$	$0,064 * d^{2,194}$
<i>Sonneratia alba</i>	$0,124 * d^{2,291}$	$0,269 * d^{1,432}$
<i>Xylocarpus granatum</i>	$0,139 * d^{2,361}$	$0,078 * d^{1,892}$

La teneur en carbone moyenne est généralement de 50 % du volume total de l'espèce (Birdsey, 1992). Le ratio carbone/matière sèche qui est de 0,5 est, en outre, considéré pour en déduire le taux de carbone stocké dans la biomasse épigée (GIEC, 2006). La formule suivante est ainsi utilisée (Kaïre et al., 2013) :

$$\text{Carbone} = 0,5 * \text{biomasse}$$

### 2.3.5. Méthodes utilisées pour les caractérisations faunistiques

#### 2.3.5.1. Paramètres relevés

La caractérisation faunistique s'est focalisée sur les crabes, espèces caractéristiques des écosystèmes de mangroves. Les paramètres considérés lors des relevés sont les espèces identifiées, la longueur

céphalothoracique, le nombre de terrier, le nombre d'individus, le sexe et l'état des carapaces des individus particulièrement pour l'espèce comestibles *Scylla serrata*. Pour l'identification du sexe, cinq individus ont été capturés pour chaque espèce identifiée, dans la mesure du possible.

Afin de déterminer la longueur céphalothoracique des individus de l'espèce *Scylla serrata*, les matériaux utilisés sont : le pied à coulisse et le mètre-ruban (Photo 6). Néanmoins, ce paramètre a été relevé pour les échantillons d'autres espèces capturées.



**Photo 5. Matériaux utilisés pour la caractérisation faunistique (Site de mangrove dense de BEF-Antsatrana-Andimoka Nord)**

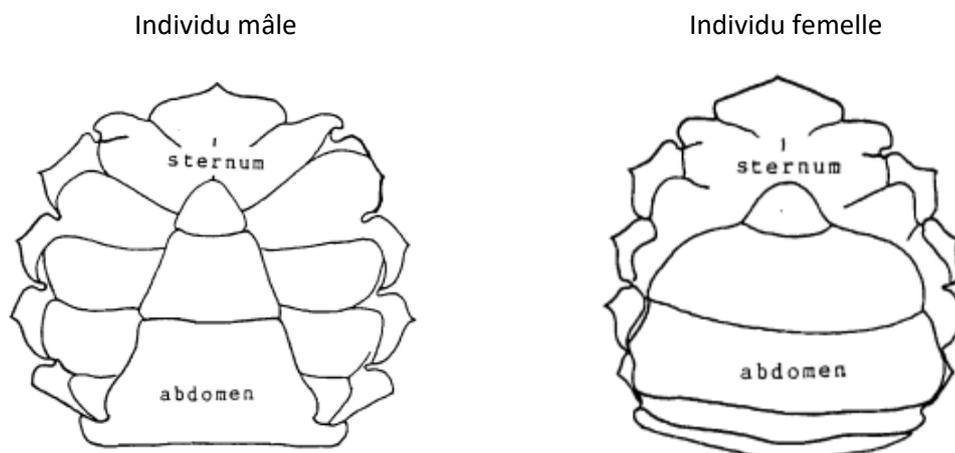
#### 2.3.5.2. Traitement des données

##### 2.3.5.2.1. Dénombrement des terriers et des individus

Le comptage des terriers et des individus a été effectué au niveau des diagonaux constituant la placette. Il a été réalisé avant l'inventaire floristique pour éviter les piétinements des trous dans les placettes et aussi la fuite des individus.

##### 2.3.5.2.2. Sexe et état de la carapace

Le sexe des échantillons capturés pour chaque espèce a été identifié. Chez les crabes de mangroves, le dimorphisme sexuel est facilement discernable au niveau de l'abdomen. Pour les mâles, l'abdomen est étroit (Figure 4), de forme triangulaire alors qu'il est plus large et arrondi chez le sexe opposé (Delathière, 1990).



**Figure 2. Identification des sexes des crabes**

Comme ce sont des arthropodes, les crabes muent périodiquement pour assurer leur croissance. Le choix d'un critère de détermination des différents stades d'inter-mue a été inspiré de chez Drach et Tchernigovtzeff en 1967, puis simplifié pour faciliter les observations sur terrain. Les états de la carapace pour les crabes comestibles à identifier sont les suivants :

- Pré molle : c'est juste avant la mue. Il y a rétraction de l'épiderme et des matrices de soies. Ensuite, les fentes exuviables s'ouvrent.
- Molle : c'est immédiatement après la mue. Le tégument est tout à fait mou
- Post molle : c'est l'inter mue. Il est caractérisé par le durcissement des téguments.

## 2.3.6. Méthodes utilisées pour les caractérisations pédologiques

### 2.3.6.1. Paramètres relevés

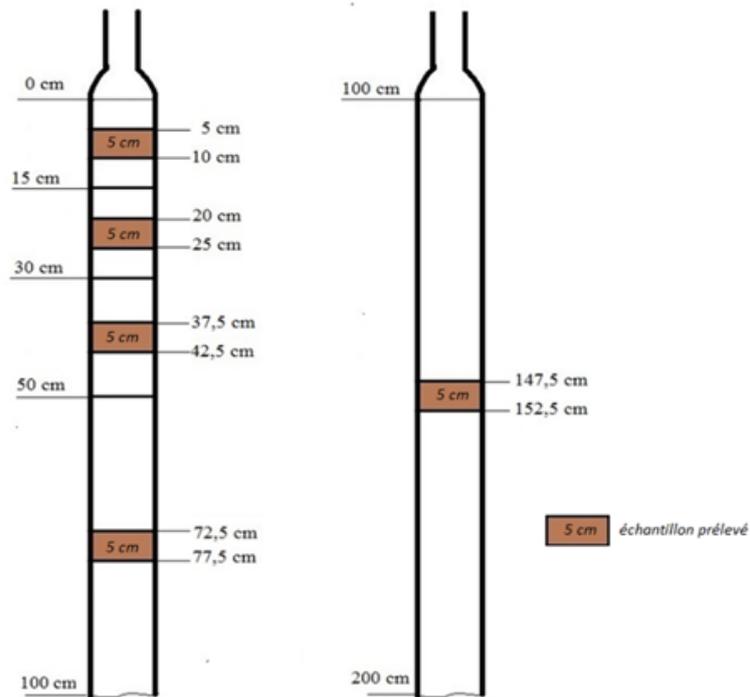
La caractérisation pédologique concerne la collecte des données in situ dont : la salinité, la texture des sols à la main ainsi que la couleur suivant le code Munsell. Aussi, des échantillons de sols sont collectés pour faire les analyses au laboratoire pour déterminer la densité apparente (DA en  $\text{g.cm}^{-3}$ ) des sols, la teneur en carbone organique (COS en  $\text{gC.kg}^{-1}$ ) des sols pour chaque profondeur afin de calculer le stock de carbone (STC en  $\text{MgC.ha}^{-1}$ ). Des propriétés physiques sont également à analyser comme le pH et la texture de chaque échantillon de sol. Ce dernier a servi pour la détermination des types de sols suivant la classification USDA.

### 2.3.6.2. Prélèvement d'échantillons de sols

Le prélèvement d'échantillons de sols a suivi le protocole du Centre internationale de la recherche sur la foresterie (CIFOR) présenté par Kauffman et Donato (2012) pour l'étude des stocks de C des mangroves sous forêts.

Deux types de prélèvement d'échantillons de sols par tarière a été effectué au niveau de la placette centrale sur cinq couches successives : 0 -15cm ; 15 -30cm ; 30 -50cm ; 50 -100cm et 100 -200cm (cf. Figure 5).

Le premier prélèvement a été effectué au centre de la placette, il consiste à collecter des échantillons de sols pour servir au calcul de la densité apparente (DA avec une unité de  $\text{g.cm}^{-3}$ ) appelés également « échantillons DA » pour le calcul des stocks de carbone des sols (STC en  $\text{MgC.ha}^{-1}$ ). Pour chaque profondeur, un échantillon de 5 cm d'épaisseur a été prélevé au milieu de chaque couche d'étude dont 5 -10cm ; 20 -25cm ; 37,5 -42,5cm ; 72,5 -77,5cm ; 147,5 -152,5cm. Les quatre premiers échantillons sont prélevés sur un carottage à 1 m de profondeur et le cinquième échantillon (147,5 -152,5cm) sur un carottage à 2 m de profondeur. Chaque échantillon prélevé a été conservé dans une gaine en plastique et fermé hermétiquement.



**Figure 3. Répartition des échantillons de sol collectés suivant la profondeur.**

Le deuxième type de prélèvement a été effectué sur trois points formant un triangle équilatéral situé à 3 m du centre de la placette. Sur chaque point, un échantillon de 5 cm d'épaisseur sur les mêmes couches de prélèvement que précédemment sont prélevés. Ensuite, les échantillons prélevés avec la même couche provenant des trois points sont mélangés dans une cuvette et mis dans une gaine hermétique pour former un échantillon composite de la placette. Ces échantillons, appelés également « *échantillons composites* » sont utilisés pour les analyses spectrales et chimiques de la teneur en carbone au laboratoire ainsi que les analyses de textures, la détermination du pH et les types de sols suivant les triangles de textures d'USDA.

Sur chaque parcelle, 5 échantillons pour le calcul de la DA et 5 autres échantillons sont prélevés pour calculer le stock de carbone à 2 m de profondeur.



**Photo 6. Sondage de sol par intermédiaire de tarière.**



**Photo 7. Echantillons composite de chaque profondeur profonde.**



**Photo 8. Mixage des composites de sols**



**Photo 9. Mise en sachet plastique des échantillons**

### *2.3.6.3. Détermination de la couleur et de la texture des échantillons*

Avant de conserver les échantillons dans la gaine hermétique, la couleur de chaque échantillon est déterminée à l'aide du Code Munsell, et enregistrée sur la fiche d'inventaire.

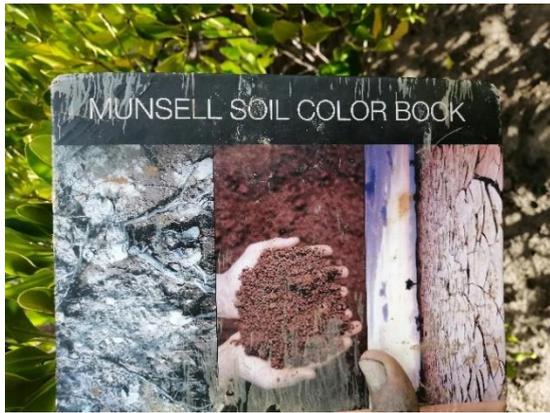


Photo 10. Code Munsell pour la couleur du sol



Photo 11. Codification de la couleur du sol

Par ailleurs, la texture à la main pour chaque échantillon composite est également déterminée et enregistrée.

#### 2.3.6.4. Détermination de la salinité

La salinité de la placette d'inventaire est déterminée à l'aide d'un réfractomètre (Photo 12 et Photo 13). L'échantillon d'eau pour l'analyse de la salinité est prélevé sur le centre de la placette où l'on a prélevé les échantillons pour la DA.



Photo 12. Capture de la salinité par le réfractomètre

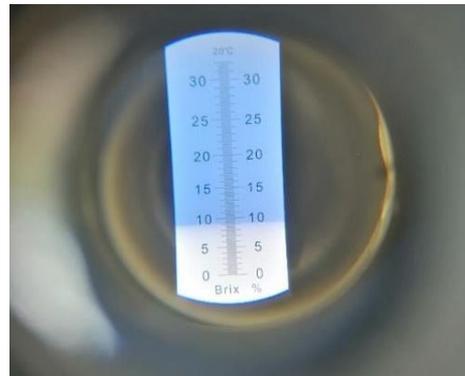


Photo 13. Affichage de valeurs captées

#### 2.3.6.5. Analyse des sols au laboratoire

##### 2.3.6.5.1. Préparation des échantillons de sols

Une fois que les échantillons de sols sont acheminés au laboratoire, les échantillons DA sont pesés et séchés dans une étuve à 60°C. Ils sont par la suite, pesés quotidiennement jusqu'à l'obtention d'un poids stable.

Les échantillons secs sont tamisés à 2 mm pour déterminer le pourcentage des refus (débris végétaux ou cailloux) qui compose l'échantillon et sera utilisé pour le calcul des stocks de carbone des sols.

Pour les échantillons composites, ils sont également séchés dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis broyés à 0,2mm de diamètre pour faire les analyses spectrales et chimiques.

#### 2.3.6.5.2. Analyse spectrale

Les analyses spectrales sont réalisées pour obtenir des résultats des analyses rapidement une fois combinés aux analyses chimiques, et réduit également le coût des analyses. Les analyses spectrales sont effectuées à l'aide d'un spectromètre dans le visible et proche infrarouge (Vis-NIR) sur les échantillons broyés à 0,2mm. Les spectres de chaque échantillon sont collectés et traités à l'aide d'un logiciel « Unscrambler 10.2 » pour choisir :

- 30% des échantillons représentatifs (n = 40) qui seront analysés par la méthode chimique pour la détermination de la teneur en carbone organique et serviront de référence pour la prédiction des teneurs en carbone de l'ensemble des échantillons.
- 5 échantillons représentatifs pour les analyses de la texture.

#### 2.3.6.5.3. Analyses physico-chimiques

Une fois les échantillons sélectionnés, on effectue les analyses suivantes :

- Teneur en carbone organique des sols

L'analyse de la teneur en carbone organique (COS avec unité  $\text{gC.kg}^{-1}$ ) a été effectuée sur 40 échantillons représentatifs à l'aide de la combustion par voie humide (Méthode Walkley & Black). L'analyse par la méthode Walkley et Black (1934) a été effectuée au Laboratoire des Radiosotopes de l'Université d'Antananarivo, Madagascar. La méthode consiste à oxyder le carbone organique du sol par le bichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) et de l'acide sulfurique concentré  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . La quantité de C est calculé à partir de la titration avec le sel de Mohr  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  de l'excès de bichromate de potassium restant sachant qu'1 ml de dichromate de potassium oxyde 3 mg de C organique.

- Texture

L'analyse de la texture a été effectuée sur 5 échantillons représentatifs par la méthode gravimétrique (Pipette Robinson (Barthès et al., 2008)). Après les analyses, on obtient le pourcentage d'argile (A), de limon fin (LF), de limon grossier (LG), de sable fin (SF) et de sable grossier (SG).

- pH

L'analyse du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre au laboratoire sur les échantillons composites broyés à 0,2 mm.

#### *3.3.6.6. Traitement des données*

##### 2.3.6.6.2. Calcul de la densité apparente du sol

La DA a été calculée par le ratio entre le poids sec ( $P_s$ ) de l'échantillon et le volume de l'échantillon prélevés ( $V$ ) avec une valeur fixe de  $91,5 \text{ cm}^3$  suivant la dimension de la tarière avec l'équation suivante :

$$DA = P_s/V$$

Avec **DA** densité apparente en  $\text{g.cm}^{-3}$ , **Ps** poids secs de l'échantillon en g, et **V**, volume de l'échantillon à 5 cm d'épaisseur fixés à  $91,5 \text{ cm}^3$ .

#### 2.3.6.6.2. Prédiction de la teneur en carbone et de la texture

La teneur en carbone organique (COS) des autres échantillons non analysés ( $n = 60$ ) par la méthode chimique ont été prédites à l'aide d'un modèle spectrale basé sur les spectres des échantillons et les teneurs en COS ( $n = 40$ ) des échantillons représentatifs (Ramifehiarivo et al., 2023).

La texture des autres échantillons a été prédite par la méthode spectrométrique en utilisant 5 autres modèles spectrales (1 pour l'argile (A), 1 pour limon fin (LF), 1 pour limon grossier (LG), 1 pour sable fin (SF), 1 pour sable grossier (SG)) à l'aide des données de texture ( $n = 10$ ) et des données spectrales.

#### 2.3.6.6.3. Détermination des types de sols suivant la texture

Les valeurs moyennes de chaque élément minéraux (A, LF, LG, SF, SG) obtenues par la méthode antérieurement décrite sont insérées dans un triangle de texture suivant la classification USDA (United States Department of Agriculture) pour faire ressortir le type de sols suivant la texture.

#### 2.3.6.6.4. Calcul des stocks de carbone des sols sur 2m de profondeur

Le stock de C des sols sur chaque couche d'étude a été calculé par le produit entre la DA, le pourcentage de refus, la teneur en COS ainsi que l'épaisseur.

Le stock de C total des sols sur 2 m de profondeur pour chaque placette est calculé à partir de la somme des stocks de C sur chaque couche (0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm et 100-200 cm) suivant cette équation :

$$STC_s = \sum_{i=1}^k [COS_i \times DAI \times Ei \times (1 - Ri)]$$

Avec **STC<sub>s</sub>**, le stock total de carbone organique des sols par unité de surface ( $\text{MgC.ha}^{-1}$ ), **COS<sub>i</sub>** la teneur en carbone organique des sols sur la couche *i* ( $\text{gC.kg}^{-1}$ ), **DAI<sub>i</sub>** la densité apparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) de la couche *i*, **E<sub>i</sub>** l'épaisseur de la couche d'étude *i* (m), et **R<sub>i</sub>** le pourcentage de refus > 2 mm de diamètre dans la couche *i* et *i*, la composante de la profondeur de 0- 2 m soit : 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm et 100-200 cm.

## 2.3.7. Méthodes utilisées sur la détermination de l'évolution des mangroves

### 2.3.7.1. Paramètres relevés

Les paramètres relevés regroupent principalement la surface des forêts de mangroves existantes (dense ou claire) dans la zone d'Ambaro (emprise en Système de coordonnées de référence WGS84 :  $x1 : 48.62 ; y1 : -13.52 ; x2 : 49.05 ; y2 : -12.86$ ) de novembre 2017, Novembre 2021 et de Décembre 2023. A travers la comparaison de la surface de ces catégories entre deux dates le pourcentage d'évolution a été également déterminé, à l'aide de la matrice de conversion.

### 2.3.7.2. Traitement des données

La comparaison d'images par télédétection à trois dates a été utilisée pour la détermination de l'évolution des principales catégories de mangroves étudiées. Les images sentinel2 de niveau de traitement 3A (correction radiométrique, correction géométrique et moyenne mensuel) de Novembre 2017, Novembre 2021 et novembre 2023 ont été utilisées pour la comparaison. La scène T39LTF a été utilisée pour celui d'Ambaro.

Une classification supervisée des catégories de mangroves denses, claires (correspondant au site de restauration ou à la mangrove dégradée) a été effectuée dans les deux sites à partir des bandes des images Sentinel2 avec le NDVI (Normal Differenced Vegetation index) ainsi que le NDWI (Normal Differenced Water index) calculés à partir de ces bandes. Le seuil utilisé pour la différenciation entre les mangroves denses est la valeur de  $NDVI > 0,7$  et les mangroves claires  $NDVI < 0,7$  (Ranaivoson, 2021).

Pour chaque date, la superficie de chaque catégorie a été déterminée pour voir détecter l'évolution de ces catégories.

Les travaux de télédétection ont été effectués sur QGIS version 3.28 avec l'application Orfeo-tool-box version 8.

### 2.3.8. Traitements statistiques des données acquises dans le cadre du mandat

Pour les données phytosociologiques, les statistiques descriptives montrant la moyenne et l'écart-type de ces derniers (stock de carbone, densité) ont été effectuées. Aussi, des comparaisons par rapport à la moyenne entre les sites ont été effectuées.

Pour les données faunistiques, les statistiques descriptives montrant la moyenne et l'écart-type des indicateurs tels la densité, la diversité ont été calculés. La densité des terriers et des crabes est ramenée en are pour chaque espèce. La diversité des crabes a été présentée en pourcentage du sexe des individus de même espèce. L'état de carapace est présenté également en pourcentage.

Pour les données pédologiques, les statistiques descriptives des paramètres pédologiques (DA, refus, Texture, Salinité, teneur en C, stock C) montrant les moyennes et les écart-types ont été calculées

La comparaison des moyennes (test de Student en cas de données normales, et test de Wilcoxon en cas de données non-normales) de chaque site a été effectuée pour une même catégorie de données, alors que l'analyse de la variance (ANOVA ou test de Kruskal-wallis suivant la normalité des données) a été effectuée dans le cas de comparaison des différentes catégories de mangroves au sein d'une même site.

La comparaison des moyennes ainsi que les statistiques descriptives ont été effectuées sur le logiciel R.4.3.2.

Pour les données cartographiques, une carte d'évolution a été dressée en faisant une analyse de détection de changement.

## Références bibliographiques

- Barthès, B.G., Kouakoua, E., Larré-Larrouy, M.-C., Razafimbelo, T.M., Luca, E.F. de, Azontonde, A., Neves, C.S.V.J., Freitas, P.L. de, Feller, C.L., 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma* 1–2, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.003>.
- Chave, J., Andalo S., Brown, M. A., Cairns, J. Q., Chambers, D., Eamus, H., Folster, F., Fromard, N., Higuchi, T., Kira, J.P., Lescure, B. W., Nelson, H., Ogawa, H., Riera, B., Yamakura, T. : 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99p.
- Delathière, S., 1990. *Biologie et exploitation du crabe de palétuviers Scylla serrata en Nouvelle Calédonie*, Université de Bretagne Occidentale, 194 p.
- Drach, p. et Tchernigovtzeff, C. , 1967. Sur la méthode de détermination des stades d'intermue et son application générale aux Crustacés - *Vie et Milieu (Série A: Biologie Marine)*, Tome XVIII, Fasc. 3. A, 595- 610.
- Jones TG, Ratsimba HR, Ravaoarinorotsihoarana L, Cripps G, Bey A. 2024. Ecological Variability and Carbon Stock Estimates of Mangrove Ecosystems in Northwestern Madagascar. *Forests*. 5 :177-205. <https://doi.org/10.3390/f5010177>
- Komiyama, A., Pongpan, S., et Kato, S., 2005 . Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology* 21 : 471–477P
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable et Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, 2019. Etat des lieux des Mangroves de Madagascar ; Antananarivo, Madagascar. 208 pp.
- Mengjie Xu, Chuanwang S., Yanhong Z., Y. Liu. 2024. Impact and prediction of pollutant on mangrove and carbon stocks: A machine learning study based on urban remote sensing data ; <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101665> 1674-9871/ 2023 China University of Geosciences Frontiers. Elsevier.
- Rabarison H. S. 2014, Analyse comparative du stock de carbone sous mangrove par la méthode Loss On Ignition (L.O.I) et Walkley-Black (W.B) et étude des facteurs de stockage de Carbone organique du sol dans la baie d'Ambaro-Ambanja, Université d'Antananarivo, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en sciences agronomiques et environnement au grade de Master, parcours : écosystèmes et biodiversité 107p.
- Ramifehiarivo, N., Barthès, B.G., Cambou, A., Chapuis-Lardy, L., Chevallier, T., Albrecht, A., Razafimbelo, T., 2023. Comparison of near and mid-infrared reflectance spectroscopy for the estimation of soil organic carbon fractions in Madagascar agricultural soils. *Geoderma Reg.* 33, e00638. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00638>
- Ratefinjanahary, I., 2017. Evaluation du stock de carbone du sol de mangrove dans le nord-ouest de Madagascar : Cas des baies d'Ambaro et d'Ambanja. Mémoire de DEA. Université d'Antananarivo
- Rothe, P.L., 1964. Régénération en forêt tropicale. Le Dipterocarpus Drey sur le versant cambridgien. Du Gollf du Siam. Bois et forêt des tropiques. 94p.
- Vanini, M. E Lori, Coffa et S. Fratini. 2008. *Cerithidea decollata*: a snail that can foresee the future ? *Science Direct. Animal behaviour*, 76, 983e992 doi:10.1016/j.anbehav.2008.05.0.
- Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29.

## Annexes

### Annexe 1 : Fiches de relevé

#### Annexe 1a : Fiche pour le relevé des pollutions et infestations

<b>FICHE D'INVENTAIRE de FORET DE MANGROVES : TRANSECT</b>					
<b>TYPE DE MANGROVES :</b>				Remarques (LE TRANSECT EST DISCONTINU)	
<b>Nom du site :</b>					
<b>Sous-site :</b>		Superficie :			
<b>Date de relevés :</b>		Transect suivant la zone et les sites			
<b>Espèce dominante :</b>		TRANSECT DISCONTINU			
<b>Noms du Chef de zones et de son équipe :</b>				COORDONNEES GPS :	
<b>PARAMETRES CONSIDERES</b>					
<b>Placette n°</b>		<b>Espèce dominante :</b>			
<b>Coordonnées géographiques</b>		<b>Individu 1 : *Espèce</b>			
<b>Type : pseudo-ilot / ilôt</b>		*Plantule (P)/ Jeune (J)/Adulte (A)			
<b>Habitat : sec/ inondé</b>		*DBH / H / Fruit			
<b>Présence des drains (+/-)</b>		*(Fr) ou Fleur (FI)			
		<b>Individu 2 :</b>			
		<b>Individu 3 :</b>			
		<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
<b>Pollution</b>	<b>Plastique (nb)</b>				
	<b>Débris de coquillage (+/+/+++)</b>				
<b>Liane (%)</b>					
<b>Chenille</b>	<b>Espèces invasives / nombre</b>				
	<b>Stade</b>				
	<b>Fèces des chenilles</b>				
<b>Escargot de mangrove</b>	<b>Sur le tronc</b>				
	<b>Sur le sol (+/+/+++)</b>				
	<b>Mangrove infecté</b>				
<b>Autres espèces</b>					
<b>Topographie :</b>					





## Annexe 1d : Fiche d'enquêtes

### FANADIHADIANA MIKASIKA NY ALA HONKO

- 1) Anarana (raha manaiky ny hanontaniana) :
- 2) Taona : 3) Lahy / Vavy
- 4) Fihaviana :
- 5) Inona ny asa fivelomanao :  
Miasa isan'andro ve ? Eny / Tsia
- 6) Raha asa jono ny valinteny, amin'izao fiovan'ny toetr'andro izao misy andro ratsy, mbola mandeha andranomasina ve ianao ? Eny / Tsia  
Manahoana ny toetry ny ranomasina rehefa tena ratsy ny andro ?
- 7) Raha tsy mandeha andranomasina ianao dia inona no asa anampiana ny fidiram-bolanao ?
- 8) Manana vadin'asa na andraikitra hafa ve ianao ?

#### Mikasika ny ala honko : ny fiainan'ny honko sy ny biby ao aminy

- 9) Fantatrao ve ny soa azo avy amin'ny ala honko ?  
Sakafo (trondro, drakaka, akamba, .....) Fiainan'ny biby sy ny zavamaniry  
Miaro amin'ny ranobe fiakaran'ny ranomasina rehefa tonga ny rivodoza
- 10) Raha ringana ny ala honko, inona no mety vokany raha aminao ?
- 11) Aorian'ny fitrandrahana atao, fantatrao ve hoe mbola misy honko maniry? Eny / Tsia
- 12) Aminao, firy taona/habe ny hazo honko iray no azo trandrahana ?
- 13) Inona ny mety mahatonga ny honko tsy hitombo ?  
Inona ny karazana honko taloha teto ? .....  
Inona no tena betsaka amin'izao ?.....  
Inona ny antony ?.....
- 14) Inona ny biby fahita anaty ala honko ? (mifandray amin'ny fanontaniana voalohany)
- 15) Milaza biby telo betsaka indrindra :  
Milaza biby telo tsy dia fahita indrindra :
- 16) Misy lalàna ve mifehy ve ny biby sy zava-maniry ao ? Eny / Tsia

#### Lalàna sy fitantanana ny ala honko

- 17) Misy fikambanana ve ianareo miasa andranomasina eto ? Eny / Tsia
- 18) Ahoana ny fomba fitantanana eto ny ala honko ?
- 19) Efa nisy disadisa/fifandonana ve hita @ fitrandrahana ala honko ? Eny / Tsia
- 20) Misy toerana masina sy arovana ve anaty ala honko ? Eny / Tsia
- 21) Misy mpanara-maso ve ireo mpitrandraka ala honko ? Eny / Tsia  
Iza?
- 22) Impiry isan-taona ?
- 23) Mampahafantatra ny tompon'andraikitra eto an-toerana ve ianareo @ fitrandrahana? Eny / Tsia  
Manana taratasy ve ireo olona mandray ny honko eto antoerana? Eny / Tsia
- 24) Mahafantatra ireo 0 hoe fitantanana iarahana ve ianareo ? Eny / Tsia  
Ahoana ny hevitrao @ fitantanana sy fitrandrahana ala honko @ ho avy ?
- 26) Nanomboka oviana no nihamafy ny fiasana ny ala honko ?  
Nanomboka oviana no azo nataon'ny besinimaro ny miasa ?  
Nihena firy % ny ala honko raha ny fahitanao azy folo taona lasa izay ?
- 27) Nisy mpiavy nifindra monina ve ? Eny / Tsia Foko :
- 28) Inona ny mahatsara ny fisian'ny famindram-pitantanana ny ala honko amin'ny VOI ?

29) Inona ny fiovana tsapanao teo amin'ny ala honko hatramin'izay nisiany famindrampitantanana teto antoerana?

30) Lafy tsarany :

Lafy ratsiny :

31) Nisy tombony teo aminareo ve ny famindram-pitatanana? Eny / Tsia

**Mikasika ny vokatra trandrahina anaty ranomasina**

32) Miasa anaty ala honko ve ianao? Eny / Tsia

Isaky ny inona na impiry ?

Manao inona (maka drakaka ve ? Maka hazo ve ? Hazo inona ? Anaovana inona ?)

Kitay/saribao

Fanaka

Trano

Hiasana

Mitsangatsangana

Mioty/mihaza

Tantely

Fanafody

Manjono

Hafa :

Impiry no manao izany ianao? Isan'andro / isan-kerinandro / isam-bolana / isantaona

33) Matetika ve no itrandrahanao izany?

Manao ahoana ny fomba fiasanareo @ fitrandrahana? Olona irery / Olona maromaro Isa: .....

Raha taloha no nanao asa fitrandrahana, inona sy aiza ny toerana iasanao @ izao ?

34) Manahoana ny halaviran'ny toerana iasanao amin'izao raha mihoatra amin'ny taloha ?

**Ala honko sy fitrandrahana hazo**

35) Raha hazo no alainao, aiza ny toerana hitateranareo ny honko avy ao anaty ala honko?

Vavarano efa misy mpividy an-toerana ve sa aondrana aiza ?

Inona no itondranao ilay hazo ?

36) Fitaovana ananan'ny mpitrandraka ala honko :

Inona ny fitaovana ampiasainao @ fitrandrahana izany? Tsofa  Famaky

Fitaovana hafa :

Mirefy firy metatra ny hazo alainareo na alain'ny mpifindra monina ? \_\_\_\_\_m

Toa inona ny savaivon'izany ? \_\_\_\_\_ cm

Firy ny isan'ny andro iasanareo anatin'ny herinandro? \_\_\_\_\_

Firy ny isan'ny andro anapahanareo anatin'ny herinandro ? \_\_\_\_\_

**Ala honko sy ny jono**

37) Raha jono, manahoana ny vokatra, (na trondro io na drakaka na akamba) nihena sa nitombo ?

Ny haben'izy ireo manahona ?

Ohatrinona ny vola azonao isambolana @ fitrandrahana ala honko ? Na trondro ? na akamba ?

Karazany toa inona no tena voatrandraka ?

38) Manao fiompiana trondro io na drakaka na akamba any anaty ala honko ve ianao ?

39) Inona ny fitaovana ampiasainao hanaovana izany ?

Ny velaran'ny toerana iompiana ?

Ny vokatra azonao avy aminy ?

40) Betsaka ve ny olona manodidina anao no manao izany fiompiana izany ? 1-10  10-30  >30

**Ala honko sy fanorenana**

41) Fanorenana sy fanitarana toera-ponenana any anaty ala honko (habitation des pêcheurs dans les mangroves).

42) Manao izany ve ny olona manodidina ny fokontany misy anao (matetika ny mpanjono no manao azy io) ? Eny / Tsia

Fantatrao ve hoe eo amin'ny trano firy isan-taona eo no mitsangana any anaty ala honko ?

***Ala honko sy ny fambolena (Culture itinérante)***

43) Mamboly vary any anaty ala honko ve ianao ? Eny / Tsia Ny velarany ?

44) Nahatsikaritra ve ianao fa nitombo ny fambolem-bary any anaty ala honko tato anatin'ny 5 taona, 10 taona, 15 taona ? Eny / Tsia

Toy ny ahoana izany fiovana izany (quantité) ?

45) Betsaka ve ny olona manodidina anao no mamboly vary ao anaty ala honko ?

***Production de sel :***

46) Misy mamokatra sira anaty ala honko ve ety amin'ny manodidina anao ?

47) Inona no mety fiantraikany amin'ny ala honko raha ny fahitanao azy ?

***Ala honko et Dégâts cycloniques***

48) Firy ny cyclones mahery voatsikaritrao tato anaty 5 taona ka nisy fiantraikany betsaka tamin'ny ala honko ?

49) Nisy maintany ihany koa ve tao anatin'ny 5, 10, 15 taona ka mety hitanao hoe nisy fiantraikany teo amin'ny ala honko ?

50) Nahatsikaitra fiakarana na fidinan'ny ranomasina ve ianao tato anatin'ny 5 taona ? 10 taona ?

51) Nisy fiantraikany teo amin'ny tontolon'ny ala honko na ny vokatry raisinao avy amin'ny ala honko ve izany ?