

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA

Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MAHAJANGA

ECOLE DOCTORALE ECOSYSTEMES NATURELS



Université de Mahajanga



**Équipe d'accueil** : Biodiversité, agroécologie, évolution et systématiques des embryophytes  
Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Écosystèmes naturels

**Spécialité** : Foresterie, Economie de l'Environnement et Changement Climatique

**Ref°**: 006/2024/DOC/EDEN/UMG

## Mécanisme de Vente du Carbone Forestier : Cas de la Forêt Sèche du Parc National d'Ankarafantsika

Présenté par **Monsieur RAVELONDRAMAMY Fridonaten Peguy**

Contacts : +26143 962 58 / rfpeguy@gmail.com

Soutenue le 22 Novembre 2024, devant le jury composé de :

Président : Monsieur RANDRIANAMBININA Blanchard, Professeur titulaire,  
Université de Mahajanga ;  
Directeur de thèse : Madame RANDRIANJAFY Rasoloarisoa Vololomboahangy,  
Professeure titulaire, Université de Mahajanga ;  
Co-directeur de thèse : Madame RANARIJAONA Hery Lisy Tiana, Professeure titulaire,  
Université de Mahajanga.  
Rapporteur interne : Monsieur RASOLOHARIJAONA Solofonirina, Professeur Titulaire,  
Université de Mahajanga ;  
Rapporteur externe : Monsieur RABEHAVANA Van Aldo, Professeur, Université de  
Mahajanga ;  
Examineurs : Monsieur RABIBISOA Nirhy, Professeur titulaire, Université de  
Mahajanga ;  
: Monsieur TSIAVANANAHARY Tsaralaza Jorlin, Maître de Conférences,  
Université de Mahajanga.

Année universitaire 2023-2024



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA

Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MAHAJANGA

ECOLE DOCTORALE ECOSYSTEMES NATURELS



**Équipe d'accueil** : Biodiversité, agroécologie, évolution et systématiques des embryophytes  
Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Écosystèmes naturels

**Spécialité** : Foresterie, Economie de l'Environnement et Changement Climatique

Ref°:

## Mécanisme de Vente du Carbone Forestier : Cas de la Forêt Sèche du Parc National d'Ankarafantsika

Présenté par **Monsieur RAVELONDRAMAMY Fridonaten Peguy**

Contacts : +26143 962 58 / rfpeguy@gmail.com

Soutenue le 22 Novembre 2024, devant le jury composé de :

Président : Monsieur RANDRIANAMBININA Blanchard, Professeur titulaire, Université de Mahajanga ;  
Directeur de thèse : Madame RANDRIANJAFY Rasoloarisoa Vololomboahangy, Professeure titulaire, Université de Mahajanga ;  
Co-directeur de thèse : Madame RANARIJAONA Hery Lisy Tiana, Professeure titulaire, Université de Mahajanga.  
Rapporteur interne : Monsieur RASOLOHARIJAONA Solofonirina, Professeur Titulaire, Université de Mahajanga ;  
Rapporteur externe : Monsieur RABEHAVANA Van Aldo, Professeur, Université de Mahajanga ;  
Examineurs : Monsieur RABIBISOA Nirhy, Professeur titulaire, Université de Mahajanga ;  
Monsieur TSIAVANANAHARY Tsaralaza Jorlin, Maître de Conférences, Université de Mahajanga.

Année universitaire 2023-2024

# DÉCLARATION SUR L'HONNEUR

Je soussigné, RAVELONDRAMAMY Fridonastien Peguy, étudiant inscrit régulièrement à l'École Doctorale Écosystèmes Naturels (EDEN), de l'Université de Mahajanga, déclare sur l'honneur que, durant la période de préparation de ma thèse, en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en Ecosystèmes Naturels, je n'ai pas fait du plagiat.

Fait à Mahajanga le 17 septembre 2024.

RAVELONDRAMAMY Fridonastien Peguy

# DÉDICACE

Cette thèse de doctorat est dédiée à ma femme et à mes enfants, dont le fait de les avoir auprès de moi m'a beaucoup motivé moralement pour la mener à bien. J'espère de tout cœur, qu'un jour, ils seront très fiers de moi en lisant cet ouvrage.

## REMERCIEMENTS

La thèse est souvent présentée comme un exercice solitaire. Pourtant, à l'issue de ce travail un sentiment de redevabilité, envers toutes les personnes ayant contribué (considérablement ou plus modestement) à son évolution, m'envahit. Je remercie en cela toutes les personnes qui m'ont accompagnées, aidées, soutenues, et/ou encouragées, et m'excuse à l'avance pour tout oubli éventuellement commis. Donc, je tiens à exprimer ma gratitude envers les individus suivants :

✓ Monsieur RANDRIANAMBININA Blanchard, Professeur titulaire, Président de l'Université de Mahajanga, qui supervise et garantit le bon déroulement de l'Université, ainsi que son acceptation d'être le président de cette thèse ;

✓ Monsieur RASOLOHARIJAONA Solofonirina, Professeur titulaire, Directeur de l'Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, à l'Université de Mahajanga, a également accepté d'être le rapporteur interne de cet travail ;

✓ Monsieur RABEHAVANA Van Aldo, Professeur, Université de Mahajanga, qui a également accepté d'être le rapporteur externe de cette thèse ;

✓ Madame RANDRIANJAFY Rasoloarisoa Vololomboahangy, Professeure titulaire, mon Directeur de thèse qui, en dépit de ses multiples charges et obligations, m'a toujours réservé beaucoup de temps, pour me faire part de ses conseils, et m'a guidé tout au long de ma recherche doctorale jusqu'à maintenant ;

✓ Madame RANARIJAONA Hery Lisy Tiana, Professeure titulaire, mon Co-directeur de thèse, pour avoir consacré son temps à la réalisation du présent ouvrage, malgré ses responsabilités, elle a accepté de m'aider et de me conseiller en me faisant part de son savoir-faire ;

✓ Monsieur RABIBISOA Nirhy, Professeur, Université de Mahajanga, pour avoir consacré de précieux temps à l'examen de cette œuvre et d'avoir apporté ses compétences précieuses pour améliorer cette recherche ;

✓ Monsieur TSIAVANANAHARY Tsaralaza Jorlin, Maître de Conférences, Université de Mahajanga, pour son dévouement menant à la réalisation de cette thèse.

✓ Monsieur RAVONINJATOVO Jean Michel, Directeur technique au sein du Bureau National de Coordination de Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (BNC-REDD+), mon encadreur professionnel, qui a bien voulu accepter de diriger ma recherche, avec beaucoup de compréhension, sans parler de ses précieux conseils et remarques, malgré les multiples tâches qui devaient les retenir ailleurs.

- ✓ Aux membres du comité de lecture de cette thèse, notamment : Professeur RAZAFIMAHEFA, Professeur PAMPHILE Mananjara et Professeur RABIBISOA Nirhy qui ont corrigé notre ouvrage et en même temps qui m'a donné beaucoup de conseil pour réaliser bien ce livre.
- ✓ À tous les Enseignants de la Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement (FSTE), de l'Université de Mahajanga pour m'avoir appris à trouver du goût dans la recherche scientifique ;
- ✓ À toutes les équipes de l'École doctorale en écosystèmes naturels, Enseignants et Personnel administratif et technique, pour leurs aides et leurs soutiens, durant nos années de doctorant
- ✓ Au personnel Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts (MEEF), au personnel du Madagascar National Parks (MNP) et au personnel du Bureau National de Coordination de Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêts Antananarivo pour leurs collaborations ;
- ✓ Une reconnaissance spéciale à mon épouse et à ma belle-sœur (MZ), qui m'ont inconditionnellement soutenues et à qui j'ai sûrement beaucoup redevabilité sur tout ce qu'elles ont fait pour moi tout au long de cette recherche.
- ✓ Je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille et mes amis pour leurs sacrifices, leur soutien matériel et moral pendant nos études, et, enfin, envers toutes celles et tous ceux qui m'ont soutenus dans mes projets d'études scolaires et universitaires.

# TABLE DES MATIÈRES

DÉCLARATION SUR L'HONNEUR.....	i
DÉDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES FIGURES .....	xii
LISTE DES PHOTOS.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX .....	xiv
LISTE DES ANNEXES.....	xv
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xvi
GLOSSAIRE .....	xx
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS .....	6
I.1. REVUE DE LA LITTÉRATURE THÉORIQUE .....	7
I.1.1. Approche de l'économie de l'environnement et économie des ressources naturelles.....	7
I.1.1.1. Approche de l'économie de l'environnement .....	7
a. Effets externes.....	8
b. Internalisation des effets externes.....	8
c. Interdictions et demandes d'autorisations légales .....	9
d. Réglementation.....	9
e. Taxes et redevances.....	9
f. Permis négociable .....	10
h. Valorisation économique de l'environnement.....	11
I.1.1.2. Approche de l'économie des ressources naturelles.....	11
a. Règle d'Hotelling.....	11
b. Halte à la croissance : le Rapport Meadows (1972) .....	12
c. Déforestation : illustration de l'épuisement des ressources naturelles.....	14
I.1.2. Cadres réglementaires à Madagascar .....	16
I.1.2.1. Charte de l'Environnement .....	16
I.1.2.2. Décret MECIE .....	16
I.1.2.3. Code forestier.....	16

I.1.2.4. Loi numéro 95-025 du 30 septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources renouvelables (GELOSE) :.....	17
I.1.3. Origine de la finance carbone .....	17
I.1.3.1. Protocole de Kyoto .....	18
a. Système des permis négociables.....	19
b. Mécanisme de Développement Propre (MDP) .....	19
c. Mise en Œuvre Conjointe (MOC). .....	19
I.1.3.2. Naissance du REDD+.....	20
I.1.3.3. REDD+, première brique d'un accord climatique post-2012 .....	21
I.1.4. Marché du carbone .....	21
I.1.4.1. Marché volontaire .....	22
I.1.4.2. Marché réglementé.....	22
I.1.4.3. Comparaison de marché régulé et de marché volontaire.....	23
I.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE EMPIRIQUE .....	24
I.2.1. Première vente de crédit carbone à Madagascar .....	24
I.2.2. Vente de crédit carbone Emission Reduction Program in Atiala Atsinanana (ERP-AA) .....	24
I.2.3. Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar en 2017 .....	25
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	26
II.1. MATÉRIELS .....	27
II.1.1. État de lieu du parc national d'Ankarafantsika.....	27
II.1.1.1. Localisation du Parc National d'Ankarafantsika .....	27
II.1.1.2. Végétation et flore .....	29
II.1.1.3. Herpétofaune.....	29
II.1.2. Matériels utilisés pour l'inventaire .....	30
II.2. MÉTHODES D'ÉTUDES PROPREMENT DITES.....	33
II.2.1. Documentations et Études cartographiques.....	33
II.2.1.1. Documentations .....	33
II.2.1.2. Études cartographiques.....	33
II.2.2. Inventaire floristique .....	33
II.2.2.1. Dispositif d'inventaire : Unité d'échantillonnage .....	34
a. Grille d'inventaire .....	34

II.2.2.2. Plan d’implantation des placettes .....	34
a. Procédure à suivre pour avoir les placettes d’inventaire .....	34
II.2.3. Plan d’échantillonnage .....	35
II.2.3.1. Description de l’unité d’échantillonnage.....	35
II.2.3.2. Dispositif d’inventaire des forêts sèches de l’Ouest .....	35
II.2.3.3. Répartition des points d’échantillonnage .....	37
II.2.3.4. Différentes étapes de mise en place de la placette et des sous placettes....	37
II.2.3.5. Informations générales à collecter sur chaque sous-placette.....	39
II.2.3.6. Mesures spécifiques sur les sous placettes .....	40
II.2.3.7. Détermination des paramètres dendrométriques .....	40
a. Identification des arbres vivants .....	40
b. Mesure du Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) .....	41
c. Mesure de la hauteur .....	44
d. Mesure de la couverture de canopée .....	44
e. Mesure des arbres morts .....	45
II.2.4. Traitement des données .....	47
II.2.4.1. Cortège floristique .....	47
II.2.4.2. Fréquence des espèces .....	48
II.2.4.3. Densité des espèces .....	48
II.2.4.4. Dominance des espèces .....	48
II.2.4.5. Importance des espèces.....	49
II.2.4.6. Surface terrière G .....	49
II.2.4.7. Volume (total et fût) des arbres sur pied .....	49
II.2.4.8. Régénération naturelle .....	49
II.2.4.9. Densité spécifique des espèces (DHP $\geq$ 5cm) .....	50
II.2.4.10. Facteurs d’échelles.....	51
II.2.5. Détermination des Données d’Activités .....	51
II.2.5.1. Études cartographiques.....	51
II.2.5.2. Période référence .....	52
II.2.6. Modalité de calcul du carbone séquestré, Émission et de NERF .....	52

II.2.6.1. Formule .....	52
II.2.6.2. Modalité de calcul du NERF .....	52
II.2.7. Calcul du Facteur d'Émission.....	52
II.2.7.1. Facteur d'Emission du CO <sub>2</sub> .....	52
a. Méthode de calcul de la biomasse aérienne .....	53
b. Méthode de calcul de Biomasse souterraine.....	53
c. Détermination de la valeur du Carbone Organique du Sol .....	54
d. Calcul de biomasse du stade Non-forêt .....	54
II.2.7.2. Facteur d'Emission du Non-CO <sub>2</sub> .....	55
a. Superficie de la forêt Ankarafantsika détruite par les feux.....	55
b. Émissions autres que le CO <sub>2</sub> dues à la déforestation.....	55
II.2.7.3. Mode de calcul des produits carbone pour la vente .....	57
II.2.8. Analyse statistique .....	57
II.2.8.1. Moyenne arithmétique .....	57
II.2.8.2. Ecartype .....	58
II.2.8.3. Erreur standard (90%) .....	58
II.2.8.4. Intervalle de confiance (90%) et estimation minimale de confiance .....	58
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS .....	60
III.1. ÉTAT DE LIEU DE LA FORET DU PARC NATIONAL D'ANKARAFANTSIKA .....	61
III.1.1. Caractéristiques de la forêt sèche d'Ankarafantsika .....	61
III.1.1.1. Typologie de la forêt dense sèche d'Ankarafantsika .....	61
III.1.1.2. Couverture de la canopée .....	61
III.1.1.3. Richesse floristique .....	62
III.1.2. Paramètres sylvicoles de la zone d'étude .....	63
III.1.2.1. Paramètre dendrométrique des espèces de la forêt d'Ankarafantsika .....	63
III.1.2.2. Fréquence, Densité, dominance, importance des espèces.....	65
III.1.2.3. Taux et capacité de régénérations.....	68
III.2. STRUCTURE DE LA VENTE DES CRÉDITS CARBONE.....	69
III.2.1. Étapes à suivre pour obtenir l'autorisation de vendre les produits carbonés .....	69
III.2.1.1. Éligibilité des initiatives et des bénéficiaires .....	69
a. Processus d'homologation d'Initiative .....	69

b. Processus d'élaboration et d'approbation d'un programme.....	70
III.2.1.2. Bénéficiaires des bénéfices carbone .....	70
III.2.1.3. Régulation de l'accès aux marchés de carbone forestier .....	71
a. Registre national de transactions des Réductions des Emissions (REs).....	71
b. Commercialisation et la vente des Réductions des Emissions (REs).....	71
III.2.1.4. Gestion financière des bénéfices carbone et d'autres financements liés à la REDD+.....	72
a. Gestion des bénéfices carbone.....	72
b. Gestion d'autres financements liés à la REDD+ .....	72
III.2.2. Gestion et suivi des initiatives ainsi que programmes dans le mécanisme REDD+.....	72
III.2.2.1. Cadres de gestion.....	72
a. Gestion d'une initiative et d'un programme .....	72
b. Des cadres de sauvegarde applicables pour la REDD+ .....	73
III.2.2.2. Suivi des performances REDD+ .....	73
a. Système national de Mesures de Notification et de Vérification des REs (MNV) .....	73
b. Mesures de la performance carbone forestière.....	74
c. Notification et vérification de la performance carbone.....	74
d. Suivi de la performance non-carbone.....	74
e. Suivi de la performance effort.....	74
III.2.3. Mécanisme de gestion des plaintes et des informations .....	75
III.2.3.1. Gestion des plaintes liées à la REDD+ .....	75
III.2.3.2. Système d'Information sur les Initiatives et Programme (SIIP) .....	75
III.2.3.3. Recours et résolution des litiges .....	75
III.2.4. Mécanisme de partage des bénéfices de carbone.....	76
III.2.4.1. Dispositions des bénéfices carbone .....	76
III.2.4.2. Partage des bénéfices carbone.....	76
a. Principes régissant le partage des bénéfices carbone .....	76
b. Répartition générale des bénéfices carbone.....	77

c. Des parties fixes et variables des bénéfiques affectés aux activités opérationnelles de terrain .....	78
III.3. STOCKS DE CARBONES ET NIVEAU D'ÉMISSION RÉFÉRENCE DE LA FORÊT DU PARC NATIONAL ANKARAFANTSIKA .....	79
III.3.1. Quantité de stocks de carbone dans la forêt Ankarafantsika .....	79
III.3.1.1. Valeur des Données d'Activités .....	79
a. Changement d'affectation des terres entre 2010 et 2020.....	79
III.3.1.2. Valeur de carbone séquestré dans la forêt d'Ankarafantsika .....	80
a. Biomasses dans la forêt d'Ankarafantsika.....	80
b. Quantités de carbone stockés dans la forêt du parc national d'Ankarafantsika ..	81
III.3.2. Quantification de NERF .....	82
III.3.2.1. Facteurs d'Émission .....	82
a. Changements de stocks .....	82
b. Biomasse du Non-forêt dans la forêt d'Ankarafantsika .....	82
III.3.2.2. Facteurs d'Emissions Non-CO <sub>2</sub> .....	84
III.3.2.3. Quantification de Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF) ..	84
III.3.2.4. Etudes comparative des résultats en forêt dense sèche et forêt sèche dégradée.....	85
QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION .....	86
IV.1. MÉTHODES UTILISÉES .....	87
IV.1.1. Équation allométrique utilisée .....	87
IV.1.1.1. Allométrie .....	87
IV.1.1.2. Équations allométriques pantropicales.....	88
IV.1.1.3. Équations allométriques locales .....	90
IV.1.2. Éléments des calculs de NERF .....	91
IV.2. ÉTAT DE RÉFÉRENCE ÉCOLOGIQUE DE LA FORÊT DU PARC NATIONAL D'ANKARAFANTSIKA .....	93
IV.2.1. État de lieu de la forêt sèche d'Ankarafantsika .....	93
IV.2.1.1. Modification de la composition floristique des individus matures.....	93
IV.2.1.2. Alteration des indices de diversité et de structure par les pratiques du charbonnage et de la culture sur brûlis .....	93
IV.2.1.3. Forte régénération .....	94
IV.2.2. Données d'Activités et les surfaces détruites par les feux.....	94

IV.2.2.1. Constatation des superficies perdues au sein de la forêt du parc national d'ankarafantsika.....	94
IV.2.2.2. Dynamique de la forêt dense sèche.....	95
IV.2.2.3. Dynamique de la forêt sèche dégradée .....	95
IV.3. STOCKS DE CARBONE ET NIVEAUX D'EMISSIONS DE REFERENCE DES FORETS D'ANKARAFANTSIKA.....	96
IV.3.1. Quantités de stocks de carbone dans la forêt D'Ankarafantsika.....	96
IV.3.1.1. Stocks de carbone aérien et souterrain par rapport aux autres stocks sur les emplacements géographiques .....	96
IV.3.1.2. Différents effets de variation du stock de carbone aérien dans les types d'utilisation des terres .....	97
IV.3.1.3. Biomasses non-forêt et le carbone organique du sol .....	98
IV.3.2. Quantité de NERF et Analyse de test t-student .....	99
IV.3.2.1. Quantité de NERF .....	99
IV.3.2.2. Analyse sur les résultats de test T-student .....	99
IV.4. MECANISME DE LA VENTE DE CARBONE .....	100
IV.4.1. Marché du carbone à Madagascar .....	100
IV.4.1.1. Marché engendrant un double avantage .....	100
IV.4.1.2. Procédure pour obtenir l'autorisation de vente de produit carbone.....	100
IV.4.2. Mécanisme de partage des bénéfices de carbone.....	101
IV.4.2.1. Au Cameroun.....	101
IV.4.2.2. Au Brésil .....	102
IV.4.2.3. Au Vietnam .....	102
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	103
CONCLUSION.....	104
RECOMMANDATIONS.....	109
1. Promouvoir la conservation de la forêt d'Ankarafantsika.....	109
2. Amélioration des démarches administratives pour la validation des initiatives .....	109
3. Amélioration de la valeur de Niveau d'Emission Référence de la Forêt.....	110
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES .....	111
ANNEXES.....	i
RÉSUMÉ.....	lvii

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la Région Boeny et d'Ankarafantsika .....	28
Figure 2 : Grille d'inventaire forestier 4 x 4 km de côté .....	34
Figure 3 : Configuration des placettes MNP Ankarafantsika .....	35
Figure 4 : Plan d'une placette .....	36
Figure 5 : Identification des arbres à mesurer .....	40
Figure 6: Cas particulier de mesure de Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) .....	42
Figure 7 : Hauteur POM (Point of Measure) .....	42
Figure 8 : Hauteur Point of Measure (POM) des arbres penchés .....	43
Figure 9 : Transect pour la couverture de la canopée .....	44
Figure 10 : Types d'arbres à mesurer .....	46
Figure 11 : Transect de mesure des arbres morts gisants .....	46
Figure 12 : Mesures de DHP des arbres morts gisants .....	47
Figure 13 : Arbre de décision d'attribution des densités spécifiques .....	50
Figure 14 : Représentation graphique des familles végétales inventoriées au sein de la forêt dense sèche avec plus de dix individus dans le Parc National d'Ankarafantsika. ....	62
Figure 15 : Représentation graphique des familles végétales inventoriées au sein de la forêt sèche dégradée avec plus de dix individus dans le Parc National d'Ankarafantsika .....	63
Figure 16 : Répartition des 12 espèces importantes dans la forêt dense sèche de l'Ouest .....	66
Figure 17 : Répartition des 12 espèces importantes dans la forêt dense sèche de l'Ouest .....	67
Figure 18 : Représentation graphique du taux de régénération naturelle .....	68

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1 : Voiture utilisée pour transporter l'équipe durant la descente sur le terrain à Ankarafantsika.....</b>	<b>30</b>
<b>Photo 2 : Photos de Vertex et de Relascope .....</b>	<b>31</b>
<b>Photo 3 : Quelques matériels et équipements utilisés lors de l'inventaire .....</b>	<b>31</b>
<b>Photo 4 : Image d'utilisation de cordes pour délimiter les placettes lors de l'inventaire .....</b>	<b>32</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I : Comparaison entre Marché régulé et le Marché volontaire .....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau II : Sous placette et placeaux d'inventaire .....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau IV : Points à considérer pour la corde n°1 .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau V : Points à considérer pour la corde n°2 .....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau VI : Correction des pentes .....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau VII : Catégorie d'état de décomposition des bois mort .....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau VIII : Classification des arbres morts sur pieds et paramètres à mesurer .....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau IX : Description des placettes.....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau X : Quotients racinaire/foliacé (RSR) .....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau XI : Carbone Organique du Sol de forêt sèche et non-forêt en 2011.....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau XII : Biomasse dans des sites post-déforestation localisés dans l'écorégion des forêts sèches (Raharimalala et al., 2012) .....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau XIII : Explication en détail des abréviations de la formule numéro 6 .....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau XIV : Explication en détail des abréviations de la formule numéro 7.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau XV : Répartition des placettes d'inventaires d'Ankarafantsika selon le district et les occupations spatiales.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau XVI : Paramètres sylvicoles des espèces dans la forêt dense sèche .....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau XVII : Paramètres sylvicoles des espèces dans la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau XVIII : Superficie des forêts et perte de superficie forestière par type de forêt.....</b>	<b>79</b>
<b>Tableau XIX : Superficie de la forêt Ankarafantsika détruite par les feux par type de forêt (2010 – 2020).....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau XX : Biomasse des espèces supérieures à de DHP&gt;5cm dans la forêt dense sèche d'Ankarafantsika.....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau XXI : Biomasse des espèces supérieure à de DHP&gt;5cm dans la forêt sèche dégradée..</b>	<b>80</b>
<b>Tableau XXII : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tonne de matière sèche par hectare (tms/ha) .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau XXIV : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tonne carbone (tC/ha) .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau XXV : Synthèse des stocks de carbone séquestrés en Forêt Dense Sèche et .....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau XXVI : Biomasse des espèces supérieures à de DHP&gt;5cm dans la forêt sèche dégradée. ....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau XXVII : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tms/ha .....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau XXVIII : Facteurs de conversion Carbone et CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau XXIX : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tCO<sub>2</sub>/ha.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau XXX : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tCO<sub>2</sub>/ha.....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau XXXII : Facteur d'Émission pour les émissions non-CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau XXXIII : Émissions par formation végétale et calcul du NERF .....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau XXXIV : Résultat d'études de comparaison entre la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée sur les biomasses aériennes en utilisant le test T-test du Student .....</b>	<b>85</b>

## LISTE DES ANNEXES

<b>ANNEXE I : Extrait de presse parlant les premières ventes de crédits carbone à Madagascar .....</b>	<b>i</b>
<b>ANNEXE II: Mode de calcul de Réduction des Émissions pour ERPAA 2020 .....</b>	<b>ii</b>
<b>ANNEXE III : Directives d'utilisation de la grille nationale de référence (4km x 4km) .....</b>	<b>iii</b>
<b>ANNEXE IV : Fiche d'inventaire forestier pour l'information générale sur la placette .....</b>	<b>xv</b>
<b>ANNEXE V : Fiche d'inventaire forestier pour les gros arbres .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ANNEXE VI: Présentation des Genres et les Familles des sur la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ANNEXE VII: Présentation des Genres et des Familles sur la forêt dense sèche .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ANNEXE VIII: Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche .....</b>	<b>xx</b>
<b>ANNEXE IX : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt sèche dégradée.....</b>	<b>xxv</b>
<b>ANNEXE X: Présentation des relations entre DHP, Hauteur fût, Facteur d'échelles et Volume fût des espèces forêt dense sèche .....</b>	<b>xxix</b>
<b>ANNEXE XI: Présentation des relations entre Hauteur fût et Volume fût des espèces sur la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>xxx</b>
<b>ANNEXE XII : Présentation des relations entre Densité, Facteur d'échelles et Fréquence des espèces de la forêt dense sèche .....</b>	<b>xxxii</b>
<b>ANNEXE XIII: Présentation des relations entre Densité, Facteur d'échelles et Fréquence des espèces sur la forêt sèche dégradée. ....</b>	<b>xxxiv</b>
<b>ANNEXE XIV : Présentation des relations entre les Surfaces Terrières G, et les dominances des espèces sur la forêt dense sèche .....</b>	<b>xxxv</b>
<b>ANNEXE XV : Présentation des relations entre les Surfaces Terrières G, et les dominances des espèces sur la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>xxxvii</b>
<b>ANNEXE XVI : Présentation des relations entre les Densités relatives, les Fréquences relatives, les Dominances relatives et l'importances des espèces sur la forêt dense sèche.....</b>	<b>xxxviii</b>
<b>ANNEXE XVII : Présentation des relations entre les Densités relatives, les Fréquences relatives, les Dominances relatives et l'importances des espèces sur la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>xl</b>
<b>ANNEXE XVIII : Présentation des Régénérations des espèces sur la forêt dense sèche .....</b>	<b>xli</b>
<b>ANNEXE XIX : Présentation des Régénérations des espèces sur la forêt sèche dégradée.....</b>	<b>xliii</b>
<b>ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche .....</b>	<b>xliv</b>
<b>ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée .....</b>	<b>li</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>AAAN</b>	: Action d'Atténuation Appropriée au niveau National ou NAMA en anglais
<b>AGB</b>	: Above Ground biomasse / biomasse sèche de la partie aérienne
<b>AFOLU</b>	: Agriculture, Forestry and Others Land Use – terme anglais désignant le secteur de l'Agriculture, la Foresterie et les autres usages du sol (nouvelle dénomination du secteur LULUCF dans les guides de l'IPCC).
<b>BA</b>	: Biomasse Aérienne
<b>BNC-REDD+</b>	: Bureau National de Coordination pour la Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêts
<b>BNCCC</b>	: Bureau National de Coordination du Changement Climatique
<b>BS</b>	: Biomasse Souterraine
<b>C</b>	: Carbone
<b>CAST</b>	: Compte d'Affectation Spéciale du Trésor
<b>CCNUCC</b>	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
<b>CDN</b>	: Contribution Déterminée au Niveau National
<b>CTD</b>	: Collectivités Territoriales Décentralisées
<b>CER</b>	: Certified Emission Reductions
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Méthane
<b>CF</b>	: Carbone Fraction
<b>CGES</b>	: Cadre de Gestion Environnementale et Sociale
<b>CI</b>	: Conservation International
<b>CIRAD</b>	: Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dioxyde de Carbone
<b>COP</b>	: Conference Of Parti
<b>CPR</b>	: Cadre de Politique de Réinstallation
<b>DA</b>	: Données d'Activités
<b>Dens/ha</b>	: Densité par hectare
<b>DGF</b>	: Direction Générale des Forêts
<b>DGEF</b>	: Direction Générale des Eaux et Forêts
<b>DHP</b>	: Diamètre à Hauteur de Poitrine
<b>DPL</b>	: Plantations non forestières
<b>DRGPF</b>	: Direction du Reboisement et de la Gestion des Paysages et des Forêts
<b>EDEN</b>	: École Doctorale des Écosystèmes Naturels
<b>EIA</b>	: Entité Indépendante Accréditée
<b>EIE</b>	: Étude des impacts Environnementales

<b>EOD</b>	: Entité Opérationnelle Désignée
<b>ERP-AA</b>	: Emission Reduction Program in Atiala Atsinanana ou (PRE AA) Programme de Réduction des Émissions Atiala Atsinanana
<b>EU-ETS</b>	: European Union Emission Trading Scheme – marché du carbone européen
<b>FA</b>	: Fonds d'adaptation
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization
<b>FAS</b>	: Fondation Amazonas Durable
<b>FCPF</b>	: Forest Carbon Partnership Facility ou Le Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FPCF) en français.
<b>FE</b>	: Facteurs d'Émissions
<b>FEM</b>	: Fonds pour l'environnement mondial
<b>FMPM</b>	: Fonds multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal
<b>FSC</b>	: Forest Stewardship Council
<b>FSTE</b>	: Faculté des Sciences, des Technologies et de l'Environnement
<b>FTM</b>	: Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara
<b>FVC</b>	: Fonds vert pour le climat
<b>GELOSE</b>	: Gestion Locale sécurisée
<b>GES</b>	: Gaz à Effet de Serre
<b>GIEC</b>	: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
<b>GPS</b>	: Global positioning system
<b>GWP</b>	: Global Warming Potential
<b>H</b>	: Hypothèse
<b>ha</b>	: Hectare
<b>HFC</b>	: HydroFluoroCarbures
<b>H_FUT</b>	: Hauteur fût
<b>HT</b>	: Hauteur total
<b>IPCC</b>	: InterGovernmental Panel on Climate Change
<b>kWh</b>	: KiloWhater
<b>LRA</b>	: Laboratoire de Recherches Appliquées
<b>LULUF</b>	: Land Use, Land Use change and Forestry
<b>m</b>	: Mettre
<b>MEC</b>	: Mise en Conformité
<b>MECIE</b>	: Mise en compatibilité des Investissement sur l'Environnement
<b>MEEF</b>	: Ministère de l'Environnement, de l'Écologie et des Forêt
<b>MDP</b>	: Mécanisme de Développement Propre
<b>MIT</b>	: Massachusetts Institute of Technology
<b>MNP</b>	: Madagascar National Parks

<b>MNV</b>	: Mesure, de Notification et de Vérification
<b>MOC</b>	: Mise en Œuvre Conjointe
<b>Mt</b>	: Méga Tonne
<b>NAMA</b>	: Nationally Appropriate Mitigation Actions
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Oxyde d'azote
<b>NERF</b>	: Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts
<b>NPIA</b>	: Nouveaux Pays Industrialisés d'Asie
<b>NRF</b>	: Niveau de Référence pour les Forêts
<b>ODD</b>	: Objectifs de Développement Durable
<b>OMD</b>	: Objectifs du Millénaire pour le Développement
<b>OMS</b>	: Organisation Mondiale de la Santé
<b>ONE</b>	: Office National pour l'Environnement
<b>ONG</b>	: Organisation Non Gouvernementale
<b>ONU</b>	: Organisation des Nations Unies
<b>OS</b>	: Objectif Spécifique
<b>PCI</b>	: Principes, Critères, Indicateurs
<b>PEFC</b>	: Pan European Forest Certification
<b>PERR-FH</b>	: Projet Eco-Regional REDD+ - Forêts Humides
<b>PHCF</b>	: Programme Holistique de Conservation des Forêts
<b>PK</b>	: Protocole de Kyoto
<b>PMA</b>	: Pays Moins Avancés
<b>PNUE</b>	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
<b>POM</b>	: Point of Measure (le point de mesure en Français)
<b>QR</b>	: Questions de Recherches
<b>RA</b>	: Résultat Attendu
<b>RE</b>	: Réductions d'Émissions
<b>REs</b>	: Reduction des Emissions
<b>REDD+</b>	: Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêts
<b>RSE</b>	: Responsabilité Sociétale des Entreprises
<b>RSR</b>	: Root Shoot Ratio
<b>SIIP</b>	: Système d'information sur les initiatives et Programme
<b>SIS</b>	: Système d'Information sur les Sauvegardes (SIS)
<b>SOC</b>	: Soil Organic Carbon ou Carbone Organique du Sol
<b>SPC</b>	: Sous Placettes carrées
<b>T ou t</b>	: Tonne
<b>tCo<sub>2</sub>eq</b>	: tonnes de dioxyde de carbone équivalent ( )
<b>Teq</b>	: Tonne équivalent

<b>tms</b>	: tonne de matière sèche
<b>UNFCCC</b>	: United Nations Framework Convention on Climate Change (CCNUCC en Français)
<b>UOT</b>	: Utilisation et Occupation des Terres
<b>URCE</b>	: Unité de Réduction Certifiée des Emissions
<b>URE</b>	: Unités de Réduction d'Emission
<b>URVE</b>	: Unité de Réduction Vérifiée des Emissions
<b>UTCAF</b>	: Utilisation des Terres, du Changement d'Affectation des terres et de la Foresterie
<b>VCS</b>	: Verified Carbon Standard
<b>VER</b>	: Verified Emission Reductions
<b>VF</b>	: Volume fût
<b>VOI</b>	: Vondron'Olona Ifotony (Communauté Locale de Base)
<b>VT</b>	: Volume total
<b>WCS</b>	: Wildlife Conservation Society
<b>WWF</b>	: Wild Wildlife Fond ou Fonds mondial pour la nature en Français

# GLOSSAIRE

**Adaptation** : Ce mot indique des initiatives et des mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains à l'endroit des effets des changements climatiques actuels ou prévus. On distingue plusieurs sortes d'adaptation : anticipative et réactive, privée et publique, autonome et planifiée. Citons à titre d'exemples le rehaussement des berges ou les digues sur les rivières, ou le remplacement des plantes fragiles par des espèces résistant à la chaleur.

**Arbustes** : Ce sont des plantes ligneuses vivaces, mesurant généralement plus de 0,5 mètre et moins de 5 mètres de hauteur à maturité, et sans houppier défini. Les limites de hauteur des arbres et arbustes doivent être interprétées avec flexibilité, notamment les hauteurs minimales des arbres et les hauteurs maximales des arbustes, qui peuvent varier de 5 à 7 mètres.

**Atténuation** : C'est une technique de modification technologique et de substitution visant à réduire les ressources engagées et les émissions par unité de production. Bien que certaines politiques sociales, économiques et technologiques puissent réduire des émissions, du point de vue de l'évolution du climat, l'atténuation signifie la mise en œuvre de politiques destinées à réduire les émissions de GES et renforcer les puits.

**Biomasse** : C'est une masse totale des organismes vivants présents dans une région donnée, ou d'une espèce donnée, habituellement exprimée en poids de matières sèches. Matières organiques constituées, ou récemment dérivées d'organismes vivants (considérées essentiellement en tant que combustible), à l'exception de la tourbe). La biomasse inclut des produits, des sous-produits et des déchets de telles matières. La biomasse cellulosique est la biomasse dérivée de la cellulose qui est la composante première des végétaux et des arbres.

**Biomasse aérienne** : C'est la totalité de la biomasse de la végétation vivante aérienne, ligneuse et herbacée, y compris les tiges, souches, branches, écorces, semences et feuillage.

**Biomasse souterraine** : C'est la totalité de la biomasse de racines vivantes. Les racines minces de moins de 2 mm de diamètre (suggestion) sont quelquefois exclues car souvent il n'est pas possible de les distinguer empiriquement des matières organiques du sol ou de la litière.

**Biomasse totale** : C'est la biomasse du stock en croissance d'arbres, de peuplements ou de forêts plus biomasse des branches, brindilles, feuillage, graines, souches, et parfois arbres non commerciaux. Se divise en biomasse aérienne et biomasse souterraine (voir ci-dessus). S'il ne peut y avoir de malentendu, on peut aussi utiliser le terme « biomasse » seul pour signifier la biomasse totale.

**Bois mort** : C'est la totalité de la biomasse ligneuse morte qui n'est pas contenue dans la litière, et qui est sur pied, au sol ou dans le sol. Inclut le bois au sol, les racines mortes, et les souches de diamètre égal ou supérieur à 10 cm ou tout autre diamètre adopté par le pays.

**Carbone des sols** : Il inclut les carbones organiques des sols minéraux et organiques (y compris tourbe) à une profondeur spécifiée choisie par le pays et utilisée avec cohérence dans la série temporelle. Les racines fines vivantes de moins de 2 mm (ou toute autre valeur choisie par le pays comme diamètre maximum pour la biomasse souterraine) sont incluses avec la matière organique des sols quand on est incapable de les en distinguer de manière empirique.

**Contribution Déterminée au Niveau National (CDN)** : La Contribution Nationale Déterminée (CND), également appelée Nationally Ensured Contribution (NDC) en anglais, est un engagement pris par chaque pays signataire de l'Accord de Paris pour lutter contre le changement climatique. Les CND séparent les actions spécifiques que chaque pays entend mettre en œuvre pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre et pour s'adapter aux effets du changement climatique.

**Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)** : Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est principalement issu de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon) et de la biomasse. Comme l'eau, le CO<sub>2</sub> participe au cycle de la photosynthèse des plantes. C'est donc un gaz à effet de serre naturel et indispensable, dans une certaine limite de concentration.

**Equation allométriques** : Issues de la biologie, ces équations sont destinées à évaluer, à partir d'échantillons, la biomasse d'une forêt en fonction de paramètres simples à mesurer, tel que le diamètre, la hauteur et la densité du bois des arbres qui la composent.

**Effet de serre** : C'est un phénomène naturel qui traduit la capacité de la planète à retenir une partie de la radiation solaire dans l'atmosphère et la transformer en chaleur à sa surface. Cet effet est dû à une couche de gaz d'origine naturelle qui permet au système « Terre » de maintenir une température moyenne d'environ 14°C.

**Finance carbone** : Elle réfère aux revenus générés par la vente des crédits carbone dans les échanges sur les marchés du carbone. Sur ces marchés, le prix du crédit carbone n'est pas défini à l'avance, il est le résultat des transactions sur les marchés.

**Finance climat** : C'est un terme générique qui réfère à un ensemble d'outils financiers dédiés à l'action contre les changements climatiques (adaptation et atténuation). La plupart de ces outils financiers sont des fonds mis en place par les États, de manière bilatérale ou multilatérale. Le Fonds vert pour le climat (FVC), le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), le Fonds multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal (FMPM), le Fonds d'adaptation (FA) sont considérés comme des financements climat.

**Forêts claires de type Miombo** : Les forêts claires de type Miombo sont une formation végétale caractéristique de l'Afrique australe et orientale. Elles se distinguent par une dominance de certains types d'arbres et une biodiversité particulière.

**Forêts de type Dry** : Les forêts sèches, souvent appelées « dry forests » en anglais, sont des écosystèmes forestiers qui se caractérisent par des périodes prolongées de sécheresse et une saison de pluie relativement courte. Ces forêts se trouvent généralement dans des régions tropicales et subtropicales où le climat est semi-aride ou sub-humide.

**Forêt de type Moist** : Les forêts humides ou forêts de type "moist" se réfèrent généralement aux forêts tropicales ou subtropicales humides. Ces écosystèmes se caractérisent par un climat chaud et humide, des précipitations abondantes tout au long de l'année ou pendant une grande partie de l'année, et une végétation luxuriante et diversifiée.

**Forêt de type Wet** : Les forêts humides ou forêts de type "wet" sont des écosystèmes forestiers caractérisés par des conditions de forte humidité, que ce soit par des précipitations abondantes, une humidité ambiante élevée ou des sols saturés en eau. Ces forêts se trouvent principalement dans des régions tropicales et subtropicales, mais peuvent également exister dans des zones tempérées. Elles abritent une biodiversité exceptionnelle et jouent un rôle crucial dans la régulation climatique et hydrologique.

**Forêt humide** : Les régimes hygrométriques pour les zones boréales et tempérées sont définis par le rapport des précipitations annuelles moyennes (PAM) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) : Sèche ( $PAM/ETP < 1$ ) et humide ( $PAM/ETP > 1$ ) ; et pour les zones tropicales seulement par les précipitations : Sèche ( $PAM < 1.000 \text{ mm}$ ), humide ( $PAM : 1\ 000-2\ 000 \text{ mm}$ ) et pluvieuse ( $PAM > 2\ 000 \text{ mm}$ ).

**Forêt sèche** : Les régimes hygrométriques pour les zones boréales et tempérées sont définis par le rapport des précipitations annuelles moyennes (PAM) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) : Sèche ( $PAM/ETP < 1$ ) et humide ( $PAM/ETP > 1$ ) ; et pour les zones tropicales seulement par les précipitations : Sèche ( $PAM < 1\ 000 \text{ mm}$ ), humide ( $PAM : 1\ 000-2\ 000 \text{ mm}$ ) et pluvieuse ( $PAM > 2\ 000 \text{ mm}$ ).

**Fraction de carbone** : Elle indique les tonnes de carbone par tonne de matière sèche de la biomasse.

**Gaz à Effet de Serre** : C'est un gaz à effet de serre est un gaz qui possède la capacité d'absorber les radiations thermiques et de les réémettre. Concrètement, une fois dans l'atmosphère, ces gaz captent les radiations dans les longueurs d'onde infrarouges émises par la biosphère et ils les réémettent en direction de celle-ci. L'augmentation de la concentration de ces gaz dans l'atmosphère cause une augmentation de la quantité d'énergie contenue dans la basse atmosphère.

**Hauteur fût** : La hauteur de fût désigne généralement la distance entre la base de l'arbre et le point où commence le houppier (la partie avec les branches et les feuilles). C'est une mesure importante pour évaluer le volume de bois utilisable.

**Hauteur totale** : distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre  
(Bourgeon terminal)

**Litière** : C'est la totalité de la biomasse morte de taille supérieure à la limite définie pour la matière organique des sols (suggestion : 2 mm) et inférieure au diamètre minimum choisi pour le bois mort (10 cm, par exemple), mort sur le sol, à divers stades de décomposition, et située au-dessus ou à l'intérieur du sol minéral ou organique. Ceci inclut la couche de litière telle que définie habituellement dans les typologies du sol. Les racines vivantes minces situées au-dessus du sol minéral ou organique (inférieures au diamètre minimum adopté pour la biomasse souterraine) sont incluses dans la litière lorsqu'il n'est pas possible de les distinguer empiriquement de la litière.

**Matière sèche (m.s.)** : La matière sèche se réfère à la biomasse qui a été séchée pour atteindre un état sec à l'étuve, normalement à 70° C.

**Pays de l'Annexe I** : L'Annexe I de la CCNUCC regroupe les pays développés et les pays en transition vers une économie de marché. Ces pays sont principalement responsables des émissions historiques de gaz à effet de serre et ont donc des engagements spécifiques en matière de réduction des émissions. Voici la liste des pays de l'Annexe I : Australie, Autriche, Belgique, Bulgarie, Canada, Croatie, Chypre, République Tchèque, Danemark, Estonie, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Hongrie, Islande, Irlande, Italie, Japon, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Monaco, Pays-Bas, Nouvelle-Zélande, Norvège, Pologne, Portugal, Roumanie, Russie, Slovaquie, Slovénie, Espagne, Suède, Suisse, Turquie, Ukraine, Royaume-Uni, États-Unis. Les pays de l'Annexe I incluent également l'Union européenne en tant qu'entité distincte.

**Pays Annexe A de Protocole de Kyoto** : L'Annexe A du Protocole de Kyoto énumère les gaz à effet de serre couverts par le protocole et les secteurs/source d'émissions, plutôt que les pays eux-mêmes. Cependant, pour les besoins pratiques, il est souvent fait référence à la liste des pays de l'Annexe B du Protocole de Kyoto, qui énumère les pays ayant des engagements de réduction des émissions.

**Pays Annexe B de Protocole de Kyoto** : Les pays de l'Annexe B sont essentiellement les mêmes que ceux de l'Annexe I de la CCNUCC, avec quelques variations mineures dues à des différences dans les engagements spécifiques. Les pays de l'Annexe B sont également des pays industrialisés et des économies en transition, engagés à atteindre des objectifs de réduction des émissions.

**Pays du Sud** : L'expression "Pays du Sud" est utilisée pour désigner un ensemble de pays généralement situés dans les régions de l'hémisphère sud, bien qu'elle ne soit pas

strictement géographique. Elle se réfère surtout aux pays en développement ou émergents, en opposition aux "pays du Nord," qui sont souvent des pays industrialisés et développés.

**Puits carbone** : Un puits de carbone est un système naturel ou artificiel qui absorbe et stocke du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère, contribuant ainsi à réduire la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les principaux puits de carbone naturels sont : les océans, les forêts, les sols.

**Régénération naturelle** : Rétablissement d'un peuplement forestier de manière naturelle, soit par l'ensemencement naturel soit par la régénération végétale. Peut quelquefois être appuyée par une intervention humaine, par exemple par la scarification du sol ou l'installation de barrières permettant de protéger la terre de la faune sauvage ou de la paissance d'animaux domestiques.

**Relation entre carbone et CO<sub>2</sub>** : Dans la littérature portant sur les changements climatiques, on parle à la fois de CO<sub>2</sub> et de carbone (C). Si l'on doit quantifier l'un ou l'autre de ces gaz, il convient d'être vigilant. En effet, une tonne de CO<sub>2</sub> n'est pas équivalente à une tonne de C. En se référant au tableau périodique des éléments, on constate que la masse molaire du carbone est de 12 g alors que celle de l'oxygène est de 16 g. Le rapport entre une malle de C et une malle de CO<sub>2</sub> est donc de 12/44. En conséquence, si une tonne de C devait être complètement oxydée et se transformer en CO<sub>2</sub>, on obtiendrait  $1 / (12/44) = 44/12 = 3;667$  tonnes de CO<sub>2</sub>.

**Step It Up 2007** : C'était une campagne de sensibilisation et d'action pour le climat aux États-Unis, organisée en 2007. Cette initiative a été dirigée par l'activiste environnemental Bill McKibben et a cherché à mobiliser les citoyens pour demander des actions significatives en réponse au changement climatique.

**Stock de carbone** : C'est la quantité de carbone dans un pool.

**Surface terrière** : La surface terrière est une mesure utilisée en sylviculture et en foresterie pour estimer la densité de la végétation forestière. Elle représente la surface cumulée des sections transversales des troncs d'arbres à une hauteur standardisée, généralement 1,30 mètre au-dessus du sol (hauteur de poitrine), par unité de surface de terrain.

**Taxe carbone** : C'est un dispositif fiscal applicable généralement à des produits de consommation à contenu élevé en carbone, tels que les produits pétroliers. Le prix du carbone est fixé à l'avance, par les gouvernements. L'instauration de la taxe incite la mise en œuvre d'alternatives durables consommant des produits à moindre contenu en carbone et donc moins taxés. Les revenus dégagés de la taxe reviennent aux entités qui imposent la taxe et ils ne contribuent pas forcément au financement des projets d'énergie durable.

**Tropicos** : C'est une base de données botanique en ligne maintenue par le Missouri Botanical Garden, l'un des principaux jardins botaniques et centres de recherche sur la botanique au monde. La base de données Tropicos est une ressource importante pour les chercheurs, les étudiants et les amateurs de botanique, offrant un accès à une vaste collection d'informations sur les plantes.

**Vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O)** : La vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) provient de l'évaporation de l'eau des océans et des cours d'eau. L'évapotranspiration des plantes produit également de l'eau qui charge l'air en humidité. Les activités humaines produisent aussi de la vapeur d'eau, à l'instar des tours de refroidissement des centrales nucléaires.

**Volume fût** : Le volume fût (ou "volume de fût") se réfère spécifiquement au volume de la partie du tronc d'un arbre qui est rectiligne et exempt de branches, généralement jusqu'à une certaine hauteur standardisée ou jusqu'à la première grosse branche ou bifurcation. Cette partie est souvent la plus précieuse commercialement, car elle fournit le bois le plus long et de la meilleure qualité pour des utilisations telles que la menuiserie, la charpenterie, et la production de bois d'œuvre. Le volume fût est également exprimé en mètres cubes (m<sup>3</sup>).

**Volume total** : Le volume total d'un arbre sur pied est la mesure du volume de tout le bois contenu dans l'arbre, depuis la base du tronc jusqu'au sommet, y compris les branches. Ce volume inclut toutes les parties de l'arbre qui peuvent potentiellement être utilisées pour la production de bois, de pâte à papier ou d'autres produits. Le volume total est généralement exprimé en mètres cubes (m<sup>3</sup>). Cette mesure est importante pour évaluer la biomasse totale et le potentiel économique de la forêt.

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

# INTRODUCTION

L'avènement de l'industrialisation marque le commencement du monde moderne, suivi de l'après-guerre et de l'ère de la décolonisation. L'introduction du plan Marshall est perçue comme un catalyseur du développement par les économistes ainsi que le Président des États-Unis, Harry S. Truman. Dans son discours de janvier 1949, Truman utilisait pour la première fois le terme « sous-développement » pour distinguer les pays riches des pays pauvres (Simonia, 2008). Selon lui, tous les pays sont destinés à suivre un processus de développement économique similaire, certains étant en avance et d'autres en retard. Cette théorie prône un développement uniforme et universel, indépendamment de la culture, de l'histoire ou du contexte national.

Ainsi, les Nations Unies, ainsi que les institutions financières internationales telles que le Fonds Monétaire International et la Banque Mondiale, cherchent des moyens pour lutter contre la pauvreté. Les pays développés visent à maintenir et à accroître leur niveau de développement, tandis que les pays pauvres cherchent des moyens pour sortir de la pauvreté (Laure *et al.*, 2009).

De nombreuses stratégies sont employées par tous les pays, appuyées par des accords internationaux, des traités et des colloques pour atteindre l'objectif de réduction de la pauvreté dans le monde. C'est ainsi que naît le concept des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) (Juan, 2003). De nombreux pays montent en puissance, notamment les Nouveaux Pays Industrialisés d'Asie (NPIA), les pays émergents d'Amérique et d'Afrique, grâce aux progrès technologiques, à l'ouverture des frontières et surtout à l'industrialisation (Jean-Raphaël *et al.*, 2014). Cependant, ce développement s'accompagne toujours de conséquences néfastes pour l'environnement, telles que l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables et la destruction de la couche d'ozone par les gaz à effet de serre (GIEC, 2007).

En général, dans les pays développés, les industries, les essais nucléaires, la prolifération des automobiles, entre autres, sont à l'origine de la production de gaz destructeurs (Molina *et al.*, 2022), tandis que dans les pays en développement, les feux de brousse, la déforestation, l'exploitation du charbon de bois et d'autres formes de destruction des forêts prédominent. Il est important de noter que la disparition des forêts contribue à environ 10 à 15 % des émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre (GES) (Van der Werf *et al.*, 2009).

Ces dernières années, nous avons été témoins de l'effondrement de notre planète, et ces dommages ne s'arrêteront pas là. Au cours des 130 dernières années, la température planétaire a augmenté d'environ 0,85 °C. Au cours des 25 dernières années, cette

augmentation s'est accélérée, avec plus de 0,18 °C de réchauffement par décennie (Jonathan *et al.*, 2017). Le climat mondial est perturbé, voire menacé de déséquilibre.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le changement climatique est à l'origine d'au moins 150 000 décès par an, un chiffre qui pourrait doubler d'ici 2030 (Nathalie *et al.*, 2021). Selon le rapport du Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur l'Évolution du Climat (GIEC), dans quelques décennies, entre 75 et 250 millions de personnes en Afrique pourraient manquer d'approvisionnement en eau adéquat et être confrontées à une pénurie alimentaire, avec une réduction de la productivité agricole d'environ 50 %. Le nombre de catastrophes naturelles liées à la météorologie a plus que triplé depuis les années 1960, entraînant chaque année plus de 60 000 décès, principalement dans les pays en développement (GIEC, 2008).

Le climat affecte également la propagation du paludisme, qui tue près de 400 000 personnes par an, principalement des enfants africains de moins de 5 ans. Les moustiques vecteurs de la dengue sont également très sensibles aux conditions météorologiques, exposant potentiellement 2 milliards de personnes supplémentaires au risque de transmission de la dengue d'ici les années 2080 (Heather, 2022).

Les dommages directs pour la santé, sans tenir compte des coûts dans des secteurs vitaux, tels que l'agriculture, l'eau et l'assainissement, sont estimés entre 2 et 4 milliards de dollars US par an d'ici 2030. Le Fonds Mondial pour la Nature (WWF) rapporte qu'entre 1970 et 2007, la biodiversité mondiale a connu un déclin de 30 %, entraînant une diminution des services écosystémiques fournis (McCormick *et al.*, 2013).

Sans une réduction significative de nos émissions, les scientifiques estiment que nous nous dirigeons vers un réchauffement compris entre 2 et 6 °C d'ici 2100, avec des conséquences dramatiques pour les sociétés humaines et la biodiversité (Eric *et al.*, 2019).

Aujourd'hui, la gravité de la situation est désormais une prise de conscience générale. Aux États-Unis. La Cour suprême a ordonné au gouvernement fédéral de prendre des mesures pour réguler les émissions de CO<sub>2</sub> (Bekki *et al.*, 2021). Des manifestations ont eu lieu dans de nombreuses villes américaines, telles que Boston et New York, pour exhorter le gouvernement à réduire de 80 % les émissions de dioxyde de carbone d'ici à 2050. Environ 1300 événements ont été organisés sous l'égide de l'association Step It Up 2007.

En Australie, les habitants et les entreprises de Sydney ont éteint leurs lumières pour attirer l'attention sur le réchauffement climatique (GEO et AFP, 2022). Les entreprises comprennent également l'importance de mettre en œuvre des mesures respectueuses de l'environnement. Par exemple, le géant mondial des boissons, PepsiCo, a annoncé son intention d'acheter un milliard de kWh de crédits d'énergie renouvelable au cours des trois prochaines années. Cependant, la réduction des effets du réchauffement climatique dépend de l'engagement des pays émettant les plus grandes quantités de gaz à effet de serre.

Ainsi, le concept des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) a été abandonné en raison de ses objectifs, et le monde a opté pour les Objectifs de Développement Durable (ODD) depuis 2015, représentant déjà un grand défi pour la préservation de l'écosystème terrestre. Tous les pays doivent respecter l'environnement, limiter l'utilisation des ressources naturelles, en particulier celles qui sont non renouvelables, réduire les émissions de carbone, protéger les forêts, etc. Ces conditions rendent difficile la survie de nombreuses personnes, en particulier celles vivant dans des pays pauvres, où la déforestation incontrôlée est monnaie courante. Comment mettre fin à cette exploitation destructrice ?

Des solutions ont déjà été avancées par les chercheurs depuis longtemps. Par exemple, dès 1920, l'économiste de l'environnement et du bien-être, Alfred Pigou, a proposé pour la première fois une taxe sur les polluants, connue sous le nom de taxe pigouvienne. Selon Pigou, l'État devrait imposer une taxe au pollueur équivalente au dommage social marginal causé par son activité polluante. De même, en 1960, Coase a proposé des mécanismes d'internalisation négociée, aujourd'hui appelés systèmes de permis d'émission négociables ou marchés des droits de pollution.

De nombreuses initiatives sont mises en place pour contrer le phénomène du changement climatique lors des rassemblements de tous les pays pour chercher des solutions. Le plus important est celui qui a été développé à Kyoto au Japon, qui donne naissance au Protocole de Kyoto. Le dernier est un traité international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Actuellement, le Protocole de Kyoto (PK) compte 183 pays et une organisation économique régionale intégrée (Fabienne, 2021).

Pour faciliter ces réductions d'émissions, trois mécanismes de flexibilité sont définis dans le Protocole de Kyoto : un système d'échange de droits d'émission entre les pays de l'Annexe A, la Mise en Œuvre Conjointe (MOC) et le mécanisme de développement propre (MDP).

Le Mécanisme de développement propre se matérialise par la réalisation de projets qui permettent à la fois de réduire les émissions de GES et/ou d'augmenter les capacités de séquestration de carbone. Le MDP est le seul mécanisme prévu par le PK qui implique les pays du Sud, en leur permettant d'accueillir des projets de réduction d'émissions sur leur territoire (Mies, 2005). En effet, grâce au MDP, des projets énergétiques ou forestiers réalisés dans les pays du Sud peuvent recevoir des financements par la vente de crédits carbone à des pays de l'Annexe I, proportionnellement à leur réduction d'émissions ou à leur stockage (Jandl *et al.*, 2007).

Dans ce cadre, un marché international de crédits carbone a été mis en place. Selon les données diffusées par la Banque Mondiale en 2007 (Venmans, 2011), ce marché international concernait presque 3 Mt CO<sub>2</sub>e<sup>1</sup> correspondant à une valeur de 64 milliards US \$.

Pour les pays, comme Madagascar, ce crédit carbone représente une opportunité importante pour la préservation des forêts et la génération de revenus. Il faut noter que, depuis toujours, Madagascar dépend de la biomasse pour répondre aux besoins de sa population. Bien que le pays reste largement rural, avec 85 % de sa population vivant en milieu rural (Vincent *et al.*, 2023), il connaît une croissance démographique et urbaine rapide. Jadis appelée île verte, elle est progressivement devenue île rouge au fil des décennies. Chaque année, environ 36 000 hectares de forêts naturelles sont perdus à Madagascar (Hervé *et al.*, 2020), principalement en raison des feux de brousse, des pratiques agricoles de brûlis (Tavy), de la déforestation et la production de charbon de bois. Cette destruction continue menace gravement l'économie et l'environnement de Madagascar, ainsi que le patrimoine des générations futures. Pour préserver ses forêts et contribuer à la protection de la planète sur l'émission des gaz à effet de serre, Madagascar doit s'engager dans les solutions proposées par la communauté internationale, notamment le marché du carbone. En fait, ces dernières années, Madagascar a déjà commencé à vendre des crédits carbone grâce à des initiatives telles que le BNC-REDD+. En 2021, un contrat de 50 millions de dollars a été signé entre Madagascar et la Banque Mondiale pour la vente de crédits carbone (MEDD, 2021). Cependant, les détails de cette transaction restent encore flous pour la population Malagasy et nécessitent une clarification adéquate.

C'est pourquoi nous avons choisi comme sujet de recherche “ **Mécanisme de vente du carbone forestier : cas de la forêt sèche du Parc National d'Ankarafantsika**”.

Comment vendre le carbone forestier au profit de la forêt sèche du Parc national d'Ankarafantsika ?

Dans ce contexte, l'objectif général de notre recherche est de déterminer les conditions nécessaires pour vendre les crédits carbone forestiers, en particulier pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et protéger la forêt d'Ankarafantsika.

Il n'est pas facile de vendre des crédits carbone ; cela demande des compétences techniques, une méthodologie précise et des conditions. De plus, la forêt sèche d'Ankarafantsika fait partie des forêts qui ont subi des dégâts causés par l'activité humaine, ce qui nécessite une évaluation approfondie de son état.

Ainsi, les questions de recherche (QR) sont les suivantes :

QR1 : Comment l'état de la forêt sèche du Parc national d'Ankarafantsika va-t-il évoluer ?

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> e : équivalent en quantité de CO<sub>2</sub> des quantités de tous les GES autres que CO<sub>2</sub> : 1 t CH<sub>4</sub> = 23 t CO<sub>2</sub> et 1 t N<sub>2</sub>O = 296 t CO<sub>2</sub>.

QR2 : Quelles sont les conditions nécessaires pour commercialiser le carbone ?

QR3 : Quelle est la quantité de carbone stocké et le niveau des émissions référence des forêts de la forêt du Parc national Ankarafantsika ?

Pour atteindre l'objectif général, notre étude propose trois objectifs spécifiques (OS), tels que :

OS1 : Examiner les états de la forêt de la Parc national d'Ankarafantsika

OS2 : Identifier la procédure à suivre afin de promouvoir le crédit carbone.

OS3 : Déterminer les stocks de carbone stockés ainsi que le niveau des émissions référence des forêts de la forêt sèche d'Ankarafantsika.

Avant la mise en place de la recherche, des hypothèses (H) ont été formulées :

H1 : La forêt sèche du Parc national d'Ankarafantsika est en constante détérioration.

H2 : La vente du carbone doit respecter les règles établies par L'État Malagasy en commençant par la demande d'homologation de projet.

H3 : Le carbone stocké et le NERF d'Ankarafantsika sont déterminés en fonction des données dendrométriques des arbres et des Données d'Activités de la forêt

Ainsi, les résultats attendus (RA) de cette thèse sont donc les suivants :

RA1 : l'évolution de l'état de la forêt sèche du Parc national d'Ankarafantsika sera trouvée.

RA2 : l'élément clé qui joue un rôle crucial dans la procédure de vente de carbone à Madagascar sera connue.

RA3 : Les quantités de carbone stockées ainsi que les niveaux de référence des émissions des forêts seront déterminés.

Pour mener à bien notre recherche, nous suivons le plan IG MMRED. Nous présenterons les faits puis aborderons les généralités. Nous décrirons ensuite les matériaux et méthodes, suivis des résultats et des discussions, et conclurons par des recommandations.

## **PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS**

Cette partie consacre sur la revue de la littérature théorique et la revue de la littérature empirique qui parle respectivement de l'économie de l'environnement et de l'économie des ressources naturelles et enfin la présentation des ventes du carbone qui ont déjà effectués par l'Etat Malagasy depuis l'existence du marché de carbone.

## **I.1. REVUE DE LA LITTÉRATURE THÉORIQUE**

### **I.1.1. Approche de l'économie de l'environnement et économie des ressources naturelles**

Selon les auteurs néoclassiques, l'entrée de l'environnement dans la sphère économique se trouvait généralement gênée par le fait que le prix des biens et services environnementaux ne reflétait pas ou mal leur véritable valeur (Lemenager *et al.*, 2012). La théorie néoclassique va donc chercher à dégager un ensemble des règles d'allocation des ressources et des services naturels, en s'appuyant sur un système de prix de marché (Desreumaux, 2009). Ceci va déboucher sur deux problématiques distinctes : l'économie de l'environnement et l'économie des ressources naturelles.

Jusqu'au milieu des années 1980, l'économie de l'environnement et l'économie des ressources naturelles ont constitué deux disciplines qui se sont développées de façon indépendante (Fauchaux *et al.*, 1995). En fait, l'économie de l'environnement traite des modalités selon lesquelles peuvent être gérés (et éventuellement tempérés) les rejets, les pollutions ou les nuisances qu'entraînent les activités économiques. L'économie des ressources naturelles, quant à elle, s'intéresse à l'extraction des ressources naturelles (ensemble des biens non reproductibles par l'homme) et aux incidences des activités socio-économiques sur la reproduction des ressources naturelles.

#### **I.1.1.1. Approche de l'économie de l'environnement**

Cette approche soigne toutes les incidences provoquées par l'activité économique à l'environnement et la mauvaise utilisation des ressources. L'approche néoclassique de l'économie de l'environnement s'est donc donnée pour tâche de découvrir ces règles de gestion adéquates et de remédier à tous ces problèmes de mauvaise allocation des ressources (défaillances du marché).

Cette approche s'efforce de rétablir les conditions d'un échange marchand, oblige les économistes à repérer ce qu'ils appellent les effets externes ou externalités, puis l'internalisation des externalités et, enfin, la valorisation de l'économie de l'environnement.

#### **a. Effets externes**

L'externalité ou effet externe désigne une situation économique dans laquelle l'acte de consommation ou de production d'un agent influe, positivement ou négativement, sur la situation d'un autre agent non impliqué dans l'action, sans que ce dernier ne soit totalement compensé ou ait à payer pour les dommages ou bénéfiques engendrés.

Par exemple, l'activité de production de la firme A produit des conséquences dommageables pour l'activité de l'entreprise B (pertes de compétitivité, coûts supplémentaires). Ainsi, les effets externes sont analysés comme des défaillances par rapport au cadre de la concurrence parfaite, tel qu'il est défini par la théorie néoclassique.

Pour ces effets externes qui associent l'environnement, ils peuvent être positifs (apiculteur qui profite du champ de son voisin arboriculteur), mais, en général, associés plutôt à l'environnement et à l'effet externe négatif (fumée d'usine, nuisance des transports, bruits, déchets, pollution des eaux...).

#### **b. Internalisation des effets externes**

C'est un moyen de résoudre les problèmes des externalités et les défaillances de marché. Dans la plupart des cas, les solutions sont qualifiées plutôt d'ordre monétaire (Alain, 1992). Pour ce faire, les économistes de l'environnement ont posé deux philosophies d'intervention :

La première est l'approche réglementaire ou de type administratif qui recouvre toutes les interdictions et demandes d'autorisations légales ; les normes, qu'elles soient de qualité de l'environnement, d'émission d'effluents, de procédés techniques à adopter ou de produits à fabriquer.

La seconde est l'approche économique qui consiste à utiliser les mécanismes du marché en modifiant un prix relatif et en provoquant un transfert financier. Les instruments économiques s'appuient sur les mécanismes du marché pour encourager les producteurs et les consommateurs à limiter la pollution et à empêcher la dégradation des ressources naturelles. Leur logique est simple : il s'agit d'élever le coût des comportements polluants tout en laissant, aux producteurs ou aux consommateurs, toute flexibilité pour trouver eux-mêmes les stratégies de contrôle de la production à moindre coût.

Les instruments économiques sont, généralement, classés en trois catégories : régulation par les prix (taxes ou subventions) ; régulation par les quantités (permis d'émission négociables), établissement de règles de responsabilité (système de consignation, dépôts de garantie remboursables, pénalités de non-conformité).

### ***c. Interdictions et demandes d'autorisations légales***

Les interdictions et les demandes d'autorisation sont utilisées par l'Autorité publique afin de restreindre l'accès de certains produits au marché, dans une optique de protection de l'environnement et de santé publique (fameux principe de précaution). Cette philosophie repose en grande partie sur des décrets, des lois ou des directives européennes.

Diverses formulations existent, mais, de manière générale, le principe est que, s'il est reconnu qu'une action ou une décision est susceptible de causer des dommages environnementaux importants et irréversibles à grande échelle, et que des preuves scientifiques claires sur la gravité des dangers manquent, alors cette action ou décision doit être supprimée. Ce principe est introduit en France par la loi Barnier du 2 février 1995<sup>2</sup>.

### ***d. Réglementation***

Dans la tradition réglementaire, particulièrement forte dans certains pays, notamment en France, il est tenté de régler les problèmes d'environnement directement par des politiques de protection du capital naturel. Ces politiques mettent en place des objectifs de qualité. Elles fixent ensuite des limites à ne pas dépasser pour les émissions de polluants et l'extraction des ressources naturelles ou obligent à choisir tel type de processus productif, à l'aide d'un système d'autorisations et de contrôle (Yves, 2014).

Le non-respect de la réglementation établie (normes, autorisations, interdictions) est sanctionné pénalement, au même titre que la violation de toute règle juridique d'ordre public. La réglementation peut s'avérer utile en tant qu'internalisation institutionnelle permettant un engagement en amont pour assurer la prévention ou la réduction du dommage.

Des normes et des orientations politiques sont ainsi souvent établies, préalablement aux décisions de grands investissements publics ou privés (autoroute, aéroport, ligne de chemin de fer, etc.). Le processus d'internalisation repose alors sur une approche préventive des éventuels dommages. La fixation d'un seuil de prévention à ne pas dépasser en est le fondement et constitue le critère essentiel de cette internalisation.

### ***e. Taxes et redevances***

C'est Pigou (1920) qui a le premier proposé de mettre en place une taxe pour internaliser les externalités négatives. L'économie du bien-être, telle que la conçoit Pigou, est une interrogation sur les liens existant entre la recherche de l'intérêt individuel et la recherche de l'intérêt collectif.

Selon Pigou, l'État va jouer ce rôle de donneur de prix en imposant une taxe (dite pigouvienne) au pollueur, égale au dommage social marginal causé par son activité polluante. C'est le principe du pollueur-payeur :

---

<sup>2</sup> La Loi no 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, dite Loi Barnier (de Michel Barnier, ministre de l'Environnement du gouvernement Balladur), est une loi française qui renforce la protection de l'environnement.

L'entreprise polluante est alors correctement informée sur les véritables coûts sociaux de son activité. Avec cette taxe portant sur chaque unité de pollution émise, son coût de production est désormais plus élevé, tandis que son profit l'est moins. Mais la procédure d'internalisation pigouvienne n'est donc pas toujours facile à mettre en œuvre, à cause de l'imperfection de l'information pour déterminer les valeurs monétaires de dommage social marginal.

#### ***f. Permis négociable***

Il existe donc une filiation entre les modes d'internalisation négociée, tels que Coase (1960) a pu les proposer et qui sont appelés aujourd'hui systèmes de permis d'émission négociables (désignés également sous le terme de marchés de droits à polluer ou marché des droits de pollution).

Reconsidérant l'analyse de Pigou, Coase va contester l'optimalité sociale de la procédure d'internalisation des externalités, qui fait appel à un système de taxation et d'intervention de l'État. Coase met l'accent sur le caractère réciproque attaché à l'existence de toute pollution : d'un côté, celle-ci gêne l'agent économique qui en est victime, d'un autre côté, la réduction de la pollution nécessite de diminuer le niveau de la production polluante et contraint l'auteur de la pollution. Cela étant posé, Coase souligne que l'intérêt de l'ensemble des individus doit être pris en compte, et non pas seulement celui des victimes de l'externalité.

Reprenons l'exemple précédent, dans le cas d'une firme A (blanchisserie) polluant une rivière et d'une firme B (pisciculteur) subissant cette pollution. On aura alors les deux cas suivants : Si la firme A détient les droits de propriété sur l'usage de la rivière, l'entreprise B doit payer la firme A pour que celle-ci consente à réduire ses effluents. La firme B aura intérêt à le faire, tant que le coût que constitue pour elle ce paiement sera inférieur au dommage qu'elle subit du fait de la pollution.

De son côté, la firme A aura intérêt à accepter le paiement de la firme B tant que le bénéfice ainsi perçu sera supérieur aux coûts correspondant à la mise en place d'un procédé de dépollution. Si la firme B détient les droits de propriété sur la rivière, c'est l'entreprise A qui doit payer la firme B pour pouvoir utiliser celle-ci. Pour ce faire, la firme A doit comparer le coût que ce paiement induit et le coût qu'elle devrait supporter pour mettre en place un procédé de dépollution.

Dans les deux cas, un accord serait à trouver, quand les coûts marginaux de réduction de la pollution supportés par le pollueur seront couverts, dans le premier cas, par le consentement marginal à payer par la victime, et dans le second, par son consentement marginal à recevoir.

### ***h. Valorisation économique de l'environnement***

Précédemment, nous avons souligné que la détermination de la politique optimale de l'environnement nécessitait de pouvoir chiffrer monétairement les coûts et les dommages associés à cette externalité et aussi les paramètres à analyser sur le principe de coût-avantages. Pour illustrer les différents types de valeurs, nous reprendrons l'exemple des forêts. Une forêt est, tout d'abord, un actif dont l'exploitation fournit des produits pour lesquels existent des marchés. Parmi les produits classiques, nous pouvons citer les différents types de bois. D'autres produits moins classiques confèrent une valeur supplémentaire à la forêt : ce sont les produits médicinaux qui en sont tirés. En raison de ces utilisations possibles, la forêt a ainsi une valeur d'usage.

Comme beaucoup d'autres actifs environnementaux, leur valeur d'usage est augmentée parce qu'elle offre également des possibilités d'usages récréatifs, comme la promenade, la chasse, la pêche. (Élodie *et al.*, 2009).

– La théorie néoclassique considère qu'une chose n'a de la valeur que par l'utilité qu'elle a aux yeux de celui qui l'examine.

– Plus une chose est utile, plus elle a de valeur aux yeux de l'économiste néoclassique. Mais l'utilité des choses est liée à la quantité de celles-ci dont nous pouvons disposer. Plus un bien est rare, plus on peut supposer qu'il apportera d'utilité à un individu et plus celui-ci consentira à payer plus cher pour l'acquérir.

En ce qui concerne les techniques d'évaluation économique, elles sont classées en deux groupes : les procédures d'évaluation directes et indirectes.

#### **I.1.1.2. Approche de l'économie des ressources naturelles**

L'économie des ressources naturelles est l'autre élément de la réponse de la théorie néoclassique à la question de l'environnement. Ce dernier apparaît alors comme un stock de ressources, lesquelles peuvent être renouvelables ou non, qu'il faut gérer de façon optimale à travers le temps. Il s'agit là d'une problématique économique d'allocations intertemporelles des ressources dont les fondements furent posés par Hotelling en 1931.

##### ***a. Règle d'Hotelling***

Certaines ressources naturelles sont en quantité importante, au moins localement, ou bien se renouvellent rapidement sans intervention humaine. Elles ne nécessitent pas une gestion particulière, c'est le cas du dioxygène, de l'eau de mer ou de la lumière du soleil. D'autres ressources naturelles sont irréversiblement extraites, telles les minerais, le charbon, le pétrole, le gaz ou bien certains arbres qui ont une vitesse de renouvellement très lente, ce qui complique leur gestion.

Dans son article *The Economics of Exhaustible Resources*, Hotelling introduit la relation prix-taux d'extraction d'une ressource naturelle pour sauvegarder l'héritage intergénérationnel et l'influence des monopoles (Hotelling, 1931). Dans un premier temps, Hotelling s'attaque à la philosophie du mouvement conservationniste américain qui prônait un ralentissement, voire un arrêt de l'extraction des ressources naturelles au moyen d'une augmentation de leurs prix – y compris par le biais de taxes imposées par l'État.

Ce mouvement remettait en cause le productivisme et le consumérisme de la société américaine, et entendait défendre d'autres valeurs. Dans un second temps, il s'attaque aux situations de monopoles afin de montrer la supériorité en matière de gestion des ressources naturelles de la concurrence réputée pure et parfaite.

### ***b. Halte à la croissance : le Rapport Meadows (1972)***

Le Club de Rome a demandé, en août 1970, au Groupe d'étude de dynamique des systèmes du Massachusetts Institute of Technology (MIT) d'entreprendre l'étude des tendances d'un certain nombre de facteurs qui déréglaient la société. Ce groupe a ainsi cherché à définir les limites matérielles qui s'opposent à la multiplication des hommes et les contraintes résultant de leurs activités sur la planète.

La problématique des auteurs du rapport Meadows (1972), au titre évocateur «Halte à la croissance» fut définie de la manière suivante: «Dans ce contexte, partout les hommes sont confrontés à des théories de problèmes étrangement irréductibles et tout aussi insaisissables : détérioration de l'environnement, crise des institutions, bureaucratie, extension incontrôlable des villes, insécurité de l'emploi, aliénation de la jeunesse, refus de plus en plus fréquent des systèmes de valeurs reconnus par nos sociétés, inflation et autres dérèglements monétaires et économiques... Ces problèmes, en apparence différents, ont en commun trois caractéristiques.

Premièrement, ils s'étendent à toute la planète et y apparaissent à partir d'un certain seuil de développement, quels que soient les systèmes sociaux ou politiques dominants. Deuxièmement, ils sont complexes et varient en fonction d'éléments techniques, sociaux, économiques et politiques. Finalement, ils agissent fortement les uns sur les autres, et cela d'une manière que nous ne comprenons pas encore.

Pour les auteurs du rapport, l'hypothèse du « statut-quo » (maintien des tendances constatées) tendrait inéluctablement vers une surchauffe suivie d'un effondrement (Bonnieux *et al.*, 2007). La cause de cet effondrement est la disparition de matières premières. À partir du moment où les investissements nécessaires pour maintenir un certain niveau de production ne peuvent plus compenser la dépréciation du capital, tout le système de la production industrielle s'effondre et entraîne l'effondrement des activités agricoles et des services dépendant de la production industrielle.

Pendant un certain temps, la situation est extrêmement dramatique, car la population, compte tenu du temps de réponse relativement long, continue à croître. Un réajustement progressif, mais vraisemblablement à un niveau plus bas, ne pourra se produire qu'après une période de recrudescence de la mortalité par suite de carence alimentaire et de détérioration des conditions d'hygiène et de prophylaxie : « Cela nous permet d'affirmer avec une quasi-certitude que, au cas où aucun changement n'interviendrait dans notre système actuel, l'expansion démographique et l'expansion économique s'arrêteraient au plus tard au cours du siècle prochain (avant l'an 2100, précisera le rapport) ». (Boisson de Chazournes, 1997). Le système s'effondre à la suite d'une pénurie de matières premières. Qu'advient-il si le stock des matières premières avait été sous-évalué ? Les auteurs du rapport sont formels :

C'est le niveau de la pollution qui serait la cause essentielle de l'arrêt de la croissance. Le taux de mortalité monte rapidement sous l'action conjointe des polluants et du manque de nourriture. À la même époque, les ressources s'épuisent dangereusement, bien que les réserves initiales aient été doublées, tout simplement parce que quelques années supplémentaires de consommation suivant une loi exponentielle ont été suffisantes pour accélérer leur disparition : « L'avenir de notre monde sera-t-il caractérisé par une croissance exponentielle suivie d'un effondrement ? » Si nous nous contentons de l'hypothèse selon laquelle rien ne sera changé à la politique actuelle, cela deviendra une certitude ».

À la logique explosive du rapport Meadows, les économistes opposèrent la prétendue vertu stabilisatrice des lois de l'offre et de la demande (Marion et Antoine, 2022). Les ressources naturelles furent assimilées à du capital dans les théories de la croissance. Il est suffisant de raisonner à partir d'une tradition fonctionnelle de production macroéconomique censée exprimer les contraintes technologiques auxquelles sont soumises l'économie : les ressources naturelles y sont considérées comme un facteur de production, une sorte de capital naturel, qui prend place à côté du capital conventionnel et du travail.

Une des dimensions essentielles de la discussion portant sur la poursuite de la croissance résidera dans le progrès technique et les possibilités de substitution entre facteurs de production macroéconomiques : si l'élasticité de substitution par rapport au prix est forte, l'épuisement de certaines ressources naturelles sera un événement parmi d'autres et non une catastrophe.

Dès lors, dans un système de prix conventionnel, la substitution entre les facteurs de production et le progrès technique permettront de maintenir la productivité de l'appareil de production et assureront une croissance « durable » malgré l'épuisement inéluctable de certaines ressources naturelles. Les générations futures disposeront, certes, de moins de capital naturel, mais en contrepartie recevront en héritage un volume de capital créé par l'homme (capital technique, capital humain), beaucoup plus important, ce qui leur permettra de maintenir leur niveau de vie.

En plus de l'efficacité, les auteurs néoclassiques, tels que Solow (1974) entendent garantir l'équité intergénérationnelle. Il suffit pour cela que toutes les rentes issues de la gestion intertemporelle optimale de l'épuisement des ressources naturelles soient investies dans du capital reproductible qui doit se substituer aux ressources naturelles utilisées dans la production. Ainsi, l'idée qu'à long terme l'économie tend naturellement vers un sentier de croissance équilibrée s'est trouvée réaffirmée au milieu des années 70 face aux tenants de la croissance zéro.

### ***c. Déforestation : illustration de l'épuisement des ressources naturelles***

Depuis plus de trente ans, les experts se focalisent sur les forêts naturelles<sup>3</sup> et s'alarment du déclin que rien ne semble enrayer (disparition au rythme de 16 millions d'hectares par an<sup>4</sup>). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'essentiel de la déforestation (15 millions d'hectares par an) se produit sous les tropiques, dans les pays en développement (Gorenflo *et al.*, 2011).

L'attention des occidentaux reste focalisée sur l'Amazonie (déforestation au rythme de 1,9 million d'hectares par an entre 1995 et 2000) (Kintisch, 2007). Toutefois, une analyse en termes relatifs révèle que c'est en Afrique que le déboisement a été le plus important. La pauvreté, la croissance démographique et la corruption sont les causes principales de ce phénomène.

Pour le combattre, le débat international s'est focalisé sur la lutte contre l'exploitation forestière illégale et l'établissement de régimes de certification permettant d'apporter aux consommateurs des preuves de la « durabilité » des conditions d'exploitation du bois utilisé.

Ces activités illégales sont difficiles à apprécier : il faut d'une part les détecter, puis ensuite les mesurer. Les unités de transformation locales, surdimensionnées, excèdent parfois largement la capacité de la forêt<sup>5</sup> à produire de la ressource de façon durable : c'est ce qui se passe en particulier en Indonésie, en Côte d'Ivoire... Les remèdes proposés pour lutter contre la déforestation ne manquent pas.

---

<sup>3</sup> On oppose les forêts naturelles composées d'arbres « indigènes » aux plantations réalisées par l'homme.

<sup>4</sup> L'hypothèse selon laquelle les forêts tropicales auront pratiquement disparu d'ici cinquante ans, ne serait donc plus irréaliste. Les conséquences pourraient alors être désastreuses : érosion des sols, inondations, modifications locales et imprévisibles de la pluviométrie, recrudescence des incendies (une forêt détruite laisse des résidus particulièrement inflammables), la disparition des fonctions de puits et de réservoir de carbone, diminution de la diversité biologique (plus de la moitié des espèces vivantes dans la forêt tropicale disparaîtrait).

<sup>5</sup> Le monde comprend 3 900 millions d'hectares de forêts, dont 95% sont des forêts naturelles et 5% des plantations forestières. Rappelons que la définition d'une forêt est en perpétuelle évolution. Elle est même devenue de plus en plus politique. Plus les pays déboisent, plus ils insistent pour élargir cette définition, afin de masquer l'étendue de leurs pertes réelles : on inclut de nouvelles espèces (l'hévéa), on réduit la taille des arbres (7 à 5 m).

La mise en place de filières responsables permettant de suivre le cheminement du bois – du prélèvement à la transformation, jusqu'à l'exportation et au débarquement – est présentée par les Organisations Non Gouvernementales (ONG) de défense de l'environnement comme une solution contre le commerce illicite et pour une gestion forestière durable. L'idée est de pousser les acquéreurs à n'acheter que du bois certifié comme provenant d'une exploitation forestière légale et durable, et d'obliger les entreprises à se lancer dans l'aménagement forestier durable pour conserver leurs parts de marché.

Le mécanisme soulève, cependant, quelques difficultés pratiques. La plus importante est de s'entendre sur le choix de ce que les spécialistes appellent Principes, Critères, Indicateurs (PCI), c'est-à-dire les règles caractérisant une gestion forestière durable et les moyens d'en contrôler l'application (Lescuyer, 2002). La complexité des enjeux forestiers et l'hétérogénéité des forêts font qu'il existe de nombreuses définitions concurrentes et qu'il est très difficile de s'entendre sur des PCI communs.

Nous sommes aujourd'hui en présence des deux systèmes principaux :

– Le système européen (Programme européen de forêts certifiées ou Pan European Forest Certification : PEFC) a été lancé le 30 janvier 1999 à Paris (Yves, 2014). Il concerne plus spécifiquement la gestion durable des forêts tempérées et boréales. Il retient un nombre considérable de PCI et met l'accent sur les fonctions écologiques de la forêt, plus particulièrement sur la préservation de la biodiversité. Ce système certifiant des forêts européennes qui ne sont pas menacées par la déforestation n'a cependant pas d'incidence directe sur les mécanismes de la déforestation qui sévissent dans les zones intertropicales.

– Les grandes associations de défense de l'environnement (WWF, Greenpeace, Les amis de la Terre...) militent pour un organisme mondial qu'ils ont constitué ensemble :

Le label que délivre Forest Stewardship Council (FSC) a vocation à s'appliquer à tous les types de forêts (tempérées, boréales, tropicales). Il bénéficie de l'antériorité (c'est le plus connu et le plus ancien) et couvre la plus grande surface forestière. Ce système propose des principes et des critères généraux, applicables partout, et toute une batterie d'indicateurs dont l'application doit être discutée au plan local.

Une bataille importante se déroule actuellement autour de la reconnaissance mutuelle des différents systèmes de certification. L'enjeu en est la distribution future du pouvoir entre ONG, entreprises et États dans le processus de certification, avec à la clé des conséquences économiques non négligeables. Quelle qu'en soit l'issue, la certification ne résoudra pas tous les problèmes de déforestation, car ceux-ci ne sont que partiellement liés au commerce international. La majeure partie du bois abattu dans les forêts tropicales est, en effet,

abandonnée ou utilisée sur place, comme bois de chauffage. Une faible partie seulement est exportée, de l'ordre de 16 % à 19 % (Issa *et al.*, 2021).

## **I.1.2. Cadres réglementaires à Madagascar**

### **I.1.2.1. Charte de l'Environnement**

Conformément à l'article 10 de la loi N° 90-033 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement Malagasy (Bertrand *et al.*, 2009), et ses modificatifs, les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une Étude d'Impact Environnemental (EIE).

Dans l'article 8 de la charte nationale de l'environnement, il a stipulé que chacun a son rôle dans la conservation de l'environnement « Il est du devoir de chacun de veiller à la protection du cadre dans lequel il vit, de prendre part à la gestion de l'environnement à travers la protection, la conservation, la valorisation, la restauration. » (Art. 8 de la Charte nationale de l'environnement).

### **I.1.2.2. Décret MECIE**

En application de cet article 10 de la Charte, le décret MECIE n°99-954 du 15 décembre 1999, modifié par le décret n° 2004-167 du 3 février 2004, fixe les règles et les procédures à suivre par les promoteurs pour la mise en œuvre d'une EIE (Aubert *et al.*, 2015). Selon le guide général du MEC, toutes les entreprises citées dans les annexes 1 et 2 du décret MECIE doivent faire l'objet d'un MEC du moment qu'elles n'ont pas encore formellement satisfait aux dispositions relatives à la procédure d'évaluation environnementale.

### **I.1.2.3. Code forestier**

Loi n° 97-017 du 8 août 1997 portant révision de la législation forestière. Cette loi est matérialisée par le décret numéro 98- 782 du 16 septembre 1998. Vu que nous exerçons des activités dans le secteur forêt dans le territoire Malagasy, il est important de mentionner ci-dessous le décret N°98-782 relatif au régime de l'exploitation forestière.

Cette législation vise tout simplement l'utilisation rationnelle de ressources forestières. Il est stipulé dans ce décret la délimitation de forêt en ce qui nous concerne « Art. 2 - Sont assimilés aux forêts : les terrains non boisés à vocation forestière, notamment pour la conservation et la restauration des sols, la conservation de la biodiversité, la régulation des systèmes hydriques ou l'accroissement de la production forestière dès qu'ils auront fait l'objet d'un classement tel que défini à l'article 43.

#### **I.1.2.4. Loi numéro 95-025 du 30 septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources renouvelables (GELOSE) :**

Cette loi nous intéresse du fait que la politique de gestion des ressources forestières à Madagascar est marquée par le mode de décentralisation de la gestion de ces capitaux forestiers à partir des années 90. Art 1 de la loi 96-025 ou loi GELOSE (Gaudieux *et al.*, 2014) : « en vue de permettre la participation effective des populations rurales à la conservation durable des ressources naturelles renouvelables, il peut être confié à la communauté de base, dans les conditions prévues par la présente loi, la gestion de certaines de ces ressources comprises dans les limites de leur terroir »

#### **I.1.3. Origine de la finance carbone**

En 1968, à Paris, a eu lieu la première réunion internationale autour de l'environnement : la Conférence internationale sur l'usage et la conservation de la biosphère, préparant le premier Sommet de la Terre, prévu à Stockholm en 1972 (CCNUCC, 2006). Il est à noter que les sommets de la Terre sont les principaux sommets internationaux consacrés à l'environnement et se tiennent tous les dix (10) ans.

Ces sommets sont des rencontres décennales entre dirigeants mondiaux organisées par l'ONU, avec pour but de définir les moyens de stimuler le développement durable au niveau mondial. Preuve du développement d'une culture mondiale de respect de l'environnement, les sommets de la Terre présentent un enjeu symbolique important. Ils visent à démontrer la capacité collective à gérer les problèmes planétaires et affirment la nécessité d'une croissance écologique. Ainsi, le sommet de 1972 a donné naissance au Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE).

Après la conférence qui s'est déroulée à Stockholm, en 1972, vient la convention de Washington Note, le 3 mars 1973, et la même année, la convention MARPOL. Puis, le sommet de la Terre de Nairobi et le protocole de Montréal (signé le 16 septembre 1987), qui s'est tenu en 1982 (Colette, 2008). Et en 1984, le Programme des Nations unies pour l'environnement organise la Conférence mondiale de l'industrie sur la gestion de l'environnement à Versailles, puis l'année d'après la Conférence internationale sur l'évaluation du rôle du dioxyde de carbone et autres gaz à effets de serre à Villach.

Puis vient la convention de Bâle réglementant le commerce des déchets en 1989 (Pérez Martin *et al.*, 2001), et en juin 1992, s'est présenté le sommet de la Terre de Rio de Janeiro (Ce sommet a lancé la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) dont les pays signataires se rencontrent annuellement depuis 1995). Par suite, la signature du protocole de Kyoto, le 11 décembre 1997, un texte d'une importance fondamentale engageant les pays signataires à diminuer leurs émissions en gaz à effet de

serre, avec des objectifs chiffrés, dans le but de limiter le réchauffement climatique. Sa mise en application et son suivi aboutissent à une conférence internationale quasiment tous les ans.

Ensuite, en 2002, le Sommet de la Terre de Johannesburg et la réunion du Conseil de sécurité des Nations unies en avril 2007 sur les changements climatiques et les dégradations de l'environnement. Et enfin, le sommet de Copenhague en décembre 2009, qui a été le dernier sommet mondial important, ayant pour but d'entamer la préparation de l'après-Kyoto. Ces conférences internationales indiquent l'importance de la protection de l'environnement, et surtout contre l'émission de gaz à effet de serre, et dont le texte le plus impliqué est le Protocole de Kyoto.

### **I.1.3.1. Protocole de Kyoto**

Le protocole de Kyoto est un traité international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques dont les pays participants se rencontrent une fois par an depuis 1995. Ce protocole a été signé le 11 décembre 1997 lors de la 3<sup>ème</sup> conférence annuelle des Parties (COP-3) à Kyoto, au Japon, il est entré en vigueur le 16 février 2005 et en 2010 a été ratifié par 141 pays. (Béatrice, 2006)

De cette définition, nous pouvons en tirer tout d'abord que l'entrée en vigueur de ce protocole a été difficile car, en réalité, il faut la réalisations de certaines conditions dont la ratification d'au moins cinquante et cinq (55) pays sur le traité, un chiffre qui n'a été atteint qu'en 2002 avec la ratification par l'Islande ; l'émission d'au moins cinquante et cinq pour cent (55 %) des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> par tous les pays l'ayant ratifié, qui n'est atteint qu'en 2004 avec la ratification par la Russie. Quatre et vingt-dix (90) jours après la ratification du dernier pays permettant de réaliser les conditions dites ci-dessus dans le but de valider le traité pour son application nationale dans chaque pays signataire.

En outre, à part cette difficulté de mise en œuvre, son élaboration et son suivi sont aussi ardues. En effet, le 1er au 12 décembre 1997, à Kyoto s'est déroulé l'ouverture des premières négociations, puis elles continuent à Buenos Aires le 2 au 14 novembre 1998 ; à Bonn, le 25 octobre et le 5 novembre 1999 ; à La Haye le 13 au 24 novembre 2000 ; revient à Bonn en juillet 2000 ; à Marrakech, le 29 octobre au 10 novembre 2001 ; à New Delhi, en Inde en 2002 ; à Milan, en Italie en 2003 ; à Buenos Aires, en Argentine en 2004 ; à Montréal en 2005 ; à Nairobi au Kenya le 6 au 17 novembre 2006 ; à Bali, en Indonésie le 03 au 14 décembre 2007 (CCNUCC, (2006 b).

Au 18 novembre 2005, quatre et vingt dix (90) jours après la signature du Protocole de Kyoto, 182 pays sur 192 pays indépendants ont ratifié, accepté, accédé ou approuvé ce protocole. Au 19 juin 2009, un seul pays au monde, les États-Unis, avait signé mais non ratifié

le protocole. Par ailleurs, d'autres pays n'ont pas encore signé le protocole, tels l'Afghanistan, la Somalie, le Taïwan, etc. Toutefois, ils ont ratifié le Protocole, comme le cas de Madagascar. En effet, Madagascar, non signataire jusqu'à maintenant, a ratifié le protocole le 24 septembre 2003 par le Parlement (Maljean-Dubois, 2005).

Mais, il faut remarquer que c'est ce protocole qui a permis la réduction des gaz à effet de serre et a donné naissance au marché du carbone, et malgré toutes ces difficultés, son mécanisme est très simple et souple. Ce mécanisme se divise en trois parties, à savoir : le Système des permis négociables, le Mécanisme de Développement Propre (MDP), la Mise en Œuvre Conjointe (MOC).

#### ***a. Système des permis négociables***

Le système des permis négociables fonctionne comme le marché boursier, mais ici, des entreprises vont s'échanger des quotas d'émissions qui leur ont été attribués soit dans le cadre de Kyoto (11 décembre 1997) soit par le marché européen du carbone (Lecocq, 2006). En effet, une entreprise étant déjà « propre », donc possédant encore des quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>, va pouvoir les vendre à d'autres entreprises qui dépassent leur nombre de quotas alloués. Ce marché va fonctionner par l'équilibre offre-demande, et le prix de la tonne de carbone variera en fonction de cet équilibre. Cela signifie que, si l'offre supérieur à la demande le prix de tonne du carbone va diminuer et inversement, si la demande supérieure à l'offre le prix de tonne du carbone augmentera.

#### ***b. Mécanisme de Développement Propre (MDP)***

Les Mécanismes de développement propre (MDP), qui permettent aux entreprises des pays développés, dits pays de l'Annexe A (souvent pays européens) de compenser leurs émissions en investissant dans des projets d'entreprise de pays en voie de développement, pays de l'Annexe B (qui, dans 80 % des cas, sont la Chine, l'Inde, le Brésil et la Corée du Sud) (Lacour, 2018).

Ainsi, en recevant des Unités de Réduction d'Émissions Certifiées (UREC), l'acheteur crée des projets « propres » dans un pays en voie de développement pour répondre à la restriction de quotas CO<sub>2</sub> imposée à son entreprise.

#### ***c. Mise en Œuvre Conjointe (MOC).***

Les transactions des Mises en Œuvre Conjointes (MOC) sont basées sur le même principe que les MDP, sauf qu'elles ne s'appliquent pas aux pays en voie de développement, mais à ceux en transition économique (comme la Russie ou encore les pays de l'ex-URSS) et cette fois l'entreprise sera en possession d'Unités de Réduction d'Émissions (URE) qui lui permettra de respecter son quota d'émissions CO<sub>2</sub>.

### **I.1.3.2. Naissance du REDD+**

Rio en 1992 et Kyoto en 1997 ont été deux opportunités manquées pour les forêts tropicales : aucune disposition ne fut créée pour aider les pays soucieux de préserver leurs forêts. Plus de 10 ans après, en 2005 à Montréal, le Costa Rica et la Papouasie-Nouvelle Guinée soulignent l'énorme impact de la déforestation sur le climat et appellent à la création, sous la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), d'un mécanisme de rémunération de la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) dues à la déforestation et à la dégradation forestière. Ainsi fut créé le concept « REDD » (Hourcade, 1998).

Deux ans après, en 2007 à Bali (COP-13), les pays à forte couverture forestière et faible taux de déforestation, pays du bassin du Congo en première ligne, insistent pour que le mécanisme soutienne les pays qui ont su par le passé conserver leurs forêts : ils réussissent à transformer « REDD » en « REDD+ », le « + » recouvrant la conservation, la gestion durable des forêts ou l'accroissement des stocks de carbone forestiers.

Depuis lors, après quatre ans de discussions dans le cadre de la CCNUCC, la communauté internationale a défini les grandes lignes du REDD+ permettant de donner une réalité au concept, de lever des fonds (engagement à Copenhague de six pays d'allouer 3,4 milliards d'US \$ pour le financement rapide du REDD+) et de mettre en place des actions pilotes de terrain.

Le principe du REDD+ est finalement assez simple : sous réserve de pouvoir démontrer qu'il a moins émis de GES (si contexte de déforestation ou de dégradation) ou plus absorbé de GES (si contexte de gestion durable des forêts existantes ou de boisement), un pays pourrait – dans le cadre de ce mécanisme onusien – recevoir des paiements proportionnels aux  $\text{teCO}_2$  non émises ou séquestrées.

De façon similaire, cette fois-ci à l'échelle d'un projet et dans le cadre de marchés carbone volontaires, des porteurs privés de projet REDD+ peuvent eux aussi recevoir des paiements pour les  $\text{teCO}_2$  non émises ou séquestrées.

### **I.1.3.3. REDD+, première brique d'un accord climatique post-2012**

Dans la course contre la montre lancée à Bali pour préparer un futur accord climatique post-2012, nul autre secteur des négociations n'a avancé à une telle vitesse, que ce soit dans le cadre des engagements contraignants de réduction d'émissions des pays développés ou des contributions volontaires de réduction d'émissions des pays en développement (Béatrice, 2012).

Il est clair que toutes les actions faites dans le REDD+ ont une importance capitale, non seulement pour la protection des forêts, mais aussi pour l'architecture de l'accord climatique post-2012 et la nature des contributions qu'y feront les pays en développement : Le REDD+ donne corps, avant l'heure, au concept d'Action d'Atténuation Appropriée au niveau National (AAAN, ou NAMA en anglais).

Cet accord s'avère quelques semaines plus tard, à Durban, incertain. Mais, la capacité de fédération des pays développés et en développement autour du REDD+, au-delà des divisions géopolitiques, est certaine.

Après l'échec de Copenhague, la « semi-réussite » de Cancun (COP-16) et avec l'obligation qu'a la communauté internationale de trouver rapidement un accord, le REDD+ a vocation à être le « lièvre » des négociations. Actuellement, une cinquantaine de pays – Madagascar inclus – développent ou sont sur le point de développer des stratégies nationales REDD+ dont les mises en œuvre seront supportées par la communauté internationale.

Ces financements ne se décident plus dans un cadre d'aide au développement traditionnel, mais dans une enceinte ouverte au dialogue Nord-Sud, afin d'optimiser l'allocation des ressources pour préserver deux biens publics mondiaux que sont le climat et les forêts tropicales. Une nouvelle gouvernance climatique est donc en négociation, dont le REDD+ sera un maillon important.

### **I.1.4. Marché du carbone**

Le marché du carbone est un marché virtuel sur lequel on achète et on vend des crédits carbone (Conil-Lacoste *et al.*, 2006). En termes simples, dans le marché du carbone, un accord est passé entre un acheteur et un vendeur de crédits carbone.

Il existe deux grands types de marchés carbone, à savoir : les marchés réglementés, les marchés volontaires. Les principaux acteurs sont des entreprises, les particuliers et les institutions ou les associations. Tous les achats sont à titre de compensation.

La dernière se réalise à travers des projets permettant soit de capter le CO<sub>2</sub> (plantation d'arbres, puits de carbone) soit de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> (efficacité énergétique, énergies renouvelables à la place d'énergies fossiles). Commençons cette section sur le marché volontaire.

#### **I.1.4.1. Marché volontaire**

En parallèle du marché réglementé, s'est développé un marché volontaire, régi par les mêmes principes que ceux du MDP. Il présente l'avantage de permettre un enregistrement des projets et des crédits (VER – Verified Emissions Reduction) moins coûteux et, dans certains cas, moins lourds que le marché réglementé (Kebe *et al.*, 2011). L'abaissement des barrières d'accès au marché et à l'innovation présente un intérêt certain pour les ONG, pour qui ce marché volontaire est a priori plus adapté. Il répond également aux besoins d'entreprises qui souhaitent volontairement compenser leurs émissions de carbone, en lien avec une démarche RSE, par exemple. Des crédits générés sur un projet MDP (CER) peuvent enfin être achetés par des acteurs volontaires qui ne sont pas contraints par des respects de quotas d'émissions.

#### **I.1.4.2. Marché réglementé**

Le Canada et le Japon sont sortis du protocole de Kyoto. L'Union européenne, depuis la conférence de Durban en 2011, prend des engagements au rabais sur la réduction d'émissions et sur les plafonds d'émissions fixés. La limite est fixée par les capacités et par la volonté d'engagement politique de chaque pays, et non plus par les objectifs conseillés par les scientifiques.

Un nouvel accord global contraignant devrait entrer en vigueur en 2020. Les négociations devraient commencer en 2013, mais aucun cadre politique n'est prévu pendant la période de transition.

À l'échelle européenne, le marché réglementé d'échange de quotas, EU-ETS, devrait également subir quelques évolutions. Sur la période 2013-2020, l'UE tentera de restaurer la confiance des marchés. D'autres secteurs seront intégrés : le transport aérien, la pétrochimie, la production d'aluminium et d'ammoniac.

Les deux mécanismes de projet MDP et MOC seront reconduits, mais devraient exclure le HFC et le N<sub>2</sub>O (acide adipique). Depuis la fin 2012, il n'est plus possible d'enregistrer des projets MDP dans les pays émergents, ceci pour orienter les financements carbonés vers les pays les moins avancés, dans une logique de développement. Le MDP devrait profiter d'un renouvellement de la demande, avec la naissance de marchés nationaux (Japon, Australie, Nouvelle-Zélande, etc.) (Granier, 2012).

De nouveaux secteurs seront éligibles au MDP, tels que le secteur du bâtiment, du transport, de l'agriculture, grâce à l'approbation de nouvelles méthodologies de projet permettant de générer des crédits carbone sur ces secteurs.

Des innovations grâce aux ONG La « demande supprimée » (Supressed Demand) a été initiée par les ONG et est aujourd'hui reconnue et intégrée dans la méthodologie carbone développée par l'ONU (UNFCCC) et par le Gold Standard. Les pays du Sud ne sont pas attractifs pour les acteurs de la finance carbone, car « trop pauvres pour polluer ». L'idée est donc d'anticiper les émissions futures de CO<sub>2</sub> en les réduisant dès aujourd'hui. Cette méthodologie permet ainsi aux pays les plus défavorisés de bénéficier de la finance carbone.

### I.1.4.3. Comparaison de marché régulé et de marché volontaire

Parallèlement au MDP et en dehors du Protocole de Kyoto, des individus, des entreprises ou institutions ont fait le choix de se lancer dans une démarche volontaire de compensation de leurs émissions de gaz à effet de serre. C'est le marché dit « volontaire » (Alice, 2018). Le tableau ci-dessous va montrer la comparaison entre ces deux marchés.

**Tableau I : Comparaison entre Marché régulé et le Marché volontaire**

LE MARCHÉ RÉGULÉ MDP	MARCHÉ VOLONTAIRE
Les crédits générés par le projet doivent être utilisés pour atteindre la conformité avec les objectifs du Protocole de Kyoto. Les méthodologies sont approuvées sous le Protocole de Kyoto et sont régulées par les Nations Unies (UNFCCC).	Les acheteurs du marché volontaire ne sont pas contraints d'acheter des droits d'émission mais ils agissent de manière volontaire. Les crédits ne peuvent en revanche pas être utilisés par les pays développés pour atteindre les objectifs fixés par le Protocole de Kyoto.
Les projets MDP sont enregistrés auprès du Conseil Exécutif du MDP mais suivent les mêmes étapes de validation et de vérification qu'un projet sur le marché volontaire.	Les projets du marché volontaire sont supervisés par une Entité Opérationnelle Désignée (EOD) ou une Entité Indépendante Accréditée (EIA) et des standards de compensation internationaux viennent garantir la qualité des crédits générés (Gold Standard, VCS, etc.).
Les réductions effectives auxquelles ces projets aboutissent donnent lieu à des crédits appelés « Unité de Réduction Certifiée des Emissions » (URCE), aussi appelées « Certified Emission Reductions » (CER) en anglais	Les réductions effectives auxquelles ces projets aboutissent donnent lieu à des crédits appelés « Unité de Réduction Vérifiée des Emissions » (URVE), aussi appelées « Verified Emission Reductions » (VER) en anglais.
Les réductions d'émissions doivent être réalisées dans les Pays Moins Avancés (PMA) et les projets doivent participer au développement durable dans les pays d'accueil.	Le marché volontaire est plus ouvert aux petits porteurs de projet. La lourdeur administrative est en effet moins importante et restrictive que dans le cadre du MDP.

**Source : Auteur, 2022**

## **I.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE EMPIRIQUE**

Bien que le progrès mondial ait été lent, la vente de crédits carbone est désormais une tendance en plein essor à Madagascar. Les enquêtes et les recherches ont révélé que Madagascar a déjà vendu des crédits carbone, en plus l'État malgache, à travers le Bureau national de coordination pour la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (BNC-REDD+) a déjà fait l'inventaire du carbone stocké dans toutes les formations forestières à Madagascar. Les détails de ces transactions seront exposés ci-dessous :

### **I.2.1. Première vente de crédit carbone à Madagascar**

Le 12 février 2014, la Wildlife Conservation Society (WCS) a annoncé que le gouvernement de Madagascar avait conclu les premières ventes de crédits carbone du pays (Rhett, 2014) avec Microsoft, en partenariat avec The CarbonNeutral Company, et le Zoo de Zurich (Annexe XXI). Ces ventes de crédits carbone soutiendront le projet REDD+ (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts, plus la conservation) du gouvernement malgache dans le parc naturel de Makira, marquant ainsi la première vente de crédits carbone REDD+ soutenue par un gouvernement en Afrique. Depuis 2003, la WCS travaille à Makira et est le gestionnaire délégué du parc, chargé de la mise en œuvre du projet REDD+ visant à protéger le Parc Naturel de Makira, l'une des plus grandes aires protégées de Madagascar. Le volume de crédit carbone dans cette vente s'élève à 710 588 tCO<sub>2</sub>. Le projet REDD+ de Makira est validé et certifié par le VCS (Verified Carbon Standard) et a reçu la certification GOLD de l'Alliance Climat, Communauté et Biodiversité.

### **I.2.2. Vente de crédit carbone Emission Reduction Program in Atiala Atsinanana (ERP-AA)**

En 2020, Madagascar a bénéficié d'un financement du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier pour la préparation du pays au mécanisme REDD+. Un contrat de vente de crédits carbone a été ratifié avec la Banque mondiale pour les forêts de la côte Est de Madagascar.

Ce contrat de vente est désigné sous le nom de ERP-AA, soit le Programme de réduction des émissions Atiala Atsinanana (PRE AA) ou Emission Reduction Program in Atiala Atsinanana (ERP-AA). Le programme Atiala Atsinanana comprend actuellement 15 initiatives d'aires protégées couvrant 60 % du programme et mises en œuvre par 06 promoteurs. Alors que la déforestation au sein des noyaux de conservation est relativement stabilisée, chaque initiative du Programme est délimitée par une zone tampon de 2,5 km autour de l'aire protégée, dans laquelle le principal défi sera de réduire le taux de déforestation.

Les promoteurs s'engagent à poursuivre leurs responsabilités en tant que gestionnaires délégués de l'aire protégée et investissent dans la conservation et la restauration.

Ce programme de réduction des émissions s'étend sur 5 ans, de 2020 à 2024. La valeur de ce contrat s'élève à 50 000 000 \$, équivalant à 10 000 000 TCO<sub>2</sub>, avec un prix de 5 \$ par tonne de CO<sub>2</sub>. Le 4 décembre 2023, Madagascar a reçu le premier paiement pour les crédits carbone de l'année 2020, d'un montant de 8,8 millions de dollars pour 1,76 million de tonnes de dioxyde de carbone (Banque mondiale, 2023) (Voir annexe XX).

### **I.2.3. Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar en 2017**

En janvier 2018, le Bureau National de Coordination REDD+ a publié les niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar pour l'année 2017. Pour la période de référence allant de 2005 à 2013, les données d'activités sont les suivantes : Les forêts humides couvrent une superficie de 20 916 hectares, les forêts sèches s'étendent sur 56 277 hectares, les forêts épineuses occupent une superficie de 24 925 hectares, et les mangroves couvrent 433 hectares.

Suite à de nombreux calculs, les valeurs des facteurs d'émissions pour ces différents types de forêts ont été déterminées : 521.86 tCO<sub>2</sub>/ha pour les forêts humides, 144.62 tCO<sub>2</sub>/ha pour les forêts sèches, 41.89 tCO<sub>2</sub>/ha pour les forêts épineuses, et 213.83 tCO<sub>2</sub>/ha pour les mangroves. Par conséquent, les Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF) pour les forêts de Madagascar en 2017 sont les suivants : 11 704 558 tCO<sub>2</sub>/an pour les forêts humides, 8 501 760 tCO<sub>2</sub>/an pour les forêts sèches, 1 104 960 tCO<sub>2</sub>/an pour les forêts épineuses, et 92 661 tCO<sub>2</sub>/an pour les mangroves, totalisant ainsi 21 403 938 tCO<sub>2</sub> (BNC REDD+, 2018).

## **DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIELS ET MÉTHODES**

Cette partie représente toutes les méthodes utilisées pour réaliser cette recherche, qui va commencer par la présentation de notre champ d'études. Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, il est important d'expliquer l'origine du nom Ankarafantsika. Ce terme est une dérivation de Garafantsy, qui signifie littéralement « Montagne d'épineux ». Il évoque une époque où ces forêts étaient empreintes de terreur et de mystère en raison de la présence de Ravelobe, un patriote devenu bandit de grand chemin, qui terrorisait les voyageurs. « Garafantsy » désigne également un individu rusé et effrayant.

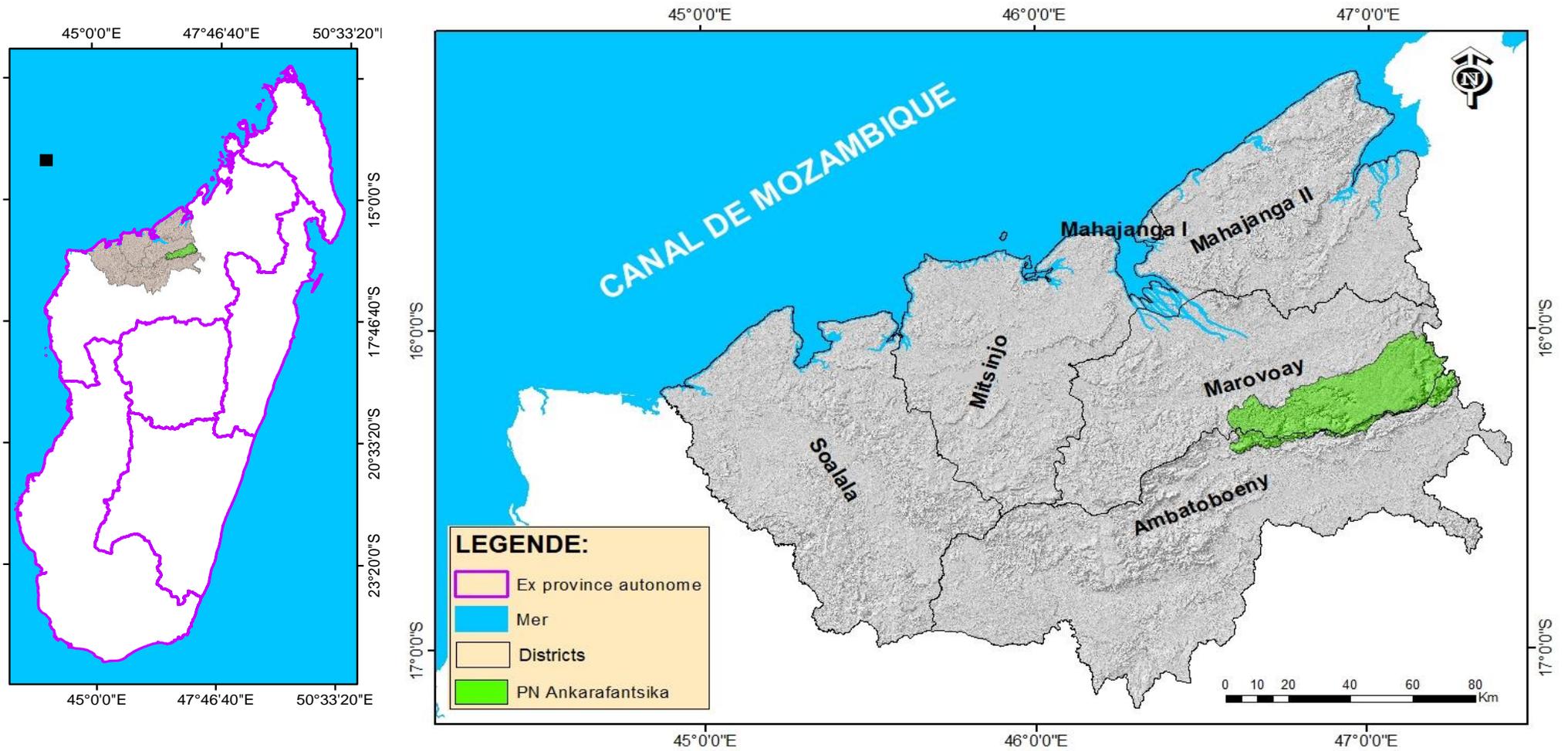
## **II.1. MATÉRIELS**

### **II.1.1. État de lieu du parc national d'Ankarafantsika**

#### **II.1.1.1. Localisation du Parc National d'Ankarafantsika**

Le Parc National d'Ankarafantsika est situé au nord-ouest de Madagascar dans la Région Boeny à 114 km de la ville de Mahajanga, partagé par les districts Ambato Boeny et Marovoay (Ramananandro, 2014). S'étend sur une superficie de 130 026 ha, ce qui lui fait l'une des plus grandes aires protégées de Madagascar (Plan d'aménagement et de gestion- Parc national Ankarafantsika, 2010). Ses coordonnées géographiques sont comprises entre les latitudes 16°00' à 16°20' Sud et les longitudes 49°15' à 49°99' Est. Les altitudes s'élèvent de 70 m à 210 m (Bigot *et al.*, 2018).

La forêt du parc est une forêt dense du type caducifolié reposant sur un sol sableux. Celle-ci est dominée par des légumineuses, Euphorbiacées, Moracées et Apocynacées. En termes de conservation, environ 823 espèces y ont été inventoriées, 82 % des plantes herbacées et 92 % des plantes ligneuses sont endémiques (Pons *et al.*, 2003). Pour la température, pendant la saison humide, la température mensuelle moyenne peut atteindre jusqu'à 30,0 °C alors qu'elle est de 27,1 °C pendant la saison sèche. Ainsi, la précipitation mensuelle moyenne de la région du Parc national Ankarafantsika varie de 08,2 mm à 668,7 mm durant les périodes humides. La saison sèche est marquée par une absence totale de pluie. Ci-après, la présentation cartographique de la Région Boeny et du Parc National d'Ankarafantsika (figure 1).



### II.1.1.2. Végétation et flore

La forêt du parc, qui repose sur un sol sableux, est une forêt dense de type caducifolié. Elle est principalement composée de légumineuses, d'Euphorbiacées, de Moracées et d'Apocynacées. Du point de vue de la conservation, cette forêt mérite une attention particulière, car elle abrite environ 823 espèces, dont 82 % sont des plantes herbacées et 92 % sont des plantes ligneuses endémiques (Aymoz *et al.*, 2013).

### II.1.1.3. Herpétofaune

Le parc est très riche du point de vue faunistique. Il abrite presque toutes les classes du règne animal comme :

- Les Amphibiens composés de 14 espèces, dont 12 espèces sont endémiques de Madagascar ;

- Les reptiles (d'après la classification traditionnelle) avec 70 espèces dont 60 % sont endémiques de l'île et deux espèces (*Chamaeleo engeli* et *Pygomeles petteri*) endémiques de la région ;

- Les Oiseaux avec 129 espèces ;

- Les Mammifères composés par 30 espèces dont 8 espèces de lémurien à savoir *Propithecus coquereli*, *Avahi occidentalis*, *Lepilemur edwardsi*, *Microcebus murinus*, *Microcebus ravelobensis*, *Cheirogaleus medius*, *Eulemur mongoz*, et *Eulemur fulvus* (Muttенzer, 2012)

## II.1.2. Matériels utilisés pour l'inventaire

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de l'inventaire national réalisé par le Ministère de l'Environnement et du Développement durable, ce qui constitue une opportunité pour moi de participer activement sur le terrain.

Quatorze équipes techniques, provenant de différentes directions du ministère de l'Environnement et du Développement durable, ont été mobilisées. Nous avons été formées pour collecter des données forestières dans l'écorégion de l'est et de l'ouest de Madagascar. Chaque équipe était composée d'un chef d'équipe, de techniciens spécialisés en foresterie et en écologie, ainsi que d'un représentant local ou d'un agent cantonné dans les districts. Des personnes de la région ont été engagées pour accompagner l'équipe sur le terrain, agissant en tant que guides, parataxonomistes et porteurs.

Pour accéder aux zones d'inventaire, nous avons utilisé des véhicules tout-terrain, des pirogues et d'autres moyens de transport adaptés afin de respecter les délais impartis et d'atteindre efficacement les zones d'inventaire. La durée totale des travaux d'inventaire s'est étalée sur environ 90 jours. Pour ma part, j'ai été intégré à l'équipe opérant dans la zone nord-ouest, comprenant notamment le Parc national Ankarafantsika parmi les zones à inventorier.

Pour la réalisation de cette mission, nous avons utilisé plusieurs matériels, à savoir :  
Matériels de transport :

– Un véhicule type 4 x4 pour le transport de l'équipe que nous allons voir ci-dessous.



**Photo 1 : Voiture utilisée pour transporter l'équipe durant la descente sur le terrain à Ankarafantsika**

**Source :** Auteur, 2019

Les matériels d'inventaire proprement dits, sont les matériels spécifiques pour les mesures dendrométriques et prélèvements divers (collecte d'échantillons de bois), GPS pour

la localisation des grappes et du centre des placettes, Hypsomètre, Relascope, Jalon, Boussole pour l'orientation du transect et pour le respect des azimuts.

Ci-dessous les photos des matériels que nous avons utilisés sur le terrain.



**Photo 2 : Photos de Vertex et de Relascope**

**Source :** Auteur, 2019

- Décamètre pour la délimitation des placettes, Ruban dendrométrique et OSM pour la mesure du diamètre à hauteur poitrine (DHP), Couteau GM et Relascope.



**Photo 3 : Quelques matériels et équipements utilisés lors de l'inventaire**

**Source :** Auteur, 2019

- Flag, Corde nylon 100m, Pile alcaline MM pour GPS, Bêche, Marteau, Craie de bois, Fer 6 de 12m, Sécateur.



**Photo 4 : Image d'utilisation de cordes pour délimiter les placettes lors de l'inventaire**

**Source : Auteur, 2019**

Matériels de camping : les zones d'inventaire sont presque isolées nous avons donc été obligés d'apporter les équipements de camping.

## **II.2. MÉTHODES D'ÉTUDES PROPREMENT DITES**

Il faut souligner que plus de 80 % des méthodes concernent les études documentaires et le reste sont des études empiriques. Mais compte tenu de sa complexité, cette fois-ci les études empiriques sont plus amples pour cette recherche.

### **II.2.1. Documentations et Études cartographiques**

#### **II.2.1.1. Documentations**

Elle se concentre sur la collecte de données documentaires auprès de diverses entités en utilisant des recueils bibliographiques et des ressources en ligne. À cet effet, plusieurs centres de documentation ont été visités (bibliothèque universitaire, bibliothèque virtuelle, CIRAD, etc.), complétés par de nombreuses sources sur des sites Web.

Des séances d'enquête ont ensuite été menées auprès des parties prenantes telles que la Wildlife Conservation Society (WCS), l'Office national pour l'environnement (ONE), Conservation International (CI), le Bureau national de coordination pour la réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation des forêts (BNC-REDD+) et la Direction Générale des Forêts (DGF).

#### **II.2.1.2. Études cartographiques**

Les données cartographiques comprennent un ensemble d'informations spatiales telles que les cartes topographiques, les données thématiques et les images satellites. Elles sont utilisées pour analyser l'évolution de la couverture forestière en suivant les directives méthodologiques de REDD+ Madagascar, visant à déterminer les méthodes les plus adaptées aux cadres méthodologiques du Fonds Carbone, du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier (FCPF) et du VCS. Cette approche s'inspire également d'une étude antérieure réalisée par Grinand *et al.* (2013) dans le cadre du Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF).

### **II.2.2. Inventaire floristique**

Il s'agit de la méthode d'échantillonnage au sein des placettes d'inventaire forestier et écologique. La mise en place a été faite à l'aide d'utilisation des images satellites, du radar. Il faut bien souligner que Madagascar est divisé par grilles de 4 km x 4 km (MEEF, 2018), ce sont les points de repères pour installer les placettes. Les manipulations réalisées dans cette procédure ont été faites sous le logiciel SIG QGIS 3.

### II.2.2.1. Dispositif d'inventaire : Unité d'échantillonnage

#### a. Grille d'inventaire

La grille nationale de 4 km x 4 km de côté élaborée par les équipes de la Direction Générale des Eaux et des Forêts (DGEF) et du Bureau National de Coordination du Changement Climatique (BNCCC REDD+) durant l'inventaire des forêts de mangroves et épineuses a été utilisée. Le nœud de la grille constitue le centre de la placette. L'objectif étant d'avoir les informations correspondantes au centre de la placette de CollectEarth. Ce qui va permettre par la suite le suivi en permanence à partir de la télédétection. Les informations obtenues sur le terrain sont liées à ces points. Ci-jointe la figure montrant l'illustration des positionnements de ces grilles.

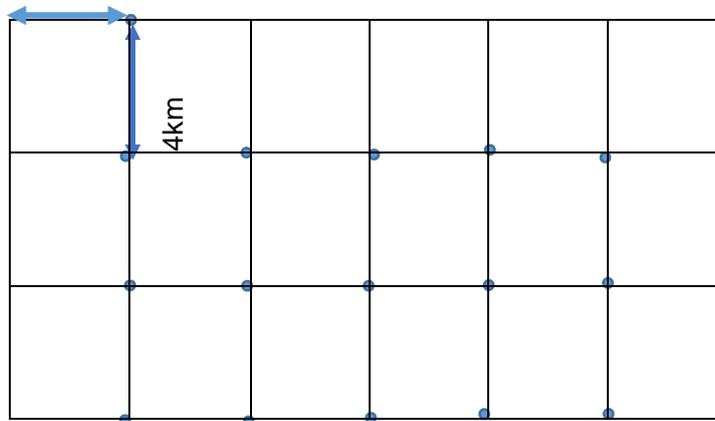


Figure 2 : Grille d'inventaire forestier 4 x 4 km de côté

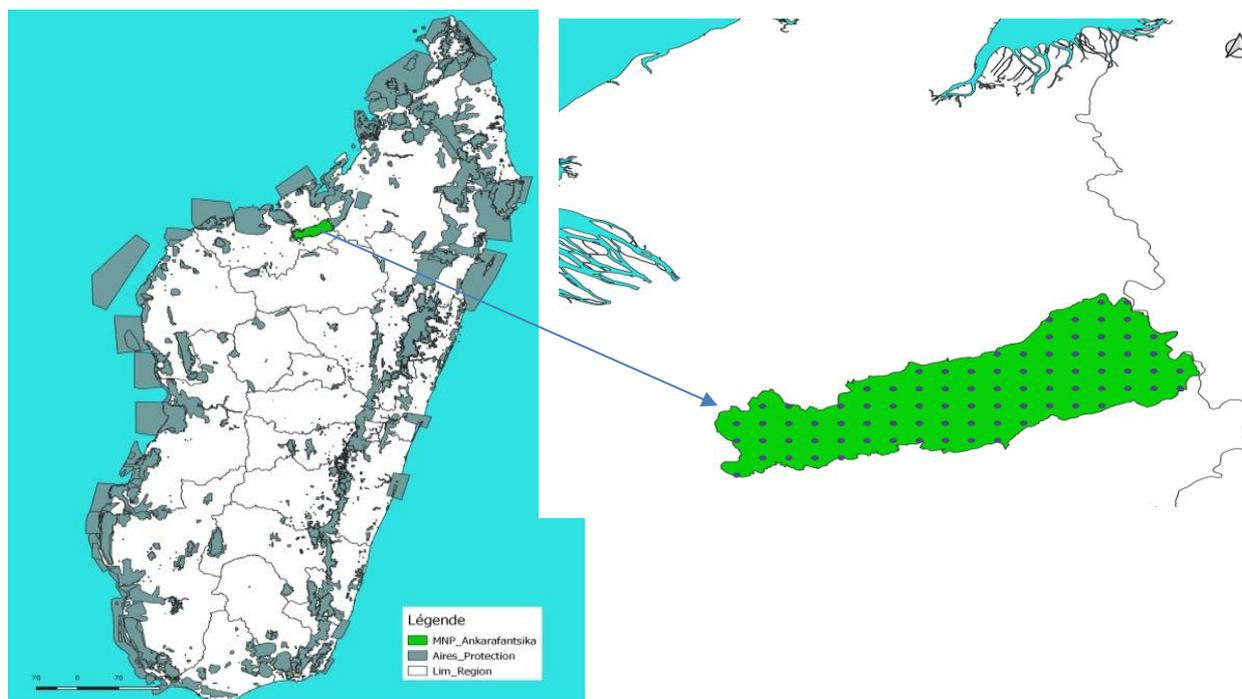
### II.2.2.2. Plan d'implantation des placettes

#### a. Procédure à suivre pour avoir les placettes d'inventaire

- Extraction de la limite MNP Ankarafantsika dans la couche Aires de protection, sélection dans la table attributaire de l'Aires de protection >> enregistrement de la sélection dans une nouvelle couche.

- Superposition et extraction des points de la grille nationale avec la couche MNP Ankarafantsika, sélection par localisation des points à l'intérieur de la couche MNP\_Ankts.shp.

Une fois les placettes établies, les coordonnées du centre de chacune d'entre elles ont été enregistrées et saisies dans un GPS pour permettre d'y accéder facilement. Dans cette étude, 83 placettes ont été inventoriées à l'intérieur du Parc Ankarafantsika. Ci-après, la figure qui montre la configuration des placettes d'inventaires à Ankarafantsika.



**Figure 3 : Configuration des placettes MNP Ankarafantsika**

**Source :** Auteur 2018

Toutes les placettes ont une forme carrée étant donné que c'est la forme la plus adaptée en forêt naturelle (BNC-REDD+, 2018), avec une dimension de 50m x 50m.

### **II.2.3. Plan d'échantillonnage**

#### **II.2.3.1. Description de l'unité d'échantillonnage**

Pour les forêts sèches de l'Ouest, le système de placette a été adopté afin d'obtenir la variation locale. L'unité d'échantillonnage est une placette carrée de 50 m de côté qui est plus facile d'avoir le 0,5 ha relatif à la définition de la forêt pour l'évaluation du stock de carbone.

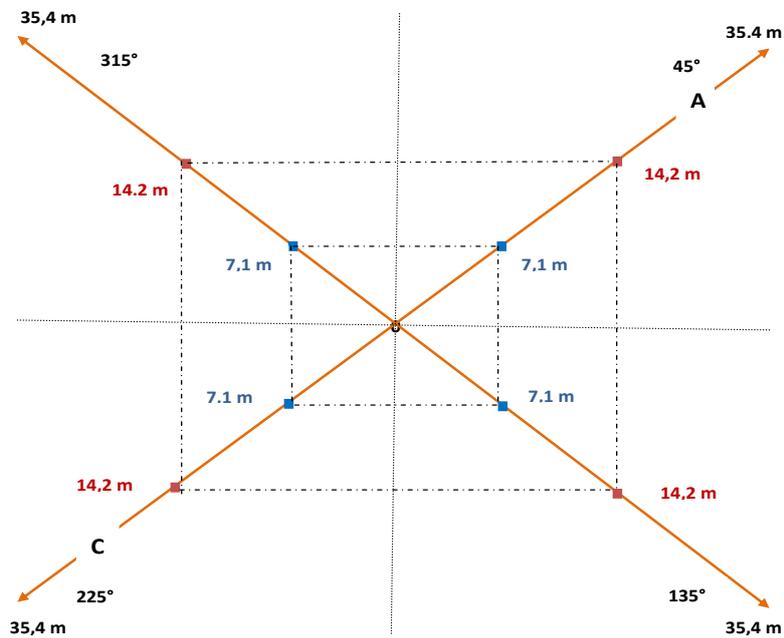
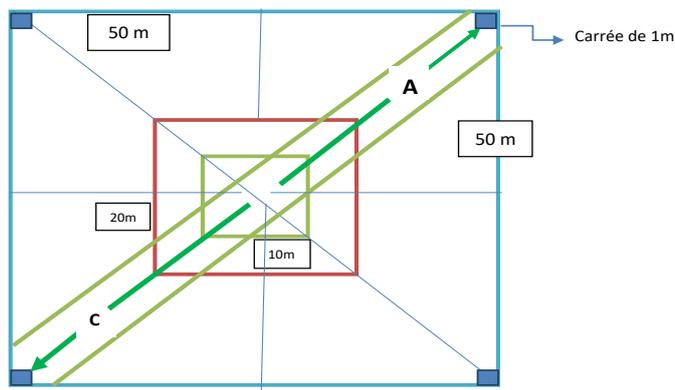
#### **II.2.3.2. Dispositif d'inventaire des forêts sèches de l'Ouest**

L'unité d'échantillonnage (placette de 50 m x 50 m) est constituée par trois sous placettes (de 50 m x 50 m, 20 m x 20 m, 10 m x 10 m) correspondant aux intervalles de diamètre des arbres et quatre placeaux (de 1m x 1m) pour les régénérations et sous-bois (Ravelondramamy et *al.*, 2020). Ces placeaux sont répartis sur les quatre coins de la sous-placette des gros arbres pour avoir une idée de variation de l'ensemble dont les détails sont récapitulés dans le tableau 2 ci-après.

**Tableau II : Sous placette et placeaux d'inventaire**

Sous Placettes carrées (SPC) / Placeaux	Taille (m)	Nbre	Surface (ha)	Type	DHP (cm) forêts sèches	Paramètre à mesurer
SPC 1	50 m x 50 m	1	0,25	Gros arbres	DHP ≥ 20	DHP, Htot et Hfût
SPC 2	20 m x 20 m	1	0,04	Arbres moyens	10 ≤ DHP < 20	DHP, Htot et Hfût
SPC 3	10 m x 10 m	1	0,01	Jeunes arbres	5 ≤ DHP < 10	DHP, Htot
Placeaux	1 m x 1 m	4	0,0004	Régénération	DHP < 2,5	Dénombrement

**Source :** DRGPF, 2021



**Figure 4 : Plan d'une placette**

**Source :** DRGPF, 2021

### II.2.3.3. Répartition des points d'échantillonnage

La répartition des points d'échantillonnage se base sur la grille nationale de 4x4 km (Annexe XVII) qui est un outil pour la collecte de données nationales d'inventaire forestier. Cette grille permettra aussi de suivre à partir des images satellites l'évolution des placettes avec Collect Earth.

Après avoir délimité l'écorégion des forêts sèches de l'ouest, le nombre de points réguliers identifiés suivant la grille est de :

2 058 points pour l'écorégion des forêts sèches de l'ouest.

Après vérification au laboratoire et avec un taux d'échantillonnage d'inventaire de 10 %, les nombres des placettes à mettre en place d'une manière aléatoire pour chaque écorégion.

### II.2.3.4. Différentes étapes de mise en place de la placette et des sous placettes

Les étapes de la mise en place d'une placette et sous placettes sont les suivantes :

- Recherche du centre de la placette à partir des coordonnées préenregistrées dans le GPS ;
- Marquage du centre de la placette puis enregistrement de ses coordonnées réelles avec la meilleure précision possible.
- Mise en place des 2 cordes de 75 m ou des 4 cordes de 35,4 m croisés au centre de la placette. Pour ces cordes, les calibrer aux points décrits dans les deux tableaux suivants :

**Tableau III : Points à considérer pour la corde n°1**

N°	Distance (m)	Angles	Décamètre 1
0	0	0°	Centre de la placette
0-1	7,1	45°	Coin Nord-Est de la SPC de 10 m
0-2	14,2	45°	Coin Nord-Est de la SPC de 20 m
0-3	35,4	45°	Coin Nord-Est de la SPC de 50 m
0-4	7,1	225°	Coin Sud-Ouest de la SPC de 10 m
0-5	14,2	225°	Coin Sud-Ouest de la SPC de 20 m
0-6	35,4	225°	Coin Sud-Ouest de la SPC de 50 m

**Source :** DRGPF, 2021

**Tableau IV : Points à considérer pour la corde n°2**

N°	Distance (m)	Angles	Décamètre 2
0'	0	0°	Centre de la placette
0'-1'	7,1	315°	Coin Nord-Ouest de la SPC de 10 m
0'-2'	14,2	315°	Coin Nord-Ouest de la SPC de 20 m
0'-3'	35,4	315°	Coin Nord-Ouest de la SPC de 50 m
0'-4'	7,1	135°	Coin Sud-Est de la SPC de 10 m
0'-5'	14,2	135°	Coin Sud-Est de la SPC de 20 m
0'-6'	35,4	135°	Coin Sud-Est de la SPC de 50 m

**Source : DRGPF, 2021**

- Matérialisation par flags de chaque point désignant les numéros 0 à 6 et 0' à 6'. Prendre également les quatre points cardinaux par rapport au centre de la placette, à une distance de 50 m et poser des flags pour assurer la ligne droite entre les coins de la carrée de 50 m.
- Sur les quatre coins de la carrée de 50 m se trouvent les placeaux carrés de 1 m dirigés vers l'intérieur de la placette. Les deux côtés suivent les lignes de 50 m et les deux à l'intérieur de la placette.
- Il faut souligner aussi que lorsque le ruban de mesure horizontal est bien installé, il est interdit de marcher sur le transect car cela génère des débris ligneux supplémentaires, ce qui augmentera artificiellement les mesures. Ensuite, il faut calibrer les cordes à chaque fois qu'on change de placette.

Pour les placettes qui se trouvent sur des pentes, des corrections de pentes ont été apportées en respectant les données trouvées dans le tableau ci-après :

**Tableau V : Correction des pentes**

Pente %	Degrés °	Facteur f <sub>s</sub>	Distances horizontales (m)										Pente %
			5	10	15	20	25	30	40	50	125	245	
<b>15</b>	<b>9</b>	<b>10,112</b>	5,1	10,1	15,2	20,2	25,3	30,3	40,4	50,6	126,4	247,7	<b>15</b>
<b>20</b>	<b>11</b>	<b>10,198</b>	5,1	10,2	15,3	20,4	25,5	30,6	40,8	51,0	127,5	249,9	<b>20</b>
<b>25</b>	<b>14</b>	<b>10,308</b>	5,2	10,3	15,5	20,6	25,8	30,9	41,2	51,5	128,8	252,5	<b>25</b>
<b>30</b>	<b>17</b>	<b>10,440</b>	5,2	10,4	15,7	20,9	26,1	31,3	41,8	52,2	130,5	255,8	<b>30</b>
<b>35</b>	<b>19</b>	<b>10,595</b>	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	42,4	53,0	132,4	259,6	<b>35</b>
<b>40</b>	<b>22</b>	<b>10,770</b>	5,4	10,8	16,2	21,5	26,9	32,3	43,1	53,9	134,6	263,9	<b>40</b>
<b>45</b>	<b>24</b>	<b>10,966</b>	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	43,9	54,8	137,1	268,7	<b>45</b>
<b>50</b>	<b>27</b>	<b>11,180</b>	5,6	11,2	16,8	22,4	28,0	33,5	44,7	55,9	139,8	273,9	<b>50</b>
<b>60</b>	<b>31</b>	<b>11,662</b>	5,8	11,7	17,5	23,3	29,2	35,0	46,6	58,3	145,8	285,7	<b>60</b>
<b>70</b>	<b>35</b>	<b>12,207</b>	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	48,8	61,0	152,6	299,1	<b>70</b>
<b>80</b>	<b>39</b>	<b>12,806</b>	6,4	12,8	19,2	25,6	32,0	38,4	51,2	64,0	160,1	313,8	<b>80</b>
<b>90</b>	<b>42</b>	<b>13,454</b>	6,7	13,5	20,2	26,9	33,6	40,4	53,8	67,3	168,2	329,6	<b>90</b>
<b>100</b>	<b>45</b>	<b>14,142</b>	7,1	14,1	21,2	28,3	35,4	42,4	56,6	70,7	176,8	346,5	<b>100</b>
<b>110</b>	<b>48</b>	<b>14,866</b>	7,4	14,9	22,3	29,7	37,2	44,6	59,5	74,3	185,8	364,2	<b>110</b>
<b>120</b>	<b>50</b>	<b>15,620</b>	7,8	15,6	23,4	31,2	39,1	46,9	62,5	78,1	195,3	382,7	<b>120</b>
<b>130</b>	<b>52</b>	<b>16,401</b>	8,2	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	65,6	82,0	205,0	401,8	<b>130</b>
<b>140</b>	<b>54</b>	<b>17,205</b>	8,6	17,2	25,8	34,4	43,0	51,6	68,8	86,0	215,1	421,5	<b>140</b>
<b>150</b>	<b>56</b>	<b>18,028</b>	9,0	18,0	27,0	36,1	45,1	54,1	72,1	90,1	225,3	441,7	<b>150</b>

**Source :** DRGPF, 2021

Outre les données spécifiques sur les sous placettes, des informations générales relatives à l'unité d'échantillonnage devraient être collectées pour chaque unité d'échantillonnage.

### **II.2.3.5. Informations générales à collecter sur chaque sous-placette**

Une fiche d'informations générales contient les données pour chaque sous placette (Voir Annexe IV), ce sont :

- Nom unique identifiant la placette et la sous-placette concernées. Il peut s'agir du nom de la forêt, du numéro de la placette, du numéro de la sous-placette et de toute autre information importante d'identification (ex : district de gestion, etc.).
- Date, coordonnées GPS et précision ( $\pm X$  m) Itinéraire jusqu'à la sous-placette (sous forme de croquis).

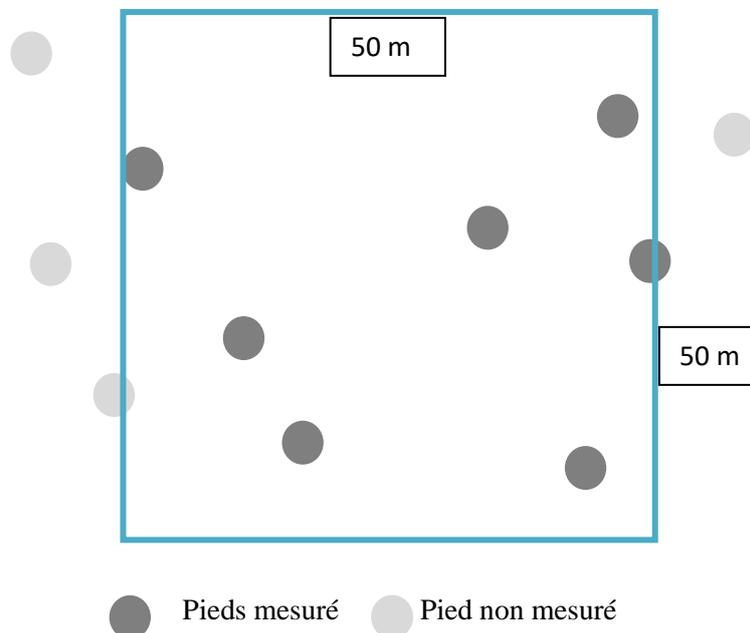
Il faut aussi consigner les informations générales suivantes sur la sous-placette (ANNEXE X) :

- État écologique et occupation du sol : intact (pour la plupart, des arbres vivants, des troncs et des tiges non endommagés, une canopée intacte/fermée à 80-100 %), dégradé (ex : dommages causés par les insectes, les maladies, les animaux) ou déboisé.
- Topographie : le sol est-il plat, en pente, en dépression ou en élévation ?

Il faut prendre quatre photos numériques à partir du centre de chaque sous-placette en faisant face au nord, à l'est, au sud et à l'ouest et enregistrer leur nombre. Ensuite, il faut conserver ces photos sur support électronique avec les autres données du projet car elles permettent aisément de documenter les changements du fait qu'on peut revisiter ces sous-placettes par la suite.

### II.2.3.6. Mesures spécifiques sur les sous placettes

Les arbres constituant objets de collecte de données sont ceux qui se trouvent à l'intérieur de la limite des sous placettes. Pour les arbres qui sont placés aux lisières, il faut considérer les pieds dont plus de la moitié sont inclus dans la limite.



**Figure 5 : Identification des arbres à mesurer**

**Source :** DRGPF, 2021

### II.2.3.7. Détermination des paramètres dendrométriques

#### ***a. Identification des arbres vivants***

Pour l'identification des espèces, outre le botaniste local, une liste préétablie peut aider l'équipe. En cas d'incertitude de la part du botaniste, notamment pour les espèces de moins de 20 cm de Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), l'identification s'arrête au niveau du genre ou de la famille. Le botaniste privilégiera également l'annotation « espèce inconnue » s'il n'est pas certain de son identification.

Si le botaniste rencontre fréquemment la même espèce indéterminée, il pourra prélever un échantillon de la plante (dans des sachets prévus à cet effet) et en faire un herbier afin que celle-ci soit identifiée plus tard (l'échantillon devra contenir une étiquette indiquant le numéro de la placette ainsi que le numéro de l'espèce inconnue). Cette espèce portera un numéro d'inconnu (exemple : inconnu 1) qui sera reporté sur la fiche d'inventaire.

Trois paramètres ont été relevés durant l'inventaire : DHP, hauteur totale et hauteur fut, nombre de pieds sur les 4 sous placettes. À chaque sous placette correspond une fiche d'inventaire.

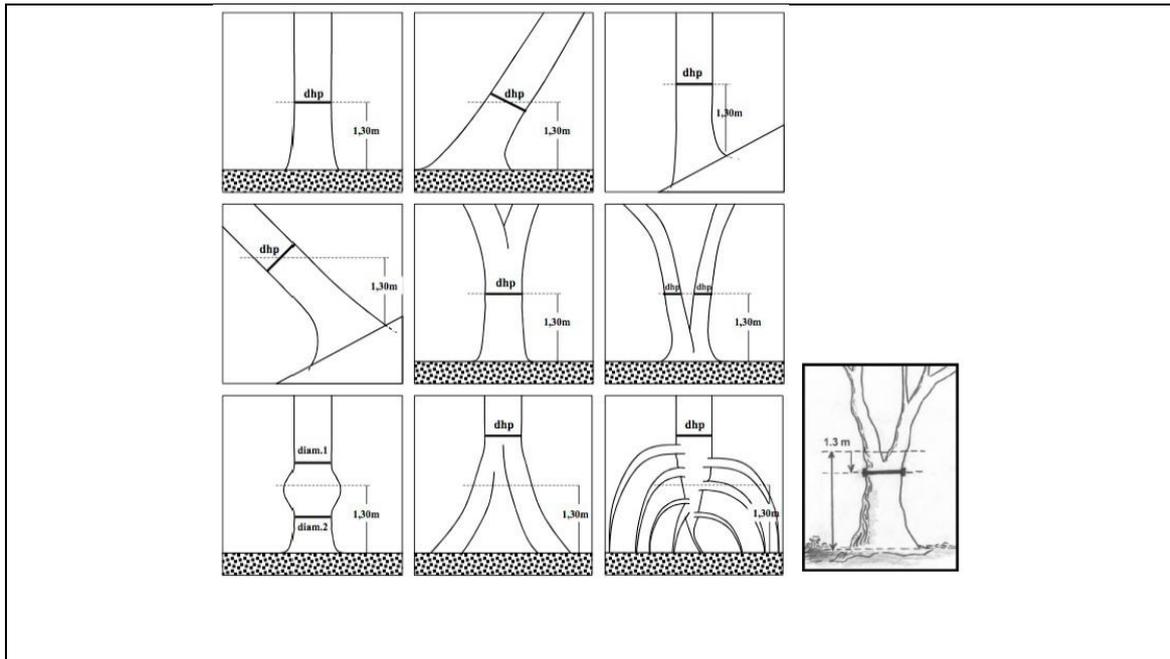
### ***b. Mesure du Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP)***

Les diamètres ont été mesurés à la hauteur du DHP (1,30 m) avec un ruban circonférentiel ou un compas forestier.

Afin de faciliter l'identification de la hauteur de mesure du DHP, le mesureur/mensurateur se procurera un stick de 1,30 m qu'il accolera au tronc de l'arbre à mesurer. Les conventions habituelles sont utilisées dans le cas des contreforts, des difformités, etc. Il est important de bien identifier le niveau de la mesure (1,30 m ou autre hauteur dans certains cas particuliers) avant de procéder à la mesure du DHP.

Enfin, un arbre est inventorié quand le centre de la tige à 1,30 m se situe dans le sous-échantillon concerné par la classe de diamètre mesurée. Ainsi, avant de procéder à la mesure du DHP, il est important de s'assurer que l'arbre sélectionné fait bien partie des arbres à mesurer dans la placette concernée.

Une fois le diamètre mesuré, le retranscrire sur la feuille de relevés ; indiquer également le point de mesure (Point of Measure (POM)), c'est-à-dire la hauteur à laquelle la mesure du diamètre a été effectuée lorsque celle-ci est différente de 1,30 m. La figure 10 ci-après représente les cas particuliers susceptibles d'être rencontrés pour la mesure des diamètres.



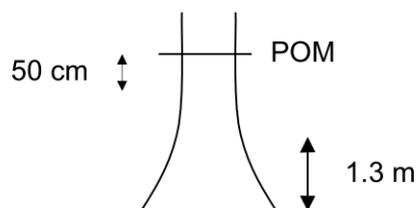
**Figure 6: Cas particulier de mesure de Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP)**

**Source :** DRGPF, 2021

**Cas particuliers :**

▪ **Arbre à contreforts**

Si l'arbre possède des contreforts à 1,30 m (Figure 11), il convient de mesurer le diamètre de la tige à 50 cm de hauteur au-dessus du contrefort le plus haut (Bissonnette et al., 1997), et d'indiquer la hauteur du point de mesure sur la feuille de relevés ("POM").



**Figure 7 : Hauteur POM (Point of Measure)**

**Source :** DRGPF, 2021

▪ **Plantes grimpantes et épiphytes**

Si la tige est couverte de plantes grimpantes à 1,30 m, le ruban circonférentiel est glissé sous les lianes et les racines, et on opère un mouvement de va-et-vient pour s'assurer que le ruban soit bien placé de manière horizontale et adhère à l'écorce vivante de l'arbre.

Dans la mesure du possible, les héli-épiphytes ou les lianes qui enserrant étroitement la tige de l'arbre ne doivent pas être coupées, mais uniquement soulevées. Les mousses et les lichens peuvent, si nécessaire, être enlevés avec une brosse métallique.

- **Arbres présentant des difformités**

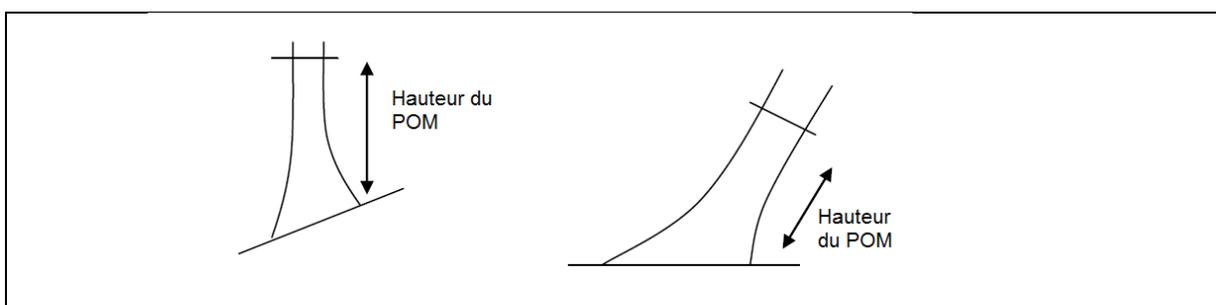
Si l'arbre présente une difformité majeure à 1,30 m, la mesure du diamètre doit être faite à 2 cm en dessous de la difformité (Condit *et al.*, 1998) et 2 cm au-dessus. Il faut reporter la moyenne de ces deux diamètres sur la feuille de relevés, ainsi que les hauteurs de POM.

- **Arbres non cylindriques**

Les arbres non cylindriques (cannelures importantes par exemple) sur l'intégralité de leur hauteur doivent être mesurés à 1,30 m. Dans le cas des arbres cannelés, la mesure du diamètre se fait à l'extérieur de la cannelure.

- **Arbres penchés, couchés ou sur sol pentu**

La hauteur de poitrine est toujours mesurée sur le flanc de l'arbre qui est en haut de la pente (voir figure ci-dessus). Les arbres couchés ou tombés sont toujours mesurés sur la face de l'arbre la plus proche du sol. Cette procédure permet d'éviter la confusion dans les cas fréquents où les arbres sont à la fois penchés et sur sol pentu : généralement, les arbres penchent du côté amont de la pente, et cela permet de ne pas hésiter sur la face de l'arbre à considérer pour mesurer le POM. Sur les arbres tombés/couchés sur le sol (mais vivants), il est parfois difficile de déterminer précisément la base de l'arbre – en ce cas, considérer que la mesure doit être faite 30 cm en dessous du 1,30 m habituel.



**Figure 8 : Hauteur Point of Measure (POM) des arbres penchés**

Source : DRGPF, 2021

- **Racines aériennes**

Les arbres qui possèdent des racines aériennes doivent être mesurés 50 cm au-dessus de la racine aérienne la plus haute ; la hauteur du POM devra être reportée sur la feuille de relevés.

- **Tiges des rejets**

Le diamètre des tiges des rejets est mesuré à 1,30 m de leur base. Seuls les rejets de plus de 1,30 m de haut et de plus de 2,5 cm de diamètre au niveau du POM sont considérés.

- **Tiges multiples**

Toutes les tiges de plus de 2,5 cm à 1,30 m sont mesurées.

**c. Mesure de la hauteur**

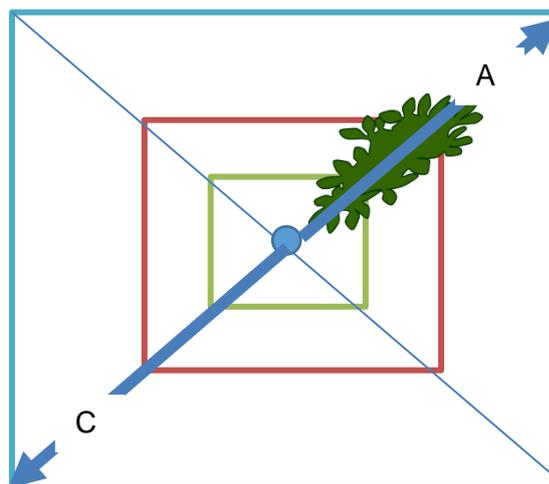
Deux types de hauteur ont été relevés : hauteur totale et hauteur fut. Pour tous les arbres de plus de 20 cm de DHP (cas forêt sèche) et 30 cm de DHP (cas forêt humide), prendre les deux mesures et pour les autres seulement la hauteur totale.

Aucune hauteur ne sera mesurée sur un arbre couché, cassé ou fortement penché (par exemple, si le premier arbre rencontré de DHP [10 ; 20 [ est couché, on ne mesurera pas sa hauteur, mais celle du deuxième arbre rencontré dans cette classe de diamètre). De même, pour rappel, les mesures relatives aux arbres morts seront décrites dans le paragraphe suivant.

La hauteur a été mesurée à l'aide d'un hypsomètre ou vertex ou relascope, en suivant les instructions de l'instrument.

**d. Mesure de la couverture de canopée**

La couverture de canopée va être mesurée suivant deux diagonales partant du centre de la placette. Le premier diagonal prend la direction Nord-Est et le second la direction Sud-Ouest sur un transect de 35,4m de chaque. La figure ci-jointe va illustrer cette affirmation.



**Figure 9 : Transect pour la couverture de la canopée**

**Source : DRGPF, 2021**

À partir du centre de la placette, prendre les points d'ouverture, considérer l'espace non couvert par des sous-bois et que la lumière puisse atteindre le sol.

### e. Mesure des arbres morts

Trois types d'arbres morts ont été relevés : mort sur pied, bois mort gisant et souche.

#### ▪ Mensuration des arbres morts sur pied

D'abord il faut mesurer le DHP et la hauteur de l'arbre mort et de même il faut aussi estimer la classe de décomposition de l'arbre. Pour établir l'état de décomposition de l'arbre, il faut utiliser la méthode « de la lame » avec un couteau. Pour déterminer à quelle classe de densité appartient un morceau de bois mort, chaque morceau doit recevoir un coup de scie ou de machette. Si la lame n'entame pas la pièce (rebondit sur la surface), le morceau est considéré sain.

Si la lame pénètre partiellement, et qu'il y a une perte de bois, on classe le morceau comme intermédiaire. Si la lame s'enfonce dans le morceau, qu'il y a une plus grande perte de bois et que le morceau s'effrite, on le classe comme pourri (Voir le tableau 7 pour les classifications des arbres morts et la figure 14 pour les types d'arbres à mesurer).

Pour le calcul de biomasse des bois mort sur pieds, les facteurs de réduction sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

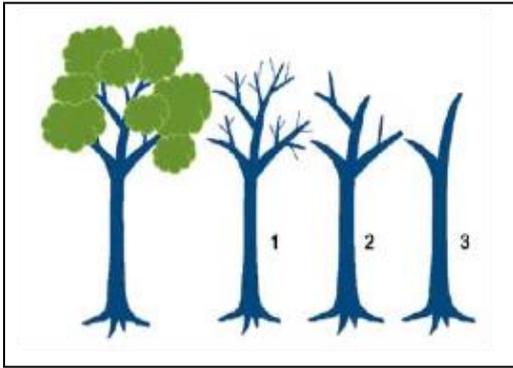
**Tableau VI : Catégorie d'état de décomposition des bois mort**

Classe	Catégorie de décomposition	État de decomposition	Facteur de réduction de la biomasse	Facteur de réduction de la densité
1	Arbres qui ont perdu les feuilles et les brindilles. Ressemble presque à un arbre vivant.		0.975	
2	Arbres qui ont perdu les feuilles, les brindilles et les petites branches (<10cm)		0.8	
3	Arbres sans feuilles, brindilles, petites branches (<10cm) et grandes branches (≥10cm)	Sain		1
4		Intermédiaire		0.8
5		Pourri		0.45

**Tableau VII : Classification des arbres morts sur pieds et paramètres à mesurer**

Statuts	Description	Mesure à effectuer
Statut 1	Petites branches et rameaux sont conservés Ressemble à un arbre vivant Absence de feuilles.	DHP Hauteur totale et fut
Statut 2	Pas de brindilles ou de petites branches A perdu une partie des grosses branches.	DHP Hauteur totale et fut
Statut 3	Peu ou pas de branches, Tige debout seulement et peut être cassé. Souche	DHP Hauteur totale Diamètre de la base Hauteur de la souche

**Source :** DRGPF, 2021

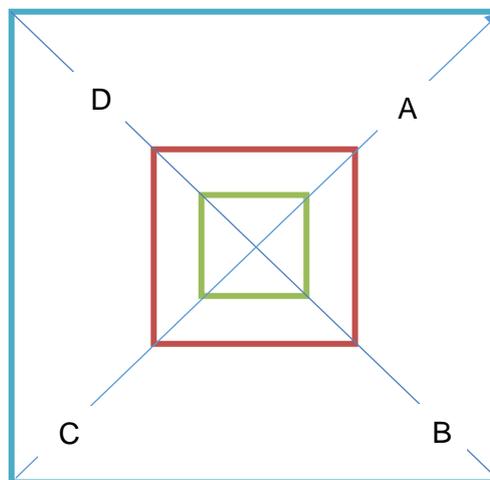


**Figure 10 : Types d'arbres à mesurer**

**Source :** DRGPF, 2021

▪ **Mensuration des arbres morts gisants et débris**

Tout au long des quatre transects de 35,4 m, nommés A, B, C et D (voir la figure 15): Il faut mesurer le diamètre de chaque morceau de bois mort intersectant le transect et ayant un diamètre supérieur à 20 cm (cas forêt sèche) et 30 cm (cas de forêt humide) dans la SPC 50 m x 50 m, compter les bois morts ayant un diamètre de 10 cm à 20 cm (cas forêt sèche) et 15 cm à 30 cm (cas de forêt humide) dans la SPC 20 m x 20 m de même compter les bois morts ayant un diamètre de 2,5 cm à 10 cm (cas de forêt sèche) et 2,5 cm à 15 cm (cas de forêt humide) dans la SPC 10 m x 10 m.



**Figure 11 : Transect de mesure des arbres morts gisants**

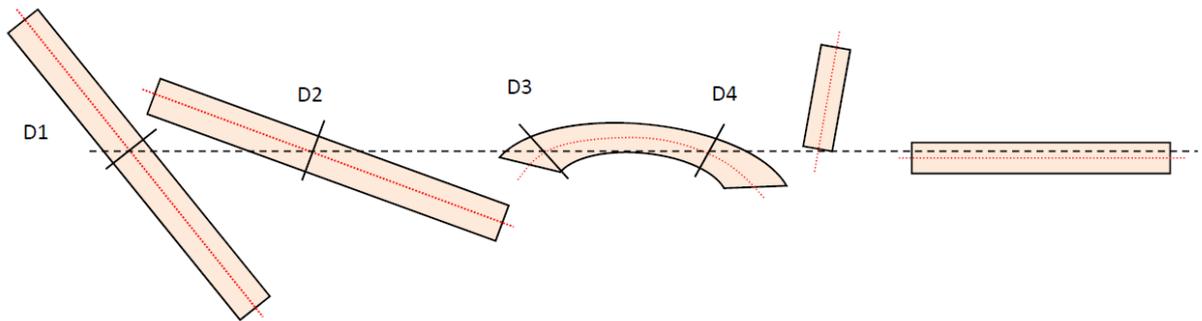
**Source :** DRGPF, 2021

Les règles pour mesurer les bois morts gisants et les débris :

Dans la méthode d'interception linéaire, ne pas mesurer les arbres morts sur pied et les branches mortes encore rattachées à des arbres sur pied. Le bois n'est tombé que lorsqu'il s'est détaché de l'arbre.

Il faut aussi que le ruban de transect croise l'axe central d'une pièce pour qu'elle soit comptabilisée. En d'autres termes, si le ruban ne croise que l'angle au bout d'un rondin, celui-ci ne sera pas comptabilisé.

Une pièce qui croise le ruban plus d'une fois sera enregistrée autant de fois (ex : pièce courbe ou intersection au niveau de la branche et du tronc d'un arbre abattu).



**Figure 12 : Mesures de DHP des arbres morts gisants**

Source : DRGPF, 2021

#### ▪ **Mensuration des souches**

Si la hauteur de la souche est  $< 4\text{m}$ , mesurer le diamètre à la moitié de la hauteur.

Si la hauteur de la souche est  $\geq 4\text{m}$ , mesurer le DHP et la hauteur de la souche.

Il faut estimer la classe de décomposition de la souche. Il faut aussi utiliser le même tableau de classification avec les arbres morts gisants.

### **II.2.4. Traitement des données**

Cette partie explique les méthodes de calcul utilisées pour évaluer les paramètres sylvicoles afin de déterminer l'état de la forêt sèche d'Ankarafantsika.

#### **II.2.4.1. Cortège floristique**

Les noms vernaculaires ont été traduits en nom scientifique (espèce, genre et famille). Plusieurs références ont été utilisées pour déterminer ces noms scientifiques. Les données d'inventaires de l'Ecorégion humide de l'Est ont été réalisées en 2016. De plus, nous avons consulté aussi plusieurs documents pour constituer une nouvelle base de données. Cette dernière a été utilisée pour l'identification des noms vernaculaires de la forêt de l'écorégion de l'Ouest. Afin de réduire le nombre des inconnus, l'internet a été utilisé.

### **II.2.4.2. Fréquence des espèces**

La fréquence des espèces exprime la répartition ou l'observation d'une espèce dans chaque placette inventoriée (Koubouana, *et al.*, 2018). Elle exprime la présence/absence d'une espèce dans chaque placette. La fréquence relative correspond à la part en pourcent où l'espèce considérée a été relevée.

- Une fréquence relative élevée ( $\geq 50\%$ ) signifie que l'espèce est bien répartie dans le massif forestier inventorié où l'espèce se trouve dans un grand nombre de placettes.
- Une fréquence relative basse ( $\leq 50\%$ ) indique par contre que l'espèce est relativement rare. L'espèce ne se rencontre que dans quelques-unes des placettes.

Lors de l'analyse des données d'inventaire, la fréquence des espèces a été analysée sur les arbres, arbustes, plantules à DHP  $\geq 5$ cm.

### **II.2.4.3. Densité des espèces**

La densité absolue d'une espèce indique le nombre de tiges moyen à l'hectare de l'espèce. Elle exprime le nombre de tiges à l'hectare de l'espèce et son rapport avec le nombre de tiges total toutes espèces confondues. La densité relative d'une espèce correspond au pourcentage du nombre de tiges par hectare de l'espèce considérée par rapport au nombre total de tiges par hectare toutes espèces confondues.

- Une densité relative élevée ( $\geq 50\%$ ) signifie que l'espèce est présente en grand nombre dans une seule zone d'inventaire ;
- Une densité relative basse ( $\leq 50\%$ ) indique le contraire.

Dans cette analyse, le calcul de la densité concerne les espèces de ligneuses, plantules et arbustes à DHP  $\geq 5$ cm.

### **II.2.4.4. Dominance des espèces**

La dominance d'une espèce désigne la surface terrière moyenne à l'hectare d'une espèce. La dominance relative d'une espèce correspond au pourcentage de la surface terrière par hectare de l'espèce considérée par rapport à la surface terrière totale par hectare toutes espèces confondues.

- Une dominance relative élevée ( $\geq 50\%$ ) indique que l'espèce atteint un degré de couverture élevé parmi l'ensemble des espèces.
- Une dominance relative basse ( $\leq 50\%$ ) signifie que l'espèce est mal représentée dans les peuplements inventoriés.

Dans cette analyse, la dominance concerne toutes les espèces ligneuses, plantules et arbustes inventoriées à DHP  $\geq 2,5$ cm.

#### II.2.4.5. Importance des espèces

L'importance d'une espèce ou d'un groupe d'espèces est utilisée comme indice pour déterminer les rangs des espèces relevées lors d'un inventaire (Jacques, 2021). Elle correspond à la somme de la fréquence, de la densité et de la dominance relative de l'espèce considérée. L'importance relative est exprimée en pourcentage selon la formule ci-dessous.

$$\text{Importance (\%)} = \text{Fréquence (\%)} + \text{Densité (\%)} + \text{Dominance (\%)} \quad (1)$$

#### II.2.4.6. Surface terrière G

La surface terrière a été obtenue par le calcul de la surface terrière de chaque arbre sur pied. La somme des surfaces donne la valeur de la surface terrière totale des grappes d'inventaires. Les valeurs trouvées ont été ramenées en hectare. La surface terrière a été calculée suivant la formule ci-dessous :

$$G(m^2) = \pi * \frac{dhp^2}{4} \quad (2)$$

Où :

G (m<sup>2</sup>) est la surface terrière et,  
dhp (m) le diamètre à hauteur poitrine

#### II.2.4.7. Volume (total et fût) des arbres sur pied

La formule de Dawkins (Fonton *et al.*, 2009) pour le cubage des arbres de diamètre inférieur à 23 cm a été utilisée comme la suivante :

$$V = 0.53 * \pi * dhp^2 * \frac{L}{4} \quad (3)$$

Les unités sont :

0,53 est le coefficient de forme,

Volume (V) en m<sup>3</sup>,

Diamètre à hauteur poitrine (DHP) en m et,

Hauteur (L) en m.

#### II.2.4.8. Régénération naturelle

Les individus ayant un DHP compris [2.5 ; 5[cm ont été pris comme individus de régénération (Bertine, *et al.*, 2015) et ils ont été comptés dans les placettes.

Les individus ayant un DHP  $\geq 2,5$  cm seulement ont été pris en compte. En dessous de cette taille, la majorité des individus ne supportent pas les effets des différents paramètres (biotiques et abiotiques) et meurent facilement. Ainsi, le taux de régénération est donné par la formule suivante (Bationo *et al.*, 2005) :

$$\text{TR (\%)} = 100 * \frac{Nr}{Ns} \quad (4)$$

TR : taux de régénération en %

Nr : le nombre d'individus régénérés ( $2,5 \leq \text{DHP} < 5$  cm)

Ns : est le nombre des semenciers ( $\text{DHP} > 10$  cm).

#### II.2.4.9. Densité spécifique des espèces (DHP $\geq 5$ cm)

Pour l'évaluation de la biomasse des sites/espèces, la recherche des densités spécifiques, génériques et au niveau famille a été primordiale. Pour cela, les bases de données de Vielledent *et al.*, 2012) et de Zane *et al.*, 2009) Madagascar ont été utilisées.

La figure ci-dessous montre que la recherche de la densité a été faite en premier lieu au niveau espèce. En cas d'échec, elle a été faite au niveau genre et, le cas échéant, au niveau famille. Au cas où une seule espèce du même genre était indiquée dans la base de données, c'est la densité de cette espèce qui a été attribuée. Si l'espèce n'a pas été répertoriée dans les bases de données disponibles, la valeur de densité par défaut 0,5 a été attribuée. Ce processus est illustré par la figure ci-dessous.

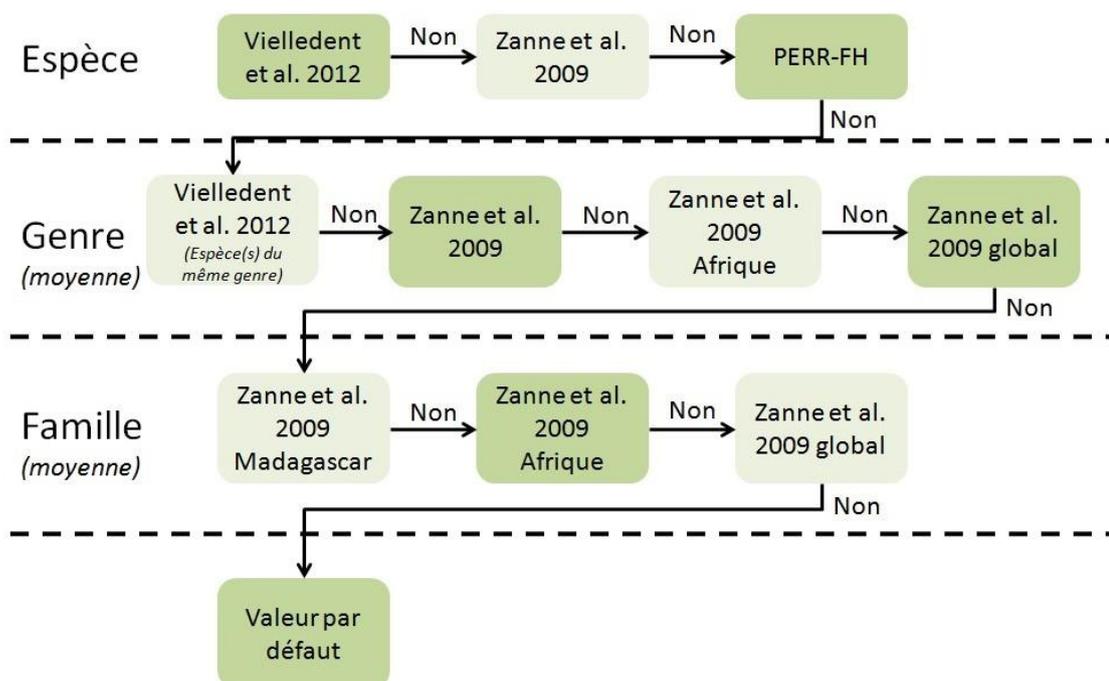


Figure 13 : Arbre de décision d'attribution des densités spécifiques

### II.2.4.10. Facteurs d'échelles

Un facteur d'échelle d'un hectare a été appliqué pour les valeurs calculées au niveau de chaque arbre. Étant donné que chaque placette est constituée de 04 sous-placettes, différents facteurs d'échelles ont été attribués en fonction du DHP de chaque arbre. Le tableau 8 ci-dessous montre les facteurs d'échelle pour les sous-placettes de dimension fixe.

**Tableau VIII : Description des placettes**

DHP [cm]	Côtés	Surface (Côté*côté) en m <sup>2</sup>	Facteur d'échelle	DHP (cm) Ecorégion	
				Est	Ouest
Petits arbres	10	100	100	5 <DHP≤15	5<DHP≤10
Arbres moyens	20	400	25	15<DHP≤30	10<DHP≤20
Gros arbres	50	2500	4	>=30	>=20
Régénérations	(1*1)*4	4	2500	<5	<5

**Source :** DRGPF, 2021

### II.2.5. Détermination des Données d'Activités

La détermination des Données d'Activités est une tâche un peu compliquée. Pour cela, elle demande des aides, des expertises qui connaissent le champ d'études (la délimitation des espaces), les forces pour la descente sur terrain (pour la marche aux pieds) ainsi que le temps. En revanche, aujourd'hui, ces Données d'Activités peuvent être déterminées facilement en utilisant le satellite.

#### II.2.5.1. Études cartographiques

Pour déterminer les Données d'Activités, des analyses cartographiques sont nécessaires. Elles impliquent l'analyse de l'évolution du couvert forestier en se basant sur les directives méthodologiques de BNC-REDD+ Madagascar, visant à choisir les méthodes les plus appropriées en fonction des cadres méthodologiques du Fond Carbone du Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) et du Verified Carbon Standard (VCS). Cette approche s'inspire également d'une étude antérieure menée par Grinand *et al.*, (2013) dans le cadre du Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF), l'un des projets REDD mis en place à Madagascar depuis 2008.

### II.2.5.2. Période référence

Nos Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF) ont été élaborés à partir des données recueillies sur la période de référence historique allant de 2010 à 2020. Cette période a été choisie en raison de la disponibilité des données récentes et exhaustives. Ainsi, sur une durée de onze ans, les NERF ne quantifie que les émissions liées à la déforestation sur cette période.

### II.2.6. Modalité de calcul du carbone séquestré, Émission et de NERF

#### II.2.6.1. Formule

Cette formule relie les relations entre les biomasses aériennes, les biomasses souterraines et le carbone organique du sol ainsi que les superficies de forêts étudiées, elle stipule comme suivante :

- CARBONE SÉQUESTRE = BIOMASSES (Aérienne et Souterraine) (tC/ha) + Carbone Organique du Sol (tC/ha) x SUPERFICIE DE FORET ETUDIÉE (Ndjomba *et al.*, 2022)
- ÉMISSION (tCO<sub>2</sub>/an) = FACTEUR D'ÉMISSION (tCO<sub>2</sub>/ha) x DONNÉE D'ACTIVITÉ (ha/an)
- NERF = TOTAL DES ÉMISSIONS DUES À LA DÉFORESTATION, DÉGRADATION - (ABSORPTION DUE À L'AUGMENTATION DU STOCK)

#### II.2.6.2. Modalité de calcul du NERF

Commençons cette formule par la recherche de l'Emission.

**EMISSION (tCO<sub>2</sub>/an) = FACTEUR D'EMISSION (tCO<sub>2</sub>/ha) x DONNÉE D'ACTIVITÉ (ha/an)**

NERF = TOTAL DES EMISSIONS DUES A LA DEFORESTATION, DEGRADATION - (ABSORPTION DUE A L'AUGMENTATION DU STOCK)

### II.2.7. Calcul du Facteur d'Émission

Le Facteur d'Emission se divise en deux, notamment : le Facteur d'Émission CO<sub>2</sub> et Facteur d'Émission non CO<sub>2</sub>. Leur formule est identique, mais le contenu qui fait la différence entre eux.

#### II.2.7.1. Facteur d'Emission du CO<sub>2</sub>

Voici la formule pour celle qui est CO<sub>2</sub> (Chenost *et al.*, 2010) :

Le facteur d'émission est défini de la manière suivante :

$$EF_j = (B_{Avant,j} - B_{Après,j}) \times CF \times \frac{44}{12} \quad (5)$$

Avec

**EF<sub>j</sub>** Facteur d'émission pour la transition j en tonnes CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

**B<sub>Avant,j</sub>** Stock de biomasse avant la conversion du stade forêt au stade non-forêt, pour la transition j, en tonnes de matière sèche ha<sup>-1</sup>

**B<sub>Après,j</sub>** Stock de biomasse après la conversion du stade forêt au stade non-forêt, pour la transition j, en tonnes de matière sèche ha<sup>-1</sup>. Dans le cas de la biomasse morte, la conformément aux recommandations du GIEC niveau 1, il a été considéré que la valeur est égale à zéro.

**CF** Fraction de carbone dans la biomasse sèche (0.47).

**44/12** Facteur d'expansion de carbone à CO<sub>2</sub>.

Il est à noter que notre biomasse est répartie en trois catégories, à savoir : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, le carbone organique du sol et la biomasse de bois mort.

#### **a. Méthode de calcul de la biomasse aérienne**

C'est une étape à exécuter après l'inventaire forestier pour déterminer le poids des arbres sèches en utilisant l'équation allométrique. Pour cela, commençons par les arbres vivants.

##### **▪ Pour les arbres vivants**

Pour la forêt de l'écorégion de l'Ouest, la formule allométrie a été élaborée par le LRA 2021 issu des données d'inventaires des forêts de l'Ouest de Madagascar (MEDD, 2021).

La formule est : **AGB = EXP [0,597 + 1,05\*(lnDHP) + 0,232\*(lnDHP)<sup>2</sup> + 2,447\*lnρ]**

Avec AGB : biomasse (kgms), DHP : diamètre à 130 cm du sol (diamètre à hauteur de poitrine), ln : logarithme népérien, ρ : infradensité du bois au niveau genre (g.cm<sup>-3</sup>)

##### **▪ Pour les bois morts sur pied**

L'équation allométrique sur les bois morts sur pied est la même que celle utilisée sur les arbres vivants, mais en appliquant un facteur de réduction (de la biomasse et de la densité) selon l'état de décomposition des bois morts.

#### **b. Méthode de calcul de Biomasse souterraine**

La biomasse souterraine a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (root-shoot ratio, RSR). Les RSR ont été sélectionnés dans la publication de Mokany *et al.* (2006). Ci-joint le tableau montrant le quotient racinaire/foliacé.

**Tableau IX : Quotients racinaire/foliacé (RSR)**

CATEGORIE DE VEGETATION (ISSU DE MOKANY ET AL. 2006)	CORRESPONDANCE AVEC LES ECOREGIONS DU NERF	ROOT- SHOOT RATIO	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90%	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [%]
Forêt tropicale/subtropicale sèche > 20 tonne de matière sèche par hectare (tms.ha <sup>-1</sup> )	Forêt sèche Forêt épineuse	0,275	+/- 0,02	+/- 6,89%
Forêt tropicale/subtropicale sèche < 20 tonne de matière sèche par hectare (tms.ha <sup>-1</sup> )	Forêt sèche Forêt épineuse Non-Forêt des écorégions des forêts sèches et épineuses	0,563	+/- 0,20	+/- 35,95%

**Source :** Mokany *et al.*, 2006.

### c. Détermination de la valeur du Carbone Organique du Sol

Cette valeur de carbone a été tirée dans une publication des (Grinand *et al.*, 2017). Le contenu de cette publication sera présenté sur le tableau ci-dessous.

**Tableau X : Carbone Organique du Sol de forêt sèche et non-forêt en 2011**

Classe	COS 2011 (MgCha <sup>-1</sup> )	
	30 cm	100 cm
	Moyenne	Moyenne
Forêt	40.1	84.2
Non forestier	46.8	94.7

**Source :** Grinand *et al.*, 2017

Voilà donc les méthodes que nous avons utilisées sur les forêts, ci-après les méthodes pour les non-forêts.

### d. Calcul de biomasse du stade Non-forêt

Pour la biomasse aérienne du stade non-forêt sur la forêt sèche dégradée, on se réfère au rapport de REDD+ concernant le NERF en janvier 2018 ( BNC-REDD+, 2018).

**Tableau XI : Biomasse dans des sites post-déforestation localisés dans l'écorégion des forêts sèches (Raharimalala *et al.*, 2012)**

Durée de l'abandon [années]	Biomasse des arbres + des lianes [tms/ha]	n	Erreur Standard
1-5	0.403	5	+/- 0,401
6-10	1.2	5	+/- 0,7
11-20	2.5	5	+/- 0,3
21-30	17.4	5	+/- 4,2
31-40	41.1	5	+/- 8,4
>40	66.9	5	+/- 9,5

**Source :** Rapport REDD+, janvier 2018

Nous avons utilisé la valeur “11-20 ans” puisque c’est celle qui correspond le mieux à la période de transition par défaut d’après les lignes directrices du GIEC (2006) pour l’inventaire des gaz à effet de serre.

### **II.2.7.2. Facteur d’Emission du Non-CO<sub>2</sub>**

Le calcul du Facteur d’Émission du Non-CO<sub>2</sub> requiert l'identification de deux paramètres considérés comme essentiels : la superficie de la forêt d'Ankarafantsika détruite par les incendies et les émissions autres que le CO<sub>2</sub>. Voici les méthodes pour déterminer ces éléments.

#### ***a. Superficie de la forêt Ankarafantsika détruite par les feux***

La mesure de cette superficie se fait par l'analyse des images satellites produites par Foibe Taotsaritanin'i Madagascar (FTM) Antananarivo. Pour ce qui est des émissions Non-CO<sub>2</sub>, nous avons utilisé les données bibliographiques du GIEC datant de 2006.

#### ***b. Émissions autres que le CO<sub>2</sub> dues à la déforestation***

Selon l’équation 2.27 du volume 4 du GIEC 2006, les émissions de GES provenant des feux de forêt sont estimées à l’aide de l’équation suivante :

$$\mathbf{L_{fire,t} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}} \quad \mathbf{(6)}$$

Le tableau ci-après va expliquer la signification de ces lettres dans cette formule :

**Tableau XII : Explication en détail des abréviations de la formule numéro 6**

Abréviation	Explications
<b>A</b>	Superficie brûlée, ha, ce qui équivaut à A(j , i) Superficie forestière convertie de forêt en non forestière au cours de la période de surveillance, en hectare par an. La description de ce paramètre peut être trouvée plus loin. Il peut s'agir des conversions suivantes : <b>Forêt primaire à non forestière</b> <b>Forêt perturbée à forêt non forestière</b> <b>Forêt secondaire à forêt non forestière</b> <b>Agroforesterie à non forestière</b> <b>Plantations non forestières</b>
M <sub>B</sub>	Masse de carburant disponible pour la combustion, tonnes ha <sup>-1</sup> . Ceci est équivalent à la biomasse avant la conversion <b>AGB<sub>j</sub></b> . Il s'agit de la biomasse aérienne dans les zones forestières, car le boisement/reboisement n'implique pas de brûlage avant conversion.
C <sub>f</sub>	Facteur de combustion, sans dimension. Cela équivaut à : • 0,32 pour la forêt primaire, car c'est la valeur pour la forêt tropicale primaire (brûlis) selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC
G <sub>ef</sub>	Facteur d'émission, g kg <sup>-1</sup> matière sèche brûlée. Cela équivaut à : <b>6,8</b> pour le CH <sub>4</sub> car c'est la valeur pour les forêts tropicales selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC <b>0,2</b> pour le N <sub>2</sub> O car il s'agit de la valeur pour les forêts tropicales selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC

**Source :** FCPF, ER Monitoring Report ERP- AA, 2022.

Afin de convertir ces émissions de GES en tCO<sub>2</sub>, les émissions de GES de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O sont multipliées par le potentiel de réchauffement planétaire pour les deux gaz (PRP), de sorte que l'équation serait la suivante :

$$L_{\text{fire,t}} = A(j,i) \times \text{AGB}_{\text{Before,j}} \times C_f \times (G_{\text{ef CH}_4} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4} + G_{\text{ef N}_2\text{O}} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}) \times 10^{-3} \quad (7)$$

Où :

**Tableau XIII : Explication en détail des abréviations de la formule numéro 7**

GWP <sub>CH4</sub>	Potentiel de réchauffement planétaire du CH <sub>4</sub> , = 28
GWP <sub>N2O</sub>	Potentiel de réchauffement planétaire du N <sub>2</sub> O, = 265

**Source :** FCPF, ER Monitoring Report ERP- AA, 2022.

Ainsi, le calcul des Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF) représente comme suit :

$$\text{NERF} = \text{TOTAL DES ÉMISSIONS DUES À LA DÉFORESTATION, DÉGRADATION - (ABSORPTION DUE À L'AUGMENTATION DU STOCK)}$$

### II.2.7.3. Mode de calcul des produits carbone pour la vente

Il faut noter en premier lieu que la production est la réduction des émissions. Sur cela, il existe des produits à vendre si les émissions en date de soumission sont inférieures par rapport aux NERF de la date de référence. Ainsi, la différence positive entre les NERF de la date de référence et les NERF de la date de soumission est le produit.

Mais, les calculs ne s'arrêtent pas là, le produit obtenu doit passer par des autres opérations par lesquelles on retranche des nombres des autres. Cette opération se présente comme suit :

On note les produits (les réductions des émissions) par X.

- 1<sup>ère</sup> Opération : 8 % X = Y
- 2<sup>ème</sup> Opération : (X - Y) (23 %) = Z
- 3<sup>ème</sup> Opération : (X - Y) (5 %) = W
- 4<sup>ème</sup> Opération : X - Y - Z - W = R

Ainsi, après avoir effectué toutes les opérations, le produit à vendre sur le marché du carbone est de R. Veuillez regarder la page de l'annexe XX pour le calcul de produit à vendre sur le programme ER-PAA pour l'année 2020 dont Madagascar a déjà reçu le paiement.

### II.2.8. Analyse statistique

#### II.2.8.1. Moyenne arithmétique

L'échantillonnage ne donne pas des valeurs réelles. Les résultats des échantillonnages sont toujours des estimations par rapport à l'ensemble de la population étudiée. De ce fait, la moyenne a été calculée à partir de la formule suivante.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (8)$$

Où  $y_i$  est la valeur du paramètre pour le  $i^{\text{ème}}$  échantillon et  $n$  est le nombre total d'échantillons relevés. Le calcul de la moyenne arithmétique est automatisé sur le tableur Excel.

La moyenne a été utilisée pour connaître la valeur moyenne de la hauteur totale, de la hauteur fût ainsi que du diamètre à hauteur poitrine à 1,30m du sol. L'analyse de la valeur des surfaces terrières, des volumes ainsi que de la biomasse est également réalisée vu l'utilisation de la moyenne arithmétique. Enfin, elle a été utilisée pour savoir la tendance générale des arbres sur pieds ou de la formation en général dans les zones d'inventaire.

### II.2.8.2. Ecartype

L'écartype détermine la variation absolue selon la formule ci-dessous

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

Où n-1 est le nombre de degrés de liberté.

À chaque fois que la moyenne des variables a été calculée, la valeur de l'écartype l'a été également. L'écartype a été calculé pour connaître la distribution des variables par rapport à la moyenne.

### II.2.8.3. Erreur standard (90%)

L'incertitude de la moyenne arithmétique estimée par les échantillons diminue avec l'augmentation du nombre d'échantillons. Cette incertitude est exprimée par l'erreur standard de la moyenne arithmétique suite à son importance ou erreur standard et donnée par la formule ci-dessous :

$$E = \frac{S}{\bar{y}} \quad (10)$$

Se basant de cette formule, l'erreur standard relative se calcule avec la même formule, mais par rapport au coefficient de variation au lieu de l'écartype. Il est donné par la formule suivante :

$$E\% = \frac{S\%}{\bar{y}} \quad (11)$$

### II.2.8.4. Intervalle de confiance (90%) et estimation minimale de confiance

Elle est la zone des deux côtés de la moyenne arithmétique qui contient avec une certaine probabilité la moyenne réelle. L'intervalle de confiance se calcule par :

Borne supérieure =  $\bar{y} + tE$

Borne inférieure =  $\bar{y} - tE$

Concernant l'estimation minimale de confiance, l'intervalle de confiance détermine les limites inférieure et supérieure qui seront dépassées avec une certaine probabilité ou dépassement bilatéral. Dans le cas de cet inventaire forestier, il est normal d'indiquer la valeur qui représente un minimum nécessaire et atteint avec une certaine probabilité. Sa valeur est calculée par la formule :

$$EMC = \bar{y} - tE \quad (12)$$

Où  $\bar{y}$  est la moyenne arithmétique et t la valeur de t de Student dans la table

## **TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS**

Le résultat que nous avons obtenu sera reparti en trois chapitres : la structure de la vente des crédits carbone, puis la présentation des états de la forêt d'Ankarafantsika et enfin la détermination du carbone séquestré par la forêt sèche du parc ainsi que le niveau des émissions références de la forêt du Parc National d'Ankarafantsika.

## **III.1. ÉTAT DE LIEU DE LA FORET DU PARC NATIONAL D'ANKARAFANTSIKA**

Dans ce chapitre, nous examinerons les particularités de la forêt sèche d'Ankarafantsika, en mettant en lumière ses diverses formations végétales ainsi que les familles et les espèces qui la peuplent.

### **III.1.1. Caractéristiques de la forêt sèche d'Ankarafantsika**

#### **III.1.1.1. Typologie de la forêt dense sèche d'Ankarafantsika**

La forêt dense sèche d'Ankarafantsika a été caractérisée par la présence de deux (02) formations végétales. Elles sont la forêt dense sèche (Pente 6,13%) et la forêt sèche dégradée (Pente 14,25%). L'inventaire des forêts a été mené dans des placettes permanentes selon le tableau ci-dessous.

**Tableau XIV : Répartition des placettes d'inventaires d'Ankarafantsika selon le district et les occupations spatiales**

<b>DISTRICTS</b>	<b>OCCUPATION</b>	<b>PLACETTES</b>
MAROVOAY	Forêt dense sèche	5, 15, 27, 30, 39, 46
	Forêt sèche dégradée	8, 24, 56
AMBATO-BOENY	Forêt dense sèche	1
	Forêt sèche dégradée	12, 19,

#### **III.1.1.2. Couverture de la canopée**

La forêt du parc National d'Ankarafantsika possède encore des ressources forestières ayant une couverture de canopée élevée, sur cela la couverture de canopée est de 53.66 %.

### III.1.1.3. Richesse floristique

Ankarafantsika : le nombre de familles végétales inventoriées a été de 52 regroupant 355 genres et 356 espèces végétales. Selon les formations existantes, la forêt dense sèche a regroupé plus de familles végétales (30 familles, Annexe XV) que la forêt sèche dégradée (22 familles, Annexe VII) particulièrement.

- La forêt dense sèche a été caractérisée par les espèces issues de la famille des *Fabaceae*, *Ebenaceae*, *Euphorbiaceae*, *Sapotaceae*, *Bignoniaceae*, *Clusiaceae*
- Pour la forêt sèche dégradée, elle a été caractérisée par les familles de *Malvaceae*, *Fabaceae*, *Caesalpiniaceae*, *Euphorbiaceae*, *Flacourtiaceae*, *Ptaeroxylaceae*.

Ci-dessous la représentation graphique de ces familles végétales inventoriées au sein de la forêt dense sèche et de la forêt sèche dégradée du Parc National d'Ankarafantsika.

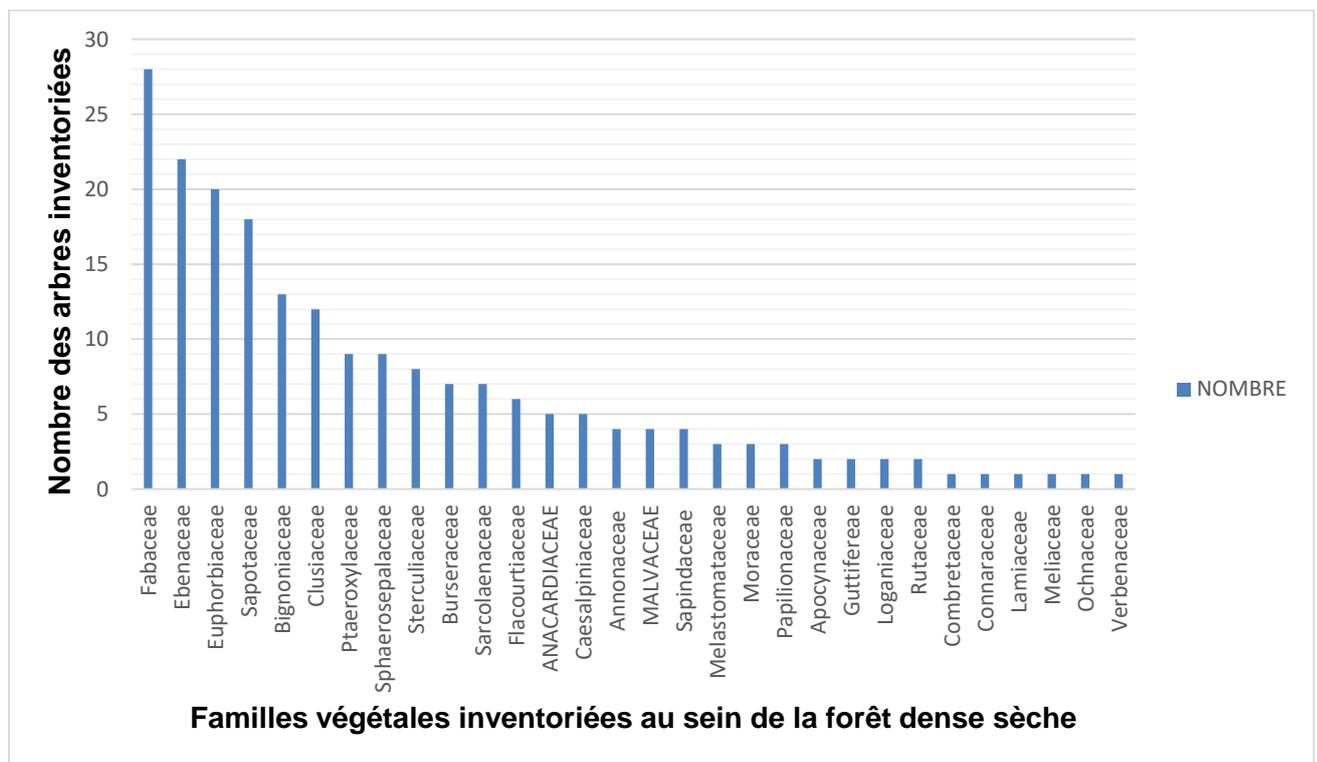
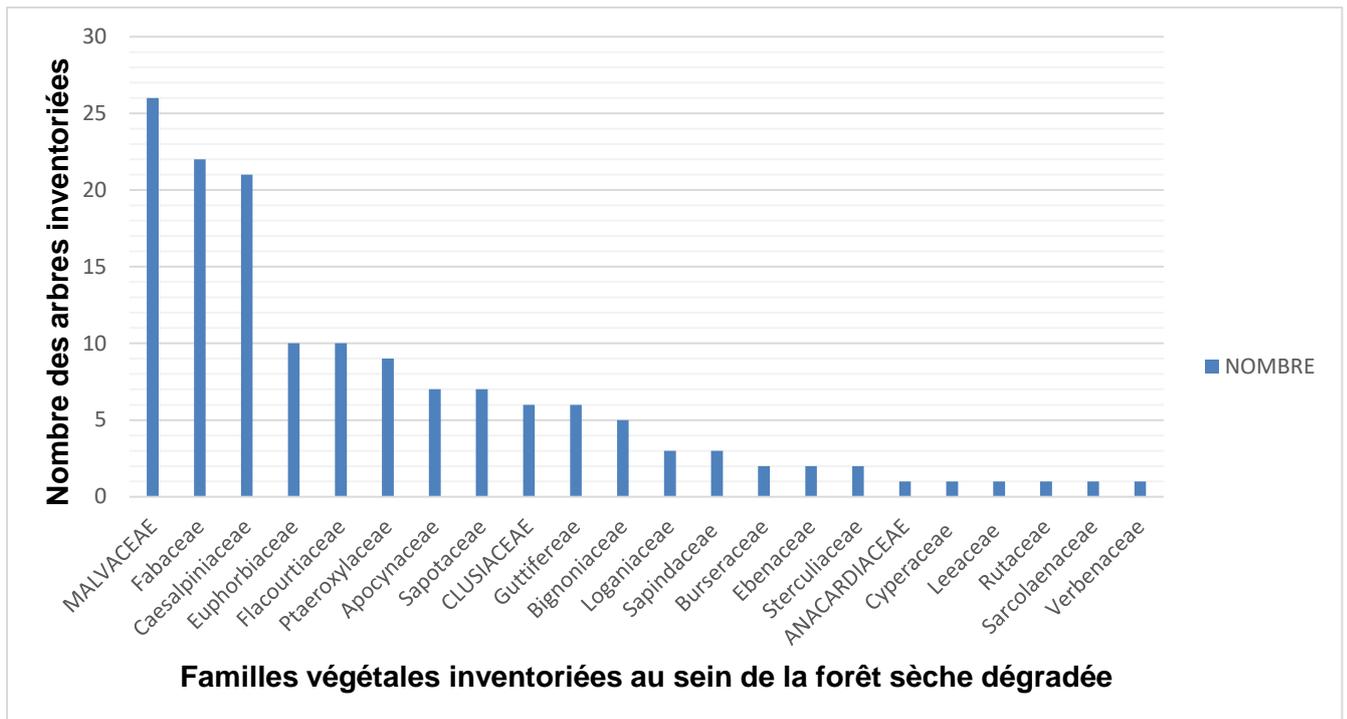


Figure 14 : Représentation graphique des familles végétales inventoriées au sein de la forêt dense sèche avec plus de dix individus dans le Parc National d'Ankarafantsika.



**Figure 15 : Représentation graphique des familles végétales inventoriées au sein de la forêt sèche dégradée avec plus de dix individus dans le Parc National d’Ankarafantsika**

### **III.1.2. Paramètres sylvicoles de la zone d’étude**

#### **III.1.2.1. Paramètre dendrométrique des espèces de la forêt d’Ankarafantsika**

Selon les espèces, la valeur de moyenne du DHP dans la Forêt dense sèche a été de 14.86 cm avec une hauteur totale de 7,5 m, un volume total de 1.44 m<sup>3</sup>/ha (Voir Annexe VIII). Ces espèces se répartissaient aléatoirement dans la formation.

Pour la forêt sèche dégradée, la moyenne de DHP a été de 15,09 cm avec une hauteur totale de 7,74 m, un volume total de 1.6 m<sup>3</sup>/ha (Voir Annexes IX et X). Par rapport à ces résultats, la valeur des erreurs statistiques indique quand même une imprécision des échantillonnages et se manifeste au niveau de la hauteur totale, de la hauteur fût et logiquement au niveau du volume total. Ci-après, les tableaux représentatifs de ces paramètres sylvicoles des espèces dans la forêt dense sèche et dans la forêt sèche dégradée (Voir Annexe II pour les détails).

**Tableau XV : Paramètres sylvicoles des espèces dans la forêt dense sèche**

Forêt dense Sèche	DHP (cm)	HT (m)	H_FUT (m)	Dens/ha Tige	G/ha (m <sup>2</sup> )	VT/ha (m <sup>3</sup> )	VF/ha (m <sup>3</sup> )
<b>Moyenne</b>	14,86	7,5	5,87	128,13	0,36	1,44	0,86
<b>Ecart type</b>	8,36	2,78	1,61	129,19	0,16	0,81	0,58
<b>IC (95%)</b>	0,3	0,14	0,2	3,54	0,04	0,09	0,19
<b>Erreur statistique -95%</b>	0,29	0,14	0,2	3,54	0,04	0,09	0,19
<b>Borne inférieure</b>	14,57	7,36	5,67	124,59	0,32	1,35	0,67
<b>Borne supérieure</b>	15,15	7,64	6,07	131,67	0,4	1,53	1,05

Avec DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine ; HT : Hauteur total ; H\_FUT : Hauteur fût ;  
 Dens/ha : Densité par hectare ; G : la surface terrière ; VT : Volume total ; VF : Volume fût.

**Tableau XVI : Paramètres sylvicoles des espèces dans la forêt sèche dégradée**

Forêt dense Sèche	DHP (cm)	HT (m)	H_FUT (m)	Dens/ha Tiges	G/ha (m <sup>2</sup> )	VT/ha (m <sup>3</sup> )	VF/ha (m <sup>3</sup> )
<b>Moyenne</b>	15,09	7,74	5,21	176,88	1,85	1,6	0,96
<b>Ecart type</b>	9,09	2,61	2,4	186,4	1,62	0,76	0,41
<b>IC (95%)</b>	0,38	0,15	0,33	5,02	0,43	0,09	0,13
<b>Erreur statistique -95%</b>	0,38	0,15	0,33	5,02	0,43	0,09	0,13
<b>Borne inférieure</b>	14,71	7,59	4,88	171,86	1,42	1,51	0,83
<b>Borne supérieure</b>	15,47	7,89	5,54	181,9	2,28	1,69	1,09

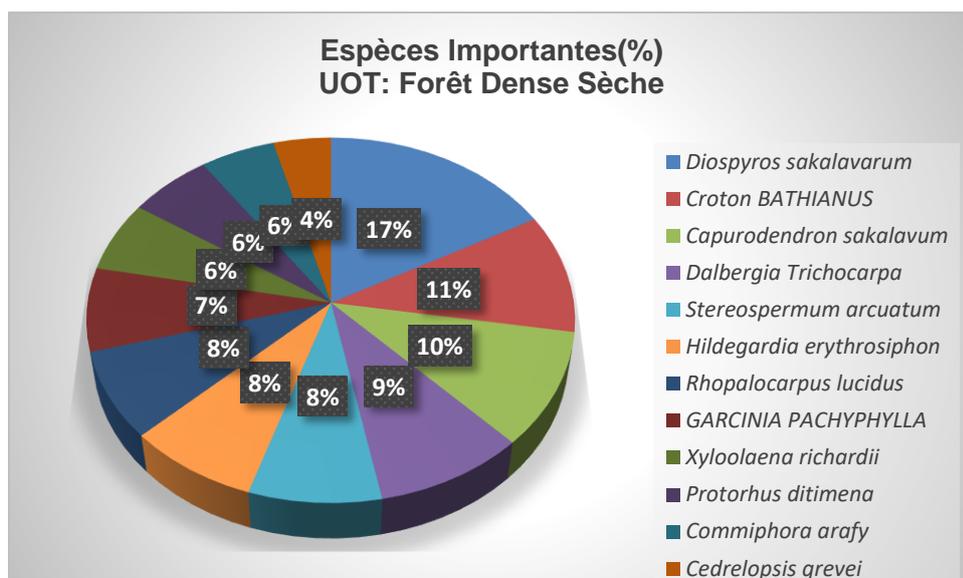
Avec DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine ; HT : Hauteur total ; H\_FUT : Hauteur fût ;  
 Dens/ha : Densité par hectare ; G : la surface terrière ; VT : Volume total ; VF : Volume fût.

### III.1.2.2. Fréquence, Densité, dominance, importance des espèces

Dans la forêt dense sèche, les espèces *Diospyros sakalavarum* (33.24 %), *Croton Bathianus* (20.71 %), *Capurodendron sakalavum* (20.02 %) et *Dalbergia Trichocarpa* (17.96 %) ont été les espèces les plus importantes dans cette formation. Elles ont été distinguées de la faite des sommes des valeurs de la Fréquence, la Densité et la Dominance qui sont relativement élevées à élevées » (Annexe XIX)

- *Diospyros sakalavarum* a une densité de 566 tiges/ha, d'une dominance de 11.16 %, et d'une importance de l'ordre de 33.24 %
- *Croton Bathianus* a une densité de 429 tiges/ha, d'une dominance de 3.97 % et d'une importance de l'ordre de 20.71 %
- *Capurodendron sakalavum* a une densité de 295 tiges/ha, d'une dominance de 8.5 % et d'une importance de l'ordre de 20.02 %
- *Dalbergia Trichocarpa* a une densité de 319 tiges/ha, d'une dominance de 5.52 % et d'une importance de l'ordre de 17.96 %
- *Stereospermum arcuatum* a une densité de 235 tiges/ha, d'une dominance de 6.58 %, et d'une importance de l'ordre de 15.76 %
- *Hildegardia erythrosiphon* a une densité de 314 tiges/ha, d'une dominance de 1.43 %, et d'une importance de l'ordre de 15.62 %
- *Rhopalocarpus lucidus* a une densité de 288 tiges/ha, d'une dominance de 1.68 % et d'une importance de l'ordre de 15.19 %
- *Garcinia Pachyphylla* a une densité de 257 tiges/ha, d'une dominance de 1.89 %, et d'une importance de l'ordre de 14,46 %
- *Xyloolaena richardii* a une densité de 229 tiges/ha, d'une dominance de 1.4 %, et d'une importance de l'ordre de 12.23 %
- *Protorhus ditimena* a une densité de 243 tiges/ha, d'une dominance de 1 %, et d'une importance de l'ordre de 11.83 %
- *Commiphora arafy* a une densité de 186 tiges/ha, d'une dominance de 1.43 %, et d'une importance de l'ordre de 10.62 %
- *Cedrelopsis grevei* a une densité de 93 tiges/ha, d'une dominance de 1.94 % et d'une importance de l'ordre de 8.18 %

Ci-après, la figure qui représente les espèces importantes en pourcentage au sein de la forêt danse sèche.



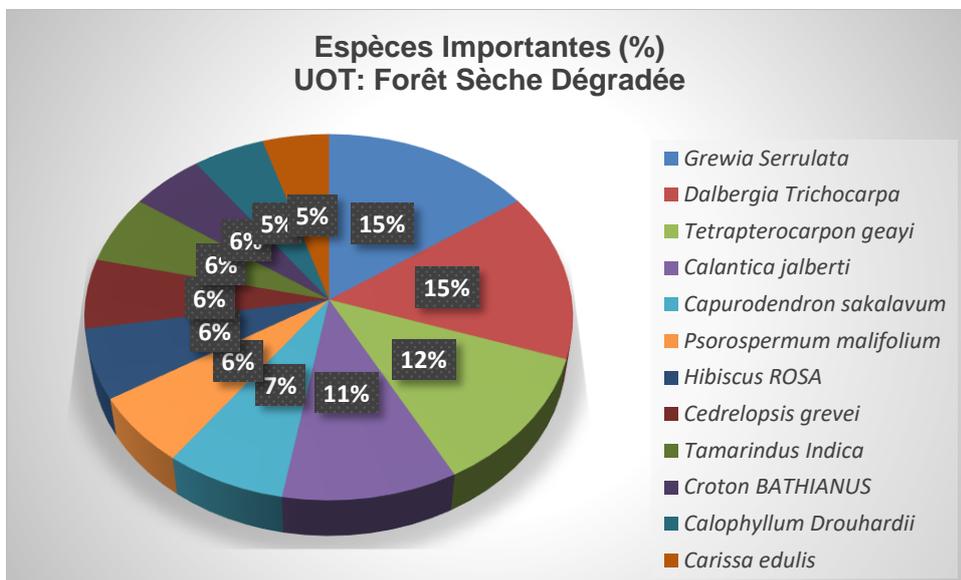
**Figure 16 : Répartition des 12 espèces importantes dans la forêt dense sèche de l'Ouest**

Dans la forêt sèche dégradée, les espèces *Grewia Serrulata* (35.56 %), *Dalbergia Trichocarpa* (34,65 %), *Tetrapterocarpon geayi* (27.94 %) et *Calantica jalberti* (24,73 %) ont été les espèces les plus importantes dans cette formation. Elles ont été distinguées de la faite des sommes des valeurs de la Fréquence, la Densité et la Dominance qui sont relativement élevées à élevées » (Voir Annexe XX )

- *Grewia Serrulata* a une densité de 680 tiges/ha, d'une dominance de 4.42 %, et d'une importance de l'ordre de 35.56 %
- *Dalbergia Trichocarpa* a une densité de 605 tiges/ha, d'une dominance de 11.83 %, et d'une importance de l'ordre de 34,65 %
- *Tetrapterocarpon geayi* a une densité de 543 tiges/ha, d'une dominance de 7.49 %, et d'une importance de l'ordre de 27.97 %
- *Calantica jalberti* a une densité de 509 tiges/ha, d'une dominance de 5.53 %, et d'une importance de l'ordre de 24.73 %
- *Capurodendron sakalavum* a une densité de 320 tiges/ha, d'une dominance de 4.9 %, et d'une importance de l'ordre de 16.96 %
- *Psorospermum malifolium* a une densité de 240 tiges/ha, d'une dominance de 5.39 %, et d'une importance de l'ordre de 14.43 %
- *Hibiscus Rosa* a une densité de 220 tiges/ha, d'une dominance de 6.07 %, et d'une importance de l'ordre de 14.37 %
- *Cedrelopsis grevei* a une densité de 232 tiges/ha, d'une dominance de 5.53 %, et d'une importance de l'ordre de 14,31 %

- *Tamarindus Indica* a une densité de 212 tiges/ha, d'une dominance de 6.08 %, et d'une importance de l'ordre de 14.1 %
- *Croton BATHIANUS* a une densité de 220 tiges/ha, d'une dominance de 4.05 %, et d'une importance de l'ordre de 12.35 %
- *Calophyllum Drouhardii* a une densité de 240 tiges/ha, d'une dominance de 3.06 %, et d'une importance de l'ordre de 12.1 %
- *Carissa edulis* a une densité de 183 tiges/ha, d'une dominance de 4.34 %, et d'une importance de l'ordre de 11.24 %

Ci-dessous, la figure qui représente les espèces importantes en pourcentage au sein de la forêt sèche dégradée.



**Figure 17 : Répartition des 12 espèces importantes dans la forêt dense sèche de l'Ouest**

### III.1.2.3. Taux et capacité de régénérations

Malgré les caractéristiques des espèces importantes, il se pourrait que le peuplement forestier de la forêt sèche d'Ankarafantsika ait une chance de se reconstituer. En effet, le taux de régénération indique la présence et l'abondance d'individus en âge de développement (Annexes XXI et XXII).

Voici la figure montrant la présentation graphique du taux de régénération sur les forêts du Parc National d'Ankarafantsika.

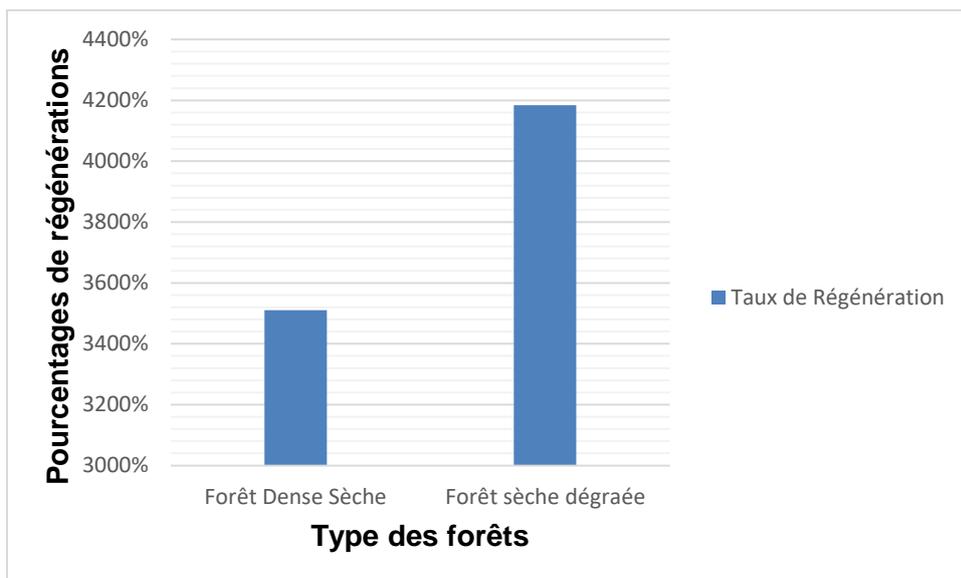


Figure 18 : Représentation graphique du taux de régénération naturelle

## **III.2. STRUCTURE DE LA VENTE DES CRÉDITS CARBONE**

### **III.2.1. Étapes à suivre pour obtenir l'autorisation de vendre les produits carbonés**

#### **III.2.1.1. Éligibilité des initiatives et des bénéficiaires**

Comme tous les projets, il existe toujours des examens des dossiers afin que les évaluateurs donnent leur accord. Commençons cette sous-section par le processus d'homologation d'initiative.

##### ***a. Processus d'homologation d'Initiative***

Pour que l'initiative soit éligible, il faudrait d'abord homologuer. En réalité, seules les initiatives homologuées peuvent prétendre aux bénéfices carbonés, incluses dans le plan de partage des bénéfices.

Pour avoir cette homologation, il faut que le promoteur de l'initiative fasse la demande au ministère en chargé des forêts à travers le bureau national en charge de la coordination de la REDD+.

Pour être homologuée REDD+, l'initiative doit répondre aux quatre (04) critères suivants :

Zone délimitée (niveau cartographique), sans superposition avec d'autres initiatives;  
Existence d'investissements initiaux préalables, générateurs de réduction d'émissions carbone ;

Existence de plan d'utilisation conforme à la stratégie REDD+ et respectant les principes et directives des « sauvegardes environnementales et sociales » REDD+ ;

Document attestant que la gouvernance représentative de l'initiative est opérationnelle et a été impliquée lors de l'élaboration du plan d'utilisation de l'initiative ;

Cette homologation sera suivie d'une convention établie entre le ministère en chargé des Forêts, représenté par le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ et le promoteur d'initiative. Elle contient les droits et obligations respectifs du promoteur d'initiative et du Bureau National en Charge de la Coordination de la REDD+ pour la mise en œuvre des activités du plan d'utilisation. Toute homologation consentie en violation des lois et règlements en vigueur peut être annulée sans dommages-intérêts. L'annulation est également prononcée dans les mêmes conditions en cas de mauvaise foi sur les réalisations techniques, dont notamment :

Les activités contraires à la politique forestière ;

Le non-respect des engagements en matière de sauvegarde environnementale et sociale ;

L'absence de performance relative à la réduction des émissions suivant les Mesures, Notification et Vérification (MNV) ;

La non-considération des plaintes ;

La non-réalisation du plan d'utilisation.

#### ***b. Processus d'élaboration et d'approbation d'un programme***

Le processus d'élaboration, de lancement et de gestion de chaque programme est coordonné par le bureau national en chargé de la coordination REDD+.

Ce Programme est soumis à une évaluation externe indépendante conformément aux standards internationaux applicables à la REDD+, à savoir : le VCS (Verified Carbon Standard).

### **III.2.1.2. Bénéficiaires des bénéfices carbonés**

Ci-après, tous les bénéficiaires des bénéfices carbonés dans une initiative ou programme :

1. Les structures de gouvernance de la REDD+ qui reçoivent des bénéfices numéraires afin d'exécuter leurs missions liées à la REDD+ dans la zone du programme ou de l'initiative hors programme. Elles se composent de :

- l'État malagasy,
- des structures au sein du ministère chargé des forêts
- de la plateforme nationale REDD+,
- des plateformes régionales REDD+ concernées et
- du gestionnaire des bénéfices REDD+ ;

2. Les promoteurs d'initiatives qui reçoivent et gèrent les bénéfices numéraires afin d'assurer les missions de planification, de gestion administrative et financière, de suivi, de contrôle, d'appui à la gouvernance de l'initiative et de rapportage ;

3. Les gestionnaires d'activités, à savoir les acteurs privés, les gestionnaires des aires protégées, les communautés locales, les associations qui réalisent les activités REDD+ sur le terrain ;

4. Les propriétaires de forêt privée titrée qui réalisent des activités volontaires REDD+ ;

5. Les bénéficiaires finaux, incluant les communes touchées par les initiatives, qui jouissent des impacts de la mise en œuvre des activités REDD+.

### **III.2.1.3. Régulation de l'accès aux marchés de carbone forestier**

#### ***a. Registre national de transactions des Réductions des Emissions (REs)***

Il a été créé un registre national de transactions des REs dont la vocation est de gérer les mouvements des titres légaux de REs certifiées sur tout le territoire national. Le titre légal de REs certifiées défini à l'article 4 du présent décret est inscrit par le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ dans le registre national de transaction pour le compte du gouvernement Malagasy.

Le Ministère en charge des Forêts, à travers le Bureau National en charge de la Coordination de la REDD+ est l'entité de gestion du registre national de transactions.

L'État malagasy, à travers le ministère en charge des Forêts, peut déléguer la gestion du registre national de transactions des REs à un tiers, personne morale de droit public ou de droit privé, à travers un contrat. Les modalités de délégation de gestion sont régies par la loi n°2015-039 du 09 décembre 2015 sur le partenariat public privé.

#### ***b. Commercialisation et la vente des Réduction des Emissions (REs)***

La commercialisation, à savoir l'action de chercher des acquéreurs et de négocier les termes du contrat de vente de REs certifiées, est de la responsabilité du ministère en charge des forêts, représenté par le bureau national en charge de la coordination de la REDD+.

Le Ministère en charge des forêts peut déléguer à un tiers, dénommé « agent commercial », la commercialisation des REs certifiées d'un Programme ou d'une Initiative à travers un contrat de commercialisation.

L'agent commercial peut avancer la trésorerie pour financer les dépenses de commercialisation qui ne peuvent excéder 2,5% des bénéfices nets issus de la vente.

Seuls les agents commerciaux détenteurs de contrats de commercialisation et de vente régulièrement signés peuvent prétendre à un remboursement de l'avance, justifié par des pièces comptables ventilées en bonne et due forme. Le risque financier lié à l'avance de trésorerie est pris en charge par l'agent commercial.

Le Ministère en charge des finances et le ministère en charge des forêts représentent l'État Malagasy pour la vente des REs certifiées, transférant le titre légal des REs à un acquéreur.

#### **III.2.1.4. Gestion financière des bénéfices carbone et d'autres financements liés à la REDD+**

La gestion financière des bénéfices carbone et des financements obtenus pour la mise en œuvre de la stratégie nationale REDD+ suit les normes internationales et nationales de bonne gouvernance, de transparence et de traçabilité.

##### ***a. Gestion des bénéfices carbone***

Les bénéfices carbonés sont versés au Compte d'Affectation Spéciale du Trésor (CAST) dédié au ministère en charge des forêts.

Ledit compte a pour vocation de retracer les opérations qui sont financées par les bénéfices carbonés conformément au plan de partage des bénéfices.

##### ***b. Gestion d'autres financements liés à la REDD+***

L'utilisation de tous les financements obtenus pour mettre en œuvre la stratégie nationale REDD+ doit respecter le dispositif de gouvernance de la REDD+ selon l'échelle de l'initiative ou du programme concerné.

#### **III.2.2. Gestion et suivi des initiatives ainsi que programmes dans le mécanisme REDD+**

C'est un moyen technique très délicat dans l'organisation des entreprises ou des organismes pour mieux diriger les initiatives.

##### **III.2.2.1. Cadres de gestion**

###### ***a. Gestion d'une initiative et d'un programme***

Chaque promoteur d'initiative assure la gestion opérationnelle de son initiative, par l'établissement de contrats de financement avec chaque gestionnaire d'activités, l'appui et le suivi des activités REDD+, la mise en œuvre des mesures de sauvegarde, et l'établissement de rapports techniques et financiers périodiques.

Le Bureau National en charge de la Coordination de la REDD+ assure la supervision technique et financière de chaque initiative au niveau national, la gestion technique et financière des programmes et l'opérationnalisation des cadres REDD+.

La coordination régionale REDD+ assure, la conception de nouvelles Initiatives REDD+ régionales, l'opérationnalisation des cadres REDD+, la supervision technique et financière de chaque Initiative au niveau régional, et l'appui REDD+ aux Collectivités Territoriales Décentralisées (CTD).

Les collectivités territoriales Décentralisées assurent, à travers leur organe technique respectif, le suivi et le contrôle de la planification et de la mise en œuvre des activités REDD+ au niveau de leur circonscription respective.

#### ***b. Des cadres de sauvegarde applicables pour la REDD+***

Toute initiative, doit faire l'objet d'une évaluation environnementale et sociale appropriée conformément aux lois et règlements en vigueur et en se référant au document d'évaluation environnementale et sociale stratégique de la REDD+ et aux trois cadres de sauvegarde applicables pour la REDD+, à savoir le CGES, le CPR et le CF.

Toute nouvelle activité REDD+ dans le plan d'investissement ou plan d'utilisation doit être évaluée pour déterminer si elle aura besoin de mesures d'atténuation spécifiques.

Le bureau national en charge de la coordination REDD+ assure la cohérence des mécanismes de sauvegarde pour les programmes et initiatives REDD+, à savoir la conception et la mise à jour des cadres de sauvegarde, le contrôle de conformité des plans d'utilisation par rapport aux cadres de sauvegarde, et le suivi de l'application des mesures de sauvegarde sur le terrain.

### **III.2.2.2. Suivi des performances REDD+**

C'est un moyen nécessaire pour connaître la capacité à remplir efficacement les attentes sur une initiative de REs.

#### ***a. Système national de Mesures de Notification et de Vérification des REs (MNV)***

Le système de Mesure, de Notification et de Vérification des REs, ci- après dénommés « Système National MNV », fait référence à une série de processus et de procédures par lesquels des informations sur les émissions et absorptions de gaz à effet de serre, ci-après dénommé GES, provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts et du renforcement des stocks de carbone forestier et qui sont mesurées, notifiées et vérifiées. Le système est établi par le ministère en charge des forêts à travers le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ conformément aux normes internationales applicables à la REDD+.

Le Système National MNV permet d'évaluer la performance en termes de REs à l'échelle d'une initiative, d'un programme ou du pays par rapport à un Niveau d'Émissions de Référence pour les Forêts ou à un Niveau de Référence pour les Forêts ci-après dénommés NERF ou NRF, mesurée en tonnes de dioxyde de carbone équivalent (tCo<sub>2</sub>eq).

## **b. Mesures de la performance carbone forestière**

Le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ assure les rôles suivants, au niveau national et au niveau des programmes, en conformité avec le système national MNV :

- La collecte des données d'activités dans les zones d'intervention des initiatives ;
- L'établissement et le rapportage des NERF/NRF ;
- Le calcul de la performance carbone forestière, au niveau des initiatives et des programmes.
- L'évaluation de l'intensité de la déforestation pour les Communes concernées par les zones des initiatives.

Le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ peut déléguer tout ou partie des activités techniques liées à ces mandats, tout en étant directement responsable de la qualité des informations produites.

### ***c. Notification et vérification de la performance carbone***

Le ministère en charge des forêts à travers le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ assure la notification des informations sur les REs générées par les initiatives et les programmes et les REs du secteur forestier.

Une vérification des REs notifiées est effectuée par un vérificateur externe accrédité en vue de la génération des REs certifiées.

### ***d. Suivi de la performance non-carbone***

La performance non carbone est définie par la conformité ou non- conformité de l'initiative vis-à-vis des indicateurs définis dans le Système d'information sur les Sauvegardes (SIS) du SIIP.

Le promoteur d'initiative est chargé de collecter, de rapporter et d'inscrire dans le SIIP les données d'activités liées au SIS.

### ***e. Suivi de la performance effort***

La performance effort est définie par le taux de réalisation du plan d'investissement de l'initiative et du plan d'utilisation des bénéfices carbone, mesurée en pourcentage (%). Elle est mesurée par le bureau national chargé de la coordination de la REDD+ ou par un mandataire.

Le promoteur de l'initiative collecte, compile et inscrit les données de réalisation du plan d'utilisation dans le SIIP.

### **III.2.3. Mécanisme de gestion des plaintes et des informations**

Dans cette section figurent tous les règlements concernant les contestations sur les initiatives.

#### **III.2.3.1. Gestion des plaintes liées à la REDD+**

Toutes les initiatives homologuées doivent disposer d'un système de registre de plaintes REDD+ lié au système national de suivi de la gestion des plaintes REDD+. Chaque système doit être conforme aux directives et aux exigences du mécanisme de gestion des plaintes liées à la REDD+, établi par le Bureau National en charge de la Coordination de la REDD+, transparent, respectueux de la culture locale et facilement accessible au public.

Des comités de règlement à l'amiable, composés des entités concernées par les plaintes, sont mis en place par le promoteur d'initiative afin de régler, à l'amiable, les plaintes liées à la REDD+.

Les procédures et le mode de gestion des plaintes sont définis dans un manuel de procédure validé par le ministère en charge des forêts, sur proposition simple du bureau national en charge de la coordination de la REDD+.

#### **III.2.3.2. Système d'Information sur les Initiatives et Programme (SIIP)**

Une base de données sécurisée, dénommée Système d'information sur les initiatives et Programme (SIIP), dont les missions sont de créer afin de collecter, de traiter, de regrouper, de classer et de diffuser toutes les informations relatives à la gestion, au suivi et à l'évaluation des programmes et initiatives REDD +.

Le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ assure l'administration, la maintenance et la sécurisation du SIIP. Chaque Initiative homologuée collecte, consolide et alimente les données nécessaires au SIIP.

Le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ vérifie, compile et partage les informations du SIIP.

#### **III.2.3.3. Recours et résolution des litiges**

Les litiges occasionnés par les contrats liés à l'application des dispositions du présent décret, à savoir passés entre le ministère en charge des forêts et/ou le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ et les promoteurs ainsi que ceux entre l'État et les acquéreurs de REs sont réglés à l'amiable avant d'être soumis à la juridiction nationale compétente.

### **III.2.4. Mécanisme de partage des bénéfices de carbone**

C'est un mécanisme qui va clarifier la répartition des argents venus de la vente de crédit carbone à chaque bénéficiaire.

#### **III.2.4.1. Dispositions des bénéfices carbone**

Les bénéfices carbonés, en tant que ressources publiques, ont pour objectif de :

- Pérenniser les financements d'activités REDD+ ;
- Favoriser le développement national du mécanisme REDD+.

Ainsi, les bénéfices carbonés assurent les cinq grandes vocations suivantes :

- La continuité des activités REDD+ performantes au sein d'une initiative ;
- L'extension des activités REDD+ au sein d'une Initiative, en termes géographiques ou thématiques ;
- La promotion de nouvelles initiatives ;
- L'opérationnalisation des dispositifs de gouvernance et de gestion, du mécanisme REDD+, incluant :
  - Une contribution aux dépenses de fonctionnement ou d'investissement de l'État Malagasy ;
  - Le contrôle de la bonne gestion des activités REDD+ par l'administration en charge des forêts et de l'environnement ;
  - La coordination du mécanisme par le bureau national en charge de la coordination de la REDD+ ;
  - Le processus de planification au niveau national, régional et communal
  - Les suivis visés dans le présent titre ;
  - Les appuis techniques et l'accompagnement des acteurs au niveau régional ;
  - La commercialisation des REs certifiées et la gestion des bénéfices carbone ;
  - Les récompenses et les activités sociales, pour les communes et VOI performants en termes de REDD+.

#### **III.2.4.2. Partage des bénéfices carbone**

##### ***a. Principes régissant le partage des bénéfices carbone***

Le partage des bénéfices carbone repose sur les principes d'équité, d'exclusivité et de transparence. Les bénéfices carbonés peuvent être alloués sous forme numéraire ou non numéraire. Le partage des bénéfices numériques se déroule selon les 4 étapes successives ci-après :

- Une répartition globale du revenu effectivement disponible ;
- Concernant la partie affectée aux activités de terrain, une répartition entre les initiatives du programme concerné, sur la base de leurs performances respectives ;

Et pour chaque initiative, la conduite d'une planification détaillée des activités à mener sur le terrain, devant aboutir à un plan d'utilisation faisant office de plan d'affectation du financement de l'initiative.

L'ensemble des activités planifiées est consolidé et soumis à une analyse de conformité par rapport à la stratégie nationale REDD+ par le ministère en charge des forêts. Dès la signature d'un contrat de vente avec un acheteur de réduction d'émission, tout programme REDD+, ou toute initiative REDD+ hors programme doit disposer d'un plan de partage des bénéfiques, établi d'un commun accord par le bureau en charge de la coordination REDD+ et les promoteurs d'initiatives concernés. Le plan de partage spécifie les catégories de bénéficiaires éligibles, les critères de priorisation des activités à financer, les performances attendues et un plan global pluriannuel budgétaire de partage des bénéfiques.

Chaque Initiative homologuée établit un plan d'utilisation défini par l'article 4 du présent décret sur la base du plan de partage de bénéfice mis à jour selon les performances carbone mesurées.

Le plan de partage et le plan d'utilisation des bénéfiques carbone sont rendus publics par le bureau national en charge de la coordination de la REDD+.

#### ***b. Répartition générale des bénéfiques carbone***

Pour atteindre les objectifs de la stratégie nationale REDD+, le montant des bénéfiques carbone, est subdivisé en deux parties : 80% pour mener des activités de terrain et 20% pour financer les activités liées à la gouvernance REDD+. Cette répartition globale est la moyenne, sur la durée du contrat, des répartitions annuelles de partage telles que spécifiées par le plan de partage.

Les bénéfiques alloués aux activités de terrain sont répartis comme suit :

- 60% du montant de la totalité du contrat de vente sont attribués aux actions opérationnelles telles que planifiées au niveau de chaque initiative. Ces actions peuvent concerner des extensions ou des poursuites d'activités.
- 20% du montant de la totalité du contrat sont affectés aux activités à l'échelle communale, dont 5% attribués à des activités de récompense aux communautés de base performantes inscrites dans le plan d'investissement ou plan d'utilisation, 5% affectés aux infrastructures des communes performantes concernées par les activités, 8% affectés aux services sociaux et sécuritaires des communes touchées par les initiatives, et 2% pour le suivi des activités par les services techniques des communes concernées.

Les bénéfiques alloués aux activités liées à la gouvernance sont répartis comme suit :

- 5% sont alloués au profit du budget général de l'État ;

- 15% sont alloués, pour les activités de gouvernance REDD+, aux activités de gestion, de planification, de suivi, de contrôle, d'appui et de développement des activités REDD+.

***c. Des parties fixes et variables des bénéficiaires affectés aux activités opérationnelles de terrain***

Les bénéficiaires affectés aux activités opérationnelles de terrain d'un programme ou d'une initiative hors programme sont scindés en « bénéficiaire d'activité fixe » et « bénéficiaire d'activité variable ». Ils sont attribués selon les principes suivants :

Les bénéficiaires d'activités fixes sont alloués aux initiatives quelles que soient leurs performances afin de couvrir leurs charges structurelles de gestion et d'activités,

Les bénéficiaires d'activités variables sont répartis aux différentes initiatives en fonction de leurs « performances absolues » mesurées.

Les bénéficiaires d'activités variables représentent 50 % du revenu carbone total et les bénéficiaires d'activités fixes représentent 10 % du revenu total.

Les bénéficiaires d'activités fixes et variables perçus par l'initiative sont calculés par le ministère en charge des forêts à travers le bureau national en charge de la coordination de la REDD+. Les critères et les modalités de calcul des bénéficiaires d'activités fixes et variable sont stipulés dans le plan de partage de bénéfice carbone du programme ou de l'initiative hors programme.

La performance absolue de l'initiative est calculée par le bureau national en charge de la coordination nationale REDD+ sur la base des performances carbone, des performances non carbonées et des performances d'effort de l'initiative. Les modalités de calcul de la performance absolue sont fixées dans le plan de partage de bénéfice du Programme ou de l'initiative hors programme.

### III.3. STOCKS DE CARBONES ET NIVEAU D'ÉMISSION RÉFÉRENCE DE LA FORÊT DU PARC NATIONAL ANKARAFANTSIKA

Ces deux éléments sont intimement liés, parfois il est nécessaire de connaître l'un avant de découvrir l'autre. Avant d'explorer ces éléments, cependant, il est indispensable de passer par une série de calculs. Ce chapitre se concentre principalement sur l'évaluation des niveaux de carbone stockés ainsi que les niveaux d'émissions de référence des forêts dans la forêt sèche du parc national d'Ankarafantsika.

#### III.3.1. Quantité de stocks de carbone dans la forêt Ankarafantsika

##### III.3.1.1. Valeur des Données d'Activités

###### *a. Changement d'affectation des terres entre 2010 et 2020*

Le tableau ci-dessous indique le résultat d'analyse de la déforestation entre 2010 et 2020 au niveau des deux formations végétales dans le parc national Ankarafantsika, ce sont les Données d'Activités.

**Tableau XVII : Superficie des forêts et perte de superficie forestière par type de forêt**

Formation végétales	SUPERFICIE (ha)		DEFORESTATION TOTALE PENDANT LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE (ha)	DEFORESTATION ANNUELLE	TAUX DE DEFORESTATION (%) PAR AN
	2010	2020	2010-2020		
<b>Forêt dense sèche</b>	83 133	80 483	2 650	240.9	0.3
<b>Forêt sèche dégradée</b>	22 883	20 835	2 048	186.2	0.8
<b>TOTAL</b>	<b>106 016</b>	<b>101 318</b>	<b>4 698</b>	<b>427.1</b>	<b>0.4</b>

Donc les données d'activités sont l'ensemble de la perte annuelle de forêt dense sèche et de la forêt sèche dégradée qui est égale à 427.1 ha par an. Il faut noter que la déforestation de la forêt du parc a plusieurs types. Ci-joint le tableau montrant la superficie de la forêt détruite par les feux de brousse au sein du parc d'Ankarafantsika.

**Tableau XVIII : Superficie de la forêt Ankarafantsika détruite par les feux par type de forêt (2010 – 2020)**

Type d'occupation du sol	Superficie détruit (ha)	Superficie brûlée (ha) 54.19 %	Superficie brûlée par an (ha)
Forêt dense sèche	2 650	1 436	130.5
Forêt dense sèche dégradée	2 048	1 109.8	100.9

### III.3.1.2. Valeur de carbone séquestré dans la forêt d'Ankarafantsika

#### *a. Biomasses dans la forêt d'Ankarafantsika*

En termes de biomasse, la forêt dense sèche d'Ankarafantsika dispose de 44.38 tms/ha en biomasse aérienne (Annexe VIII), de 13,00 tms/ha en biomasse souterraine, de 179.14 tms/ha en carbone organique du sol, de 0,00tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, de 0,00 tms/ha en biomasse des débris.

En termes de biomasse, la forêt sèche dégradée d'Ankarafantsika dispose de 44.99 tms/ha en biomasse aérienne (Annexe XVI), de 13.39 tms/ha en biomasse souterraine, de 179.14 tms/ha en carbone organique du sol, de 0,00tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, de 0,00 tms/ha en biomasse des débris. Ces affirmations sont illustrées sur le tableau ci-dessous.

**Tableau XIX : Biomasse des espèces supérieures à de DHP>5cm dans la forêt dense sèche d'Ankarafantsika**

Paramètres	Moyenne (tms/ha)
Aérienne	44,37510691
Souterraine	13,00950246
Carbone Organique du Sol	179.14

**Tableau XX : Biomasse des espèces supérieure à de DHP>5cm dans la forêt sèche dégradée.**

Paramètres	Moyenne (tms/ha)
Aérienne	44,99856741
Souterraine	13,38537349
Carbone Organique du Sol	179.14

Ainsi, les biomasses réservoir et totale en formation végétale surviennent comme suit :

**Tableau XXI : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tonne de matière sèche par hectare (tms/ha)**

CLASSE FORESTIÈRE	BA	BS	COS	TOTAL
Forêt Dense Sèche	44.38	13.00	179.14	236.52
Forêt Sèche Dégradée	44.99	13.39	179.14	237.52

Ce tableau représente les valeurs des quantités des biomasses aériennes, des biomasses souterraines ainsi que carbone organique du sol en tonne des matières sèches sur la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée.

***b. Quantités de carbone stockés dans la forêt du parc national d'Ankarafantsika***

Pour convertir ce résultat en carbone (C), nous avons utilisé la méthode publiée sur les Lignes directrices AFOLU du GIEC 2006, tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004). Dans cette publication il est écrit que 47 % dans les poids des matières sèches ce sont les carbones. Donc, après la transformation, nous avons obtenu la biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tonne de carbone (C) présenter dans le tableau ci-dessous.

**Tableau XXII : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tonne carbone (tC/ha)**

CLASSE FORESTIERES	BA	BS	SOC	TOTAL
Forêt Dense Sèche	20.86	6.11	84.2	111.17
Forêt Sèche Dégradée	21.15	6.29	84.2	111.64

Après avoir effectué plusieurs calculs, nous arrivons à la synthèse sur le carbone stocké en forêt dense sèche et en forêt sèche dégradée du parc national d'Ankarafantsika. Le tableau suivant montre cette synthèse.

**Tableau XXIII : Synthèse des stocks de carbone séquestrés en Forêt Dense Sèche et Forêt Sèche Dégradée du Parc National d'Ankarafantsika.**

Classification NERF de l'occupation du sol	Stocks de Carbone [tC/ha]
Forêt Dense Sèche	111.17
Forêt Sèche Dégradée	111.64

Ce tableau montre que les tonnes de carbone stockées au sein de la forêt dense sèche d'Ankarafantsika s'élèvent à 111.17 tC/ha et 111.64 tC/ha pour la forêt sèche dégradée.

### **III.3.2. Quantification de NERF**

Avant de découvrir le NERF, il faudrait connaître d'abord les Facteurs d'Emission que nous allons voir ci-joint.

#### **III.3.2.1. Facteurs d'Émission**

##### **a. Changements de stocks**

Pour calculer les facteurs d'émissions, nous débuterons par le calcul de la biomasse totale de la forêt et des zones non forestières (incluant la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et le carbone organique du sol) pour deux types de formations végétales.

Ensuite, nous convertirons cette biomasse en stock de carbone et en équivalent CO<sub>2</sub> en utilisant les facteurs de conversion détaillés dans la partie méthodologique. Cette section débutera par la présentation de la biomasse des zones non forestières d'Ankarafantsika.

##### **b. Biomasse du Non-forêt dans la forêt d'Ankarafantsika**

En termes de biomasse non-forêt, la forêt dense sèche d'Ankarafantsika dispose de 2.5 tms/ha en biomasse aérienne, de 1.41 tms/ha en biomasse souterraine, de 201.49 tms/ha en carbone organique du sol, de 0,00 tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, de 0,00 tms/ha en biomasse des débris. Ci-après le tableau montrant cette biomasse non-forêt.

**Tableau XXIV : Biomasse des espèces supérieures à de DHP>5cm dans la forêt sèche dégradée.**

Paramètres	Moyenne (tms/ha)
Aérienne	2,50
Souterraine	1,41
Carbone Organique du Sol	201,49

**Source :** Auteur, 2023

Après avoir établi les valeurs de biomasse des zones non forestières dans le Parc national d'Ankarafantsika. Le tableau ci-après va présenter en même temps, les données sur la biomasse forestière et non forestière afin de faciliter les calculs ultérieurs.

**Tableau XXV : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tms/ha**

CLASSES FORESTIERES	BA	BS	COS	TOTAL
Forêt Dense Sèche	44.38	13.00	179.14	236.52
Forêt Sèche Dégradée	44.99	13.39	179.14	237.52
Non-forêt Forêt Dense Sèche	2.50	1.41	201.49	205.4
Non-forêt Forêt Sèche Dégradée	2.50	1.41	201.49	205.4

Source : Auteur, 2023

En appliquant les facteurs de conversion Carbone en CO<sub>2</sub> dans le tableau ci-dessous, nous aurons les valeurs de carbone en CO<sub>2</sub>. C'est le gaz à effet de serre.

**Tableau XXVI : Facteurs de conversion Carbone et CO<sub>2</sub>**

Paramètres	Valeur	Sources
Fraction Carbone de la biomasse [tC/tms]	0.47	Lignes directrices AFOLU du GIEC 2006, tableau 4.3 (McGroddy <i>et al.</i> 2004)
Facteur de conversion du C vers le CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /tC]	44/12	Basé sur la masse moléculaire du carbone et de l'oxygène

Source : Auteur, 2023

Une fois transformées, nous aurons obtenu les quantités de biomasse par réservoir et au total, exprimées en tonnes équivalent CO<sub>2</sub> pour chaque formation végétale.

**Tableau XXVII : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tCO<sub>2</sub>/ha**

CLASSES FORESTIERES	BA	BS	COS	TOTAL
Forêt Dense Sèche	76.48	22.4	308.71	407.6
Forêt Sèche Dégradée	77.53	23.07	308.71	409.31
Non-forêt Forêt Dense Sèche	4.3	2.43	347.23	353.96
Non-forêt Forêt Sèche Dégradée	4.3	2.43	347.23	353.96

Source : Auteur, 2023

En effectuant la soustraction de la biomasse forestière par celle des zones non forestières, nous obtenons les stocks de carbone résultants de cette opération. La dernière se présente sur le tableau ci-après.

**Tableau XXVIII : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale en tCO<sub>2</sub>/ha**

CLASSES FORESTIERES	BA	BS	COS	TOTAL
Forêt Dense Sèche	72.18	19.97	(38.52)	53.63
Forêt Sèche Dégradée	73.23	20.64	(38.52)	55.35

**Source :** Auteur, 2023

Donc les facteurs d'émissions de la forêt dense sèche et de la forêt sèche dégradée sont respectivement comme suit : 53.63 tCO<sub>2</sub>/ha et 55.35 tCO<sub>2</sub>/ha. Après avoir vu les facteurs d'émissions CO<sub>2</sub> le tableau suivant va montrer les Facteurs d'Emissions Non - CO<sub>2</sub>.

### III.3.2.2. Facteurs d'Emissions Non-CO<sub>2</sub>

**Tableau XXIX : Facteur d'Émission pour les émissions non-CO<sub>2</sub>**

Type de végétation	tms / ha	EF (tCO <sub>2</sub> /ha)
Forêt Dense Sèche	3.46	5.96
Forêt Sèche Dégradé	3.5	6.03

**Source :** Auteur, 2023

### III.3.2.3. Quantification de Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF)

À partir des Données d'Activités décrites dans le tableau 17 et des facteurs d'émissions présentés dans le tableau 30 pour le CO<sub>2</sub> et le tableau 31 pour les émissions non-CO<sub>2</sub>, nous avons calculé les émissions annuelles par formation végétale puis fait la somme de l'ensemble de ces émissions pour calculer les émissions de GES totales annuelles sur la période de référence, ce qui correspond au niveau d'émissions de référence des forêts sèche du Parc National d'Ankarafantsika. Ces émissions et les Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts sont présentés sur le tableau ci-après.

**Tableau XXX : Émissions par formation végétale et calcul du NERF**

Strate	Changements de stocks de carbone [tCO <sub>2</sub> /an]	Émissions Non-CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /an]	Émissions [tCO <sub>2</sub> /an]
Déforestation en Forêt Dense Sèche (DFDS)	12 919.5	777.8	13 697.3
Déforestation en Forêt Sèche Dégradée(D <sub>FSD</sub> )	10 358.3	608.4	10 966.7

<b>Niveau d'émissions de référence des forêts</b>	<b>23 277.8</b>	<b>1 386.2</b>	<b>24 664</b>
---	-----------------	----------------	---------------

Source : Auteur, 2023

D'après ce tableau, la valeur des Niveaux d'Emissions de Référence des Forêts de la forêt du parc national d'Ankarafantsika est de 24 664 tonnes de dioxyde de carbone par an depuis 2010 jusqu'à 2020.

#### **III.3.2.4. Etudes comparative des résultats en forêt dense sèche et forêt sèche dégradée**

Les résultats obtenus sur les deux formations nous amènerons à faire la comparaison entre ces deux types de forêts. D'après notre recherche, les biomasses aériennes sont des pièces maitresses dans tous ces calculs. Nous avons exploité que les biomasses en question, pour comparer avec les autres, notamment les quantités de carbone séquestrés ou les Niveaux d'Emissions de Référence des Forêts. Pour le faire nous avons utilisé le test T-test Student, comme outil d'analyse pour cette étude. Le tableau XXXIV ci-dessous montre le résultat de ce test de comparaison.

**Tableau XXXI : Résultat d'études de comparaison entre la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée sur les biomasses aériennes en utilisant le test T-test du Student**

<b>Type des forêts</b>	<b>Biomasse (tms)</b>
Forêt dense sèche	44,37510691
Forêt sèche dégradée	44,99856741
P-Value variable égale	0.36
P-Value variable différente	0.34

Ce tableau démontre le résultat de la comparaison entre la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée dont la P-Value variable est égale à 0.36 et celui du P-Value variable différente est de 0.34. Et, comme nous l'avons affirmé dans le paragraphe précédent sur l'indispensabilité des biomasses, donc la différence entre les quantités de ces deux P-Values et les autres résultats, notamment le carbone séquestré et les Niveaux d'Emissions de Référence des Forêts sont identiques aux biomasses.

## **QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION**

Dans cette partie, nous présenterons diverses interprétations sur les méthodologies employées ainsi que des résultats de la recherche par rapport aux revues littéraires existantes. Nous proposons également des suggestions concernant les méthodes utilisées, l'état actuel de la forêt du parc, et mettrons en avant les estimations quant aux valeurs des carbones séquestrés, ainsi que les Niveaux d'Émissions de Référence des Forêts (NERF).

## IV.1. MÉTHODES UTILISÉES

### IV.1.1. Équation allométrique utilisée

#### IV.1.1.1. Allométrie

D'abord, l'allométrie se définit comme la relation entre deux (ou plus) caractéristiques de taille d'un arbre (Picard *et al.*, 2012). Actuellement, il existe deux approches pour estimer la biomasse d'un arbre en Afrique tropicale. Toutes les deux reposent sur l'utilisation des relations allométriques. En foresterie, les relations allométriques concernent le diamètre, la hauteur, les dimensions du houppier, le volume et la biomasse de l'arbre (King, 1996).

La première approche est basée sur des équations allométriques qui permettent d'estimer directement la biomasse totale ou partielle (biomasse aérienne, biomasse souterraine, etc.) d'un arbre en fonction de prédicteurs. Les prédicteurs les plus importants de la biomasse sont, par ordre décroissant : le diamètre du tronc, la densité du bois et la hauteur totale (Chave *et al.*, 2005). Deux études récentes menées dans le bassin amazonien (Goodman *et al.*, 2014) et dans le bassin du Congo (Ploton *et al.*, 2016) indiquent que la prise en compte des dimensions du houppier améliore significativement les estimations de biomasse.

La seconde approche est une méthode indirecte qui utilise un tarif de cubage pour convertir le diamètre, et éventuellement la hauteur du tronc, en volume du tronc, puis prend en compte la densité du bois pour convertir le volume du tronc en biomasse du tronc. Cette dernière est ensuite étendue à la biomasse aérienne totale via un facteur d'expansion de la biomasse (Brown *et al.*, 1989 ; Maliro *et al.*, 2010).

L'estimation de la biomasse d'un arbre s'accompagne toujours d'une erreur qui correspond à l'écart entre les valeurs de biomasse observées et les valeurs prédites par le modèle allométrique. L'erreur sur la biomasse de l'arbre peut être décomposée en trois catégories (Chave *et al.*, 2004 ; van Breugel *et al.*, 2011 ; Molto *et al.*, 2013) :

- l’erreur due au choix de l’équation allométrique ;
- l’erreur de prédiction du modèle qui comprend l’incertitude sur les coefficients du modèle et l’erreur résiduelle du modèle ;
- l’erreur sur les prédicteurs qui comprend les erreurs de mesure des variables dendrométriques (diamètre, hauteur, etc.) et celles relatives à la densité du bois, liées à la détermination de l’espèce, aux mesures en laboratoire ou à la variabilité intra-spécifique.

Parmi ces types d’erreurs, le choix de l’équation allométrique est la source d’erreur la plus importante dans les estimations de la biomasse (Chave *et al.*, 2004 ; Molto *et al.*, 2013). En Afrique tropicale, il a été montré que le choix de l’équation allométrique contribue à environ 76 % de l’erreur totale dans les estimations de la biomasse de l’arbre (Moundounga Mavouroulou *et al.*, 2014 ; Picard *et al.*, 2015). Cette erreur élevée provient des équations allométriques pantropicales (modèles calibrés sur les données de biomasse de toutes les régions et de tous les types de forêts tropicales) et des équations allométriques locales (modèles calibrés sur les données de biomasse d’un type/site spécifique de forêt tropicale).

En effet, cette situation a été vérifiée à Madagascar, où les chercheurs ont utilisé des équations allométriques développées dans d’autres pays, notamment les équations allométriques de Chave, Brown et Veilledent, pour calculer les biomasses aériennes des forêts sèches et humides<sup>6</sup>. On les appelle l’équations allométriques pantropicales.

#### **IV.1.1.2. Équations allométriques pantropicales**

Jusqu’à récemment, en l’absence d’équations allométriques calibrées localement, des équations pantropicales étaient utilisées en Afrique tropicale. Dans une première approche, Brown *et al.* (1989) puis Chave *et al.* (2005) ont développé des équations allométriques pantropicales séparément pour les forêts de type « Dry » (pluviométrie < 1 500 mm, saison sèche > 5 mois), « Moist » (pluviométrie 1 500-3 500 mm, saison sèche 1-5 mois) et « Wet » (pluviométrie > 3500 mm, saison sèche < 1 mois).

Les équations pantropicales développées par Chave *et al.* (2005) ont largement été utilisées en Afrique tropicale. Ces équations ont permis de convertir les données de diamètre, issues d’inventaires forestiers, et de densité du bois, provenant de bases de données, en biomasse aérienne à l’échelle des arbres (Stephenson *et al.*, 2014) et des forêts (Djuikouo *et al.*, 2010 ; Gourlet-Fleury *et al.*, 2011 ; Makana *et al.*, 2011 ; Maniatis *et al.*, 2011 ; Medjibe *et al.*, 2011 ; Gourlet-Fleury *et al.*, 2013 ; Bastin *et al.*, 2015 ; Ekoungoulou *et al.*, 2015).

---

<sup>6</sup> Bureau National de Coordination REDD+ Niveaux d’émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation, Janvier 2018

Dans certains travaux, la hauteur totale de l'arbre était également incorporée dans le jeu de prédicteurs. La hauteur était alors soit mesurée (Djomo *et al.*, 2011 ; Shirima *et al.*, 2011 ; Marshall *et al.*, 2012 ; Day *et al.*, 2013 ; Lindsell *et al.*, 2013 ; Bastin *et al.*, 2014 ; Ensslin *et al.*, 2015), soit estimée à partir d'une relation allométrique hauteur – diamètre établie à l'échelle mondiale (Lewis *et al.*, 2009), régionale (Lewis *et al.*, 2013) ou locale (Kearsley *et al.*, 2013 ; Bastin *et al.*, 2015 ; Shirima *et al.*, 2015 ; Fayolle *et al.*, 2016).

Toutefois, la validité des équations pantropicales de Chave *et al.* (2005) en Afrique tropicale a été fortement discutée. La limite majeure serait liée à l'absence de données provenant d'Afrique tropicale dans la calibration des équations. En ce qui concerne les forêts de type « Dry », les prédictions, testées dans trois sites du nord-est de la Tanzanie dans les forêts claires de type Miombo sur 167 arbres répartis entre 1 et 110 cm de diamètre, montrent une sous-estimation systématique de la biomasse des arbres de l'ordre de 10 à 20 % (Mugasha *et al.*, 2013). Dans les forêts de type « Moist », l'équation a été validée au sud-est du Cameroun dans une forêt dense humide de transition entre les types de forêt sempervirent et semi-caducifolié sur 138 arbres répartis entre 5 et 192 cm de diamètre (Fayolle *et al.*, 2013). Le modèle a aussi été validé au nord-est de la République Démocratique du Congo (RDC) dans les forêts denses humides semi-caducifoliées sur 12 arbres répartis entre 24 et 52 cm de diamètre (Ebuy *et al.*, 2011).

En revanche, des biais importants de 10 et 40 % ont été identifiés respectivement dans les forêts sempervirentes du Ghana sur 42 arbres répartis entre 2 à 180 cm de diamètre (Henry *et al.*, 2010) et dans les forêts de transition du nord-est du Gabon sur 101 arbres répartis entre 11 à 109 cm de diamètre (Ngomanda *et al.*, 2014).

Dans une seconde approche, Feldpausch *et al.* (2012) ont proposé deux équations pantropicales de type « Moist » incorporant des données de biomasse pour 116 arbres d'Afrique tropicale dans leur construction. Une équation allométrique pantropicale à deux prédicteurs, le diamètre et la densité du bois (équation 1), et une autre équation à trois prédicteurs, le diamètre, la densité du bois et la hauteur totale (équation 2), ont été établis.

Enfin, Chave *et al.* (2014) ont récemment effectué une révision des équations allométriques pantropicales en intégrant les données de biomasse pour 4004 arbres, dont 1006 arbres d'Afrique tropicale. Une équation allométrique pantropicale à trois prédicteurs (diamètre, hauteur totale et densité du bois), valable pour tous les types de forêts tropicales (équation 3) et une équation dépendant du diamètre, de la densité du bois et d'un facteur de stress environnemental E (équation 4) ont ainsi pu être établies.

En Afrique tropicale, les équations de Feldpausch *et al.* (2012) ont été utilisées dans les travaux de Slik *et al.* (2013) et celles de Chave *et al.* (2014) dans les travaux de Doetterl *et al.* (2015) en RDC, de Lung *et al.* (2015) au Kenya et de Fayolle *et al.* (2016) au Cameroun. Les équations allométriques développées par Chave *et al.* (2014) (équations 3 et 4) sont plus

performantes et robustes que les équations allométriques développées par Feldpausch *et al.* (2012) (équations 1 et 2) et l'utilisation de ces équations (3 et 4) conduit à une précision de 90 % dans les estimations de la biomasse à l'échelle de 0,25 ha dans les forêts tropicales humides (Chave *et al.*, 2014).

Cette situation incite d'autres pays à développer des équations allométriques spécifiques à leur région afin d'obtenir des résultats de calcul de biomasse plus précis.

#### **IV.1.1.3. Équations allométriques locales**

Dans la base de données GlobAllometree ([www. globalmetree.org](http://www.globalmetree.org)), qui recense les équations allométriques disponibles pour tous les continents, un total de 1 058 équations allométriques de biomasse et de volume ont été répertoriées pour l'Afrique sub-saharienne (Henry *et al.*, 2013). La plupart des équations disponibles sont mono-spécifiques et sont des équations de volume (Henry *et al.*, 2011). Dans les forêts tropicales, qui sont structurellement complexes et riches en espèces, il est illusoire de développer des équations allométriques pour chaque espèce et il apparaît indispensable d'avoir recours à des équations plurispécifiques intégrant la densité du bois dans le jeu des prédicteurs (Chave *et al.*, 2005). Actuellement, en Afrique tropicale, peu d'équations de ce type ont été établies selon un protocole adéquat (i.e. > 100 arbres bien répartis sur la gamme de diamètre, Chave *et al.*, 2004). Leur rareté est encore plus flagrante en ce qui concerne la prise en compte de la biomasse souterraine.

Certaines équations allométriques de biomasse ont été construites à partir d'un nombre limité d'individus, 12 arbres (Ebuy *et al.*, 2011), 26 arbres (Ryan *et al.*, 2011), 29 arbres (Henry *et al.*, 2009) et 42 arbres (Henry *et al.*, 2010). D'autres intègrent très peu d'arbres de gros diamètres, de 1 à 79 cm de diamètre (Djomo *et al.*, 2010) et de 1 à 67 cm de diamètre (Goussanou *et al.*, 2016).

Enfin, dans les forêts claires de type Miombo, les équations sont construites à partir d'un nombre limité d'espèces (Kuyah *et al.*, 2012a ; Kuyah *et al.*, 2012b ; Chidumayo, 2013). Seulement trois études menées en Afrique tropicale suivent les recommandations de Chave *et al.* (2004). Deux études réalisées en Afrique centrale ont permis d'établir des équations locales pour l'estimation de la biomasse aérienne des arbres des forêts denses humides de transition du sud-est du Cameroun (Fayolle *et al.*, 2013) et du nord-est du Gabon (Ngomanda *et al.*, 2014). Une étude a été réalisée en Afrique de l'Est dans les forêts de type Miombo, en Tanzanie (Mugasha *et al.*, 2013) et intègre l'estimation de la biomasse souterraine.

En 2021, l'équipe du Laboratoire de Recherches Appliquées (LRA) a élaboré une équation allométrique spécifique à la forêt sèche de Madagascar<sup>7</sup>. Cette recherche a permis à la forêt sèche malgache de disposer désormais de sa propre équation allométrique, ce qui rend les calculs de stock de carbone forestier plus précis. Ainsi, nos calculs sont désormais conformes et plus proches de la réalité.

Toutefois, l'utilisation des équations allométriques locales dans des sites autres que ceux pour lesquels elles ont été développées pourrait entraîner des biais importants. En effet, les équations allométriques développées au Mozambique (Ryan *et al.*, 2011), au Kenya (Kuyah *et al.*, 2012a), en Tanzanie (Mugasha *et al.*, 2013) et en Zambie (Chidumayo, 2013) entraînent respectivement des biais de 24, 29, 50 et 72 % de biomasse aérienne à l'échelle des forêts de type Miombo au Malawi (Kuyah *et al.*, 2014). De même, Picard *et al.* (2015) estiment des biais respectifs de 29 et 33 % dans les estimations de la biomasse aérienne à l'échelle de la réserve forestière de Yoko en RDC à partir des équations provenant du Cameroun (Fayolle *et al.*, 2013) et du Gabon (Ngomanda *et al.*, 2014).

Cependant, deux études utilisant la méthode indirecte de l'estimation de la biomasse reposent sur l'estimation du volume de la tige (Maliro *et al.*, 2010) et du volume total de l'arbre (Dorisca *et al.*, 2011). Leur utilisation avec des facteurs de conversion (densité du bois et facteur d'expansion de la biomasse) entraînerait une surestimation de la biomasse de 19 % au Gabon (Moundounga Mavouroulou *et al.*, 2014). Picard *et al.* (2015) montrent également des biais d'environ 48 % dans les estimations de la biomasse aérienne à l'échelle de la réserve forestière de Yoko en RDC à partir des équations allométriques de volume de Dorisca *et al.* (2011).

#### **IV.1.2. Éléments des calculs de NERF**

Nous avons remarqué une légère modification dans la méthode de calcul du Niveau d'Émissions de Référence Forestière (NERF) utilisé par le bureau national de coordination REDD+ pour la forêt sèche de Madagascar en 2017, publié en janvier 2018. Cette modification concerne les paramètres utilisés pour le calcul. Dans notre étude, nous avons pris en compte le Carbone Organique du Sol (SOC), alors que cet élément n'était pas inclus dans le calcul du NERF en 2018.

Nous avons également constaté l'absence de biomasse de bois mort dans notre calcul du NERF. En effet, lors de nos relevés sur le terrain et surtout dans nos placettes d'inventaire, nous n'avons pas trouvé de bois mort. Cela suggère une croissance rapide de la population

---

<sup>7</sup> Ramananantoandro Tahiana (Dr.), Randriamalala Josoa (Pr.), Ramanakoto Miora (Dr.), Radosy Heriniaina, Rapport final – Equation allométrique pour estimer la biomasse aérienne Forêts sèches de l'Ouest de Madagascar, LRA en 20 juin 2021.

vivant dans la forêt du parc national d'Ankarafantsika, et que ces habitants utilisent le bois mort pour la cuisson.

Quant aux placettes d'inventaire, nous avons utilisé des placettes carrées, différentes de celles exploitées par le BNC-REDD en 2017, qui étaient circulaires. Nos placettes suivent l'emplacement des grilles nationales de 4 km sur 4 km, avec leurs centres exactement situés aux intersections de chaque grille. Ces placettes carrées facilitent le calcul du NERF et leur emplacement rend également plus aisée la mesure de la superficie des sous-placettes (KOMBATE *et al.*, 2019).

## **IV.2. ÉTAT DE RÉFÉRENCE ÉCOLOGIQUE DE LA FORÊT DU PARC NATIONAL D'ANKARAFANTSIKA**

### **IV.2.1. État de lieu de la forêt sèche d'Ankarafantsika**

#### **IV.2.1.1. Modification de la composition floristique des individus matures**

Il a été observé que les compositions florales des deux types de végétation diffèrent. Les feux de brousse, le défrichement pour l'agriculture sur brûlis, ainsi que la production de charbon de bois, entre autres, ont un impact sur la composition des plantes dans ces deux environnements. Ces constatations confirment les résultats de Kiruki *et al.* (2017), qui ont montré des changements significatifs dans la composition des plantes entre les zones forestières peu perturbées (telles que les réserves naturelles, les parcs et les forêts privées) et celles fortement perturbées par l'agriculture et la production de charbon de bois dans la région semi-aride de Kitui, au Kenya.

#### **IV.2.1.2. Alteration des indices de diversité et de structure par les pratiques du charbonnage et de la culture sur brûlis**

Après notre exploration sur le terrain, nous avons constaté que les feux de brousse, le défrichement pour l'agriculture sur brûlis, l'exploitation du bois de chauffage et la production de charbon de bois sont les principales causes de la déforestation à Ankarafantsika. Nous avons également observé que ces facteurs affaiblissent la densité des tiges par hectare dans les deux types de formations forestières.

De plus, nous avons noté une densité inférieure dans la forêt dense sèche par rapport à la forêt sèche dégradée. Cependant, la plupart des grands arbres se trouvent dans la forêt dense sèche, tandis que la forêt sèche dégradée abrite principalement des arbres de petite taille. Nous avons également remarqué la disparition des arbres de gros diamètre (20 cm) et de grande hauteur, ce qui témoigne du passage de la formation dense sèche à la sèche dégradée.

En ce qui concerne les perturbations causées par la production de charbon de bois et l'exploitation du bois de chauffage, nos résultats confirment une diminution de la richesse spécifique et de la densité des arbustes à proximité des villages. Cela est dû à l'augmentation de la demande de bois pour la cuisson, la construction et les pratiques rituelles, effectuées par la population locale.

Des recherches similaires menées par Kiruki *et al.* (2017) ont également montré une diminution de la richesse spécifique et de la densité des arbustes liée à une production intensive de charbon de bois. De manière similaire, une étude menée par Oduori *et al.* (2011) en utilisant des images satellitaires à très haute résolution dans le nord-est de la Somalie entre 2001 et 2006 a révélé une diminution de la densité des arbustes dans les zones proches des villages en raison de la production intensive de charbon de bois.

#### **IV.2.1.3. Forte régénération**

Nous avons observé que la régénération naturelle est très vigoureuse dans la forêt d'Ankarafantsika. Concernant les deux types de formations, le taux de régénération dans la forêt sèche dégradée est nettement supérieur à celui de la forêt dense sèche. Cette différence est due à l'exploitation et à la destruction causées par l'activité humaine, qui ont transformé la forêt dense sèche en forêt sèche dégradée. On a constaté que si, la politique utilisée pour protéger la forêt est bien établie d'ici 5 ans le parc national d'ankarafantsika sera couvert de forêt.

### **IV.2.2. Données d'Activités et les surfaces détruites par les feux**

#### **IV.2.2.1. Constatation des superficies perdues au sein de la forêt du parc national d'ankarafantsika**

Selon un proverbe, "Rien n'est parfait sur terre", mais dans ce cas, nous nous approchons de la perfection. Auparavant, nous devions nous rendre sur le terrain en utilisant des cordes pour mesurer les données d'activités, ce qui limitait notre temps et nos déplacements en fonction de la topographie du terrain. En revanche, grâce à l'évolution technologique, nous pouvons désormais mesurer en analysant des images satellitaires Landsat à très haute résolution. Cette étude révèle qu'en 2010, la superficie de la forêt sèche d'Ankarafantsika s'étendait jusqu'à 106 016 hectares, tandis qu'en 2020, cette superficie avait diminué jusqu'à 101 318 hectares. Ainsi, au cours de ces 11 années, la forêt d'Ankarafantsika a perdu 4 698 hectares, ce qui équivaut à une perte annuelle de 427,1 hectares de forêt sèche d'Ankarafantsika entre 2010 et 2020.

Nous avons également observé qu'entre 2010 et 2020, les feux de brousse ont été la principale cause de la disparition de la forêt sèche d'Ankarafantsika. L'étude démontre que plus de 50 % des surfaces détruites d'Ankarafantsika sont dues aux feux de brousse. Le taux de la dégradation de la forêt d'Ankarafantsika pour la période 2010-2020 est donc de 0.4 % par an. Par rapport aux aires protégées dans la même Région, ce taux de dégradation est faible.

Par exemple, l'aire protégée d'Antrema a perdu de 1.7% de sa superficie par an sur la période 2004-2014 (Rambeloarisoa *et al.*, 2018), de même 2.3% par an sur l'aire protégée de Bombetoka pendant la période 2007-2017 (Raelisolonarivony, 2018). Et surtout, au taux national qui est de 1,8 % par an de 2005 à 2010 et de 2,29 % par an de 2010 à 2013 (Rakotondrabe, 2017). Ces différences sont bien évidentes puisque l'étendue de la forêt du parc d'Ankarafantsika est faible par rapport au niveau régional et National.

De cette manière, les pressions qui pèsent sur les forêts sèches d'Ankarafantsika sont faibles par rapport à celles d'Antrema, de Bombetoka et surtout au niveau régional ainsi que National. Mais, concernant les deux formations de forêts d'Ankarafantsika, durant notre phase d'inventaire il y a eu beaucoup de changements que je vais vous expliciter ci-dessous.

#### **IV.2.2.2. Dynamique de la forêt dense sèche**

La superficie de la forêt dense sèche est de 83 133 ha en 2010 et passe à 80 483 ha en 2020, soit 2 650 ha en moins (3.18 %) et perd 240.9 ha par an pendant 11 ans. Ces superficies sont devenues des forêts sèches dégradées et au stade non-forêt. Cette dégradation de la forêt dense sèche est due en grande partie aux cultures sur brûlis et à la coupe sélective de bois pour la construction ou autres usages. À cet effet, les arbres et/ou espèces utiles atteignant des dimensions exploitables sont ciblés et deviennent par la suite de plus en plus rares. Les coupes des bois concernent autant les gros arbres que les jeunes arbres ou les arbustes en fonction des besoins. L'exploitation des bois les plus recherchés ne respectait pas la taille exploitable, c'est-à-dire un diamètre de plus de 10 cm.

Comme nous avons dit plus haut sur le changement de forêt dense sèche en forêt sèche dégradée, quatre placettes d'inventaires que nous avons étudiées sont changées en forêt sèche dégradée. Dans les données avant, ces placettes étaient rangées sur la forêt dense sèche, mais sur le lieu, nous avons suspecté que la forêt dans ces placettes était devenue forêt sèche dégradée.

#### **IV.2.2.3. Dynamique de la forêt sèche dégradée**

Même si plusieurs superficies de la forêt dense sèche changent en forêt sèche dégradée, cette situation là n'empêche pas la réduction des superficies de la forêt sèche dégradée d'Ankarafantsika entre 2010 et 2020, qui sont respectivement de 22 883 ha et 20 835 ha, soit une diminution de 2 048 ha sur 11 ans et de 186.2 ha par an pendant 11 ans. Les superficies perdues sont devenues des savanes et des sols nus ainsi que des champs de culture.

## **IV.3. STOCKS DE CARBONE ET NIVEAUX D'EMISSIONS DE REFERENCE DES FORETS D'ANKARAFANTSIKA**

### **IV.3.1. Quantités de stocks de carbone dans la forêt D'Ankarafantsika**

Les biomasses se catégorisent principalement en deux parties distinctes : la biomasse forestière et la biomasse non forestière. Ces deux composantes affichent des valeurs complètement distinctes.

#### **IV.3.1.1. Stocks de carbone aérien et souterrain par rapport aux autres stocks sur les emplacements géographiques**

La forêt sèche dégradée présente une valeur plus élevée en carbone aérien (21.15 tC/ha) et en carbone racinaire (6.29 tC/ha) par rapport à la forêt dense sèche avec 20.86 tC/ha de carbone aérien et 6.11 tC/ha de carbone racinaire. Cela était légèrement inférieur aux estimations moyennes de 41 tC/ha de stocks de carbone aérien et 29 tC/ha de carbone racinaire pour les forêts sèches sénégalaises (Jung, 1969).

D'autres études sur les forêts sèches Antsema (Madagascar) rapportent également des estimations moyennes de carbone aérien stocké à l'ordre de 25.2 tC/ha de stocks de carbone aérien et 6.05 tC/ha de carbone souterrain en forêt dense sèche et 18.7 tC/ha de carbone aérienne et 4.6 tC/ha de carbone souterrain (Rakotozanany *et al.*, 2020). De même, selon l'étude faite par REDD+ sur l'écorégion l'Ouest de Madagascar en 2020 qui révèle les résultats suivants : 22.48 tC/ha de carbone aérien et 6.46 tC/ha de carbone souterrain de la forêt dense sèche ainsi que 17.05 tC/ha de carbone aérien et 5.08 tC/ha de carbone souterrain sur la forêt sèche dégradée.

Cette différence par rapport aux forêts sénégalaises pourrait être liée à la composition structurelle des forêts sèches Malagasy avec des canopées relativement basses et des densités de tiges relativement faibles par rapport aux autres forêts sèches d'Afrique continentale (Gouvenain *et al.*, 2003). Ces caractéristiques structurelles sont probablement dépendantes de l'influence humaine, et surtout des immigrants qui entraînent régulièrement des dégâts localement importants sur les arbres, notamment le long de la côte Est du parc (Birkinshaw *et al.*, 2009).

En revanche, par comparaison à l'écorégion de l'Ouest, sa minime supériorité est due à son statut particulier qui est Parc National. Même s'il y a toujours de la déforestation ou des feux de brousse, les parcs sont toujours des endroits bénéficiant des protections des autorités, donc sa densité est supérieure par rapport aux autres forêts sèches de l'écorégion Ouest.

On constate que les arbres de grande taille avec un DBH >20 cm étaient rares dans notre étude, pourtant ils ont contribué de manière disproportionnée au stockage de carbone aérien dans tous les types d'utilisation des terres, représentant une composante importante du réservoir de carbone du paysage. En outre, les arbres de grande taille sont souvent âgés, ce qui prolonge le temps de stockage du carbone dans le bois (Chambers *et al.*, 1998). Outre leur rôle exceptionnel pour les stocks de carbone, les arbres de grande taille dans les paysages représentent des structures clés et jouent des rôles écologiques uniques qui ne peuvent être entièrement compensés par des arbres plus jeunes et plus petits, ce qui rend le déclin des arbres de grande taille encore plus préoccupant (Lindenmayer *et al.*, 2012).

Les forêts anciennes abritaient davantage d'arbres de grande taille et stockaient beaucoup plus de carbone que tous les types d'utilisation des terres modifiés par l'homme, ce qui corrobore le fait que la densité des grands arbres explique principalement la variation du stock de carbone aérien dans les forêts sèches (Slik *et al.*, 2013). De plus, les forêts denses sèches abritaient presque exclusivement des arbres endémiques et indigènes, ce qui souligne encore l'importance écologique de ces formations, faisant de leur protection la stratégie la plus efficace pour maximiser le stockage du carbone ainsi que la biodiversité et les services écosystémiques associés (Cook-Patton *et al.*, 2020 ; Lewis *et al.*, 2019).

Pourtant, la forte pression de l'utilisation des terres entraîne souvent la fragmentation de l'habitat (Haddad *et al.*, 2015), limitant la continuité des forêts anciennes aux zones protégées (Morelli *et al.*, 2020). En dehors des zones protégées, les forêts subissent souvent une dégradation en fragments ou une transformation en d'autres utilisations des terres et la couverture forestière Malagasy restante est très fragmentée (Vieilledent *et al.*, 2018). Les fragments forestiers de notre étude stockaient plus de 50% moins de carbone que les forêts protégées, probablement en raison de l'extraction sélective d'arbres de grande taille dans les fragments forestiers, car les exploitants utilisent ces fragments pour obtenir du bois et d'autres produits forestiers (Urech *et al.*, 2015). Même si les fragments de forêt subissent une dégradation structurelle, perdent des arbres de grande taille et stockent moins de carbone que les forêts dans le parc, ils peuvent toujours fournir un habitat aux espèces d'arbres dépendantes de la forêt (Osen *et al.*, 2021), jouant ainsi un rôle écologique important dans le paysage en mosaïque.

#### **IV.3.1.2. Différents effets de variation du stock de carbone aérien dans les types d'utilisation des terres**

En examinant les variables allométriques qui sous-tendent les estimations du stock de carbone, nos résultats montrent que la variation du stockage de carbone aérien a été principalement influencée par le diamètre moyen des tiges et la densité des arbres par

placette. Tandis que la densité moyenne du bois n'a joué qu'un rôle mineur, et l'histoire de l'utilisation des terres n'a eu aucun effet significatif sur la variation du carbone (Picard *et al.*, 2012). Ainsi, la forêt sèche dégradée avec de nombreux individus d'arbres et avec les tailles d'arbres qui ont tendance à s'accroître peu à peu et qui va augmenter le stock de carbone aérien.

Par conséquent, le maintien d'arbres de grand diamètre ou la promotion de leur croissance entraînerait une augmentation du carbone stocké dans les deux formations de forêt sèche. Ce résultat est conforme aux conclusions tirées dans d'autres systèmes forestiers tropicaux, qui montrent que les augmentations de la fréquence et de la taille moyenne des arbres influencent l'accumulation de biomasse (Bordin *et al.*, 2021 ; Jucker *et al.*, 2016 ; Slik *et al.*, 2013) et que la variation du stock de carbone est largement déterminée par les différences de densité d'arbres, de disponibilité de la lumière et de complexité structurelle (van der Sande *et al.*, 2017).

Dans notre étude, la densité moyenne du bois a montré une tendance positive, mais n'a pas eu d'effet significatif sur la variation du carbone dans la forêt sèche dégradée à cause du diamètre à hauteur de poitrine qui est encore très mince.

#### **IV.3.1.3. Biomasses non-forêt et le carbone organique du sol**

Il est crucial de noter que les motifs qui incitent tous les pays et institutions internationales à accepter la vente de crédits forestiers sont la conservation et la protection des forêts, mais ces crédits ne concernent pas les terres non forestières telles que les savanes ou les terres cultivées. Plusieurs critères doivent être respectés par les producteurs s'ils souhaitent vendre leurs produits.

En ce qui concerne le calcul du NERF, il est nécessaire de soustraire les biomasses des terres non forestières. Ces données sont obtenues en utilisant les lignes directrices du GIEC (2006) pour l'inventaire des gaz à effet de serre, telles que publiées dans le rapport de REDD+ concernant le NERF en janvier 2018, page 83.

Quant au carbone organique du sol, en raison de contraintes financières, je n'ai pas pu déterminer les valeurs spécifiques pour la forêt d'Ankarafantsika, ce qui m'a obligé à utiliser des ressources bibliographiques pour le calcul du NERF. Cela peut compromettre la précision des valeurs exactes de ce NERF. Cependant, étant donné notre confiance dans la publication scientifique et la similitude des caractéristiques des forêts sèches à Madagascar, nous pouvons raisonnablement conclure que ces valeurs sont très proches de la réalité pour Ankarafantsika. Nous avons observé aussi que le carbone organique du sol dans les forêts est inférieur à celui des terrains non forestiers, en raison de la faible couverture de la canopée et de la taille des arbres dans les forêts sèches à Madagascar.

En revanche, dans les terres non forestières telles que les savanes et les terres cultivées, la biomasse est souvent supérieure à celle des forêts en raison de l'utilisation d'engrais pour favoriser la fertilité des sols. Cependant, dans le cas des seules savanes, il est probable que le carbone organique du sol soit inférieur à celui des forêts.

### **IV.3.2. Quantité de NERF et Analyse de test t-student**

#### **IV.3.2.1. Quantité de NERF**

Le Niveau de Référence d'Émission Forestière (NERF) pour la forêt du Parc National d'Ankarafantsika s'élève à 24 664 tonnes de dioxyde de carbone par an entre 2010 et 2020. Ainsi, sur une période de 11 ans, cette valeur cumulée atteint 271 304 tonnes de CO<sub>2</sub>. Ce chiffre témoigne d'une destruction massive des forêts dans le Parc National d'Ankarafantsika, un phénomène qui risque de perdurer sans une prise de responsabilité adéquate de la part des dirigeants.

Cependant, si l'administration du Parc National d'Ankarafantsika décide de vendre des crédits carbone, les recettes pourraient dépasser le million de dollars américains en quelques années, en prenant l'année 2020 comme référence. De plus, cette initiative permettrait de renforcer la protection de la faune et de la flore de manière significative.

#### **IV.3.2.2. Analyse sur les résultats de test T-student**

Nous avons effectué seulement un test sur les biomasses aériennes. Mais ce test peut justifier la comparaison de tous nos résultats, car ces biomasses aériennes sont les bases de tous les calculs du carbone et des niveaux d'émissions de références des forêts. Avec les résultats du test qui sont de 0.36 pour la P-Value variable égale et 0.34 pour la P-Value variable différente, on peut dire que la différence de biomasse entre les deux types de forêts est non significative car les deux valeurs sont supérieures à 0.05 du test (Rakotondrasoa *et al.*, 2013). Comme nous avons affirmé précédemment que la base de calcul du stock de carbone, des NERF dépendent des biomasses. Donc on peut confirmer que la différence entre les stocks du carbone stockés sur la forêt dense sèche et forêt sèche dégradée, ainsi que les NERF de ces deux types des forêts sont non significatives aussi. Ces résultats montrent aussi que la politique utilisée pour protéger ces deux types des forêts du parc national d'ankarafantsika est identique, pas de distinction ou de différence. Cela facilite le travail des techniciens pour protéger et restaurer les forêts du parc national d'Ankarafantsika.

## **IV.4. MECANISME DE LA VENTE DE CARBONE**

### **IV.4.1. Marché du carbone à Madagascar**

#### **IV.4.1.1. Marché engendrant un double avantage**

Les deux marchés du carbone, à savoir le marché volontaire et le marché réglementé, sont acceptés à Madagascar. L'avantage réside dans le fait que cette vente fait entrer des devises et en même temps, toutes les productions générant des crédits carbone seront prises en compte dans la Contribution Déterminée au niveau National (CDN) pour Madagascar. Cette CDN constitue essentiellement une réduction obligatoire des émissions et une absorption des gaz à effet de serre attribuées à tous les pays, y compris Madagascar.

En 2030, la CDN2 de Madagascar vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 19%, soit 32 642 Gg éq. CO<sub>2</sub>, et à renforcer l'absorption des gaz à effet de serre de 20%, soit -37 809 Gg éq. CO<sub>2</sub> supplémentaires (Republikan'i Madagasikara, 2022). Comparativement, la CDN1 visait une réduction des émissions de gaz à effet de serre directs de 14%, soit 29 990 Gg éq CO<sub>2</sub>, et une séquestration additionnelle de -61 000 Gg éq.CO<sub>2</sub>, équivalent à un renforcement des puits carbone de 32%. Bien que les ambitions d'atténuation présentées dans la CDN2 semblent avoir régressé par rapport à celles de la CDN1, elles restent réalistes et réalisables, reflétant les politiques sectorielles et les contextes socio-économiques actuels et projetés. Dans le secteur de l'Utilisation des Terres, du Changement d'Affectation des terres et de la Foresterie (UTCAF), les potentiels d'atténuation des actions n'étaient pas entièrement intégrés dans la CDN2, puisque seuls 25 à 30% des résultats d'atténuation du secteur seront réalisés d'ici 2030. Les objectifs des CDN1 et CDN2 sont faciles à atteindre, comme en témoigne le cas de la forêt sèche d'Ankarafantsika, illustré dès le début de notre ouvrage dans la section de l'État de l'art. Cette section montre que les projets de réduction des émissions déjà mis en œuvre par Madagascar dépassent largement les exigences des CDN1 et CDN2.

#### **IV.4.1.2. Procédure pour obtenir l'autorisation de vente de produit carbone**

Pour obtenir l'approbation d'un projet de réduction, il est nécessaire de respecter toutes les conditions recommandées par le Décret qui a été ratifié en 2022. Malgré cela, de nombreux promoteurs se plaignent du retard dans la validation de leurs projets. Lors de mes visites au bureau BNC-REDD+ et lors des enquêtes que j'ai menées, j'ai remarqué que de nombreux

projets de réduction des émissions et de séquestration des Gaz à Effet de Serre (GES) sont bloqués.

Plusieurs promoteurs attendent toujours la validation de leurs projets. Les causes de ces retards sont souvent liées à des problèmes administratifs, dus notamment à des lenteurs dans le processus administratif. Cependant, certains promoteurs de projets pointent du doigt la participation excessive de l'État dans le domaine des crédits carbone, ce qui n'était pas le cas auparavant.

#### **IV.4.2. Mécanisme de partage des bénéfices de carbone**

Comme mentionné précédemment, les promoteurs se plaignent de la forte implication de l'État dans le marché des crédits carbone, en particulier en ce qui concerne le partage des bénéfices et les méthodes utilisées par l'État pour la vente de crédits carbone. Plusieurs d'entre eux critiquent l'ingérence excessive de l'État, qui retarde le démarrage des projets et conduit à la perte de clients. De nombreux promoteurs suggèrent d'examiner la situation dans d'autres pays.

Dans certains pays, les droits sur le carbone sont accordés à des particuliers, à des groupes tels que des communautés, ou à l'État, selon la législation nationale. Les discussions actuelles dans plusieurs pays révèlent la complexité de la reconnaissance des droits permettant de tirer profit des réductions d'émissions de carbone.

##### **IV.4.2.1. Au Cameroun**

Le système juridique du Cameroun ne fait pas la distinction entre les droits sur les arbres et les éléments (comme le carbone) qu'ils contiennent. On dit que le droit séparable à mener des échanges de carbone et à en tirer profit devrait être traité comme n'importe quelle autre question de propriété des ressources naturelles et dépend donc du type de forêt dont il s'agit (Alemagi *et al.*, 2023).

Au Cameroun, les ressources naturelles qui se trouvent dans les forêts publiques ou communes appartiennent à l'État, celles situées sur des terres nationales, qui sont administrées par l'État, appartiennent à la nation camerounaise (Karsenty *et al.*, 2011), celles situées dans des forêts de conseils appartiennent au conseil et celles se trouvant dans des forêts privées sont la propriété de particuliers. D'aucuns soutiennent qu'un crédit carbone devrait être catégorisé comme un bien intangible (Antoine, 2020) et prendre la forme d'un bien monétaire représentant le résultat d'une action. La propriété de crédits carbone serait accordée aux acteurs forestiers qui prouvent qu'ils sont à l'origine de l'action les ayant engendrés.

Cette revendication ne se baserait pas forcément sur le régime foncier, mais pourrait aussi englober les droits ancestraux, les droits d'exploitation, les droits d'utilisation ou l'investissement de capital.

#### **IV.4.2.2. Au Brésil**

Selon la décision fédérale numéro AGU-AFC-1/2011, la prestation de services environnementaux pourrait être soumise à des accords commerciaux avec des groupes autochtones ; les crédits carbone générés sur des terres autochtones appartiendraient aux populations autochtones au titre de l'article 231 de la Constitution fédérale.

Au niveau infranational, les États Acre, Amazonas et Tocantins ont adopté des lois sur le climat et la conservation, qui précisent que les droits sur le carbone appartiennent à l'État. Au titre de ces lois, les prestataires de services écosystémiques peuvent avoir accès aux ressources financières, pourvu qu'ils soient approuvés et juridiquement basés dans la zone où les services sont fournis (Demaze, 2013). Dans le cas de l'Amazonas, ce droit peut être octroyé à la Fondation Amazonas Durable (FAS), qui est chargée de gérer les sites de conservation au sein de l'État.

#### **IV.4.2.3. Au Vietnam**

La Constitution vietnamienne stipule que toutes les ressources des terres et des forêts appartiennent à l'État, qui les alloue à des organisations et des particuliers pour des « usages stables et à long terme ». Ainsi, la loi de 2004 sur la protection et la mise en valeur des forêts reconnaît le principe selon lequel les acheteurs peuvent acheter des biens et services forestiers, et verser des paiements à ceux qui protègent et régénèrent les forêts.

La décision 178 (2001) précise les manières dont les ménages et les particuliers peuvent se voir allouer ou louer des terres, ou peuvent être embauchés sur contrat pour gérer des forêts, et elle décrit en détail les paiements qui leur sont versés en échange de ces services (Van Dinh, 2006)

Ainsi, les particuliers et les organisations peuvent avoir le droit de recevoir des avantages en échange de la prestation de services écosystémiques. Toutefois, selon l'article 84 de la loi de 2005 sur la protection de l'environnement, les échanges d'émissions de carbone avec des acheteurs internationaux sont soumis à l'approbation du Premier ministre.

## **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSION

La conscientisation croissante des problèmes liés au changement climatique a donné lieu à plusieurs conférences des Parties visant à coordonner les efforts de la communauté internationale pour lutter contre la dégradation de l'environnement mondial. Il convient de souligner que la déforestation contribue à près de 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, les forêts naturelles jouent un rôle essentiel dans la lutte contre le changement climatique en agissant comme un réservoir de carbone et en contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, la forêt est considérée comme un réservoir important de carbone, en particulier lorsque les biomasses sont préservées, avec un stock significatif de carbone dans la biomasse aérienne et le sol.

Depuis les années 1920, plusieurs solutions ont été proposées pour aborder les enjeux environnementaux, notamment la taxe et la redevance Pigou, initiées par Alfred Cecil Pigou, suivies par les permis négociables de Coase dans les années 1960. En 1995, l'élaboration du Protocole de Kyoto a marqué une étape majeure dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre. Ce traité international a été signé par 198 pays lors de la 3<sup>ème</sup> Conférence des Parties (COP-3) à Kyoto, au Japon, en 1997, et est entré en vigueur en 2005 après avoir été ratifié par 141 États, dont l'Union européenne en 2001.

Il est important de souligner que le Protocole de Kyoto a joué un rôle crucial dans la lutte contre le réchauffement climatique qui a donné naissance au marché du carbone. Malgré les défis rencontrés, son mécanisme reste relativement simple et flexible.

En parlant du marché du carbone, c'est un marché virtuel où s'effectue l'achat et la vente de crédits carbone. En termes simples, il s'agit d'un accord entre un acheteur et un vendeur de crédits carbone. Concrètement, une entité qui limite ses émissions ou qui séquestre du carbone obtient des crédits, tandis qu'une entité devant réduire ses émissions peut acheter ces crédits pour fournir les leurs.

Il existe deux grands types de marchés du carbone : les marchés réglementés et les marchés volontaires. Les principaux acteurs sont des entreprises, des particuliers, des institutions et des associations, qui effectuent tous leurs achats à des fins de compensation.

Afin d'intégrer ce marché, Madagascar a décidé de s'impliquer dans le programme REDD+ et de mettre en place différentes initiatives pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre. L'objectif du mécanisme REDD est de diminuer ces émissions en mettant en valeur les forêts grâce aux crédits carbone provenant de la préservation des forêts. En réalité, les

pays développés polluants s'engageraient généralement à indemniser les pays en développement pour réduire les émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts, en échange de leurs émissions de gaz à effet de serre. Les pays africains, dont Madagascar, sont particulièrement intéressés par cette dynamique, car elle génère des revenus tout en préservant les forêts.

En février 2014, le gouvernement de Madagascar a déjà conclu la première vente de crédit carbone avec Microsoft, en partenariat avec The Carbon Neutral Company, et le Zoo de Zurich. Le volume des crédits carbone vendus lors de cette transaction s'élève à 710 588 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent. De même, en décembre 2023, Madagascar a reçu le premier paiement pour les crédits carbone de l'année 2020 dans le cadre du Programme de Réduction des Émissions Atiala Atsinanana (PRE-AA), pour un montant de 8,8 millions de dollars, correspondant à la déduction de 1,76 million de tonnes de dioxyde de carbone.

En fait, les peuples Malagasy sont encore perplexes quant à la vente de crédit carbone et il est nécessaire de fournir davantage d'informations. Cette étude s'avère essentielle pour comprendre le fonctionnement de la vente de carbone. La synthèse des résultats de chaque question de recherche est la suivante :

La forêt sèche d'Ankarafantsika est composée de deux types de végétation : la forêt dense sèche (inclinaison de 6,13 %) et la forêt sèche dégradée (inclinaison de 14,25 %), toutes deux avec une couverture de canopée de 53,66 %.

Dans cette forêt, un total de 52 familles végétales a été répertoriées, comprenant 382 genres et 562 espèces. Il est remarquable que la forêt sèche dégradée (avec 22 familles) présente une diversité végétale supérieure à celle de la forêt dense sèche (30 familles).

La dominance dans la forêt dense sèche se caractérise par des espèces issues des familles Fabaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae, Bignoniaceae et Clusiaceae, tandis que dans la forêt sèche dégradée, les familles MALVACEAE, Fabaceae, Caesalpinaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae et Ptaeroxylaceae prédominent.

En moyenne et par espèce, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) dans la forêt dense sèche s'est élevé à 14,86 cm, avec une hauteur totale de 7,5 m. La hauteur moyenne du fût était de 5,87 m, le volume total par hectare était de 0,13 m<sup>3</sup>, et le volume de bois utilisable atteignait 0,21 m<sup>3</sup> par hectare. Ces espèces étaient réparties de manière aléatoire au sein de la formation.

De même, dans la forêt sèche dégradée, la moyenne du DHP était de 15,29 cm, avec une hauteur totale de 7,72 m. La hauteur moyenne du fût était de 5,47 m, le volume total par hectare était de 0,14 m<sup>3</sup>, et le volume de bois utilisable était de 0,21 m<sup>3</sup> par hectare.

En ce qui concerne la régénération, malgré les caractéristiques des espèces importantes, il est possible que le peuplement forestier de l'écorégion de l'Ouest ait des chances de se reconstituer. En effet, le taux de régénération indique la présence et l'abondance d'individus en âge de développement.

Quant au changement, les données d'activités révèlent qu'au cours de 11 années, la forêt sèche d'Ankarafantsika a perdu 4 698 hectares, dont 2 650 hectares de forêt dense sèche et 2 048 hectares de forêt sèche dégradée, avec des taux de dégradation respectifs de 0,4%, 0,3% et 0,8% par rapport à sa superficie en 2010. En d'autres termes, la forêt sèche d'Ankarafantsika a perdu en moyenne 427,1 hectares par an entre 2010 et 2020, dont 240,9 hectares pour la forêt dense sèche et 186,2 hectares pour la forêt sèche dégradée. Parmi la superficie détruite dans le parc national d'Ankarafantsika, 54,19% ont été ravagés par les feux de brousse, représentant 1 436 hectares de forêt dense sèche et 1 109,8 hectares de forêt sèche dégradée.

Pour qu'une initiative de vente de carbone soit éligible, elle doit d'abord être homologuée par le ministère en charge des forêts via le bureau national en charge de la coordination de la REDD+. En réalité, seules les initiatives homologuées peuvent prétendre aux avantages liés aux crédits carbone. Chaque porteur de projet est chargé de gérer opérationnellement son initiative en établissant des contrats de financement avec chaque responsable d'activité, en apportant un soutien et un suivi aux activités REDD+, en mettant en œuvre des mesures de sauvegarde, et en produisant des rapports techniques et financiers réguliers.

Toute initiative doit être soumise à une évaluation environnementale et sociale appropriée conformément aux lois et règlements en vigueur, en se basant sur le document d'évaluation environnementale et sociale stratégique de la REDD+ ainsi que sur les trois cadres de sauvegarde applicables pour la REDD+.

Chaque initiative doit adopter le système MNV pour évaluer sa performance en termes de Réductions d'Émissions (RE) à l'échelle de l'initiative, du programme ou du pays, par rapport à un Niveau d'Émissions de Référence pour les Forêts (NERF) ou un Niveau de Référence pour les Forêts (NRF), exprimé en tonnes de dioxyde de carbone équivalent (tCO<sub>2</sub>eq).

Toutes les initiatives homologuées doivent mettre en place un système de gestion des plaintes REDD+ associé au système national de suivi de la gestion des plaintes REDD+. Chaque système doit respecter les directives et exigences du mécanisme de gestion des plaintes liées à la REDD+, établies par le Bureau National en charge de la Coordination de la REDD+, et être transparent, respectueux de la culture locale et facilement accessible au public.

Dès la conclusion d'un contrat de vente avec un acheteur de réductions d'émissions, tout programme REDD+ ou toute initiative REDD+ hors programme doit établir un plan de partage des bénéfices, élaboré en collaboration par le bureau chargé de la coordination REDD+ et les promoteurs d'initiatives concernés. Ce plan spécifie les catégories de bénéficiaires éligibles, les critères de priorisation des activités à financer, les performances attendues, ainsi qu'un plan global pluriannuel budgétisé pour le partage des bénéfices.

Le partage des bénéfices carbone est fondé sur les principes d'équité, d'exclusivité et de transparence. Les bénéfices carbone peuvent être attribués sous forme monétaire ou non monétaire.

Afin d'atteindre les objectifs de la stratégie nationale REDD+, les bénéfices provenant de la réduction des émissions de carbone sont répartis en deux parties : 80% sont alloués aux activités sur le terrain, tandis que les 20% restants sont dédiés au financement des initiatives de gouvernance liées à REDD+. Cette division globale correspond à la moyenne sur la durée du contrat des répartitions annuelles telles que définies dans le plan de partage.

En ce qui concerne les stocks de carbone et le niveau d'émission de référence de la forêt, le parc national d'Ankarafantsika séquestre 111,4 tonnes de carbone par hectare, avec 111,17 tonnes de carbone par hectare pour la forêt dense sèche et 111,64 tonnes de carbone par hectare pour la forêt sèche dégradée. Ainsi, au total, la forêt du parc national d'Ankarafantsika séquestre 11 287 331,79 tonnes de carbone en 2020, dont 8 947 295,11 tonnes de carbone pour la forêt dense sèche et 2 326 019,4 tonnes de carbone pour la forêt sèche dégradée.

Quant aux facteurs d'émissions, ils s'élèvent à 53,35 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare pour la forêt dense sèche et 55,63 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare pour la forêt sèche dégradée.

En ce qui concerne la valeur du Niveau de Référence d'Émission Forestière de la forêt du Parc National d'Ankarafantsika, il s'élève à 24 664 tonnes de dioxyde de carbone par an

de 2010 à 2020, réparties entre 13 697,3 tonnes de CO<sub>2</sub> pour la forêt dense sèche et 10 966,7 tonnes de CO<sub>2</sub> pour la forêt sèche dégradée.

Par rapport aux hypothèses et aux résultats obtenus, je peux confirmer que l'hypothèse (1), selon laquelle l'état de la forêt sèche du Parc National d'Ankarafantsika ne cesse de se dégrader, est vérifié.

De plus, l'hypothèse (2), selon laquelle l'État joue un rôle prépondérant dans la procédure de vente de crédits carbone, est également confirmée.

Enfin, l'hypothèse (3), qui stipule que la quantification du carbone séquestré et le Niveau de Référence d'Émission Forestière dépendent des caractéristiques dendrométriques des arbres et des données d'activités de la forêt, est également confirmée.

Néanmoins, pour que toutes les initiatives puissent être mises en œuvre, l'État devrait accélérer la préparation des documents d'homologation. De plus, afin de mieux préciser le Niveau de Référence d'Émission Forestière (NERF) et la quantité de carbone séquestrée par la forêt du parc, il est recommandé de procéder à la détermination du Carbone Organique du Sol de la forêt d'Ankarafantsika et d'augmenter le nombre de placettes d'inventaire.

Cependant, cette étude revêt une importance capitale dans le contexte du stockage du carbone et fournit des données essentielles pour évaluer la situation aux différentes parties prenantes du REDD. Même une diminution minimale du stock de carbone, due à la déforestation, peut représenter des quantités considérables par rapport aux échanges nets annuels avec l'atmosphère. Dans le cadre du Protocole de Kyoto, il est crucial de déterminer avec quelle marge d'erreur ce réservoir peut être inclus et revendiqué lors des négociations. Étant donné que le REDD a le potentiel de générer des dizaines de millions de dollars chaque année en préservant nos forêts, il est de notre intérêt de tirer pleinement parti de cette opportunité.

De même, vu tous les résultats, le Parc National d'Ankarafantsika mérite un projet REDD+ pour protéger les faunes et les flores qui s'abritent à l'intérieur. Ces résultats aussi montrent que la forêt a beaucoup de chances pour obtenir le projet REDD+, étant donné la valeur de son NERF. Tout au long de cet ouvrage, nous avons parlé que de la vente de carbone forestier or il y a d'autre marché du carbone. Quelles sont alors les procédures à suivre pour vendre le carbone non forestier ?

## RECOMMANDATIONS

Pour affiner la recherche et rectifier les points à améliorer, nous proposons les recommandations suivantes.

### **1. Promouvoir la conservation de la forêt d'Ankarafantsika**

Protéger une zone forestière dans les pays en développement représente un défi considérable, étant donné que la subsistance des populations locales en dépend (Stévar *et al.*, 2019). De même, trouver des stratégies pour préserver les espèces d'arbres menacées en dehors des zones protégées reste une priorité (Rabarison *et al.*, 2015).

Dans cette perspective, il est recommandé que les autorités locales prennent en charge cette problématique en mettant en œuvre le Dinabe pour sanctionner les personnes responsables de la déforestation. Cette approche garantit la paix et la sécurité dans la zone d'étude, favorisant ainsi une gestion durable des ressources naturelles. La présence de ces systèmes renforce la gestion communautaire et permet aux décideurs de rester informés des réalités locales en matière d'exploitation des ressources forestières. Le respect accordé au Dinabe par la population locale découle de la sévérité des sanctions imposées aux contrevenants.

Il est essentiel d'adopter une politique éducative, car la compréhension des causes des actions est la pierre angulaire de toute initiative. Compte tenu du faible taux de scolarisation dans la région étudiée, il est crucial de recommander aux autorités locales l'adoption d'une politique éducative adaptée aux réalités agricoles. Diverses études démontrent que le niveau de scolarisation est étroitement lié à la déforestation, au développement de sources de subsistance alternatives et à l'évolution vers des emplois plus attractifs (Tréfon *et al.*, 2017).

Il est évident que la Région possède un potentiel considérable, mais les comportements des habitants posent problème. Ainsi, il est suggéré de revitaliser l'éducation de base en reconstruisant les écoles primaires existantes. L'éducation de base constitue le fondement de tout apprentissage visant à améliorer les compétences. De plus, la mise en place d'établissements de formation technique est proposée afin d'aider les habitants d'Ankarafantsika à entretenir les infrastructures nécessaires à leurs activités agricoles, ainsi que pour encourager les jeunes à contribuer à leur propre intérêt et à l'intérêt général.

### **2. Amélioration des démarches administratives pour la validation des initiatives**

Étant donné que de nombreux projets sont en attente jusqu'à présent, il est impératif que l'État accélère leur validation afin d'assurer une protection efficace de notre forêt et de garantir des retombées monétaires pour tous. Pour ce faire, l'État devrait réduire son

implication dans le processus de vente de crédits carbone et laisser les promoteurs de projets gérer l'ensemble des opérations et des transactions commerciales avec les acheteurs. L'État devrait jouer le rôle de régulateur plutôt que celui de pourvoyeur.

### **3. Amélioration de la valeur de Niveau d'Émission Référence de la Forêt**

Afin d'obtenir une valeur plus précise du Niveau d'Émission Référence de la Forêt, il est essentiel que tous les paramètres utilisés dans son calcul soient précisément définis. Dans cette étude, bien que le Carbone Organique du Sol (SOC) ait été pris en compte, les données utilisées proviennent d'autres travaux portant sur des forêts sèches qui ne correspondent pas à la forêt sèche d'Ankarafantsika. Il est donc nécessaire d'utiliser la valeur exacte du Carbone Organique du Sol (SOC) spécifique à la forêt du Parc National d'Ankarafantsika. Pour ce faire, il est primordial de rechercher en premier lieu cette valeur pour la forêt du Parc National d'Ankarafantsika.

De la même manière, il est crucial d'augmenter le nombre de placettes inventoriées, car leur nombre actuel est insuffisant. Pour notre recherche, seules 12 placettes sur 83 ont été utilisées.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

1. Alain Bonnafous (1992). Transports et environnement : comment valoriser et maîtriser les effets externes ? *Economie et Statistique*, **258** :121-128.
2. Alemagi, D., D. Nukpezah, L. Duguma, K. Fobissie, (2023). Analyse du cadre institutionnel de mise en œuvre de la REDD+ au Cameroun. *Revue internationale de foresterie*, **25(1)** :1-14 (2023). <https://doi.org/10.1505/146554823836838736>
3. Alice Valiergue (2018). *Vendre de l'air : sociologie du marché "volontaire" des services de compensation carbone*. *Sociologie*. Institut d'études politiques de paris - Sciences Po. 463 pages.
4. Antoine Verret-Hamelin (2020). Entreprises et leadership climatique de deuxième ordre. *Ethica*, **23(2)** : 51-75
5. Aubert, S., P. Karpe, G. Jaster, S. Raminintsaoatra, P. Montagne (2015). Les communautés de base, partenaires privilégiés de l'administration forestière à Madagascar : le droit en question. *Revue juridique de l'Océan Indien*, **20** : 227-248.
6. Aymoz, B. G. P., V. R. Randrianjafy et Z. J. N. Randrianjafy (2013). Gestion communautaire des ressources naturelles : une étude de cas du Parc National d'Ankarafantsika, Madagascar. *Ambio*, **42** :767–775.
7. Banque Mondiale à Madagascar. Communiqués de presse 04 décembre 2023. Madagascar reçoit 8,8 millions de dollars pour des crédits de carbone forestier qui permettront de mieux protéger les forêts et les communautés. <https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2023/12/04/madagascar-afe-receives-8-8-million-for-forest-carbon-credits>.
8. Bastin, J. F., N. Barbier, P. Couteron, B. Adams, A. Shapiro, J. Bogaert, et C. De Cannière (2014). Aboveground biomass mapping of African forest mosaics using canopy texture analysis: towards a regional approach. *Ecol. Appl.*, **24(8)** : 1984- 2001.
9. Bastin J. F., N. Barbier, M. Réjou-Méchain, A. Fayolle, S. Gourlet-Fleury, et D. Maniatis (2015). Seeing Central African forests through their largest trees. *Sci. Rep.*, **5**, ID 13156.

10. Bationo, B. A., S. J. Ouedraogo, A. N. Somé et F. Pallo, (2005). Régénération naturelle d'*Isobertia doka* Craib. et Stapf. dans la forêt classée du Nazinon (Burkina Faso). *Cahiers Agricultures*, **14(3)** : 297-304
11. Béatrice, Q. (2006). Protocole de Kyoto et gouvernance écologique mondiale : enjeux et perspectives des engagements post-2012. *Mondes en développement*, **136** : 29-47. DOI10.3917/med.136.0029.
12. Béatrice, Q. (2012). Pour un approfondissement et un élargissement du protocole de Kyoto dans une perspective post-2012. *Écologie & politique*, **33** : 171–184
13. Bekki, S., O. Boucher, L. Jammes, R. Séférian et N. Viovy (2021). *Interventions sur le climat : état des lieux des initiatives aux États-Unis*. Rapport d’ambassade de France. Service pour la science et la technologie. 82 pages.
14. Bertrand, A., P. Karpe, S. Aubert (2009). « Le statut juridique des terres à Madagascar : perspectives historiques et sociales », in : Sandron F. (eds), *Population rurale et enjeux fonciers à Madagascar*, Paris, CITE/Karthala, p. 35/58.
15. Bigot, S., D. Dumas et Y. T. Brou (2018). La difficulté du monitoring climatique à une échelle fine dans une région fortement impactée par la déforestation tropicale : la forêt sèche du parc national d'Ankarafantsika. *researchgate*, 7 Pages.  
<https://www.researchgate.net/publication/324280077>
16. Bimare K., M. Dourma, F. Folega, A. Y. Woegan, K. Wala et K. Akpagana (2019). Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. *Afrique SCIENCE*, **15(2)**: 70 - 79.
17. Birkinshaw, C., M. Randrianjanahary (2009). The Effects of Cyclone Hudah on the Forest of Masoala Peninsula, Madagascar. *Madagascar Conservation & Development*, **2(1)**, 17–20.
18. Bissonnette, J., L. Bélanger et S. Marchand, (1997). L'inventaire forestier multiressource: les variables critiques de l'habitat faunique. *The Forestry*, **2** : 241 – 247.
19. Bonnieux, F. et A. Carpentier (2007). Préférence pour le statu quo dans la méthode des programmes : illustration à partir d'un problème de gestion forestière. *Revue d'économie politique*, **117(5)** : 699-717. <https://doi.org/10.3917/redp.175.0699>.

- 20.** Bordin, K. M., A. Esquivel-Muelbert, R. S. Bergamin, J. Klipel, R. C. Picoletto, M. A. Frangipani, K. J. Zanini, M. V. Cianciaruso, J. A. Jarenkow, C. F. Jurinitz, M. Molz, P. Higuchi, A. C. da Silva et S. C. Müller (2021). Climate and large-sized trees, but not diversity, drive above-ground biomass in subtropical forests. *Forest Ecology and Management*, volume **490**.
- 21.** Brown, S., A. J. R. Gillespie et A. E. Lugo (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.*, **35(4)**, 881-902.
- 22.** Bureau National de Coordination REDD+(2018). *Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation*. 130 pages. chromeextension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://redd.unfccc.int/media/20180528\_frel\_mada\_modified.pdf
- 23.** Caose, R. H. (1960). The Problem of Social Cost », *Journal of Law and Economics*, **3** : 1-44.
- 24.** CCNUCC (2006b), Conférence des parties agissant comme réunion des parties au Protocole de Kyoto, Rapport de la première session de la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au Protocole de Kyoto tenue à Montréal du 28 novembre au 10 décembre 2005.
- 25.** Chambers, J. Q., N. Higuchi et Schimel, J. P. (1998). Ancient trees in Amazonia. *Nature*, **391(6663)** : 135–136.
- 26.** Chave, J., R. Condit, S. Aguilar, A. Hernandez, S. Lao et R. Perez (2004). Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, **359(1443)** : 409-420.
- 27.** Chave, J., C Andalo, S Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster et F. Fromard (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, **145(1)** : 87-99.
- 28.** Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti et A. Duque (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biol.*, **20** : 3177-3190.
- 29.** Chenost, C., Y. Gardette et J. Demenois, (2010). *Les marchés du carbone forestier*. Bringing forest carbon projects to the market, PNUE-ONFI-AFD-BioCF, 172 pages.

- 30.** Chidumayo E. N. (2013). Forest degradation and recovery in a miombo woodland landscape in Zambia: 22 years of observations on permanent sample plots. *For. Ecol. Manage.*, **291** : 154-161.
- 31.** Colette, C. (2008). L'action internationale contre les changements climatiques : perspectives de l'après-Kyoto. *Études internationales*, 39(2) : 229–253. <https://doi.org/10.7202/019193ar>
- 32.** Condit, R., R. Sukumar, S. Hubbel et R. Foster, (1998). Predicting Population Trends from Size Distributions : A Direct Test in a Tropical Tree Community. *The American Naturalist*, **152** : 495-509. <http://dx.doi.org/10.1086/286186>
- 33.** Conil-Lacoste. J-F. et R. Sandor (2006). Marchés du CO<sub>2</sub> en Europe et aux Etats-Unis : Regards croisés. *Revue d'économie financière*, **83** : 151-158.
- 34.** Cook-Patton, S. C., S. M. Leavitt, D. Gibbs, N. L. Harris, K. Lister, K. J. AndersonTeixeira, R. D. Briggs, R. L. Chazdon, T. W. Crowther, P. W. Ellis, H. P. Griscom, V. Herrmann, K. D. Holl, R. A. Houghton, C. Larrosa, G. Lomax, R. Lucas, P. Madsen, Y. Malhi et B. W. Griscom, (2020). Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature*, **585(7826)** : 545–550.
- 35.** Day, M., C. Baldauf et E. Rutishauser (2013). Relationships between tree species diversity and above-ground biomass in Central African rainforests : implications for REDD. *Environ. Conserv.*, **41** : 64-72
- 36.** Demaze, M. T. (2013). La Redd+ au Brésil: entre construction du cadre institutionnel et foisonnement des projets pilote. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, Vol 316. DOI : <https://doi.org/10.19182/bft2013.316.a20527>
- 37.** Desreumaux, V. (2009). *La justice sociale et le marché : essai sur l'économie du bien-être parétienne*, université de Lille 1, France. Thèse de doctorat en Sciences économiques. 210 pages.
- 38.** Djomo, A. N., A. Ibrahima, J. Saborowski et G. Gravenhorst (2010). Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *For. Ecol. Manage.*, **260** : 1873-1885.

- 39.** Djomo, A.N., A. Knohl et G. Gravenhorst (2011). Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *For. Ecol. Manage.*, **261(8)** : 1448-1459.
- 40.** Djuikouo, M. N. K., J. L. Doucet, C. K. Nguembou, S. L. Lewi et B. Sonké (2010). Diversity and aboveground biomass in three tropical forest types in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon. *Afr. J. Ecol.*, **48** : 1053-1063.
- 41.** Doetterl, S., E. Kearsley, M. Bauters, K. Hufkens, J. Lisingo, G. Baert, H. Verbeeck et P. Boeckx (2015). Aboveground vs. belowground carbon stocks in African tropical lowland rainforest: Drivers and implications. *PLoS ONE*, **10(11)**, e0143209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143209>.
- 42.** Dorisca, S., L. D. De Madron, B. Fontez, A. Giraud et B. Riera (2011). Établissement d'équations entre le diamètre et le volume total de bois des arbres, adaptées au Cameroun. *Bois For. Trop.*, **308(2)** : 87-95.
- 43.** Ebuy, J., J. P. Lokombe, Q. Ponette et D. Sonwa (2011). Allometric equation for predicting aboveground biomass of three tree species. *J. Trop. For. Sci.*, **23(2)** : 125-132.
- 44.** Ekoungoulou, R., S. Niu, J. J. Loumeto, S. A. Ifo, Y. E. Bocko, F. E. K. Mikieleko et E. D. M. Guiekisse (2015). Evaluating the carbon stock in above-and below-ground biomass in a moist central African forest. *Appl. Ecol. Environ. Sci.*, **3(2)** : 51-59.
- 45.** Ensslin, A., G. Rutten, U. Pommer, R. Zimmermann, A. Hemp et M. Fischer (2015). Effects of elevation and land use on the biomass of trees, shrubs and herbs at Mount Kilimanjaro. *Ecosphere*, **6(3)** : 45.
- 46.** Élodie B. et J-P. Terreaux (2009). *Évaluation économique de la biodiversité Méthodes et exemples pour les forêts tempérées*, Éditions Quæ, 200 pages.
- 47.** Eric, G., L. Lydie, M. Robin, P. P. Sakina, B. R. Anwar, S. Jenny et W. David (2022). Rapport spécial du GIEC réchauffement à 1,5°C. Office for Climate Education. 24 pages.
- 48.** Fabienne Collard, (2021). Les COP sur les changements climatiques. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, **(2486-2487)** : 5-68

- 49.** Faucheux S. et J-F. Noël (1995), *Économie des ressources naturelles et de l'environnement*, Paris, Éditions Armand Colin. 370 pages.
- 50.** Fayolle, A., J. L. Doucet, J. F. Gillet, N. Bourland et P. Lejeune (2013). Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *For. Ecol. Manage.*, **305** : 29-37.
- 51.** Fayolle, A., G. J. L. Panzou, T. Drouet, M. D. Swaine, S. Bauwens, J. Vleminckx et A. Biwolé, (2016). Taller trees, denser stands and greater biomass in semi-deciduous than in evergreen lowland central African forests. *For. Ecol. Manage.*, **374** : 42- 50.
- 52.** Feldpausch T. R., J. Lloyd, S. L. Lewis, R. J. W. Brienen, M. Gloor et A. Monteagudo (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, **9(8)** : 3381-3403.
- 53.** Fonton, N. H., C. C. Yabi et J. Z. Dah-Dovonon (2009). Modélisation du volume du fût d'arbre pour une gestion durable des écosystèmes forestiers soudanais. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, **300** : 95–100.
- 54.** Gaudieux, A., J. Ramiamanana (2014). Gouvernance et ressources naturelles à travers les Fokontany et les Fokonolona dans les textes et les pratiques traditionnelles malgaches. *Travaux & documents, Texte et politique*, **47** : 65–81.
- 55.** GEO avec AFP (2022). La hausse des températures alimente une dégradation générale de l'environnement en Australie et aggrave les catastrophes naturelles, met en garde un rapport gouvernemental publié mercredi. <https://www.geo.fr/environnement/en-australie-le-rechauffement-climatique-exacerbe-les-catastrophes-naturelles-dapres-un-rapport-alarbant-212665>. Consulté 1e 12/12/2022 à 10h 45.
- 56.** GIEC (2006) : Lignes Directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié : IGES, Japon.
- 57.** GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Suisse : 103.

- 58.** GIEC (2008), Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf)
- 59.** Goodman R.C., O. L. Phillips et T. R. Baker (2014). The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecol. Appl.*, **24(4)** : 680-698.
- 60.** Gorenflo, L. J., C. Corson, K. M. Chomitz et G. Harper (2011). *Exploration du lien entre les populations et la déforestation à Madagascar*. La population humaine. 251 pages. DOI 10.1007/978-3-642-16707-2
- 61.** Gourlet-Fleury, S., V. Rossi, M. Rejou-Mechain, V. Freycon, A. Fayolle, L. Saint-André et G. Cornu (2011). Environmental filtering of dense-wooded species controls above-ground biomass stored in African moist forests. *J. Ecol.*, **99** : 981-990.
- 62.** Gourlet-Fleury, S., F. Mortier, A. Fayolle, F. Baya, D. Ouédraogo, F. Bénédet et N. Picard (2013). Tropical forest recovery from logging: a 24 year silvicultural experiment from Central Africa. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, **368(1625)**, 20120302.
- 63.** Goussanou, C. A., S. Guendehou, A. E. Assogbadjo, M. Kaire, B. Sinsin, A. Cuni-Sanchez (2016). Specific and generic stem biomass and volume models of tree species in a West African tropical semi-deciduous forest. *Silva Fennica*, **50(2)** : 1474.
- 64.** Gouvenain, R. C., et J. A. Silander (2003). Do Tropical Storm Regimes Influence the Structure of Tropical Lowland Rain Forests? *Biotropica*, **35(2)** : 166–180.
- 65.** Granier, T. (2012). Le retour en grâce du modèle que constitue le «marché réglementé»? *Bulletin Joly Bourse*, **12** : 550 – 559. hal-01424873.
- 66.** Grinand, C., Rakotomalala, F., Gond, V., Vaudry, R., Bernoux, M., Vieilledent, G., (2013). Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier. *Remote Sens.* **139** : 68–80.
- 67.** Grinand, C., G. Le Maire, G. Vieilledent, H. Razakamanarivo, T. Razafimbeloe et M. Bernoux (2017). « Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing », **54** : 1-14

- 68.** Haddad, N. M., L. A. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzalez, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, J. O. Sexton, M. P. Austin, C. D. Collins, W. M. Cook, E. I. Damschen, R. M. Ewers, B. L. Foster, C. N. Jenkins, A. J. King, W. F. Laurance, D. J. Levey, C. R. Margules, et J. R. Townshend (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, **1(2)** : 1–10.
- 69.** Heather, F., (2022). Comment la crise climatique pourrait affecter la transmission du paludisme. Recueil dans son discours à PAMCA 30 Novembre 2022 lors de la conférence COP 27 en Égypte.
- 70.** Henry, M., P. Tittone, R. J. Manlay, M. Bernoux, A. Albrecht et B. Vanlauwe (2009). Biodiversity, carbon stocks and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. *Agric. Ecosyst.* **129** : 238-252
- 71.** Henry, M., A. Besnard, W. A. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini et M. Bernoux, (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *For. Ecol. Manage.*, **260** : 1375-1388.
- 72.** Henry, M., N. Picard, C. Trotta, R. Manlay, R. Valentini, M. Bernoux et L. Saint André, (2011). Estimating tree biomass of SubSaharan African forests: A review of available allometric equations. *Silva Fennica*, **45** : 477-569.
- 73.** Henry, M., A. Bombelli, C. Trotta et A. Alessandrini, (2013). GlobAllomeTree: international platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon assessment. *iForest Biogeosci. For.*, **6(5)** : 326-330
- 74.** Hervé D., Randriambanona H., Ravonjimalala H. R., Ramanankierana H., Rasoanaivo N. S., Baohanta R., Carrière S. M. (2020). Perceptions des fragments forestiers par les habitants des forêts tropicales humides malgaches. *Bois et Forêts des Tropiques*, **345** : 43-62.
- 75.** Hourcade, J. C. (1998). Les écotaxes et le Protocole de Kyoto. *La jaune et la rouge*, **534** : 044-048
- 76.** Hotelling, H. (1931). « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, **39(2)**: 137 – 175. <https://www.jstor.org/stable/1822328>.

- 77.** Issa, A., J. L. Rasoanaivo et R. Rakotosaona (2021). Le Charbon De Bambou, Source D'énergie Alternative Convaincante Et Appropriée Au Contexte Malgache : Efficiences Energétique Et Ecologique Par Rapport Au Bois Energie Et Aux Briquettes A Base De Sciures De Bois De Modèles Cylindrique Et Extrudé. *Revue Internationale des Sciences et Technologies du Progrès*, **29(1)**. ISSN : 2509-0119. ISSN-L : 2509-0119. DOI : 10.52155
- 78.** Jacques Rondeux (2021). *La mesures des arbres et des peuplements foresteries*. Les presses universitaires de Liège — Agronomie – Gembloux. 738 pages. ISBN 978-2-87016-170-8, URL : [www.pressesagro.be D/2021/1665/170](http://www.pressesagro.be/D/2021/1665/170).
- 79.** Jandl, R., A., B. Marcus Lindner, C. Lars Vesterdal, D. Bram Bauwens et E. Rainer Baritz (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, **137** : 253-268
- 80.** Jean-Raphaël, Ch., L. Marc, (2014). La Chine et l'industrialisation au Sud. *Autrepart* **69** : 27 - 53.
- 81.** Jonathan M. H., R. Brian et C. Anne-Marie (2017). *L'Économie du Changement Climatique Mondial*. Global Development And Environment Institute, Tufts University. 87 pages. <http://ase.tufts.edu/gdae>.
- 82.** Juan, S. (2003). *Travail décent et stratégies pour la réduction de la pauvreté*. Bureau International du Travail. 33 pages. ISBN 978-92-2-219709-5 (print) ISBN 978-92-2-219710-1.
- 83.** Jucker, T., A. C. Sanchez, J. A. Lindsell, H. D. Allen, G. S. Amable, et D. A. Coomes (2016). Drivers of aboveground wood production in a lowland tropical forest of West Africa: teasing apart the roles of tree density, tree diversity, soil phosphorus, and historical logging. *Ecology and Evolution*, **6(12)** : 4004–4017.
- 84.** Jung, G. (1969). - Cycles biochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : *Acacia albida* Del. sur sols ferrugineux peu lessivés (Dior). *O.E.C.O.L. Plant.* **4 (2)** : 195-210.
- 85.** Karsenty, A. et S. Assembe, (2011). Land tenure and implementation of REDD+ in central Africa. *Researchgate*, **75** : 105-129.
- 86.** Kearsley, E., T. De Haulleville, K. Hufkens, A. Kidimbu, B. Toirambe, G. Baert et D. Huygens (2013). Conventional tree height-diameter relationships significantly overestimate aboveground carbon stocks in the Central Congo Basin. *Nat. Commun.*, **4**, 2269.

- 87.** King D.A. (1996). Allometry and life history of tropical trees. *J. Trop. Ecol.*, **12(1)** : 25-44.
- 88.** Kintisch, E. (2007) « Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. » *Science*. **316** : 536-537
- 89.** Kiruki H. M., E. H. Van der Zanden, P. Gikuma-Njuru et P. H. Verburg (2017). The effect of charcoal production and other land uses on diversity, structure and regeneration of woodlands in a semi-arid area in Kenya. *Forest Ecology and Management*, **391** : 282-295.
- 90.** Koubouana F., S. A. Ifo, S. F. Ndzai, B. Stoffenne, R. Mondzali-Lénguya (2018). Étude comparative d'une forêt primaire et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*. **11** : 11-25. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1436597>.
- 91.** Kuyah, S., J. Dietz, C. Muthuri, R. Jamnadass, P. Mwangi, R. Coe et H. Neufeldt (2012a). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes : I. Aboveground biomass. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **158** : 216-224.
- 92.** Kuyah, S., J. Dietz, C. Muthuri, R. Jamnadass, P. Mwangi, R. Coe, H. Neufeldt (2012b). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. *Agric. Ecosyst. Environ*, **158** : 225-234.
- 93.** Kuyah, S., G. W. Sileshi, J. Njoloma, S. Mng'omba et H. Neufeldt (2014). Estimating aboveground tree biomass in three different miombo woodlands and associated land use systems in Malawi. *Biomass Bioenergy*, **66** : 214-222.
- 94.** Lacour, P. (2018). La Chine, principale bénéficiaire du mécanisme pour un développement propre (MDP). *Monde en développement*, **181** : 165-180. DOI10.3917/med.181.0165.
- 95.** Laure, P-D., L. Emmanuelle, O. Anne et R. Anne-Sophie (2009). Les politiques de lutte contre la pauvreté dans les pays en développement. Un bilan des expériences. *Revue d'économie du développement*, **17** : 5-50.
- 96.** Laurence Boisson de Chazournes (1997). La gestion de l'intérêt commun à l'épreuve des enjeux économiques-le protocole de Kyoto sur les changements climatiques. *Annuaire Français de Droit International* **43** : 700-715

- 97.** Lecocq, F. (2006). Les marchés carbone dans le monde. *Revue d'économie financière*, **83** : 13-30. <https://www.jstor.org/stable/42904286>
- 98.** Lemenager, T., A. Ahmin-Richard et M. Laurent, (2012). Les organisations publiques d'aide au développement et la dialectique environnement-développement. *Vertigo*, **12(1)**. <https://doi.org/10.4000/vertigo.12145>
- 99.** Lescuyer, G. et Locatelli, B. (1999). Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. *Bois et forêts des tropiques*, **260(2)** : 5-17.
- 100.** Lescuyer, G. (2002). Vers un système mondial de Principes-Critères-Indicateurs pour la gestion forestière ? *Bois et forêts des tropiques*, **272 (2)**: 108-109
- 101.** Lewis, S. L., G. Lopez-Gonzalez, B. Sonké et K. Affum-Baffoe (2009). Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, **457** : 1003-1006.
- 102.** Lewis, S. L., B. Sonké, T. Sunderland, S. K. Begne, G. Lopez-Gonzalez et G. M. F. Van Der Heijden, 2013. Aboveground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, **368(1625)**, 20120295.
- 103.** Lewis S. L., C. E. Wheeler, E. T. A. Mitchard et A. Koch (2019). Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, **568(7750)** : 25–28.
- 104.** Lindenmayer, D. B., W. F. Laurance et J. F. Franklin (2012). Ecology: Global decline in large old trees. *Science*, **338(6112)** : 1305–1306.
- 105.** Lindsell J.A. et E. Klop (2013). Spatial and temporal variation of carbon stocks in a lowland tropical forest in West Africa. *For. Ecol. Manage.*, **289** : 10-17.
- 106.** Lung M. et A. Espira (2015). The influence of stand variables and human use on biomass and carbon stocks of a transitional African forest: Implications for forest carbon projects. *For. Ecol. Manage.*, **351** : 36-46.
- 107.** Makana J-R., C. N. Ewango, S. M. McMahon, S. C. Thomas, T. B. Hart et R. Condit (2011). Demography and biomass change in monodominant and mixed old-growth forest of the Congo. *J. Trop. Ecol.*, **27(05)** : 447-461.

- 108.** Maljean-Dubois, S. (2005). La mise en route du Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. *Annuaire Français de Droit International*, **51** : 433-463
- 109.** Maliro T.K., J-P. Lokombe Dimandja et N. Picard (2010). Volume equations and biomass estimates for three species in tropical moist forest in the Orientale province, Democratic Republic of Congo. *South. For.*, **72(3/4)** : 141-146.
- 110.** Maniatis, D., Y. Malhi, L. Saint André, D. Mollicone, N. Barbier, S. Saatchi, M. Henry et L. Tellier (2011). Evaluating the potential of commercial forest inventory data to report on forest carbon stock and forest carbon stock changes for REDD+ under the UNFCCC. *Int. J. For. Res.*, ID 134526.
- 111.** Marion, G. et M. Antoine (2022). L'intégration des ressources naturelles dans la modélisation macroéconomique : l'empreinte de Robert M. Solow. *Revue française d'économie*. **XXXVII** : 147-184.
- 112.** Marshall, A. R., S. Willcock, P. J. Platts, J. C. Lovett, A. Balmford, N. D. Burgess et J. E. Latham (2012). Measuring and modeling aboveground carbon and tree allometry along a tropical elevation gradient. *Biol. Conserv.*, **154** : 20-33.
- 113.** McCormick, K., S. Anderberg et L. Neij (2013). Sustainable urban transformation and the green urban economy – The Economy of Green Cities : A World Compendium on the Green Urban Economy Springer. <http://www.springer.com/environment/sustainable+development/book/978-94-007-1968-2>
- 114.** Medjibe, V. P., F. E. Putz, M. P. Starkey, A. A. Ndouna et H. R. Memiaghe (2011). Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. *For. Ecol. Manage.*, **262** : 1799-1806.
- 115.** MEEF, MNP, PLAN D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION Plan quinquennal de mise en œuvre 2012-2016, Parc National d'Ankarafantsika, Région Boeny, juillet 2014.
- 116.** Mies, M. (2005). Le patriarcat et l'accumulation à l'échelle mondiale revisités. (Conférence inaugurale au Green Economics Institute, Reading, 29 octobre 2005). *Revue internationale d'économie verte*, **1** : 3-4

- 117.** Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) (2021). Signature d'un protocole d'accord et remise de matériels pour la mise en place des structures de coordination régionale REDD+ dans le programme « Atiala Atsinanana ». <https://www.environnement.mg/?p=3031>. Consulté le 18 février 2021 à 9h 00.
- 118.** Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Direction du Reboisement et de la Gestion des Paysages et des Forêts (2021). Rapport final intégrant la biomasse de l'écosystèmes des forêts humides de l'Est et des forêts sèches de l'ouest de Madagascar. 64 pages.
- 119.** Mokany, K.; R.J. Raison et A.S. Prokushkin, (2006) Critical analysis of root :shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, **12** : 84–96. DOI: 10.1111/ j.1365-2486.2005.001043
- 120.** Molto. Q., V. Rossi et L. Blanc (2013). Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods Ecol. Evol.*, **4(2)** : 175-183.
- 121.** Molina, G., V. Depall, A. Jaouhar (2022). Bilan Gaz à Effet de Serre (GES) : méthodologie et calcul d'indicateurs appliqués à une collectivité territoriale, le cas de Clermont Auvergne Métropole. *Revue Francophone du Développement Durable*. **19** : 105-144.
- 122.** Morelli, T. L., C. W. Barrows, A. R. Ramirez, J. M. Cartwright, D. D. Ackerly, T. D. Eaves, J. L. Ebersole, M. A. Krawchuk, B. H. Letcher, M. F. Mahalovich, G. W. Meigs, J. L. Michalak, C. I. Millar, R. M. Quiñones, D. Stralberg et J. H. Thorne (2020). Climate-change refugia: biodiversity in the slow lane. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **18(5)** : 228–234.
- 123.** Moundounga Mavouroulou Q., A. Ngomanda, N. L. Engone Obiang, J. Lebamba et H. Gomat (2014). How to improve allometric equations to estimate forest biomass stocks ? Some hints from a central African forest. *Can. J. For. Res.*, **44** : 685-691.
- 124.** Mugasha, W. A., T. Eid, O. M. Bollandsås, R. E. Malimbwi, S. A. O. Chamshama, E. Zahabu et J. Z. Katani (2013). Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. *For. Ecol. Manage.*, **310** : 87-101.
- 125.** Muttенzer, F. (2012). Community forest management on the agricultural frontier : charcoal makers, immigrant associations and land claims in Ankarafantsika, North-West Madagascar. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, **258** : 249 – 272

- 126.** Nathalie, B., B. Nathalie, B. Karine, C. Jean-Christophe, D-B. Corinne (2021). L'impact environnemental du numérique en santé. [Rapport Technique] Ministère des solidarités et de la santé ; Délégation ministérielle au numérique en santé, cellule éthique : *GT6 - Numérique responsable*. 32 pages. <https://hal.science/hal-03366949v1>
- 127.** Ndjomba C.D., F. Koubouana, I. M. C. M.K. Goma, J. M. Mabaka & F. D. Mbela (2022). Diversité Floristique, Structure et Estimation du Stock de Carbone par les Peuplements ligneux de la Forêt Naturelle de la Mondah). *European Scientific Journal*, **33** : Pages 75. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p75>
- 128.** Ngomanda, A., N. L. E. Obiang, J. Lebamba, Q. M. Mavouroulou, H. Gomat, G. S. Mankou et J. Loumeto (2014). Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *For. Ecol. Manage.*, **312** : 1-9.
- 129.** Oduori S. M., F. Rembold, O. H. Abdule et R. Vargas, (2011). Assessment of charcoal driven deforestation rates in a fragile rangeland environment in North Eastern Somalia using very high resolution imagery. *J. Arid. Environ.* **75** : 1173-1181.
- 130.** Osen, K., M. R. Sozafy, D. A. Martin, A. Wurz, K. Osen, A. März, H. L. T. Ranarijaona et D. Hölscher (2021). Land-use history determines habitat structure and tree diversity in vanilla agroforests of north-eastern Madagascar. *Applied Vegetation Science*. **24(1)** : 1–14.
- 131.** Pérez Martin, M.T., A. C. Kiss, V. Constantinesco, F. Mayor (2001). Que fait le village planétaire de ses déchets dangereux ? : La mise en œuvre de la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Pages 409-418. ISBN : 2802714384.
- 132.** Ploton, P., N. Barbier, S. Takoudjou Momo, M. Réjou-Méchain, F. Boyemba Bosela et G. Chuyong (2016). Closing a gap in tropical forest biomass estimation: taking crown mass variation into account in pantropical allometries. *Biogeosciences*, **13(5)** : 1571-1585.
- 133.** Picard, N., L. Saint-André et M. Henry (2012). *Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : de la mesure de terrain à la prédiction*. Rome : FAO ; Montpellier, France : CIRAD
- 134.** Picard, N., F. Boyemba Bosela et V. Rossi (2015). Reducing the error in biomass estimates strongly depends on model selection. *Ann. For. Sci.*, **72(6)** : 811-823.
- 135.** Pigou A.C. (1920). *The Economics of welfare*. London, Macmillan.

- 136.** Rabarison, H., S. I. Randriamahaleo, F. M. Andriambelo et H. L. Randrianasolo, (2015). National biodiversity and action plans : 2015 to 2025. Ministère de l'environnement, de l'écologie, de la mer et des forêts.
- 137.** Raharimalala, O., A. Buttler, R. Schlaepfer et J-M. Gobat (2012). QUANTIFYING BIOMASS OF SECONDARY FOREST AFTER SLASH-AND-BURN CULTIVATION IN CENTRAL MENABE, MADAGASCAR. *Journal of Tropical Forest Science*, **24(4)** : 474-489
- 138.** Rakotondrabe, M, (2017). Conservation et valorisation durable des ressources forestières dans un contexte de vulnérabilité des populations riveraines. Cas de la Réserve de Biosphère de Mananara Nord, Région Analanjirofo. Faculté de Sciences Agronomiques et Environnementales de l'Université d'Antananarivo, Madagascar. Thèse doctorat. 150 pages.
- 139.** Rakotozanany A. R., H. F. C. Rasoamanantenaniaina, V. Rakotoarimanana et E. Roger (2020). Groupements végétaux et stocks de carbone dans les forêts sèches d'Ambanjabe et Ampampamena au sud de la nouvelle aire protégée d'Antrema. IRD, *Article sur la valorisation durable des formations sèches de l'océan indien*, 9 pages.
- 140.** Ramananandro, T. R. (2014). Le développement socio-économique des communautés locales des aires protégées : cas du parc national Ankarafantsika, Facultés D.E.G.S, Université d'Antananatovo, Madagascar. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Maîtrise ès- Sciences Economiques. 60 pages
- 141.** Rambeloarisoa L. F., T. A. Ramihangihajason, S. Rakotondraopinga et E. Roger (2018). Dynamique Spatio-temporelle de la forêt sèche d'Antrema avant sa mise en aire protégée (2004-2014). IRD, *Article sur la Valorisation durable des formations sèches de l'Océan indien*. Antananarivo, septembre 2022. 6 pages.
- 142.** Rakotondrasoa, O. L., F. Malaisse, G.L. Rajoelison, J. Gaye, T.M. Razafimanantsoa, M.R. Rabearisoa, B.S. Ramamonjisoa, N. Raminosoa, F. Verheggen, M. Poncelet, E. Haubruge & J. Bogaert (2013). Identification des indicateurs de dégradation de la forêt de tapia (*Uapaca bojeri*) par une analyse sylvicole. *TROPICULTURA*, **31(1)**: 10-19.
- 143.** Raoelisolonarivony (2018). *Etablissement de comptes écosystémiques de l'occupation des terres et de la ressource en eau et de la nouvelle aire protégée Bombetoka (2007-2017)*. Université d'Antananarivo (Madagascar), Mémoire de Master en physique et Application, Parcours : Physique du Globe. 50 pages.

- 144.** RAVELONDRAMAMY Fridonatin Peguy, RANDRIANJAFY Rasoloarisoa Vololomboahangy, RANARIJAONA Hery Lisy Tiana, RANDRIAMINAHY Ziva Mbolamanana (2020). Méthodologie pour évaluer le stock de carbone de la forêt sèche, cas du parc national Ankarafantsika. *Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement* Volume 3, ISSN: 2709-8192-1, Disponible sur : <https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192>
- 145.** Repoblikan'i Madagasikara (2022). Deuxième contribution déterminée au niveau national (CDN) de la république de Madagascar au titre de l'accord de Paris sur les changements climatiques. 34 Pages.
- 146.** Repoblikan'i Madagasikara (2004). Décret No. 2004-167 du 03 février 2004 modifiant certaines dispositions du décret n°99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE).
- 147.** Rhett A. Butler (2014). Vente de crédits issus du premier projet REDD+ soutenu par un gouvernement africain. Mongabay. <https://fr.mongabay.com/2014/01/vente-de-credits-issus-du-premier-projet-redd-soutenu-par-un-gouvernement-africain/> Consulté le 18 juin 2019 à 14 h 30.
- 148.** Robert M. Solow (1974). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, **64(2)**: 1-14. <https://www.jstor.org/stable/1816009>.
- 149.** Ryan, C.M., M. Williams et J. Grace (2011). Above- and belowground carbon stocks in a miombo woodland landscape of Mozambique. *Biotropica*, **43(4)** : 423-432.
- 150.** Shirima, D. D., P. K. T. Munishi, S. L. Lewis, N. D. Burgess, A. R. Marshall, A. Balmford et R. D. Swetnam (2011). Carbon storage, structure and composition of miombo woodlands in Tanzania's Eastern Arc Mountains. *Afr. J. Ecol.*, **49(3)** : 332-342.
- 151.** Shirima, D. D., Ø Totland, P. K. T. Munishi, S. R. Moe (2015). Relationships between tree species richness, evenness and aboveground carbon storage in montane forests and miombo woodlands of Tanzania. *Basic Appl. Ecol.*, **16(3)** : 239-249.
- 152.** Simonia, Nodari A. (2008). Les Relations entre les pays industrialisés et les pays en développement. *Histoire de l'humanité : le XXe siècle de 1914 à nos jours*, **VII (7)** : 73-80.

- 153.** Slik, J. W. F., G. Paoli, K. Mcguire, I. Amaral, J. Barroso, M. Bastian, L. Blanc, F. Bongers, P. Boundja, C. Clark, M. Collins, G. Dauby, Y. Ding, J. L. Doucet, E. Eler, L. Ferreira, O. Forshed, G. Fredriksson, J. F. Gillet et N. Zweifel, (2013). Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, **22(12)** : 1261–1271.
- 154.** Stephenson, N. L., A. J. Das, R. Condit, S. E. Russo, P. J. Baker, N. G. Beckman, D. A. Coomes (2014). Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*, **507** : 90-93.
- 155.** Stévant, T., G. Dauby, P. P. L. li, V. Droissart, D. J. Harris, B. A. Mackinder, G. E. Schatz, B. Sonké, M. S. M. Sosef et J. Svenning, (2019). A third of the tropical African flora is potentially threatened with extinction. *Science Advances*. **5(11)** : 1-13.  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aax9444>
- 156.** Tréfon, T., T. De Putter, (2017). *Ressources naturelles et développement : le paradoxe congolais*. L'Harmattan, 195 pages.
- 157.** Urech, Z. L., G. J. Zaehring, R. Olivia, J. Sorg, et H. R. Felber, (2015). Understanding deforestation and forest fragmentation from a livelihood perspective. *Revue Conservation et Développement de Madagascar*, **10(2)** : 67-76.
- 158.** Van der Werf G. R., D. C. Morton, R. S. DeFRies, J. G. J. Olivier, P. S. Kasibhatla, R. B. Jackson, G. J. Collatz et J.T. Randerson (2009). CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience*, **2(11)** : 737-738. DOI 10.1038/ngeo671
- 159.** Van der Sande, M. T., L. Poorter, L. Kooistra, P. Balvanera, K. Thonicke, J. Thompson, E. J. M. M. Arets, N. Garcia Alaniz, L. Jones, F. Mora, T. H. Mwampamba, T. Parr, et M. Peña-Claros, (2017). Biodiversity in species, traits, and structure determines carbon stocks and uptake in tropical forests. *Biotropica*, **49(5)** : 593-603.
- 160.** Van Dinh, T. T. (2006). Le droit forestier du Vietnam. *Etudes juridiques de la FAO en ligne*. 27 pages.
- 161.** Venmans, F., (2011). L'efficacité environnementale et économique du marché du carbone européen. *Courrier hebdomadaire du CRISP (n° 2099-2100)* : 5-91
- 162.** Vieilledent, G., R. Vaudry, S. F. D. Andriamanohisoa, O. S. Rakotonarivo, H. Z. Randrianasolo, H. N. Razafindrabe, C. Bidaud Rakotoarivony, J. Ebeling et M. Rasamoelina (2012). Une approche universelle pour estimer la biomasse et le stock de carbone dans les forêts tropicales à l'aide de modèles allométriques génériques. *Ecological*, **22(2)** : 572-583

**163.** Vieilledent, G., C. Grinand, F. A. Rakotomalala, R. Ranaivosoa, J. R. Rakotoarijaona, T. F. Allnutt, et F. Achard (2018). Combining global tree cover loss data with historical national forest cover maps to look at six decades of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Biological Conservation*, **222** : 189–197.

**164.** Vincent, G., B. Pierre-Marie et M-S. Isabelle (2023). *L'Agriculture à Madagascar : Évolution, chiffres clés et défis*. 89 pages.

**165.** Yves Montouroy (2014). Le changement dans la gouvernance globale des forêts. La recentralisation de l'action européenne contre le bois illégal. *Varia* **1(3)** : 22 pages

**166.** Zanne, A.E., G. Lopez-Gonzalez, D.A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S.L. Lewis, R.B. Miller, N.G. Swenson, M.C. Wiemann et J. Chave, (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. *Dryad Digital Repository*. <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234>

# ANNEXES

## ANNEXE I : Extrait de presse parlant les premières ventes de crédits carbone à Madagascar



COMMUNIQUE DE PRESSE

### LE GOUVERNEMENT DE MADAGASCAR A SIGNE LES PREMIERES VENTES DE CREDITS CARBONE DU PAYS

NEW YORK (12 Février 2014) - Wildlife Conservation Society (WCS) a annoncé ce jour que le Gouvernement de Madagascar a récemment signé les premières ventes de crédits carbone du pays avec Microsoft et son partenaire en compensation carbone, The CarbonNeutral Company, et le Zoo de Zurich. Ces ventes de crédits de carbone soutiendront le Projet REDD+ (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts "plus" conservation) du Gouvernement de Madagascar dans le Parc Naturel de Makira et elle marque la première vente de crédits carbone REDD+ soutenu par un Gouvernement en Afrique.

A travers la vente de crédits carbone générés par une réduction de la déforestation, le Projet REDD+ de Makira financera la conservation à long terme de l'un des écosystèmes de forêts humides restant encore intact à Madagascar, abritant des plantes et des animaux rares et menacés, tout en améliorant la gestion communautaire des terres et en fournissant un appui aux moyens de subsistance des populations locales.

Selon un mécanisme unique de répartition des revenus REDD+ conçu par WCS et le Gouvernement de Madagascar, les fonds provenant de la vente de crédits carbone seront utilisés par le Gouvernement de Madagascar dans le cadre des activités de conservation, de renforcement de capacités et de contrôle et d'application de la loi, et par WCS pour la gestion du Parc Naturel de Makira. La plus grande part du produit des ventes - la moitié des recettes - servira à appuyer les communautés locales des zones environnantes de Makira à travers des projets d'éducation, de santé et d'autres projets bénéfiques aux communautés.

« Le Gouvernement de Madagascar est ravi d'avoir joué le rôle de pionnier dans la vente de crédits carbone en Afrique. Makira est une partie très valorisée de notre patrimoine naturel et les revenus de cette vente permettront non seulement de protéger cette zone exceptionnelle, mais ils représenteront également une étape importante de notre plan de développement de sources de financement durable pour l'ensemble du réseau des aires protégées. Nous espérons que d'autres organisations suivront l'exemple de Microsoft, du CarbonNeutral Company et de Zoo de Zurich et qu'ils se joindront à nous dans cet effort de conserver la biodiversité unique de Madagascar à travers la vente de futurs crédits de carbone », a déclaré Pierre Manganirina Randrianarisoa, le Secrétaire Général du Ministère de l'Environnement et des Forêts.

Cristián Samper, Président et Chief Executive Officer de WCS, a mentionné que : « Ces ventes représentent une première pour WCS, une première pour l'Afrique et une première pour Madagascar dans la promotion de l'utilisation des crédits de carbone pour lutter contre le changement climatique tout en préserver la biodiversité et les moyens de subsistance de l'homme. Nos reconnaissances vont à l'encontre de Microsoft, CarbonNeutral Company et Zoo de Zurich, et nous nous réjouissons déjà des futurs achats que d'autres organisations visionnaires effectueront. »

Et Rob Bernard, Chief Environmental Strategist chez Microsoft, de déclarer que : « L'appui aux projets de conservation des forêts et de développement de communautés tels que Makira est d'une grande importance dans la stratégie de Microsoft pour réduire son impact sur l'environnement, soutenir une croissance économique durable, améliorer la santé et l'éducation et relever les défis de la société. Le rôle important du projet, dans la protection d'une zone cruciale pour sa valeur en biodiversité, s'aligne également avec le propre effort de Microsoft d'utiliser la technologie, l'information et la recherche pour développer de nouvelles démarches et solutions pour la durabilité. »

Jonathan Shopley, Managing Director du CarbonNeutral Company, a affirmé que : « Motivés par la nécessité de renforcer la résilience de leurs chaînes d'approvisionnement, nos clients sont de plus en plus à la recherche d'opportunités pour gérer l'impact entier de leur organisation sur l'environnement. Le projet Makira permet aux clients de le faire en vendant des crédits de carbone, tout en valorisant la biodiversité et en offrant un soutien à la communauté. »

Makira contient environ un pour cent de la biodiversité mondiale, dont 20 espèces de lémuriers, des centaines d'espèces d'oiseaux, et des milliers de variétés de plantes, dont beaucoup ne se trouvent nulle part ailleurs. La forêt de Makira s'étend sur près de 400.000 ha, ce qui fait d'elle l'un des plus grands blocs intacts restants de la forêt humide de Madagascar. Par ailleurs, les forêts de Makira servent de zone de protection aux bassins versants en fournissant de l'eau propre à plus de 250.000 personnes dans le paysage environnant.

WCS, qui a travaillé à Makira depuis 2003, est le gestionnaire délégué du Parc et responsable de la mise en œuvre du Projet REDD+ qui vise à protéger le Parc Naturel Makira, l'une des plus grandes aires protégées de Madagascar.

En Septembre dernier, le Gouvernement de Madagascar et WCS ont annoncé que 710.588 crédits de carbone du Projet REDD+ de la Forêt de Makira ont été certifiés pour vente. WCS estime que cela permettra d'éviter l'émission de plus de 32 millions de tonnes de CO2 au cours des 30 prochaines années. REDD+ est un cadre international qui attribue une valeur financière au carbone stocké dans les forêts, offrant une compensation aux pays en développement pour la réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation des forêts tout en investissant pour un développement durable à faible émission de carbone. En outre, REDD+ inclut le rôle de la conservation, la gestion durable des forêts et le renforcement des stocks de carbone forestier.

Le Projet REDD+ de Makira est validé et vérifié par le VCS (Verified Carbon Standard) et a reçu une validation de standard 'Gold' par l'Alliance Climat, Communauté et Biodiversité.

La déforestation évitée a été identifiée comme un mécanisme clé pour la réduction des émissions de dioxyde de carbone. A Madagascar, le brûlage des terrains agricoles et l'extraction de bois pour l'énergie domestique causent la perte d'une forêt naturelle de 36.000 ha environ chaque année. « La vente de crédits carbone de Makira constitue une forme importante de valorisation de notre ressource naturelle, le capital vert de Madagascar, à partir duquel les partenaires internationaux contribuent à l'atténuation du gaz à effet de serre » a déclaré Monsieur le Secrétaire Général du Ministère de l'Environnement et des Forêts.

13458-H/1-1

## ANNEXE II: Mode de calcul de Reduction des Émissions pour ERPAA 2020

Total Reference Level emissions during the Reporting Period (tCO <sub>2</sub> -e)	11 849 654
Net emissions and removals under the ER Program during the Reporting Period (tCO <sub>2</sub> -e)	8 438 127
Emission Reductions during the Reporting Period (tCO <sub>2</sub> -e)	3 411 528

Total Reference Level emissions during the Monitoring Period (tCO <sub>2</sub> -e)	11 849 654
Net emissions and removals under the ER Program during the Monitoring Period (tCO <sub>2</sub> -e)	8 438 127
Emission Reductions during the Monitoring Period (tCO <sub>2</sub> -e)	3 411 528
Length of the Reporting period / Length of the Monitoring Period (# days/# days)	285
Emission Reductions during the Reporting Period (tCO <sub>2</sub> -e)	2 663 796

A	Emission Reductions during the Reporting period (tCO <sub>2</sub> -e)	from section 4.3	2 663 796
B	If applicable, number of Emission Reductions from reducing forest degradation that have been estimated using proxy-based estimation approaches (use zero if not applicable)		0
C	Number of Emission Reductions estimated using measurement approaches (A-B)		2 663 796
D	Percentage of ERs (A) for which the ability to transfer Title to ERs is clear or uncontested	from section 6.1	100%
E	ERs sold, assigned or otherwise used by any other entity for sale, public relations, compliance or any other purpose including ERs accounted separately under other GHG accounting schemes or ERs that have been set-aside to meet Reversal management requirements under other GHG accounting schemes	from section 6.4	0%
F	Total ERs (B+C)*D-E		2 663 796
G	Conservativeness Factor to reflect the level of uncertainty from non-proxy based approaches associated with the estimation of ERs during the Crediting Period	from section 5.2	8%
H	Quantity of ERs to be allocated to the Uncertainty Buffer $(0.15*B/A*F)+(G*C/A*F)$		213 104
I	Total reversal risk set-aside percentage applied to the ER program	from section 7.3	28%
J	Quantity of ERs to allocated to the Reversal Buffer (F-H)*(I-5%)		563 659
K	Quantity of ERs to be allocated to the Pooled Reversal Buffer (F-H)*5%		122 535
L	Number of FCPF ERs (F- H – J – K)		1 764 498

## ANNEXE III : Directives d'utilisation de la grille nationale de référence (4km x 4km)

### GLOSSAIRE

**Collect earth** : Outil qui permet la collecte de données via Google Earth. Conjointement avec Google Earth, Bing Maps et Google Earth Engine, les utilisateurs peuvent analyser des images satellitaires à haute et très haute résolution à diverses fins.

**Grille** : Quadrillage

**ID** : IDentifier, abréviation anglaise de "Identification" utilisée notamment en informatique (programmation, tables des bases de données, etc.). ID est l'intitulé d'un code unique permettant de désigner précisément une ligne de données dans une liste, table informatique ou base de données électroniques

**Origine** : Point de départ

**Projection Laborde** : Le système de projection utilisé à Madagascar est la projection Laborde. Elle a été adoptée depuis 1925 pour l'établissement des cartes topographiques et du réseau géodésique local.

**Référence** : Base d'une comparaison, personne ou chose à partir de laquelle on définit, estime, calcule, etc. Référent, repère

**Repère** : Marque, signe servant à signaler, retrouver un point, un emplacement à des fins précises. Objet, élément connu qui sert à reconnaître, à retrouver un lieu, un emplacement.

**WGS84** : Le *World Geodetic System 1984* est un [système géodésique](#) mondial. Ce système géodésique mondial est notamment utilisé par le système de positionnement par satellite [GPS](#).

## 1. Introduction

La grille nationale (4 km x 4 km) recouvrant le territoire national de Madagascar est un outil destiné aux personnes, institutions ou entités travaillant dans la collecte de données nationales ou locales, qu'elles soient privées ou publiques. La grille nationale de 4 km x 4 km, recouvrant tout Madagascar contient 81 000 points distants de 4 km chacun dont 37 197 entrent dans les délimitations géographiques de Madagascar. Le format de cette grille est en Shape file, avec un système de coordonnées Laborde.

La grille nationale a été créée pour permettre la mise en commun des données sur les inventaires forestiers dans le territoire national. Elle constitue aussi un moyen pour l'application de la collecte de données nationales sur les changements d'utilisation des terres (forestières). C'est un outil de base pour le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD).

L'utilisation de cette grille tel un outil de référence commun va contribuer à standardiser les données collectées à niveau national, régional ou local, mais surtout faciliter l'échange et comparaison de données entre acteurs œuvrant dans le domaine de l'inventaire forestier et de la gestion des ressources naturelles. A partir de cette grille, tout utilisateur peut effectuer des inventaires forestiers et le suivi des changements, mais également mettre en application le système de classification des Utilisations et Occupations des Terres (UOT) et les nouvelles définitions des forêts validées et reconnues officiellement.



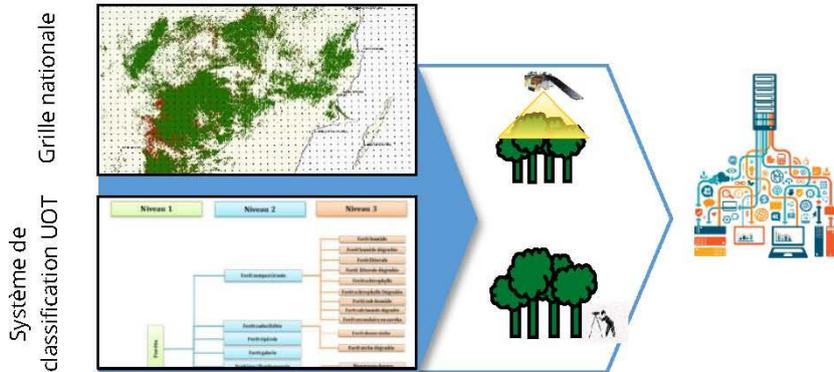


Figure 1 : Importances de la grille nationale de référence

## 2. Caractéristiques de la grille

La grille est orientée est-ouest. Le **point origine** de la grille située à l'extrême Nord-Ouest, codé **0/0**, possède les coordonnées Laborde suivantes :

- **X (longitude) : 50011,05823**
- **Y (latitude) : 1633640,73900**

Elle possède les caractéristiques suivantes :

- EPSG: 29702
- Datum: D\_Tananarive\_1925
- Easting: 400000,00000000

Le point à l'extrémité Nord-Est, codé **0/199**, possède les coordonnées suivantes :

- **X' (longitude) : 846011,0582**
- **Y' (latitude) : 1633640,73900**



A partir de ce point origine 0/0, 80 999 points ont été créés, dans une direction Est et Sud pour couvrir le territoire malgache. C'est ainsi que la **grille nationale** comprend en tout **81 000 points**.

Dans cette grille, **37 197 points** sont situés dans le territoire national.

**La grille nationale 4 km x 4 km** a été créée grâce à deux logiciels : **Excel** et **Quantum GIS**.

- Le tableau Excel utilisé est a été muni de trois colonnes : en première colonne est l'ID de chaque point, en deuxième colonne se trouve la latitude et en troisième colonne, la longitude.
- La deuxième ligne de ce tableau Excel contient l'ID, la latitude et la longitude du point origine de la grille. Ce point est placé au Nord-Ouest de Madagascar dont sa latitude constitue la latitude maximale de la grille nationale et sa longitude constitue sa longitude minimale.
- Pour les coordonnées des autres points, la latitude et la longitude sont calculées à partir de la latitude et la longitude du point origine. Autrement dit, la latitude du deuxième point est la latitude du point origine moins 4000<sup>1</sup> ; et la longitude du deuxième point est la longitude du point d'origine plus 4000 et ainsi de suite.

---

<sup>1</sup> La valeur « 4000 » correspond aux distances de 4 kilomètres entre les points de la grille. Comme le système de coordonnées géographiques utilisé est en Laborde, cette distance est de 4 000 mètres. D'où la valeur 4000 utilisée pour les calculs.



### Formule 1 : Création de la grille : comment ont été obtenus les latitudes et longitudes des points

**Latitude (point suivant) = Latitude (point origine) - 4000**

**Longitude (point suivant) = Longitude (point origine) - 4000**

- Ensuite, le fichier Excel a été enregistré dans un format csv. Le fichier csv a l'avantage de pouvoir être lu par différents logiciels et d'être plus léger.

Le fichier csv créé a ensuite été importé sous Quantum GIS avec un système de projection Laborde. Dans Quantum GIS, le format de fichier a ensuite été changé en Shape file (.shp).

## 3. Nomination des points de la grille

Chaque point de la grille a ensuite été nommé. Le système de nomenclature est :

**Forme : L/C**

Tel que **L** représente le **numéro d'ordre de la ligne** à laquelle le point appartient et **C** le **numéro d'ordre de la colonne** (Figure 2).

Exemple : Point 20/164 = point de la 20<sup>ème</sup> ligne de la grille, et de la 164<sup>ème</sup> colonne de la grille.

Les colonnes sont numérotées de 00 à 199 et les lignes de 00 à 404. **La grille est donc constituée de 200 colonnes et 405 lignes.**



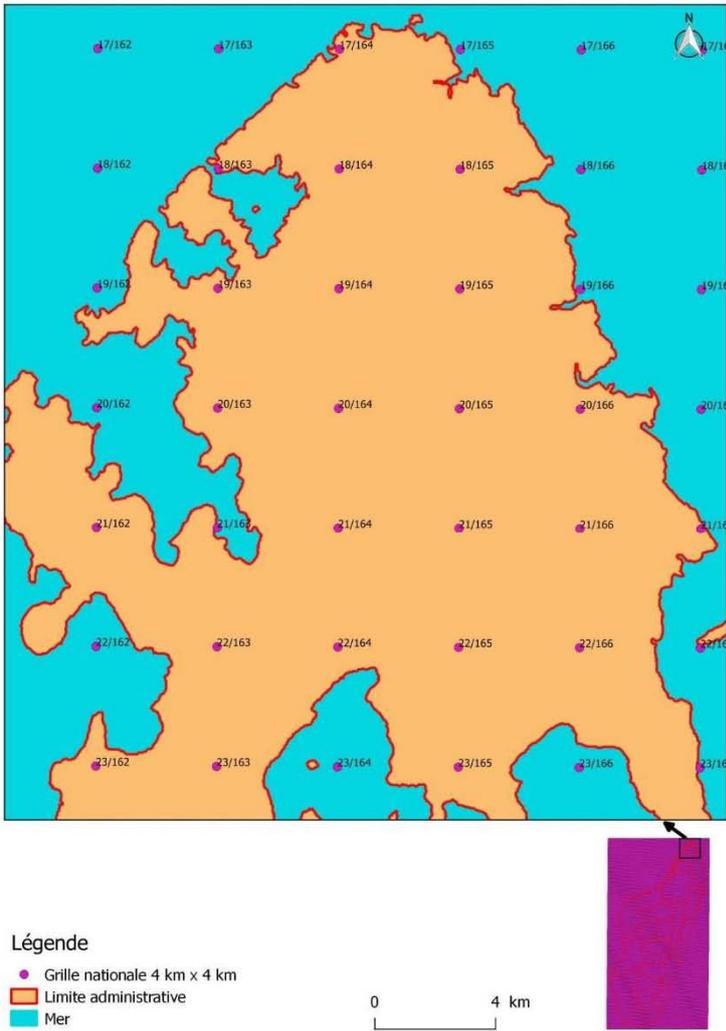


Figure 2 : Zoom sur la grille nationale



## 4. Utilisations de la grille

Trois options sont possibles pour utiliser la grille.

### 4.1. Option 1 : Utilisation directe<sup>2</sup>

La grille peut être utilisée directement, et pour cela il faut sélectionner les points d'intérêt sur le Shape file.

Le choix sera dans ce cas défini selon les objectifs et la méthodologie de l'étude du projet de l'utilisateur. Différents paramètres peuvent être pris en compte pour le choix des points : échelle et zones de l'étude, type d'échantillonnage pour un inventaire, zones d'intérêts etc.

### 4.2. Option 2 : Utilisation directe et utilisation de sous-grilles (création)

La grille peut être utilisée directement et en créant en même temps des sous grilles.

Pour la création des sous-grilles, les points de la grille nationale 4 km x 4 km sont pris comme référence pour créer d'autres points. L'opération doit être effectuée avec le système Laborde EPSG : 29702

#### **Comment créer une sous-grille de 2km x 2km**

- La création de sous grille suit la même procédure que la création de la grille nationale. Mais cette fois-ci, il faut partir des coordonnées géographiques du point de la grille nationale à l'extrémité Nord-Ouest de la zone d'intérêt. Autrement dit, sur un fichier Excel, la latitude et la longitude d'un point de départ est la latitude et longitude d'un point de la grille nationale qui se trouve à l'extrémité Nord-ouest d'une zone d'intérêt. Ensuite, la latitude du second point est la latitude du point de départ moins 2000 m et sa longitude est la longitude du point de départ plus 2000 m et ainsi de suite. Ces

<sup>2</sup> Lien pour le téléchargement de la grille : <https://www.bnc-redd.mg/fr/?id=91>



opérations doivent être effectuées avec le système Laborde (EPSG : 29702).

### **Formule 2 : Création de sous-grille : comment ont été obtenus les latitudes et longitudes des points**

**Latitude (point suivant) = Latitude (point de départ) – 2000**

**Longitude (point suivant) = Longitude (point de départ) – 2000**

- La grille de 4 km x 4 km est donc décomposable en grille de 2 km x 2 km, 1 km x 1 km, voire 0,5 km x 0,5 km si cela est nécessaire à l'utilisateur. La condition est de prendre comme origine les points de la grille nationale de référence. Il faudra renseigner dans des documents (de projet, d'étude, d'inventaire ...) comment les sous-grilles ont été créées. Autrement dit, préciser les points pris comme origine et ses décompositions (distance des points créés par rapport aux points origine, coordonnées géographiques et explications schématiques doivent être obligatoirement précisées). Cela permettra d'avoir des références communes.

### **Recommandations sur le choix de la densité de la grille :**

- La dimension devrait être définie en fonction de la dimension de l'échantillon nécessaire pour estimer la variable d'intérêt avec une erreur et un niveau de confiance ciblé. Il est possible d'avoir une seule dimension pour toute la zone d'étude, ou, si le choix est de stratifier la zone d'étude en plusieurs strates ; d'avoir des grilles de différentes dimensions pour chaque strate.
- Pour définir la dimension de la grille nécessaire, les équations sont les suivantes :



### Formule 3 : Définition de la dimension de la grille pour une variable d'intérêt de proportion

$$D = \sqrt{\frac{A}{n}} = \sqrt{A * \left( \frac{E^2}{t_{1-\alpha}^2 * P * (1 - P)} \right)}$$

*D = Dimension de la grille requise (km)*

*A = Superficie de la zone d'intérêt (km<sup>2</sup>)*

*P = Proportion attendue de la variable d'intérêt (Exemple : 0.5, ou 50% de la superficie est forêt)*

*E = Erreur ciblée absolue, en proportion (Exemple : 0.1. L'erreur relative serait E/P, dans l'exemple : veut dire que l'erreur relative serait 0.1/0.5=20%)*

*t<sub>1-α</sub> = t-student à 1-α de niveau de confiance. 1.67 pour un niveau de confiance de 90% et 1.96 pour un de niveau de confiance de 95%.*

*n = Dimension de l'échantillon (nombre)*

- Dans le cas où la grille est trop dense pour l'objectif, il est préférable de faire un échantillonnage aléatoire dans lequel toutes les unités d'échantillonnage sélectionnées tombent sur les points de la grille, c'est-à-dire mesurer sur une sélection aléatoire dont les emplacements sont contraints par l'espace (points de la grille) au lieu de mesurer sur tous les points de la grille.



#### 4.3. Option 3 : Utilisation de sous-grilles (création)

Dans ce troisième cas, l'utilisateur se sert des points de la grille nationale de référence comme d'un repère uniquement pour créer des sous-grilles. Il doit effectuer les mêmes opérations que pour l'Option 2 : renseigner comment les sous-grilles ont été obtenues, et donner les emplacements des nouveaux points (coordonnés géographiques).

## 5. Précautions d'utilisation

- Lorsque la grille est utilisée pour la collecte de données nationales avec l'Outil Collect Earth (FAO), il est nécessaire de convertir au préalable le système de coordonnées géographiques en WGS84 (EPSG : 4326). Par ailleurs, pour une collecte nationale, il faudra diviser les points de la grille, l'outil Collect Earth ne pouvant contenir que 2.000 points uniquement.
- Faire attention au système de projection utilisé. De préférence, si le système de coordonnées Laborde est utilisé, le logiciel Quantum GIS sera utilisé au risque de rencontrer des erreurs ou des problèmes dans le cas d'autres logiciels comme Arc GIS
- L'ouverture de la grille en format Shape file peut se faire avec les logiciels SIG tel Quantum GIS.
- Indications pour la Conversion des coordonnées sous Laborde en WGS 84 : Sous Quantum GIS, (1) ouvrir la grille en projection Laborde, (2) faire un clic droit sur le nom de la couche, (3) choisir « enregistrer-sous », (4) choisir le système WGS 84 et enfin (5) enregistrer sous un autre nom.



## 6. Conditions d'utilisation

La grille nationale est disponible à l'usage du MEDD et des autres secteurs. Les autres organisations publiques ou privées peuvent également l'obtenir. Toutefois, dans le cadre de leurs projets, les utilisateurs (particulièrement ceux qui étudient les changements d'utilisation des terres) doivent :

- Adopter le système de classification UOT et les définitions des forêts validées officiellement ;
- Partager les données issues des inventaires<sup>3</sup> ayant pris comme référence la grille au LOFM, laboratoire de Géomatique du MEDD hébergé au sein du BN-CCCREDD+ ;
- Communiquer les méthodologies et résultats de leurs projets/études/inventaires au LOFM.

L'utilisation de la grille doit être dans un but de développement durable du pays, que ce soit d'un point de vue économique ou environnemental.

<sup>3</sup> Localisation des points, données et résultats d'inventaires, rapports, photos etc.



## 7. Conclusion

La grille nationale de référence pour Madagascar possède des fonctions essentielles pour l'étude des changements d'utilisation des terres à Madagascar. C'est tout dans l'intérêt des organismes de conservation, de développement, de recherche et pour le MEDD de l'utiliser. Outre sa fonction d'outil pour l'inventaire et le suivi des forêts ; elle contribue à la mise à jour de la classification de l'Utilisation et des Occupations des Terres à Madagascar, et à l'application des nouvelles définitions des forêts. Son utilisation est ouverte au public, sous conditions (cf. 6.Conditions d'utilisations).

Dans cette période où les forêts sont en destruction et en dégradation intensive à Madagascar, il est nécessaire de créer des outils pour faciliter le suivi de l'évolution du couvert. La grille nationale en fait entièrement partie. Sa création vise dans une large mesure à atteindre l'objectif de conservation et de gestion durable des terres forestières dans le pays.



**ANNEXE IV : Fiche d'inventaire forestier pour l'information générale sur la placette**

Inventaire Forestier National		
Fiche Générale		
Région : BOENY	Commune:ANKAZOMBORONA	Coordonnées réelles
District :	Fokontany :	
Date :	Site :	
Equipe n° :	Placette n° :	Précision (m)
Informations stationnelles :		Croquis
Type de la forêt : Forêt intact, forêt dégradée, forêt secondaire		
Altitude (GPS et en mètre)		
Position topographique		
Pente (en %)		
Exposition		
Observation en dehors du transect		

Trajet : de.....(E=.....,S=.....) à la placette.....	
Type d'Observation	Distance (estimer au GPS, « Go to »)
	1,30 Km

**Source : DRGPF, 2021**



## ANNEXE VI: Présentation des Genres et les Familles des sur la forêt sèche dégradée

<b>Genres</b>	<b>Nombres</b>
<i>Antidesma</i>	1
<i>Baudouinia</i>	2
<i>Bridelia</i>	4
<i>Calantica</i>	10
<i>Calophyllum</i>	6
<i>Capurodendron</i>	7
<i>Carissa</i>	7
<i>Cedrelopsis</i>	9
<i>Commiphora</i>	2
<i>Croton</i>	5
<i>Dalbergia</i>	20
<i>Diospyros</i>	2
<i>Grewia</i>	16
<i>Hibiscus</i>	10
<i>Hildegardia</i>	2
<i>Holmskioldia</i>	1
<i>Leea</i>	1
<i>Protorhus</i>	1
<i>Psorospermum</i>	6
<i>Pycreus</i>	1
<i>Stadmannia</i>	3
<i>Stereospermum</i>	5
<i>Strychnos</i>	3
<i>Tamarindus</i>	8
<i>Tetrapterocarpon</i>	13
<i>Xylolaena</i>	1
<i>Zanthoxylum</i>	1

<b>Familles végétales</b>	<b>Nombres</b>
<i>Malvaceae</i>	26
<i>Fabaceae</i>	22
<i>Caesalpiniaceae</i>	21
<i>Euphorbiaceae</i>	10
<i>Flacourtiaceae</i>	10
<i>Ptaeroxylaceae</i>	9
<i>Apocynaceae</i>	7
<i>Sapotaceae</i>	7
<i>Clusiaceae</i>	6
<i>Guttifereae</i>	6
<i>Bignoniaceae</i>	5
<i>Loganiaceae</i>	3
<i>Sapindaceae</i>	3
<i>Burseraceae</i>	2
<i>Ebenaceae</i>	2
<i>Sterculiaceae</i>	2
<i>Anacardiaceae</i>	1
<i>Cyperaceae</i>	1
<i>Leeaceae</i>	1
<i>Rutaceae</i>	1
<i>Sarcolaenaceae</i>	1
<i>Verbenaceae</i>	1

## ANNEXE VII: Présentation des Genres et des Familles sur la forêt dense sèche

<b>Genres</b>	<b>Nombres</b>
<i>Astrotrichilia</i>	1
<i>Baudouinia</i>	10
<i>Bosqueia</i>	3
<i>Calantica</i>	6
<i>Calophyllum</i>	2
<i>Capurodendron</i>	18
<i>Cedrelopsis</i>	9
<i>Clerodendron</i>	1
<i>Commiphora</i>	7
<i>Croton</i>	9
<i>Dalbergia</i>	17
<i>Diospyros</i>	22
<i>Dombeya</i>	1
<i>Garcinia</i>	9
<i>Grewia</i>	4
<i>Hildegardia</i>	7
<i>Holmskioldia</i>	5
<i>Memecylon</i>	3
<i>Ouratea</i>	1
<i>Phaseolus</i>	1
<i>Phylloxylon</i>	2
<i>Protorhus</i>	5
<i>Psorospermum</i>	3
<i>Rauvolfia</i>	1
<i>Rhopalocarpus</i>	9
<i>Rourea</i>	1
<i>Sapium</i>	1
<i>Securinega</i>	10
<i>Stadmannia</i>	4
<i>Stereospermum</i>	13
<i>Strychnos</i>	2
<i>Tanghinia</i>	1

<b>Familles végétales</b>	<b>Nombres</b>
<i>Fabaceae</i>	28
<i>Ebenaceae</i>	22
<i>Euphorbiaceae</i>	20
<i>Sapotaceae</i>	18
<i>Bignoniaceae</i>	13
<i>Clusiaceae</i>	12
<i>Ptaeroxylaceae</i>	9
<i>Sphaerosepalaceae</i>	9
<i>Sterculiaceae</i>	8
<i>Burseraceae</i>	7
<i>Sarcolaenaceae</i>	7
<i>Flacourtiaceae</i>	6
<i>Anacardiaceae</i>	5
<i>Caesalpiniaceae</i>	5
<i>Annonaceae</i>	4
<i>Malvaceae</i>	4
<i>Sapindaceae</i>	4
<i>Melastomataceae</i>	3
<i>Moraceae</i>	3
<i>Papilionaceae</i>	3
<i>Apocynaceae</i>	2
<i>Guttifereae</i>	2
<i>Loganiaceae</i>	2
<i>Rutaceae</i>	2
<i>Combretaceae</i>	1
<i>Connaraceae</i>	1
<i>Lamiaceae</i>	1
<i>Meliaceae</i>	1
<i>Ochnaceae</i>	1
<i>Verbenaceae</i>	1

**ANNEXE VII : Présentation des Genres et des Familles sur la forêt dense sèche (Suite et fin)**

<b>Genres</b>	<b>Nombres</b>
<i>Teclea</i>	2
<i>Tephrosia</i>	1
<i>Terminalia</i>	1
<i>Tetrapterocarpon</i>	5
<i>Xyloolaena</i>	7
<i>Xylopi</i>	4

**ANNEXE VIII: Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche**

ESPECES	DHP (m)	HT (m)	FE	HT x FE	VT/ha (m3)
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,25	14	4,00	56	1,46
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,19	6	25,00	150	2,26
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,146	5	25,00	125	1,11
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,134	5,2	25,00	130	0,97
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,111	5	25,00	125	0,64
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,293	14	4,00	56	2
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,29	11	4,00	44	1,54
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,17	7,7	25,00	192,5	2,32
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,16	9,9	25,00	247,5	2,65
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,143	7	25,00	175	1,49
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,142	7	25,00	175	1,49
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,14	8	25,00	200	1,64
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,06	5	100,00	500	0,75
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,165	7,1	25,00	177,5	2,02
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,083	6,1	100,00	610	1,75
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,08	6,2	100,00	620	1,66
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,052	5,3	100,00	530	0,6
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,221	10,4	4,00	41,6	0,85
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,133	7,1	25,00	177,5	1,31
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,062	4,8	100,00	480	0,77
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,054	5,2	100,00	520	0,63
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,075	3	100,00	300	0,7
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,167	9	25,00	225	2,62
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,163	7,2	25,00	180	1,99
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,153	9,9	25,00	247,5	2,42
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,111	6,9	25,00	172,5	0,89
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,077	6	100,00	600	1,49
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,117	6,1	25,00	152,5	0,87
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,345	10,7	4,00	42,8	2,13
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,291	11,3	4,00	45,2	1,6
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,125	7,5	25,00	187,5	1,22
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,29	12,5	4,00	50	1,76
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,21	11	4,00	44	0,81

**ANNEXE VIII : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche (Suite)**

ESPECES	DHP (m)	HT (m)	FE	HT avec FE	VT/ha (m3)
<i>Securinega seyrigii</i>	0,145	8,9	25,00	222,5	1,95
<i>Securinega seyrigii</i>	0,062	5,7	100,00	570	0,91
<i>Securinega seyrigii</i>	0,345	12,3	4,00	49,2	2,44
<i>Securinega seyrigii</i>	0,278	12,1	4,00	48,4	1,56
<i>Securinega seyrigii</i>	0,25	15	4,00	60	1,57
<i>Securinega seyrigii</i>	0,24	10	4,00	40	0,96
<i>Securinega seyrigii</i>	0,23	13	4,00	52	1,15
<i>Securinega seyrigii</i>	0,22	12	4,00	48	0,97
<i>Securinega seyrigii</i>	0,22	7	4,00	28	0,57
<i>Securinega seyrigii</i>	0,125	8	25,00	200	1,3
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,277	10,5	4,00	42	1,35
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,215	12,6	4,00	50,4	0,97
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,303	12,3	4,00	49,2	1,89
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,18	8,7	25,00	217,5	2,94
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,125	9,4	25,00	235	1,53
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,17	7,3	25,00	182,5	2,2
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,15	6,1	25,00	152,5	1,43
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,15	6	25,00	150	1,4
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,305	12,3	4,00	49,2	1,91
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,23	12,3	4,00	49,2	1,09
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,302	11,5	4,00	46	1,75
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,257	11,7	4,00	46,8	1,29
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,183	9,2	25,00	230	3,22
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,159	8,6	25,00	215	2,27
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,134	7,4	25,00	185	1,39
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,125	7,4	25,00	185	1,21
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,22	15	4,00	60	1,21
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,18	7,9	25,00	197,5	2,67
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,13	5,2	25,00	130	0,92
<i>Croton bathianus</i>	0,12	6	25,00	150	0,9
<i>Croton bathianus</i>	0,065	4,5	100,00	450	0,8
<i>Croton bathianus</i>	0,154	9	25,00	225	2,23
<i>Croton bathianus</i>	0,07	4,9	100,00	490	1
<i>Croton bathianus</i>	0,056	5	100,00	500	0,65
<i>Croton bathianus</i>	0,09	4	100,00	400	1,35
<i>Croton bathianus</i>	0,06	3	100,00	300	0,45
<i>Croton bathianus</i>	0,05	3,1	100,00	310	0,32
<i>Croton bathianus</i>	0,05	2,6	100,00	260	0,27
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,153	9,1	25,00	227,5	2,22

**ANNEXE VIII : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche (suite)**

ESPECES	DHP (m)	HT (m)	FE	HT avec FE	VT/ha (m3)
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,14	8,4	25,00	210	1,72
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,075	6	100,00	600	1,41
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,05	4,8	100,00	480	0,5
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,17	8,2	25,00	205	2,47
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,14	6,9	25,00	172,5	1,41
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,135	7	25,00	175	1,33
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,125	7	25,00	175	1,14
<i>Garcinia pachyphylla</i>	0,055	6	100,00	600	0,76
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,236	9	4,00	36	0,84
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,136	8,8	25,00	220	1,7
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,081	6,4	100,00	640	1,75
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,134	6,1	25,00	152,5	1,14
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,125	6	25,00	150	0,98
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,07	4,1	100,00	410	0,84
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,086	6	100,00	600	1,85
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,105	5,5	25,00	137,5	0,63
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,07	5	100,00	500	1,02
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,06	4,2	100,00	420	0,63
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,05	3,2	100,00	320	0,33
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,14	7,5	25,00	187,5	1,53
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,135	6,6	25,00	165	1,26
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,053	5,1	100,00	510	0,6
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,17	8,2	25,00	205	2,47
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,15	6,6	25,00	165	1,55
<i>Commiphora arafy</i>	0,131	8,1	25,00	202,5	1,45
<i>Commiphora arafy</i>	0,112	6,7	25,00	167,5	0,88
<i>Commiphora arafy</i>	0,077	6,2	100,00	620	1,53
<i>Commiphora arafy</i>	0,17	5,4	25,00	135	1,63
<i>Commiphora arafy</i>	0,15	7	25,00	175	1,64
<i>Commiphora arafy</i>	0,13	5,6	25,00	140	0,99
<i>Commiphora arafy</i>	0,09	4	100,00	400	1,35
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,183	7	25,00	175	2,45
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,05	3	100,00	300	0,31
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,055	4,8	100,00	480	0,61
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,08	3,2	100,00	320	0,86
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,07	3	100,00	300	0,61
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,055	3	100,00	300	0,38

**ANNEXE VIII : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche (suite)**

ESPECES	DHP (m)	HT (m)	FE	HT avec FE	VT/ha (m3)
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,115	6	25,00	150	0,83
<i>Calantica jalberti</i>	0,052	4,2	100,00	420	0,47
<i>Calantica jalberti</i>	0,127	4,9	25,00	122,5	0,82
<i>Calantica jalberti</i>	0,185	8	25,00	200	2,86
<i>Calantica jalberti</i>	0,135	6,3	25,00	157,5	1,2
<i>Calantica jalberti</i>	0,155	7,7	25,00	192,5	1,93
<i>Calantica jalberti</i>	0,11	6	25,00	150	0,76
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,13	7,7	25,00	192,5	1,36
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,13	6	25,00	150	1,06
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,12	6	25,00	150	0,9
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,11	5,2	25,00	130	0,66
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,085	4	100,00	400	1,21
<i>Holmskioldia mira</i>	0,215	13	4,00	52	1
<i>Holmskioldia mira</i>	0,334	12,5	4,00	50	2,33
<i>Holmskioldia mira</i>	0,133	7,1	25,00	177,5	1,31
<i>Holmskioldia mira</i>	0,266	10,2	4,00	40,8	1,21
<i>Holmskioldia mira</i>	0,065	5,5	100,00	550	0,97
<i>Protorhus ditimena</i>	0,055	4,8	100,00	480	0,61
<i>Protorhus ditimena</i>	0,06	5,1	100,00	510	0,77
<i>Protorhus ditimena</i>	0,12	4	25,00	100	0,6
<i>Protorhus ditimena</i>	0,09	4,2	100,00	420	1,42
<i>Protorhus ditimena</i>	0,07	3	100,00	300	0,61
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,442	12,3	4,00	49,2	4
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,15	9,1	25,00	227,5	2,14
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,134	7,4	25,00	185	1,39
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,56	11,5	4,00	46	6,02
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,138	7,7	25,00	192,5	1,53
<i>Stadmannia grevei</i>	0,305	12,9	4,00	51,6	2
<i>Stadmannia grevei</i>	0,12	7	25,00	175	1,05
<i>Stadmannia grevei</i>	0,061	5,3	100,00	530	0,82
<i>Stadmannia grevei</i>	0,065	5	100,00	500	0,88
<i>Xylopiya bemarivensis</i>	0,369	13,1	4,00	52,4	2,98
<i>Xylopiya bemarivensis</i>	0,184	8,2	25,00	205	2,9
<i>Xylopiya bemarivensis</i>	0,182	6,4	25,00	160	2,21
<i>Xylopiya bemarivensis</i>	0,077	6,6	100,00	660	1,63
<i>Grewia Serrulata</i>	0,069	5,3	100,00	530	1,05
<i>Grewia Serrulata</i>	0,155	6,2	25,00	155	1,55
<i>Grewia Serrulata</i>	0,111	7,5	25,00	187,5	0,96

**ANNEXE VIII : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt dense sèche (suite et fin)**

ESPECES	DHP (m)	HT (m)	FE	HT avec FE	VT/ha (m3)
<i>Grewia Serrulata</i>	0,069	6,1	100,00	610	1,21
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,15	8,1	25,00	202,5	1,9
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,12	7,2	25,00	180	1,08
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,05	3	100,00	300	0,31
<i>Memecylon sp</i>	0,069	6,1	100,00	610	1,21
<i>Memecylon sp</i>	0,17	7	25,00	175	2,11
<i>Memecylon sp</i>	0,118	6,3	25,00	157,5	0,92
<i>Bosqueia boiviniana</i>	0,342	13,5	4,00	54	2,64
<i>Bosqueia boiviniana</i>	0,18	8,4	25,00	210	2,84
<i>Bosqueia boiviniana</i>	0,14	8	25,00	200	1,64
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,068	5,8	100,00	580	1,12
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,05	4,5	100,00	450	0,47
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	0,071	6	100,00	600	1,26
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	0,059	6	100,00	600	0,87
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,306	12,7	4,00	50,8	1,99
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	0,059	6	100,00	600	0,87
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,306	12,7	4,00	50,8	1,99
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,088	6,2	100,00	620	2
<i>Teclea punctata</i>	0,125	7	25,00	175	1,14
<i>Teclea punctata</i>	0,248	10,5	4,00	42	1,08
<i>Tephrosia Vogelii</i>	0,11	6,6	25,00	165	0,83
<i>Terminalia tropophylla</i>	0,179	6,7	25,00	167,5	2,24
<i>Tanghinia venenifera</i>	0,27	10	4,00	40	1,22
<i>Rourea orientalis</i>	0,169	8	25,00	200	2,38
<i>Sapium melanostichum</i>	0,05	6	100,00	600	0,63
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	0,21	9	4,00	36	0,66
<i>Ouratea deltoideum</i>	0,123	7,5	25,00	187,5	1,18
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,321	12,2	4,00	48,8	2,1
<i>Dombeya longicuspis</i>	0,054	5	100,00	500	0,61
<i>Clerodendron aucubifolium</i>	0,071	6	100,00	600	1,26
<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	0,15	9	25	225	5,64
	0,21	12	4	48	0,88

**ANNEXE IX : Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt sèche dégradée**

ESPECE	DHP (m)	HT (m)	FE	VT/ha (m <sup>3</sup> )
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,337	12,2	4	2,31
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,322	11,3	4	1,96
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,291	10,5	4	1,48
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,285	12,4	4	1,68
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,168	8,4	25	2,47
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,142	7,7	25	1,62
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,115	6	25	0,83
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,09	5,8	100	1,96
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,08	5,4	100	1,44
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,072	5,8	100	1,26
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,071	5,5	100	1,16
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,371	12,4	4	2,85
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,245	13,2	4	1,32
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,225	10,8	4	0,91
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,135	8	25	1,52
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,122	6,4	25	0,99
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,072	5,4	100	1,17
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,051	4,6	100	0,5
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,312	12,5	4	2,03
<i>Grewia Serrulata</i>	0,135	6,5	25	1,24
<i>Grewia Serrulata</i>	0,134	7	25	1,31
<i>Grewia Serrulata</i>	0,128	5,2	25	0,89
<i>Grewia Serrulata</i>	0,05	5,1	100	0,53
<i>Grewia Serrulata</i>	0,147	8,1	25	1,83
<i>Grewia Serrulata</i>	0,122	7	25	1,09
<i>Grewia Serrulata</i>	0,12	6,8	25	1,02
<i>Grewia Serrulata</i>	0,09	6,2	100	2,1
<i>Grewia Serrulata</i>	0,077	5,1	100	1,26
<i>Grewia Serrulata</i>	0,066	5	100	0,9
<i>Grewia Serrulata</i>	0,162	8,3	25	2,27
<i>Grewia Serrulata</i>	0,152	6,2	25	1,5
<i>Grewia Serrulata</i>	0,145	7,4	25	1,62
<i>Grewia Serrulata</i>	0,112	6	25	0,79
<i>Grewia Serrulata</i>	0,056	4,9	100	0,64
<i>Grewia Serrulata</i>	0,052	4,1	100	0,46
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,15	7,3	25	1,71
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,119	5	25	0,74
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,081	4,2	100	1,15

**ANNEXE IX: Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt sèche dégradée (Suite)**

ESPECE	DHP (m)	HT (m)	FE	VT (m <sup>3</sup> )
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,058	4,2	100	0,59
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,05	4,7	100	0,49
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,112	6,5	25	0,85
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,101	6	25	0,64
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,053	5,3	100	0,62
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,334	12,6	4	2,35
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,143	7,9	25	1,69
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,126	7	25	1,16
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,119	7	25	1,03
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,067	5,2	100	0,97
<i>Calantica jalberti</i>	0,325	13,5	4	2,38
<i>Calantica jalberti</i>	0,133	7,7	25	1,42
<i>Calantica jalberti</i>	0,063	5,4	100	0,89
<i>Calantica jalberti</i>	0,055	4,3	100	0,54
<i>Calantica jalberti</i>	0,304	12,5	4	1,93
<i>Calantica jalberti</i>	0,321	12	4	2,06
<i>Calantica jalberti</i>	0,079	6,1	100	1,59
<i>Calantica jalberti</i>	0,071	5,2	100	1,09
<i>Calantica jalberti</i>	0,06	5,7	100	0,86
<i>Calantica jalberti</i>	0,05	5	100	0,52
<i>Cedrelopsis</i>	0,345	12,8	4	2,54
<i>Cedrelopsis</i>	0,301	10,2	4	1,54
<i>Cedrelopsis</i>	0,276	11,5	4	1,46
<i>Cedrelopsis</i>	0,172	9	25	2,78
<i>Cedrelopsis</i>	0,15	8,1	25	1,9
<i>Cedrelopsis</i>	0,145	7,6	25	1,67
<i>Cedrelopsis</i>	0,074	5,5	100	1,26
<i>Cedrelopsis</i>	0,066	4,9	100	0,89
<i>Cedrelopsis</i>	0,347	7	4	1,41
<i>Hibiscus rosa</i>	0,111	8,4	25	1,08
<i>Hibiscus rosa</i>	0,107	8	25	0,96
<i>Hibiscus rosa</i>	0,165	11	25	3,13
<i>Hibiscus rosa</i>	0,161	10	25	2,71
<i>Hibiscus rosa</i>	0,153	10	25	2,44
<i>Hibiscus rosa</i>	0,15	10	25	2,35
<i>Hibiscus rosa</i>	0,15	8	25	1,88
<i>Hibiscus rosa</i>	0,074	7,6	100	1,74
<i>Tamarindus Indica</i>	0,164	6	25	1,68
<i>Tamarindus Indica</i>	0,11	6	25	0,76

**ANNEXE IX: Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt sèche dégradée (Suite)**

ESPECE	DHP (m)	HT (m)	FE	VT (m <sup>3</sup> )
<i>Tamarindus Indica</i>	0,09	3	100	1,01
<i>Tamarindus Indica</i>	0,073	6,2	100	1,38
<i>Tamarindus Indica</i>	0,387	12,6	4	3,15
<i>Tamarindus Indica</i>	0,367	11,7	4	2,63
<i>Tamarindus Indica</i>	0,398	13,3	4	3,52
<i>Tamarindus Indica</i>	0,279	10,1	4	1,31
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,065	5	100	0,88
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,163	8,7	25	2,41
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,144	7,5	25	1,62
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,053	4,1	100	0,42
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,15	7	25	1,64
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,107	6,1	25	0,73
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,082	6,5	100	1,82
<i>Carissa edulis</i>	0,333	10,8	4	1,99
<i>Carissa edulis</i>	0,151	8,5	25	2,02
<i>Carissa edulis</i>	0,134	7,3	25	1,37
<i>Carissa edulis</i>	0,14	7,8	25	1,6
<i>Carissa edulis</i>	0,137	7	25	1,37
<i>Carissa edulis</i>	0,13	8,5	25	1,5
<i>Carissa edulis</i>	0,066	4,3	100	0,78
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,19	10	25	3,77
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,16	10	25	2,67
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,14	10,1	25	2,07
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,12	7,5	100	4,51
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,09	7	100	2,37
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,07	8	100	1,64
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,136	7	25	1,35
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,128	10,3	25	1,76
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,125	10,1	25	1,65
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,11	9,2	25	1,16
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,082	6,8	100	1,91
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,051	7	100	0,76
<i>Croton bathianus</i>	0,116	7,3	25	1,03
<i>Croton bathianus</i>	0,067	7	100	1,31
<i>Croton bathianus</i>	0,16	8,8	25	2,35
<i>Croton bathianus</i>	0,15	8,5	25	1,99
<i>Croton bathianus</i>	0,086	5,5	100	1,7
<i>Stereospermum</i>	0,16	10	25	2,67
<i>Stereospermum</i>	0,155	9	25	2,26

**ANNEXE IX: Présentation des relations entre DHP, Hauteur total, Facteur d'échelles et Volume Total des espèces dans la forêt sèche dégradée (Suite et fin)**

<b>ESPECE</b>	<b>DHP (m)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>FE</b>	<b>VT (m<sup>3</sup>)</b>
<i>Stereospermum</i>	0,152	7	25	1,69
<i>Stereospermum</i>	0,303	11,7	4	1,79
<i>Stereospermum</i>	0,163	8	25	2,22
<i>Bridelia Pervilleana</i>	0,14	6	25	1,23
<i>Bridelia Pervilleana</i>	0,11	5	25	0,63
<i>Bridelia Pervilleana</i>	0,05	6	100	0,63
<i>Bridelia Pervilleana</i>	0,05	5	100	0,52
<i>Stadmannia grevei</i>	0,385	13,6	4	3,37
<i>Stadmannia grevei</i>	0,107	4	25	0,48
<i>Stadmannia grevei</i>	0,285	13,2	4	1,79
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	0,094	3,7	100	1,36
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	0,08	2	100	0,53
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,141	8,5	25	1,76
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,13	8,2	25	1,45
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	0,15	8,4	25	1,97
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	0,084	5,4	100	1,59
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,353	11,6	4	2,41
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,316	12,4	4	2,07
<i>Commiphora arafy</i>	0,177	9,1	25	2,98
<i>Commiphora arafy</i>	0,174	9	25	2,84
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,08	6,9	100	1,84
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,368	12,6	4	2,85
<i>Antidesma madagascariensis</i>	0,171	7,5	25	2,29
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	0,076	5,3	100	1,27
<i>Holmskioldia mira</i>	0,127	5,9	25	0,99
<i>Leea guineensis</i>	0,173	9,1	25	2,84
<i>Protorhus ditimena</i>	0,155	8	25	2
<i>Pycreus commersonii</i>	0,067	6,1	100	1,14
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,153	7,3	25	1,78
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,137	7,5	25	1,47
<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	0,05	4	100	0,42

**ANNEXE X: Présentation des relations entre DHP, Hauteur fût, Facteur d'échelles et Volume fût des espèces forêt dense sèche**

ESPECES	DHP (m)	HF	FE	VF/ha (m3)
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,25	6	4,00	0,63
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,293	8,2	4,00	1,18
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,29	5,3	4,00	0,74
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,221	4,1	4,00	0,33
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,345	5,2	4,00	1,03
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,291	6,6	4,00	0,93
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,325	5	4,00	0,7
<i>Capurodendron sakalavum</i>	0,181	5	25,00	0,37
<i>Stereospermum arcuatum</i>	0,058	4,5	100,00	0,79
<i>Stereospermum arcuatum</i>	0,169	7	25,00	0,76
<i>Stereospermum arcuatum</i>	0,255	7	4,00	1,04
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,298	6,5	4,00	1,08
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	0,315	7	4,00	0,73
<i>Securinega seyrigii</i>	0,25	6,6	4,00	1,31
<i>Securinega seyrigii</i>	0,345	7,3	4,00	0,94
<i>Securinega seyrigii</i>	0,278	6	4,00	0,63
<i>Securinega seyrigii</i>	0,25	3	4,00	0,29
<i>Securinega seyrigii</i>	0,24	8	4,00	0,71
<i>Securinega seyrigii</i>	0,23	5	4,00	0,4
<i>Securinega seyrigii</i>	0,22	3	4,00	0,24
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,22	8	4,00	1,03
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,277	6,5	4,00	0,5
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,215	4,3	4,00	0,66
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,303	4	4,00	0,62
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	0,305	4	4,00	0,35
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,23	6,5	4,00	0,99
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,302	6,2	4,00	0,68
<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,257	5	4,00	0,4
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	0,22	6	4,00	0,56
<i>Holmskioldia mira</i>	0,236	7	4,00	0,54
<i>Holmskioldia mira</i>	0,215	6,1	4,00	1,14
<i>Holmskioldia mira</i>	0,334	5,3	4,00	0,63
<i>Tetrapterocarpus geayi</i>	0,266	7,5	4,00	2,45
<i>Tetrapterocarpus geayi</i>	0,442	6	4,00	3,14
<i>Stadmannia grevei</i>	0,305	7,1	4,00	1,1

**ANNEXE X : Présentant des relations entre DHP, Hauteur fût, Facteur d'échelles et Volume fût des espèces forêt dense sèche (Suite et fin)**

<b>ESPECES</b>	<b>DHP (m)</b>	<b>HF</b>	<b>FE</b>	<b>VF/ha (m3)</b>
<i>Xylopia bemarivensis</i>	0,369	8,8	4,00	2
<i>Bosqueia boiviniana</i>	0,342	7,2	4,00	1,41
<i>Strychnos vacacoua</i>	0,306	7,4	4,00	1,16
<i>Teclea punctata</i>	0,248	3	4,00	0,31
<i>Tanghinia venenifera</i>	0,27	4	4,00	0,49
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	0,21	6	4,00	0,44
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,321	8,3	4,00	1,43
	0,21	2	4	0,15

**ANNEXE XI: Présentation des relations entre Hauteur fût et Volume fût des espèces sur la forêt sèche dégradée**

ESPECE	HF	VF
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	8,1	1,54
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6,5	1,13
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	5,1	0,72
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	7,3	0,99
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6,5	1,49
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	8,8	0,88
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6,2	0,52
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	8,3	1,35
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	7,5	1,4
<i>Calantica jalberti</i>	8,2	1,45
<i>Calantica jalberti</i>	7,8	1,2
<i>Cedrelopsis</i>	7,5	1,29
<i>Cedrelopsis</i>	7,4	1,47
<i>Cedrelopsis</i>	6,6	1
<i>Cedrelopsis</i>	6,1	0,78
<i>Hibiscus rosa</i>	1,4	0,28
<i>Hibiscus rosa</i>	3	0,85
<i>Hibiscus rosa</i>	3	0,81
<i>Hibiscus rosa</i>	3	0,73
<i>Hibiscus rosa</i>	3	0,7
<i>Tamarindus Indica</i>	2	0,47
<i>Tamarindus Indica</i>	2	0,56
<i>Tamarindus Indica</i>	2	0,25
<i>Tamarindus Indica</i>	1	0,34
<i>Tamarindus Indica</i>	5,3	1,33
<i>Tamarindus Indica</i>	5,1	1,15
<i>Tamarindus Indica</i>	6	1,59
<i>Carissa edulis</i>	6,2	0,81
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	6,5	1,2
<i>Stereospermum</i>	2	0,39
<i>Stereospermum</i>	3	0,8
<i>Stereospermum</i>	2	0,5
<i>Stereospermum</i>	3	0,72
<i>Stadmannia grevei</i>	6,4	0,98
<i>Stadmannia grevei</i>	7,5	1,86
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	7,7	1,04
<i>Diospyros sakalavarum</i>	1	0,36
<i>Diospyros sakalavarum</i>	7	1,46
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	6,1	1,02
	5,2	1,18

**ANNEXE XII : Présentation des relations entre Densité, Facteur d'échelles et Fréquence des espèces de la forêt dense sèche**

<b>Espèces</b>	<b>Nombres sur les placettes</b>	<b>Nombres en Ha</b>	<b>Densité</b>	<b>Densité relative</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Fréquence relative</b>
<i>Diospyros sakalavarum</i>	22	991	566	11,04	142	11,04
<i>Capurodendron sakalavum</i>	18	516	295	5,76	74	5,76
<i>Stereospermum arcuatum</i>	13	412	235	4,59	59	4,59
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	12	558	319	6,22	80	6,22
<i>Securinea seyrigii</i>	10	178	102	1,99	25	1,99
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	10	145	83	1,62	21	1,62
<i>Cedrelopsis grevei</i>	9	162	93	1,81	23	1,81
<i>Croton bathianus</i>	9	750	429	8,37	107	8,37
<i>Garcinia pachyphylla</i>	9	450	257	5,01	64	5,01
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	9	504	288	5,62	72	5,62
<i>Xyloolaena richardii</i>	7	400	229	4,47	57	4,47
<i>Commiphora arafy</i>	7	325	186	3,63	46	3,63
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	7	550	314	6,13	79	6,13
<i>Calantica jalberti</i>	6	225	129	2,52	32	2,52
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	5	200	114	2,22	29	2,22
<i>Holmskioldia MIRA</i>	5	137	78	1,52	20	1,52
<i>Protorhus ditimena</i>	5	425	243	4,74	61	4,74
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	5	83	47	0,91	12	0,91
<i>Stadmannia grevei</i>	4	229	131	2,56	33	2,56
<i>Xylopia bemarivensis</i>	4	154	88	1,72	22	1,72
<i>Grewia Serrulata</i>	4	250	143	2,79	36	2,79
<i>Psorospermum malifolium</i>	3	150	86	1,68	21	1,68
<i>Memecylon sp</i>	3	150	86	1,68	21	1,68
<i>Bosqueia boiviniana</i>	3	54	31	0,6	8	0,6
<i>Calophyllum drouhardii</i>	2	200	114	2,22	29	2,22
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	2	200	114	2,22	29	2,22
<i>Strychnos Vacacoua</i>	2	104	59	1,15	15	1,15
<i>Teclea punctata</i>	2	29	17	0,33	4	0,33
<i>Tephrosia Vogelii</i>	1	25,00	14	0,27	4	0,27
<i>Terminalia tropophylla</i>	1	25,00	14	0,27	4	0,27
<i>Tanghinia venenifera</i>	1	4,00	2	0,04	0,57	0,04
<i>Rourea orientalis</i>	1	25,00	14	0,27	4	0,27
<i>Sapium melanostichum</i>	1	100,00	57	1,11	14	1,11

**ANNEXE XII : Présentation des relations entre Densité, Facteur d'échelles et Fréquence des espèces de la forêt dense sèche (Suite et fin)**

<b>Espèces</b>	<b>Nombres sur les placettes</b>	<b>Nombres en Ha</b>	<b>Densité</b>	<b>Densité relative</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Fréquence relative</b>
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	1	4,00	2	0,04	0,57	0,04
<i>Ouratea deltoideum</i>	1	25,00	14	0,27	4	0,27
<i>Phaseolus vulgaris</i>	1	4,00	2	0,04	0,57	0,04
<i>Dombeya longicuspis</i>	1	100,00	57	1,11	14	1,11
<i>Clerodendron aucubifolium</i>	1	100,00	57	1,11	14	1,11
<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	1	25	14	0,27	4	0,27
<i>Odijao</i>	1	4	2	0,04	0,57	0,04

**ANNEXE XIII: Présentation des relations entre Densité, Facteur d'échelles et Fréquence des espèces sur la forêt sèche dégradée.**

<b>Espèces</b>	<b>Nombres</b>	<b>Densités</b>	<b>Densité relative</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Fréquence relative</b>
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	757	605,6	11,41	151	11,41
<i>Grewia Serrulata</i>	850	680	12,81	170	12,81
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	679	543,2	10,24	135,8	10,24
<i>Calantica jalberti</i>	637	509,6	9,6	127,4	9,6
<i>Cedrelopsis grevei</i>	291	232,8	4,39	58,2	4,39
<i>Hibiscus rosa</i>	275	220	4,15	55	4,15
<i>Tamarindus Indica</i>	266	212,8	4,01	53,2	4,01
<i>Capurodendron sakalavum</i>	400	320	6,03	80	6,03
<i>Carissa edulis</i>	229	183,2	3,45	45,8	3,45
<i>Psorospermum malifolium</i>	300	240	4,52	60	4,52
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	300	240	4,52	60	4,52
<i>Croton bathianus</i>	275	220	4,15	55	4,15
<i>Stereospermum arcuatum</i>	104	83,2	1,57	20,8	1,57
<i>Bridelia Pervilleana</i>	250	200	3,77	50	3,77
<i>Stadmannia grevei</i>	33	26,4	0,5	6,6	0,5
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	200	160	3,01	40	3,01
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	50	40	0,75	10	0,75
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	125	100	1,88	25	1,88
<i>Diospyros sakalavarum</i>	8	6,4	0,12	1,6	0,12
<i>Commiphora arafy</i>	50	40	0,75	10	0,75
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	104	83,2	1,57	20,8	1,57
<i>Antidesma madagascariensis</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	100	80	1,51	20	1,51
<i>Holmskioldia MIRA</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Leea guineensis</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Protorhus ditimena</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Pycreus commersonii</i>	100	80	1,51	20	1,51
<i>Strychnos Vacacoua</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Xyloolaena richardii</i>	25	20	0,38	5	0,38
<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	100	80	1,51	20	1,51

**ANNEXE XIV : Présentation des relations entre les Surfaces Terrières G, et les dominances des espèces sur la forêt dense sèche**

<b>Espèces</b>	<b>G (m2)</b>	<b>Dominance</b>	<b>Dominance relative</b>
<i>Diospyros sakalavarum</i>	8,32	4,75	11,16
<i>Capurodendron sakalavum</i>	6,34	3,62	8,5
<i>Stereospermum arcuatum</i>	4,9	2,8	6,58
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	4,12	2,35	5,52
<i>Securinega seyrigii</i>	2,53	1,46	3,43
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	3,62	2,07	4,86
<i>Cedrelopsis grevei</i>	3,39	1,94	4,56
<i>Croton bathianus</i>	2,95	1,69	3,97
<i>Garcinia pachyphylla</i>	3,3	1,89	4,44
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	2,935	1,68	3,95
<i>Xyloolaena richardii</i>	2,45	1,4	3,29
<i>Commiphora arafy</i>	2,5	1,43	3,36
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	2,5	1,43	3,36
<i>Calantica jalberti</i>	2,2	1,26	2,96
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	1,6	0,91	2,14
<i>Holmskioldia MIRA</i>	1,31	0,75	1,76
<i>Protorhus ditimena</i>	1,75	1	2,35
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	2,6	1,49	3,5
<i>Stadmannia grevei</i>	1,13	0,65	1,53
<i>Xylopiya bemarivensis</i>	2,34	1,34	3,15
<i>Grewia Serrulata</i>	1,55	0,89	2,09
<i>Psorospermum malifolium</i>	0,95	0,54	1,27
<i>Memecylon sp</i>	1,15	0,66	1,55
<i>Bosqueia boiviniana</i>	1,61	0,92	2,16
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	0,6	0,34	0,8
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	0,6	0,34	0,8
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,88	0,5	1,17
<i>Teclea punctata</i>	0,45	0,26	0,6
<i>Tephrosia Vogelii</i>	0,25	0,14	0,33
<i>Terminalia tropophylla</i>	0,75	0,43	1,01
<i>Tanghinia venenifera</i>	0,24	0,14	0,33
<i>Rourea orientalis</i>	0,5	0,29	0,7
<i>Sapium melanostichum</i>	0,2	0,11	0,26

**ANNEXE XIV : Présentation des relations entre les Surfaces Terrières G, et les dominances des espèces sur la forêt dense sèche (Suite et fin)**

<b>Espèces</b>	<b>G (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dominance</b>	<b>Dominance relative</b>
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	0,12	0,07	0,16
<i>Ouratea deltoideum</i>	0,25	0,14	0,33
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,32	0,18	0,4
<i>Dombeya longicuspis</i>	0,2	0,11	0,26
<i>Clerodendron aucubifolium</i>	0,4	0,23	0,54
<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	0,5	0,29	0,7
<i>Odijao</i>	0,12	0,07	0,16

**ANNEXE XV : Présentation des relations entre les Surfaces Terrières G, et les dominances des espèces sur la forêt sèche dégradée**

<b>Espèces</b>	<b>Nombre</b>	<b>G (m2)</b>	<b>Dominance</b>	<b>Dominance relative</b>
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	757	6,57	5,26	11,83
<i>Grewia Serrulata</i>	850	5,525	4,42	9,94
<i>Tetrapterocarpon gayi</i>	679	4,16	3,33	7,49
<i>Calantica jalberti</i>	637	3,07	2,46	5,53
<i>Cedrelopsis grevei</i>	291	2,94	2,35	5,53
<i>Hibiscus rosa</i>	275	3,375	2,7	6,07
<i>Tamarindus Indica</i>	266	3,39	2,71	6,08
<i>Capurodendron sakalavum</i>	400	2,725	2,18	4,9
<i>Carissa edulis</i>	229	2,41	1,93	4,34
<i>Psorospermum malifolium</i>	300	3	2,4	5,39
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	300	1,7	1,36	3,06
<i>Croton bathianus</i>	275	2,25	1,8	4,05
<i>Stereospermum arcuatum</i>	104	2,28	1,82	4,09
<i>Bridelia Pervilleana</i>	250	1,15	0,92	2,07
<i>Stadmannia grevei</i>	33	1,72	1,38	3,1
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	200	1,2	0,96	2,16
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	50	0,75	0,6	1,35
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	125	1,1	0,88	1,98
<i>Diospyros sakalavarum</i>	8	0,72	0,58	1,3
<i>Commiphora arafy</i>	50	1	0,8	1,8
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	104	0,94	0,75	1,69
<i>Antidesma madagascariensis</i>	25	0,5	0,4	0,9
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	100	0,5	0,4	0,9
<i>Holmskioldia mira</i>	25	0,25	0,2	0,45
<i>Leea guineensis</i>	25	0,5	0,4	0,9
<i>Protorhus ditimena</i>	25	0,5	0,4	0,9
<i>Pycneus commersonii</i>	100	0,4	0,32	0,72
<i>Strychnos Vacacoua</i>	25	0,5	0,4	0,9
<i>Xyloolaena richardii</i>	25	0,25	0,2	0,45
<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	100	0,2	0,16	0,36

**ANNEXE XVI : Présentation des relations entre les Densités relatives, les Fréquences relatives, les Dominances relatives et l'importances des espèces sur la forêt dense sèche**

<b>Espèces</b>	<b>Fréquence en %</b>	<b>Densité en %</b>	<b>Dominance en %</b>	<b>Importance</b>
<i>Diospyros sakalavarum</i>	11,04	11,04	11,16	33,24
<i>Capurodendron sakalavum</i>	5,76	5,76	8,5	20,02
<i>Stereospermum arcuatum</i>	4,59	4,59	6,58	15,76
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6,22	6,22	5,52	17,96
<i>Securinega seyrigii</i>	1,99	1,99	3,43	7,41
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	1,62	1,62	4,86	8,1
<i>Cedrelopsis grevei</i>	1,81	1,81	4,56	8,18
<i>Croton bathianus</i>	8,37	8,37	3,97	20,71
<i>Garcinia pachyphylla</i>	5,01	5,01	4,44	14,46
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	5,62	5,62	3,95	15,19
<i>Xyloolaena richardii</i>	4,47	4,47	3,29	12,23
<i>Commiphora arafy</i>	3,63	3,63	3,36	10,62
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	6,13	6,13	3,36	15,62
<i>Calantica jalberti</i>	2,52	2,52	2,96	8
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	2,22	2,22	2,14	6,58
<i>Holmskioldia mira</i>	1,52	1,52	1,76	4,8
<i>Protorhus ditimena</i>	4,74	4,74	2,35	11,83
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	0,91	0,91	3,5	5,32
<i>Stadmannia grevei</i>	2,56	2,56	1,53	6,65
<i>Xylopia bemarivensis</i>	1,72	1,72	3,15	6,59
<i>Grewia Serrulata</i>	2,79	2,79	2,09	7,67
<i>Psorospermum malifolium</i>	1,68	1,68	1,27	4,63
<i>Memecylon sp</i>	1,68	1,68	1,55	4,91
<i>Bosqueia boiviniana</i>	0,6	0,6	2,16	3,36
<i>Calophyllum drouhardii</i>	2,22	2,22	0,8	5,24
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	2,22	2,22	0,8	5,24
<i>Strychnos Vacacoua</i>	1,15	1,15	1,17	3,47
<i>Teclea punctata</i>	0,33	0,33	0,6	1,26
<i>Tephrosia Vogellii</i>	0,27	0,27	0,33	0,87
<i>Terminalia tropophylla</i>	0,27	0,27	1,01	1,55
<i>Tanghinia venenifera</i>	0,04	0,04	0,33	0,41
<i>Rourea orientalis</i>	0,27	0,27	0,7	1,24
<i>Sapium melanostichum</i>	1,11	1,11	0,26	2,48

**ANNEXE XVI : Présentation des relations entre les Densités relatives, les Fréquences relatives, les Dominances relatives et l'importances des espèces sur la forêt dense sèche (Suite et fin)**

<b>Espèces</b>	<b>Fréquence en %</b>	<b>Densité en %</b>	<b>Dominance en %</b>	<b>Importance</b>
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	0,04	0,04	0,16	0,24
<i>Ouratea deltoideum</i>	0,27	0,27	0,33	0,87
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,04	0,04	0,4	0,48
<i>Dombeya longicuspis</i>	1,11	1,11	0,26	2,48
<i>Clerodendron aucubifolium</i>	1,11	1,11	0,54	2,76
<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	0,27	0,27	0,7	1,24
<i>Odijao</i>	0,04	0,04	0,16	0,24

**ANNEXE XVII : Présentation des relations entre les Densités relatives, les Fréquences relatives, les Dominances relatives et l'importances des espèces sur la forêt sèche dégradée**

<b>Espèces</b>	<b>Fréquence en %</b>	<b>Densité en %</b>	<b>Dominance en %</b>	<b>Importance</b>
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	11,41	11,41	11,83	34,65
<i>Grewia Serrulata</i>	12,81	12,81	9,94	35,56
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	10,24	10,24	7,49	27,97
<i>Calantica jalberti</i>	9,6	9,6	5,53	24,73
<i>Cedrelopsis grevei</i>	4,39	4,39	5,53	14,31
<i>Hibiscus rosa</i>	4,15	4,15	6,07	14,37
<i>Tamarindus Indica</i>	4,01	4,01	6,08	14,1
<i>Capurodendron sakalavum</i>	6,03	6,03	4,9	16,96
<i>Carissa edulis</i>	3,45	3,45	4,34	11,24
<i>Psorospermum malifolium</i>	4,52	4,52	5,39	14,43
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	4,52	4,52	3,06	12,1
<i>Croton bathianus</i>	4,15	4,15	4,05	12,35
<i>Stereospermum arcuatum</i>	1,57	1,57	4,09	7,23
<i>Bridelia Pervilleana</i>	3,77	3,77	2,07	9,61
<i>Stadmannia grevei</i>	0,5	0,5	3,1	4,1
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	3,01	3,01	2,16	8,18
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	0,75	0,75	1,35	2,85
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	1,88	1,88	1,98	5,74
<i>Diospyros sakalavarum</i>	0,12	0,12	1,3	1,54
<i>Commiphora arafy</i>	0,75	0,75	1,8	3,3
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	1,57	1,57	1,69	4,83
<i>Antidesma madagascariensis</i>	0,38	0,38	0,9	1,66
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	1,51	1,51	0,9	3,92
<i>Holmskioldia MIRA</i>	0,38	0,38	0,45	1,21
<i>Leea guineensis</i>	0,38	0,38	0,9	1,66
<i>Protorhus ditimena</i>	0,38	0,38	0,9	1,66
<i>Pycreus commersonii</i>	1,51	1,51	0,72	3,74
<i>Strychnos Vacacoua</i>	0,38	0,38	0,9	1,66
<i>Xyloolaena richardii</i>	0,38	0,38	0,45	1,21
<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	1,51	1,51	0,36	3,38

## ANNEXE XVIII : Présentation des Régénérations des espèces sur la forêt dense sèche

Espèces	Nombre des régénérations	Nombre des régénérations en ha en utilisant le facteurs d'échelles
<i>Diospyros sakalavarum</i>	15	37 500
<i>Capurodendron sakalavum</i>	12	30 000
<i>Stereospermum arcuatum</i>	8	20 000
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	7	17 500
<i>Securinega seyrigii</i>	6	15 000
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	5	12 500
<i>Cedrelopsis grevei</i>	5	12 500
<i>Croton bathianus</i>	5	12 500
<i>Garcinia pachyphylla</i>	6	15 000
<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	6	15 000
<i>Xyloolaena richardii</i>	5	12 500
<i>Commiphora arafy</i>	4	10 000
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	4	10 000
<i>Calantica jalberti</i>	4	10 000
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	3	7 500
<i>Holmskioldia MIRA</i>	3	7 500
<i>Protorhus ditimena</i>	3	7 500
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	2	5 000
<i>Stadmannia grevei</i>	2	5 000
<i>Xylophia bemarivensis</i>	2	5 000
<i>Grewia Serrulata</i>	2	5 000
<i>Psorospermum malifolium</i>	2	5 000
<i>Memecylon sp</i>	2	5 000
<i>Bosqueia boiviniana</i>	1	2 500
<i>Calophyllum drouhardii</i>	1	2 500
<i>Phylloxylon ensifolium</i>	1	2 500
<i>Strychnos Vacacoua</i>	1	2 500
<i>Teclea punctata</i>	2	5 000
<i>Tephrosia Vogelii</i>	1	2 500
<i>Terminalia tropophylla</i>	1	2 500
<i>Tanghinia venenifera</i>	1	2 500
<i>Rourea orientalis</i>	0	0
<i>Sapium melanostichum</i>	0	0
<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	1	2 500

**ANNEXE XVIII : Présentation des Régénérations des espèces sur la forêt dense sèche  
(Suite et fin)**

<b>Espèces</b>	<b>Nombre des régénérations</b>	<b>Nombre des régénérations en ha</b>
<i>Ouratea deltoideum</i>	0	0
<i>Phaseolus vulgaris</i>	1	2 500
<i>Dombeya longicuspis</i>	1	2 500
<i>Clerodendron aucubifolium</i>	0	0
<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	0	0
<i>Odijao</i>	1	2 500
<b>TOTAL</b>	<b>126</b>	<b>315 000</b>

## ANNEXE XIX : Présentation des Régénérations des espèces sur la forêt sèche dégradée

Espèces	Nombre des régénérations	Nombre des régénérations par ha en utilisant les facteurs d'échelles
<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	15	37 500
<i>Grewia Serrulata</i>	14	35 000
<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	11	27 500
<i>Calantica jalberti</i>	8	20 000
<i>Cedrelopsis grevei</i>	7	17 500
<i>Hibiscus rosa</i>	6	15 000
<i>Tamarindus Indica</i>	5	12 500
<i>Capurodendron sakalavum</i>	5	12 500
<i>Carissa edulis</i>	5	12 500
<i>Psorospermum malifolium</i>	4	10 000
<i>Calophyllum Drouhardii</i>	4	10 000
<i>Croton bathianus</i>	4	10 000
<i>Stereospermum arcuatum</i>	4	10 000
<i>Bridelia Pervilleana</i>	3	7 500
<i>Stadmannia grevei</i>	2	5 000
<i>Strychnos Madagascariensis</i>	1	2 500
<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	1	2 500
<i>Hibiscus palmatifidus</i>	2	5 000
<i>Diospyros sakalavarum</i>	1	2 500
<i>Commiphora arafy</i>	1	2 500
<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	1	2 500
<i>Antidesma madagascariensis</i>	1	2 500
<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	1	2 500
<i>Holmskioldia mira</i>	1	2 500
<i>Leea guineensis</i>	1	2 500
<i>Protorhus ditimena</i>	1	2 500
<i>Pycreus commersonii</i>	1	2 500
<i>Strychnos Vacacoua</i>	1	2 500
<i>Xylolaena richardii</i>	0	0
<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>277 500</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche**

Placette	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
1	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	44,2	0,73	4,00	5,02
1	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	15	0,73	25,00	1,98
1	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	13,4	0,73	25,00	1,53
1	<i>Teclea punctata</i>	12,5	0,51	25,00	0,54
1	<i>Stereospermum arcuatum</i>	32,5	0,73	4,00	2,13
1	<i>Stereospermum arcuatum</i>	18,1	0,73	25,00	3,03
1	<i>Stereospermum arcuatum</i>	5,8	0,73	100,00	1,07
1	<i>Stadmannia grevei</i>	30,5	0,74	4,00	1,87
1	<i>Stadmannia grevei</i>	12	0,74	25,00	1,23
1	<i>Stadmannia grevei</i>	6,1	0,74	100,00	1,23
1	<i>Securinega seyrigii</i>	14,5	0,73	25,00	1,83
1	<i>Securinega seyrigii</i>	6,2	0,73	100,00	1,24
1	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	23,6	0,74	4,00	0,98
1	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	13,6	0,74	25,00	1,64
1	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	8,1	0,74	100,00	2,17
1	<i>Grewia Serrulata</i>	6,9	0,60	100,00	0,94
1	<i>Garcinia pachyphylla</i>	15,3	0,50	25,00	0,82
1	<i>Garcinia pachyphylla</i>	14	0,50	25,00	0,67
1	<i>Garcinia pachyphylla</i>	7,5	0,50	100,00	0,71
1	<i>Garcinia pachyphylla</i>	5	0,50	100,00	0,33
1	<i>Protorhus ditimena</i>	5,5	0,65	100,00	0,74
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	16,7	0,80	25,00	3,18
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	16,3	0,80	25,00	3,00
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	15,3	0,80	25,00	2,59
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	11,1	0,80	25,00	1,26
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	7,7	0,80	100,00	2,36
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	11,7	0,80	25,00	1,42
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	34,5	0,80	4,00	3,18
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	29,1	0,80	4,00	2,02
1	<i>Capurodendron sakalavum</i>	12,5	0,80	25,00	1,64
1	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	6,8	0,60	100,00	0,91
1	<i>Calantica jalberti</i>	5,2	0,50	100,00	0,35
1	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	27,7	0,77	4,00	1,64
<b>TOTAL</b>					<b>55,25544568</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite)**

Placette	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
5	<i>Stereospermum arcuatum</i>	16,9	0,73	25,00	2,57
5	<i>Holmskioldia mira</i>	21,5	0,50	4,00	0,30
5	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	18,3	0,26	25,00	0,26
5	<i>Diospyros sakalavarum</i>	25	0,79	4,00	1,33
5	<i>Diospyros sakalavarum</i>	19	0,79	25,00	4,20
5	<i>Diospyros sakalavarum</i>	14,6	0,79	25,00	2,26
5	<i>Diospyros sakalavarum</i>	13,4	0,79	25,00	1,86
5	<i>Diospyros sakalavarum</i>	11,1	0,79	25,00	1,22
5	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6	0,81	100,00	1,50
5	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	5,5	0,81	100,00	1,28
5	<i>Croton bathianus</i>	12	0,70	25,00	1,08
5	<i>Croton bathianus</i>	6,5	0,70	100,00	1,22
5	<i>Calantica jalberti</i>	12,7	0,50	25,00	0,54
<b>TOTAL</b>					<b>19,59873752</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
15	<i>Xyloolaena richardii</i>	6	0,50	100,00	0,46
15	<i>Xyloolaena richardii</i>	5	0,50	100,00	0,33
15	<i>Xyloolaena richardii</i>	14	0,50	25,00	0,67
15	<i>Tephrosia Vogelii</i>	11	0,41	25,00	0,25
15	<i>Stereospermum arcuatum</i>	25,5	0,73	4,00	1,13
15	<i>Stereospermum arcuatum</i>	16,1	0,73	25,00	2,29
15	<i>Stereospermum arcuatum</i>	12	0,73	25,00	1,18
15	<i>Stereospermum arcuatum</i>	11,6	0,73	25,00	1,09
15	<i>Rourea orientalis</i>	16,9	0,50	25,00	1,04
15	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	13,4	0,74	25,00	1,59
15	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	12,5	0,74	25,00	1,36
15	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	7	0,74	100,00	1,62
15	<i>Psorospermum malifolium</i>	15	0,66	25,00	1,55
15	<i>Psorospermum malifolium</i>	12	0,66	25,00	0,94
15	<i>Psorospermum malifolium</i>	5	0,66	100,00	0,65
15	<i>Holmskioldia mira</i>	33,4	0,50	4,00	0,92
15	<i>Holmskioldia mira</i>	13,3	0,50	25,00	0,60
15	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	5	0,26	100,00	0,07
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	29,3	0,79	4,00	2,00
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	29	0,79	4,00	1,94
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	17	0,79	25,00	3,22
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	16	0,79	25,00	2,79
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	14,3	0,79	25,00	2,15
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	14,2	0,79	25,00	2,12
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	14	0,79	25,00	2,05
15	<i>Diospyros sakalavarum</i>	6	0,79	100,00	1,41
15	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	18,3	0,81	25,00	4,08
15	<i>Calantica jalberti</i>	18,5	0,50	25,00	1,28
15	<i>Calantica jalberti</i>	13,5	0,50	25,00	0,62
15	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	21,5	0,77	4,00	0,86
<b>TOTAL</b>					<b>42,2469938</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
27	<i>Xylopi bemarivensis</i>	36,9	0,51	4,00	1,27
27	<i>Xylopi bemarivensis</i>	18,4	0,51	25,00	1,33
27	<i>Xylopi bemarivensis</i>	18,2	0,51	25,00	1,30
27	<i>Xylopi bemarivensis</i>	7,7	0,51	100,00	0,78
27	<i>Xyloolaena richardii</i>	13,5	0,50	25,00	0,62
27	<i>Terminalia tropophylla</i>	17,9	0,71	25,00	2,80
27	<i>Strychnos Vacacoua</i>	30,6	0,73	4,00	1,85
27	<i>Strychnos Vacacoua</i>	8,8	0,73	100,00	2,47
27	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	8,6	0,74	100,00	2,45
27	<i>Phylloxylon ensifolium</i>	7,1	0,97	100,00	3,22
27	<i>Phylloxylon ensifolium</i>	5,9	0,97	100,00	2,26
27	<i>Phaseolus vulgaris</i>	32,1	0,74	4,00	2,15
27	<i>Ouratea deltoideum</i>	12,3	0,74	25,00	1,30
27	<i>Memecylon sp</i>	6,9	0,76	100,00	1,66
27	<i>Clerodendron aucubifolium</i>	7,1	0,50	100,00	0,64
27	<i>Grewia Serrulata</i>	15,5	0,60	25,00	1,32
27	<i>Grewia Serrulata</i>	11,1	0,60	25,00	0,62
27	<i>Grewia Serrulata</i>	6,9	0,60	100,00	0,94
27	<i>Protorhus ditimena</i>	6	0,65	100,00	0,87
27	<i>Diospyros sakalavarum</i>	16,5	0,79	25,00	3,00
27	<i>Diospyros sakalavarum</i>	8,3	0,79	100,00	2,66
27	<i>Diospyros sakalavarum</i>	8	0,79	100,00	2,47
27	<i>Diospyros sakalavarum</i>	5,2	0,79	100,00	1,08
27	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	31,5	0,81	4,00	2,57
27	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	13,7	0,81	25,00	2,08
27	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	12,8	0,81	25,00	1,78
27	<i>Croton bathianus</i>	15,4	0,70	25,00	1,90
27	<i>Bosqueia boiviniana</i>	34,2	0,49	4,00	0,94
27	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	30,3	0,77	4,00	2,07
27	<i>Dombeya longicuspis</i>	5,4	0,27	100,00	0,08
<b>TOTAL</b>					<b>50,47212</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
30	<i>Xyloolaena richardii</i>	5,3	0,50	100,00	0,37
30	<i>Xyloolaena richardii</i>	17	0,50	25,00	1,05
30	<i>Stereospermum arcuatum</i>	13	0,73	25,00	1,41
30	<i>Stereospermum arcuatum</i>	6,5	0,73	100,00	1,33
30	<i>Securinega seyrigii</i>	34,5	0,73	4,00	2,54
30	<i>Securinega seyrigii</i>	27,8	0,73	4,00	1,44
30	<i>Holmskioldia mira</i>	26,6	0,50	4,00	0,51
30	<i>Holmskioldia mira</i>	6,5	0,50	100,00	0,54
30	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	5,5	0,26	100,00	0,08
30	<i>Diospyros sakalavarum</i>	22,1	0,79	4,00	0,97
30	<i>Diospyros sakalavarum</i>	13,3	0,79	25,00	1,83
30	<i>Diospyros sakalavarum</i>	6,2	0,79	100,00	1,50
30	<i>Diospyros sakalavarum</i>	5,4	0,79	100,00	1,16
30	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	14,6	0,81	25,00	2,40
30	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	8,1	0,81	100,00	2,69
30	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	6,8	0,81	100,00	1,90
30	<i>Croton bathianus</i>	7	0,70	100,00	1,41
30	<i>Croton bathianus</i>	5,6	0,70	100,00	0,92
30	<i>Commiphora arafy</i>	13,1	0,40	25,00	0,33
30	<i>Commiphora arafy</i>	11,2	0,40	25,00	0,24
30	<i>Commiphora arafy</i>	7,7	0,40	100,00	0,43
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	30,2	0,74	4,00	1,84
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	25,7	0,74	4,00	1,21
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	18,3	0,74	25,00	3,27
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	15,9	0,74	25,00	2,34
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	13,4	0,74	25,00	1,58
30	<i>Cedrelopsis grevei</i>	12,5	0,74	25,00	1,35
30	<i>Calantica jalberti</i>	15,5	0,50	25,00	0,85
30	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	18	0,77	25,00	3,50
30	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	12,5	0,77	25,00	1,51
<b>TOTAL</b>					<b>42,49755161</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
39	<i>Xyloolaena richardii</i>	15	0,50	25,00	0,78
39	<i>Tanghinia venenifera</i>	27	0,57	4,00	0,71
39	<i>Securinega seyrigii</i>	25	0,73	4,00	1,09
39	<i>Securinega seyrigii</i>	24	0,73	4,00	0,99
39	<i>Securinega seyrigii</i>	23	0,73	4,00	0,89
39	<i>Securinega seyrigii</i>	22	0,73	4,00	0,79
39	MEMECYLON SP	17	0,76	25,00	2,90
39	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	8	0,26	100,00	0,16
39	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	7	0,26	100,00	0,13
39	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	5,5	0,26	100,00	0,08
39	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	11,5	0,26	25,00	0,09
39	<i>Protorhus ditimena</i>	12	0,65	25,00	0,90
39	<i>Protorhus ditimena</i>	9	0,65	100,00	1,95
39	<i>Protorhus ditimena</i>	7	0,65	100,00	1,18
39	<i>Diospyros sakalavarum</i>	7,5	0,79	100,00	2,17
39	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	25	0,81	4,00	1,41
39	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	11	0,81	25,00	1,28
39	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	10,3	0,81	25,00	1,11
39	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	13	0,81	25,00	1,84
39	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	13	0,81	25,00	1,84
39	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	12	0,81	25,00	1,54
39	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	11	0,81	25,00	1,28
39	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	8,5	0,81	100,00	2,97
39	<i>Croton bathianus</i>	9	0,70	100,00	2,34
39	<i>Croton bathianus</i>	6	0,70	100,00	1,05
39	<i>Croton bathianus</i>	5	0,70	100,00	0,75
39	<i>Croton bathianus</i>	5	0,70	100,00	0,75
39	<i>Commiphora arafy</i>	17	0,40	25,00	0,61
39	<i>Commiphora arafy</i>	15	0,40	25,00	0,45
39	<i>Commiphora arafy</i>	13	0,40	25,00	0,33
39	<i>Commiphora arafy</i>	9	0,40	100,00	0,59
39	<i>Cedrelopsis grevei</i>	22	0,74	4,00	0,82
39	<i>Cedrelopsis grevei</i>	18	0,74	25,00	3,14
39	<i>Cedrelopsis grevei</i>	13	0,74	25,00	1,48
39	<i>Bbosqueia boiviniana</i>	18	0,49	25,00	1,15
39	<i>Bosqueia boiviniana</i>	14	0,49	25,00	0,64
39	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	17	0,77	25,00	3,05
39	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	15	0,77	25,00	2,28
39	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	15	0,77	25,00	2,28
<b>TOTAL</b>					<b>49,79143604</b>

**ANNEXE XX : Présentation des résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt dense sèche (Suite et fin)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
46	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	56	0,73	4,00	9,89
46	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	13,8	0,73	25,00	1,64
46	<i>Teclea punctata</i>	24,8	0,51	4,00	0,44
46	<i>Stereospermum arcuatum</i>	29,8	0,73	4,00	1,69
46	<i>Stereospermum arcuatum</i>	16	0,73	25,00	2,26
46	<i>Stereospermum arcuatum</i>	15	0,73	25,00	1,95
46	<i>Stadmannia grevei</i>	6,5	0,74	100,00	1,39
46	<i>Securinega seyrigii</i>	22	0,73	4,00	0,79
46	<i>Securinega seyrigii</i>	12,5	0,73	25,00	1,31
46	<i>Sapium melanostichum</i>	5	0,55	100,00	0,42
46	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	10,5	0,74	25,00	0,93
46	<i>Rhopalocarpus lucidus</i>	7	0,74	100,00	1,62
46	<i>Rauvolfia obtusiflora</i>	21	0,46	4,00	0,23
46	<i>memecylon sp</i>	11,8	0,76	25,00	1,26
46	<i>Garcinia pachyphylla</i>	17	0,50	25,00	1,05
46	<i>Garcinia pachyphylla</i>	14	0,50	25,00	0,67
46	<i>Garcinia pachyphylla</i>	13,5	0,50	25,00	0,62
46	<i>Garcinia pachyphylla</i>	12,5	0,50	25,00	0,52
46	<i>Garcinia pachyphylla</i>	5,5	0,50	100,00	0,39
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	29	0,80	4,00	2,01
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	21	0,80	4,00	0,88
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	15	0,80	25,00	2,48
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	14,3	0,80	25,00	2,22
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	14	0,80	25,00	2,11
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	12,9	0,80	25,00	1,76
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	11,8	0,80	25,00	1,44
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	6	0,80	100,00	1,45
46	<i>Capurodendron sakalavum</i>	13,5	0,80	25,00	1,95
46	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	5	0,60	100,00	0,51
46	<i>Calantica jalberti</i>	11	0,50	25,00	0,39
46	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	30,5	0,77	4,00	2,11
46	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	23	0,77	4,00	1,02
46	<i>Astrotrichilia asterotricha</i>	15	0,57	25,00	1,09
46		21	0,50	4,00	0,28
<b>TOTAL</b>					<b>50,76346374</b>

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
8	<i>Stereospermum arcuatum</i>	16	0,73	25,00	2,26
8	<i>Stereospermum arcuatum</i>	15,5	0,73	25,00	2,10
8	<i>Stereospermum arcuatum</i>	15,2	0,73	25,00	2,01
8	<i>Strychnos Madagascariensis</i>	9,4	0,70	100,00	2,56
8	<i>Strychnos Madagascariensis</i>	8	0,70	100,00	1,84
8	<i>Hibiscus palmatifidus</i>	15	0,41	25,00	0,49
8	<i>Hibiscus palmatifidus</i>	8,4	0,41	100,00	0,56
8	<i>Dalbergia chlorocarpa</i>	7,6	0,81	100,00	2,37
8	<i>Antidesma madagascariensis</i>	17,1	0,47	25,00	0,93
8	<i>Pycreus commersonii</i>	6,7	0,50	100,00	0,57
8	<i>Tamarindus Indica</i>	16,4	0,87	25,00	3,74
8	<i>Tamarindus Indica</i>	11	0,87	25,00	1,52
8	<i>Tamarindus Indica</i>	9	0,87	100,00	3,98
8	<i>Tamarindus Indica</i>	7,3	0,87	100,00	2,61
8	<i>Hibiscus rosa</i>	11,1	0,41	25,00	0,25
8	<i>Hibiscus rosa</i>	10,7	0,41	25,00	0,23
8	<i>Hibiscus rosa</i>	16,5	0,41	25,00	0,62
8	<i>Hibiscus rosa</i>	16,1	0,41	25,00	0,58
8	<i>Hibiscus rosa</i>	15,3	0,41	25,00	0,52
8	<i>Hibiscus rosa</i>	15	0,41	25,00	0,49
8	<i>Hibiscus rosa</i>	15	0,41	25,00	0,49
8	<i>Hibiscus rosa</i>	7,4	0,41	100,00	0,43
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	13,6	0,60	25,00	0,97
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	12,8	0,60	25,00	0,85
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	12,5	0,60	25,00	0,80
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	11	0,60	25,00	0,61
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	8,2	0,60	100,00	1,31
8	<i>Calophyllum Drouhardii</i>	5,1	0,60	100,00	0,53
<b>TOTAL</b>					<b>36,2262412</b>

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
12	<i>Xyloolaena richardii</i>	13,7	0,50	25,00	0,64
12	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	15	0,73	25,00	1,98
12	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	11,9	0,73	25,00	1,18
12	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	8,1	0,73	100,00	2,09
12	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	5,8	0,73	100,00	1,09
12	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	5	0,73	100,00	0,83
12	<i>Tamarindus Indica</i>	38,7	0,87	4,00	5,33
12	<i>Stereospermum arcuatum</i>	30,3	0,73	4,00	1,77
12	<i>Stereospermum arcuatum</i>	16,3	0,73	25,00	2,36
12	<i>Stadmannia grevei</i>	38,5	0,74	4,00	3,50
12	<i>Stadmannia grevei</i>	10,7	0,74	25,00	0,95
12	<i>Holmskioldia MIRA</i>	12,7	0,50	25,00	0,54
12	<i>Grewia Serrulata</i>	13,5	0,60	25,00	0,96
12	<i>Grewia Serrulata</i>	13,4	0,60	25,00	0,95
12	<i>Grewia Serrulata</i>	12,8	0,60	25,00	0,85
12	<i>Grewia Serrulata</i>	5	0,60	100,00	0,51
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	33,7	0,81	4,00	3,08
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	32,2	0,81	4,00	2,72
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	29,1	0,81	4,00	2,09
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	28,5	0,81	4,00	1,98
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	16,8	0,81	25,00	3,33
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	14,2	0,81	25,00	2,25
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	11,5	0,81	25,00	1,41
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	9	0,81	100,00	3,34
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	8	0,81	100,00	2,63
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	7,2	0,81	100,00	2,13
12	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	7,1	0,81	100,00	2,07
12	<i>Croton bathianus</i>	11,6	0,70	25,00	1,00
12	<i>Croton bathianus</i>	6,7	0,70	100,00	1,29
12	<i>Commiphora arafy</i>	17,7	0,40	25,00	0,67
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	34,5	0,74	4,00	2,63
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	30,1	0,74	4,00	1,83
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	27,6	0,74	4,00	1,46
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	17,2	0,74	25,00	2,82
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	15	0,74	25,00	2,05
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	14,5	0,74	25,00	1,89
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	7,4	0,74	100,00	1,80
12	<i>Cedrelopsis grevei</i>	6,6	0,74	100,00	1,44
12	<i>Capurodendron sakalavum</i>	6,5	0,80	100,00	1,69

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée (Suite)**

<b>Placettes</b>	<b>Nom Scientifique</b>	<b>DHP (cm)</b>	<b>WD (g/cm3)</b>	<b>FE</b>	<b>Biomasse en Ha</b>
12	<i>Calantica jalberti</i>	32,5	0,50	4,00	0,86
12	<i>Calantica jalberti</i>	13,3	0,50	25,00	0,60
12	<i>Calantica jalberti</i>	6,3	0,50	100,00	0,50
12	<i>Calantica jalberti</i>	5,5	0,50	100,00	0,39
12	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	8	0,77	100,00	2,34
<b>TOTAL</b>					<b>77,81761565</b>

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
19	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	11,2	0,73	25,00	1,03
19	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	10,1	0,73	25,00	0,82
19	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	5,3	0,73	100,00	0,92
19	<i>Tamarindus Indica</i>	36,7	0,87	4,00	4,61
19	<i>Stadmannia grevei</i>	28,5	0,74	4,00	1,57
19	<i>Leea guineensis</i>	17,3	0,50	25,00	1,09
19	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	14,1	0,26	25,00	0,14
19	<i>Hildegardia erythrosiphon</i>	13	0,26	25,00	0,12
19	<i>Grewia Serrulata</i>	14,7	0,60	25,00	1,17
19	<i>Grewia Serrulata</i>	12,2	0,60	25,00	0,77
19	<i>Grewia Serrulata</i>	12	0,60	25,00	0,74
19	<i>Grewia Serrulata</i>	9	0,60	100,00	1,60
19	<i>Grewia Serrulata</i>	7,7	0,60	100,00	1,17
19	<i>Grewia Serrulata</i>	6,6	0,60	100,00	0,86
19	<i>Protorhus ditimena</i>	15,5	0,65	25,00	1,61
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	37,1	0,81	4,00	3,99
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	24,5	0,81	4,00	1,34
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	22,5	0,81	4,00	1,08
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	13,5	0,81	25,00	2,01
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	12,2	0,81	25,00	1,60
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	7,2	0,81	100,00	2,13
19	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	5,1	0,81	100,00	1,11
19	<i>Croton bathianus</i>	16	0,70	25,00	2,08
19	<i>Croton bathianus</i>	15	0,70	25,00	1,79
19	<i>Croton bathianus</i>	8,6	0,70	100,00	2,13
19	<i>Commiphora arafy</i>	17,4	0,40	25,00	0,64
19	<i>Cedrelopsis grevei</i>	34,7	0,74	4,00	2,67
19	<i>Carissa edulis</i>	33,3	0,57	4,00	1,24
19	<i>Carissa edulis</i>	15,1	0,57	25,00	1,08
19	<i>Carissa edulis</i>	13,4	0,57	25,00	0,82
19	<i>Capurodendron sakalavum</i>	16,3	0,80	25,00	3,00
19	<i>Capurodendron sakalavum</i>	14,4	0,80	25,00	2,26
19	<i>Capurodendron sakalavum</i>	5,3	0,80	100,00	1,16
19	<i>Calantica jalberti</i>	30,4	0,50	4,00	0,72
19	<i>Baudouinia fluggeiformis</i>	36,8	0,77	4,00	3,48
<b>TOTAL</b>					<b>54,53550969</b>

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée (Suite)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
24	<i>Zanthoxylum tsihanimposa</i>	5	0,45	100,00	0,26
24	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	33,4	0,73	4,00	2,33
24	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	14,3	0,73	25,00	1,77
24	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	12,6	0,73	25,00	1,33
24	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	11,9	0,73	25,00	1,18
24	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	6,7	0,73	100,00	1,43
24	<i>Tamarindus Indica</i>	39,8	0,87	4,00	5,76
24	<i>Tamarindus Indica</i>	27,9	0,87	4,00	2,23
24	<i>Strychnos Vacacoua</i>	15,3	0,73	25,00	2,07
24	<i>Grewia Serrulata</i>	16,2	0,60	25,00	1,46
24	<i>Grewia Serrulata</i>	15,2	0,60	25,00	1,26
24	<i>Grewia Serrulata</i>	14,5	0,60	25,00	1,13
24	<i>Grewia Serrulata</i>	11,2	0,60	25,00	0,64
24	<i>Grewia Serrulata</i>	5,6	0,60	100,00	0,63
24	<i>Grewia Serrulata</i>	5,2	0,60	100,00	0,55
24	<i>Dalbergia Trichocarpa</i>	31,2	0,81	4,00	2,51
24	<i>Carissa edulis</i>	14	0,57	25,00	0,90
24	<i>Carissa edulis</i>	13,7	0,57	25,00	0,86
24	<i>Carissa edulis</i>	13	0,57	25,00	0,77
24	<i>Carissa edulis</i>	6,6	0,57	100,00	0,75
24	<i>Capurodendron sakalavum</i>	15	0,80	25,00	2,48
24	<i>Capurodendron sakalavum</i>	10,7	0,80	25,00	1,17
24	<i>Capurodendron sakalavum</i>	8,2	0,80	100,00	2,68
24	<i>Calantica jalberti</i>	32,1	0,50	4,00	0,83
24	<i>Calantica jalberti</i>	7,9	0,50	100,00	0,79
24	<i>Calantica jalberti</i>	7,1	0,50	100,00	0,64
24	<i>Calantica jalberti</i>	6	0,50	100,00	0,46
<b>TOTAL</b>					<b>38,86542451</b>

**ANNEXE XXI : Présentant les résultats (DHP, Biomasses) sur l'inventaire par placette des espèces sur la forêt sèche dégradée (Suite et fin)**

Placettes	Nom Scientifique	DHP (cm)	WD (g/cm3)	FE	Biomasse en Ha
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	19	0,66	25,00	2,70
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	16	0,66	25,00	1,80
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	14	0,66	25,00	1,32
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	12	0,66	25,00	0,94
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	9	0,66	100,00	2,02
56	<i>Psorospermum malifolium</i>	7	0,66	100,00	1,22
56	<i>Diospyros sakalavarum</i>	35,3	0,79	4,00	3,28
56	<i>Diospyros sakalavarum</i>	31,6	0,79	4,00	2,44
56	<i>Calantica jalberti</i>	5	0,50	100,00	0,33
56	<i>Bridelia Pervilleana</i>	14	0,47	25,00	0,58
56	<i>Bridelia Pervilleana</i>	11	0,47	25,00	0,34
56	<i>Bridelia Pervilleana</i>	5	0,47	100,00	0,29
56	<i>Bridelia Pervilleana</i>	5	0,47	100,00	0,29
<b>TOTAL</b>					<b>17,54804599</b>

# RÉSUMÉ

## Mécanisme de Vente de Carbone Forestier : Cas de la Forêt Sèche du Parc National d'Ankarafantsika à Madagascar

RAVELONDRAMAMY Fridonatin Peguy

Adresse postale: 0107 0059 D, Mahavoky Avaratra, Mahajanga

Email: [rfpeguy@gmail.com](mailto:rfpeguy@gmail.com)

Info line: +261(0) 32 43 962 58

Notre planète est confrontée à un effondrement imminent en raison des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère provenant de diverses sources. Dans les pays développés, ces émissions proviennent des industries, des essais nucléaires, des véhicules, entre autres. En revanche, dans les pays pauvres, elles sont principalement causées par la déforestation. Selon le GIEC en 2007, la déforestation contribue à près de 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Plusieurs solutions ont été avancées pour faire face à ce problème, mais le plus intéressant, c'est le Protocole de Kyoto. Le dernier a été instauré dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Il convient de souligner que l'un des moyens utilisés pour atteindre cet objectif est le marché du carbone. Dans les pays pauvres comme Madagascar, où de nombreux habitants dépendent des ressources forestières pour leur survie, ce marché est particulièrement crucial, car il génère des revenus tout en protégeant les forêts. Dans ce contexte, les forêts naturelles jouent un rôle essentiel dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agissant comme des réservoirs de carbone. Comment alors procéder à la vente de crédits carbone ? Pour aborder cette question, nous avons choisi la forêt sèche du Parc National d'Ankarafantsika comme site d'expérimentation. Nos résultats indiquent que l'État joue un rôle crucial dans le processus de vente de crédits carbone, avec une implication notable du ministère chargé des Forêts, en particulier du Bureau national chargé de la coordination de la REDD+. En ce qui concerne la forêt du parc, elle se distingue par la présence de deux types de forêts : la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée. Cette forêt est principalement dominée par des espèces de la famille des Fabaceae, des Ebenaceae et des Malvaceae. Cette forêt a été soumise à des perturbations, avec un taux de déforestation annuel compris entre 2010 et 2020 de 0,4 %, ce qui équivaut à 427,1 hectares par an. Le parc national d'Ankarafantsika séquestre du carbone à un taux de 111,28 tonnes de carbone par hectare, totalisant ainsi 11 287 331,79 tonnes de carbone en 2020. En ce qui concerne les émissions, cette forêt libère 53,35 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare dans l'atmosphère. Concernant la valeur du niveau de référence des émissions forestières de la forêt du Parc national d'Ankarafantsika, elle s'établit à 24 664 tonnes de dioxyde de carbone par an de 2010 à 2020. En résumé, cette thèse sur le Mécanisme de vente de carbone forestier : le cas de la forêt sèche du Parc national d'Ankarafantsika à Madagascar, a été reconnue comme document de référence pour le processus de vente de crédits carbone forestiers à Madagascar.

**Mots clés : Gaz à Effet de Serre, déforestation, forêt sèche, crédit carbone, BNC-REDD+, Niveau de Référence d'Émission Forestière (NERF), Parc National d'Ankarafantsika.**

Nombre des pages : 105

Nombre des tableaux : 34

Nombre des figures : 18

Nombre des annexes : 21

Nombre des Photos : 04

**Directeur de thèse**

: Professeure Titulaire RANDRIANJAFY Rasoloarisoa  
Vololomboahangy

**Co-directeur de thèse**

: Professeure Titulaire RANARIJAONA Hery Lisy Tiana

# ABSTRACT

## Forest Carbon Sales Mechanism : Case of the Dry Forest of Ankarafantsika National Park in Madagascar

RAVELONDRAMAMY Fridonastien Peguy

Postal address : : 0107 0059 D, Mahavoky Avaratra, Mahajanga

Email : [rfpeguy@gmail.com](mailto:rfpeguy@gmail.com)

Info line : +261(0) 32 43 962 58

Our planet is facing an imminent collapse due to greenhouse gas emissions in the atmosphere from various sources. In developed countries, these emissions come from industries, nuclear tests, vehicles, and more. On the other hand, in poorer countries, they are primarily caused by deforestation. According to the IPCC in 2007, deforestation contributes to nearly 17% of global greenhouse gas emissions. Several solutions have been proposed to address this problem, but the most notable is the Kyoto Protocol. This protocol was established to reduce greenhouse gas emissions. It is worth noting that one of the methods used to achieve this goal is the carbon market. In poor countries like Madagascar, where many residents rely on forest resources for their survival, the carbon market is particularly crucial because it generates income while protecting forests. In this context, natural forests play a vital role in reducing greenhouse gas emissions by acting as carbon sinks. How, then, can carbon credits be sold? To tackle this question, we chose the dry forest of the Ankarafantsika National Park as our experimental site. Our findings indicate that the State plays a crucial role in the carbon credit sales process, with significant involvement from the Ministry responsible for Forestry, particularly the National Office for REDD+ Coordination. Regarding the park's forest, it is characterized by two types of forests: dense dry forest and degraded dry forest. This forest is primarily dominated by species from the Fabaceae, Ebenaceae, and Malvaceae families. The forest has been subject to disturbances, with an annual deforestation rate between 2010 and 2020 of 0.4%, equivalent to 427.1 hectares per year. The Ankarafantsika National Park sequesters carbon at a rate of 111.28 tons of carbon per hectare, totaling 11,287,331.79 tons of carbon in 2020. As for emissions, this forest releases 53.35 tons of CO<sub>2</sub> per hectare into the atmosphere. Regarding the reference emission level for the forest of Ankarafantsika National Park, it stands at 24,664 tons of carbon dioxide per year from 2010 to 2020. In summary, this thesis on the **\*\*Forest Carbon Trading Mechanism: The Case of the Dry Forest of Ankarafantsika National Park in Madagascar\*\*** has been recognized as a reference document for the forest carbon credit sales process in Madagascar.

**Keywords : Greenhouse Gas, deforestation, dry forest, carbon credit, BNC-REDD+, Forest Emission Reference Level (NERF), Ankarafantsika National Park.**

Number of pages : 105

Number of tables: 34

Number of figures: 18

Number of appendices : 21

Number of photos : 04

**Thesis Director** : Professor Tit RANDRIANJAFY Rasoloarisoa Vololomboahangy

**Co-supervisor of the thesis** : Professor Tit RANARIJAONA Hery Lisy Tiana