



Secrétariat Général

Bureau National de Coordination REDD+

Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation

Soumission à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

Mai 2018







Table de matières

	LISTE [DES FIGURES	4
	LISTE I	DES TABLEAUX	5
	LISTE [DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS	8
2	INTR	ODUCTION	.10
3	PORT	ΓΕΕ DU NERF	.13
	3.1 D	EFINITION DE LA FORET	13
		ORTEE GEOGRAPHIQUE, DELIMITATION DES ECOREGIONS SE FORESTIER NATIONAL	
	3.3 P	ERIODE DE REFERENCE	20
	3.4 R	ESERVOIRS CARBONE	22
	3.5 G	AZ A EFFET SERRE	24
4	APPF	ROCHE METHODOLOGIQUE GENERALE	.25
5	DON	NEES D'ACTIVITES	. 29
6	STO	CKS DE CARBONE ET FACTEURS D'EMISSION	.57
		ESCRIPTION DES DONNEES D'INVENTAIRE FORESTIER	
	6.1.1	L'inventaire forestier de 1996	58
	6.1.2	L'inventaire forestier du PERR-FH 2014	60
	6.1.3	L'inventaire forestier de l'écorégion des forêts sèches de l'ouest 2017	64
		A BIOMASSE AERIENNE, LA BIOMASSE DU BOIS MORT ONE ORGANIQUE DU SOL	
	6.2.1	Forêt humide	66
	6.2.2	Forêt Épineuse	70
	6.2.3	Forêts sèches	77
	6.2.4	Mangrove	81
	6.2.5		
		A BIOMASSE SOUTERRAINE	
		ES FACTEURS D'ÉMISSION	
	6.4.1	Changements de stocks	
		Émissions non-CO ₂	
7	QUA	NTIFICATION DU NERF1	03





8	EV	AL	OITAU	N DE L	INCER	TITUD	E DU	NERF		104
	8.1	IDE	ENTIFIC	ATION	ET EVA	LUATIO	N DES	SOURCE	S D'INCERTITU	JDE104
	8.1	.1	Source	des ince	ertitudes	des dor	nnées d	ľactivité		104
	8.1	.2	Sources	d'incer	titudes c	des facte	eurs d'é	missions .		105
	8.2	QL	JANTIFIC	CATION	I DE L'II	NCERTI	TUDE.			109
	8.2	2.1	Calcul d	e l'ince	rtitude de	es donn	ées d'a	ctivités		110
	8.2	2.2	Calcul d	e l'ince	rtitude de	es facte	urs d'ér	nissions		111
	8.2	2.3	Calcul d	e l'ince	rtitude di	u niveau	de réfe	érence		115
9	DIS	sci	JSSION	, cc	NCLU	SION	ET	PLAN	D'ACTION	POUR
L'	AME	ELIC	DRATIO	N DU	NERF.					117
9	9.1	PL	AN D'A	CTIONS	POUR	L'AMEL	.IORAT	ON DU N	ERF	124
ВІ	BLI	OG	RAPHIE	.						127





LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Domaines phytogéographiques de la Madagascar	.16
Figure 2 : Classes de couverture du sol qui forment la base du NERF	.19
Figure 3 : Example de l'application de l'arbre de décision et le rééchantillonnage	.33
Figure 4 : Exemple de placette d'échantillonnage	.35
Figure 5 : Collect Earth et relation avec d'autres plateformes	.36
Figure 6 : Unité d'échantillonnage en Google Earth – Collect Earth	.37
Figure 7 : Exemple de classification de l'unité	.38
Figure 8 : exemple de stratification et unité d'échantillonnage pour l'écorégion forêt humide	
Figure 9 : Unité d'échantillonnage en Google Earth pour l'écorégion de fo humide	
Figure 10 : Exemple de classification de l'unité dans l'écorégion de forêt humide	.45
Figure 11 : Disposition des camps d'inventaire de 1996 (Source: IEFN 1996)	.59
Figure 12 : Disposition des grappes d'inventaire de 1996 pour les forêts sèche Épineuse (Source: IEFN 1996)	
Figure 14 : Disposition des placettes d'inventaire PERR-FH	.62
Figure 15 : Carte des grappes d'inventaire du projet PERR-FH (2014)	.63
Figure 17 : Description du traitement des données de l'inventaire PERR-FH	.66
Figure 18 : Description du traitement des données de l'inventaire de 1996 ou 2017	
Figure 19 : Arbre de décision pour attribuer les densités spécifiques	.73
Figure 20 : Mangrove biomass study area (source: Jones et al. 2014)	.83
Figure 21 : Zone d'étude (source : Andriamananjara et al. 2016)	.88
Figure 22 : Plan d'échantillonnage dans les occupations du sol post-déforestat (source : Andriamananjara et al. 2016)	





LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Définition de la forêt14
Tableau 2 : Postes d'émissions et d'absorptions comptabilisés dans les activités REDD+2
Tableau 3 : Prise en compte des réservoirs carbone2
Table 4 : GES sélectionnés dans la comptabilisation carbone24
Tableau 5 : Equations GIEC utilisées pour le développement du NERF2
Tableau 6 : stratification utilisée pour l'estimation des données d'activité4
Tableau 7 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion humide4
Tableau 8 : Unité d'échantillonnage par strate pour l'écorégion de forêt humide46
Tableau 9 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt humide4
Tableau 10 : Estimation de données d'activité dans l'écorégion de forêt humide4
Tableau 11 : Incertitude des estimations des données d'activité dans l'écorégion de forêt humide4
Tableau 12 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion de forê sèche50
Tableau 13 : Unité d'échantillonnage par strate50
Table 14 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt sèche5
Table 15 : Estimation de données d'activité pour l'écorégion de forêt sèche5
Tableau 16 : Incertitude des estimations des données d'activité pour l'écorégion de forêt sèche5
Tableau 17 Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion de forê épineuse52
Tableau 18 : Unité d'échantillonnage par strate pour l'écorégion de forêt épineuse .52
Tableau 19 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt épineuse5
Tableau 20 : Estimation de données d'activité pour l'écorégion de forêt épineuse5
Tableau 21 : Incertitude des estimations des données d'activité54
Tableau 22 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour Mangrove5
Tableau 23 : Unité d'échantillonnage par strate pour Mangrove5
Tableau 24: Estimation de proportions pour Mangrove56
Tableau 25 : Estimation de données d'activité pour Mangrove56
Tableau 26 : Incertitude des estimations des données d'activité 56





Tableau 27 : Calcul des facteurs d'émission57
Tableau 28 : Facteur d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe – Inventaire forestier PERR-FH de 2014
Tableau 29 : Statistiques de l'inventaire PERR-FH pour biomasse aérienne69
Tableau 30 : Statistiques de l'inventaire PERR-FH pour bois mort70
Tableau 31 : Statistique de carbone organique du sol dans l'écorégion humide70
Tableau 32 : Facteurs d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe75
Tableau 33 : Statistiques de l'inventaire forestier de 1996 pour biomasse aérienne pour l'écorégion de forêt épineuse
Tableau 34 : Statistiques de l'inventaire forestier de 1996 pour bois mort pour l'écorégion de forêt épineuse
Tableau 35 : Statistique du carbone organique du sol pour l'écoregion de forêt épineuse
Tableau 36 : Facteurs d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe79
Tableau 37 : Statistiques de l'inventaire forestier de 2017 (Biomasse aérienne) pour l'écorégion de forêt sèche80
Tableau 38 : Statistiques de l'inventaire forestier de 2017 (Bois mort) pour l'écorégion de forêt sèche80
Tableau 39 : Statistique du carbone organique du sol pour l'écorégion de forêt sèche81
Tableau 40 : Classes de mangroves (source : adapté de Jones et al. 2014)84
Tableau 41 : Equations allométriques et densités de bois utilisées dans l'estimation de la biomasse (source : adapté de Jones et al., 2014)85
Tableau 42 : Estimation des stocks de carbone des mangroves (source : basé sur Jones et al. 2014)
Tableau 43 : Estimation de la biomasse aérienne des mangroves (source : basé sur Jones et al. 2014) *La moyenne est la moyenne pondéré en base aux superficies de chaque strate
Tableau 44 : Biomasse aérienne dans les classes d'occupation du sol post- déforestation
Tableau 45 : Biomasse dans des sites post-déforestation localisés dans l'écorégion des forêts sèches (adapté de Raharimalala et al. (2012)90
Tableau 46 : Biomasse aérienne de la classe "non-forêt" par écorégion91
Tableau 47 : Quotients racinaire/foliacé (RSR)92
Table 48 : Biomasse souterraine par classe d'occupation du sol





Tableau 49 : Biomasse par réservoir et totale en classes forestières et forestières	
Tableau 50 : Biomasse totale en classes forestières et non forestières	94
Tableau 51 : Facteurs de conversion Carbone et CO ₂	95
Table 52 : Stocks de carbone forestiers et non forestiers	95
Tableau 53 : Synthèse des facteurs d'émissions	96
Tableau 54 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Humide »	97
Tableau 55 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Sèche »	98
Tableau 56 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Épineuse »	99
Tableau 57 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Mangrove »	.100
Tableau 58 : Facteur d'émissions, g kg-1 de matière sèche brûlée	.101
Tableau 59 : Facteur d'émissions, g kg-1 de matière sèche brûlée	.101
Tableau 60 : Global warming potential	.101
Table 61 : Calcul du facteur d'émission pour les émissions non-CO2	.101
Tableau 62 : Calcul du facteur d'émission pour les sols	.102
Tableau 63 : Emissions par écorégion et calcul du NERF	.103
Tableau 64 : Erreur d'échantillonnage de la biomasse dans différentes str forestières et non forestières	
Tableau 65 : Incertitude des estimations des données d'activités par activit écorégion	
Tableau 66 : Composition et agrégation de l'incertitude de l'estimation de biomasse aérienne	
Tableau 67 : Composition et agrégation de l'incertitude de l'estimation des stock carbone en mangrove	
Tableau 68 : Incertitude de l'estimation de la biomasse souterraine	.113
Tableau 69 : Incertitude de l'estimation du bois mort	.113
Tableau 70 : Incertitude de l'estimation des stocks de carbone	.114
Table 71 : Incertitude des facteurs d'émissions de changements de stocks	.114
Tableau 72 : Incertitude des facteurs d'émissions non-co2	.115
Tableau 73 : Incertitude du NERF et des émissions par écorégion	.115
Tableau 74 : Synthèse du plan d'actions	.124





LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ВА	Biomasse Aérienne
BDD	Base De Données
BDOT	Base de Données d'Occupation de Terres ()
BNC-REDD+	Bureau National de Coordination REDD+
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
СР	Conférence des Parties
DA	Donnée d'Activité
DGF	Direction Générale des Forêts
DHP	Diamètre à Hauteur de Poitrine
ERP-D	Document du Programme de Réduction des Emissions
FCPF	Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier
FE	Facteur d'Emissions
FRMi	Forêt Ressources Management
GES	Gaz à Effet de Serre
GFC	Global Forest Change
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
GLS	Global Land Survey
GOFC-GOLD	Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics
GPG-LULUCF	Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terre changements d'affectation des terres et la foresterie
GPS	Global Positioning System
IDA/GEF	International Development Association / Global Environment Facility
IEFN	Inventaire Ecologique Forestier National





LD	Lignes directrices
MEEF	Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie, et des Forêts
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MOM 1	Matière organique 1 : Bois mort
MOM 2	Matière organique 2 : Litière
N2O	Protoxyde d'azote
NERF	Niveau d'Emissions de Référence des Forêts
ООВ	Out of Bag
PERR-FH	Projet Eco-Régional REDD+ des Forêts Humides
PHCF	Programme Holistique de Conservation des Forêts
PLR	Produits Ligneux Récoltés
PRE-AA	Programme de Réduction d'Emissions Atiala Antsinanana
REDD+	Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêt
R-PP	Plan de Préparation à la REDD+
RSR	Root-shoot ratio (Rapport racinaire-foliacé)
SAPM	Système des Aires Protégées de Madagascar
SEAS-OI	Surveillance de l'Environnement Assisté par Satellite dans l'Océan Indien
SGFD	Sites de Gestion Forestière Durable
SLC	Scan Line Corrector (Correcteur de ligne de balayage)
SOC	Carbone organique du sol
Tms	Tonnes de matière sèche
UOT	Utilisation et Occupation des Terres
vcs	Voluntary Carbon Standard





1 INTRODUCTION

La réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation des forêts (REDD+) est un mécanisme qui vise simultanément l'atténuation des effets du changement climatique, la diminution de la déforestation, la conservation des forêts et le développement durable. Le principe de la REDD+ est d'octroyer une compensation financière à des pays forestiers qui réduisent l'émission des gaz à effet de serre (GES) issues des émissions et absorptions liées aux forêts.

Des travaux relatifs à la préparation de Madagascar à la REDD+ ont été menés à travers deux projets :

- Le Projet Eco-Régional REDD+ des Forêts Humides (PERR-FH) entre 2013 et 2015 – projet mis en œuvre par un Consortium constitué de Wildlife Conservation Society, de l'Office national pour l'environnement et de ETC Terra, et financé par le Projet d'Appui de l'IDA/GEF au Programme Environnemental, Phase 3 (Financements additionnels) – qui a développé quelques produits clés pour la REDD+. Ainsi, des inventaires forestiers ciblant l'écorégion des forêts humides de l'Est ont été effectués dans l'objectif d'établir un scénario de référence des émissions dues à la déforestation dans cette écorégion.
- En parallèle, le Plan de Préparation à la REDD+ (R-PP) de Madagascar a été approuvé en 2014 par le Comité des Participants du Fonds de Préparation du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier (FCPF), permettant le déblocage de financements pour finaliser les activités de préparation de Madagascar à la REDD+. Le Bureau National de Coordination REDD+ (BNC-REDD+) a ainsi été créé au sein du Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie, et des Forêts (MEEF) dans l'objectif de piloter et de coordonner toutes les initiatives sur la REDD+. Une partie des sommes accordées au titre de ce don sera utilisée dans le but d'améliorer le niveau d'émissions de référence des forêts (NERF) dans les prochains mois, notamment la réalisation d'inventaires forestiers dans les autres écorégions.

Ainsi, Madagascar a décidé de présenter un NERF sur une base volontaire et sur la base des données existantes, en vertu de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)¹.

¹ Notamment les lignes directrices fournies par la CCNUCC à travers les décisions prises lors des Conférences des Parties (CP), en particulier les Modalités d'établissement des niveaux d'émission de référence pour les forêts et des niveaux de référence pour les forêts dans la décision 12/CP.17, les directives sur les niveaux d'émission dans l'annexe de la décision 12/CP.17, les « Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres et la foresterie (GPG-LULUCF) » (GIEC 2003) et « les lignes directrices pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre » (GIEC 2006).





Ce NERF a été développé par le BNC-REDD+ avec l'appui de FRMi² sur base de données existantes produites par les deux projets mentionnés ci-avant. ETC Terra a également contribué à la réalisation de ce NERF.

Sur la base des activités planifiées du BNC-REDD+, ce rapport propose aussi de présenter le plan d'action pour l'amélioration du NERF dans les années à venir, notamment grâce aux travaux en cours ou sur le point d'être menés dans le cadre du Fond de Préparation à la REDD+ du FCPF.

Madagascar souhaite adopter une approche progressive pour le développement de son NERF national comme suggéré dans la décision 12/CP.17, paragraphe 10. En tant que tel, le présent NERF reflète la meilleure information disponible au moment de la soumission. La portée de la soumission et les méthodologies appliquées devront être modifiées dans le futur lorsque de nouvelles méthodologies, données et produits seront disponibles. En fait, par rapport à la version antérieure soumise en Janvier 2017, cette version présente les suivantes modifications :

- Nouvel facteur d'émission pour la forêt sèche obtenu à partir de l'inventaire forestier dans l'écorégion des forêts humides de l'Ouest complété en 2017 ;
- Méthodologie et plan d'échantillonnage pour la collecte des données d'activités. Les nouvelles données d'activités ont été utilisées dans cette version du NERF. Ces données d'activités vont couvrir la période 2006-2015.

Il est prévu que les prochaines versions du NERF vont incorporer les points suivants :

- Mise à jour des facteurs d'émissions de la forêt épineuse et la Mangrove ;
- Création et officialisation d'un système de classification de l'Utilisation et Occupation des Terres (UOT) pour Madagascar qui sera la base de la Base de Données d'Occupation de Terres (BDOT) qui sera produit en 2018,
- Actualisation et officialisation de la définition de forêt afin de permettre de considérer toutes les écorégions de Madagascar (forêts épineuses, mangroves, forêt sèche de l'ouest);
- Actualisation des données d'activités en suivant le nouveau BDOT et définition de forêt.

Cette communication et le NERF ne préjugent ou ne modifient pas la Contribution Prévue Déterminée au niveau National de la République du Madagascar ou les

² Espace Fréjorgues Ouest 60, rue Henri Fabre 34130 MAUGUIO - Gd Montpellier - FRANCE Tél.: +33(0)4 67 20 08 09 Fax : +33(0)4 67 20 08 12 Email : frm@frm-france.com www.frm-france.com





Mesures Nationales d'Atténuation Appropriées, conformément au Plan d'action de Bali.

L'ensemble des informations utilisées ou produites dans le présent document est issu de rapports disponibles en libre accès sur internet, et qui ont déjà été évalués par des tierces parties. En regroupant l'ensemble de ces informations et données ainsi que les rapports d'évaluation, le présent document propose des méthodes et un contenu transparent, complet, précis et fiable.

Toutes les documents pertinentes peuvent être trouvées dans le site WEB du BNC-R : http://bnc-redd.mg/

Structure et contenu du NERF

Le document soumis suit la structure suivante :

- Le chapitre 2 fournit des informations sur la définition de la forêt et comment celle-ci a été prise en compte dans l'élaboration du NERF, mais aussi sur les sources et puits (activités REDD+), les réservoirs carbone et les GES pris en compte. Lorsque des puits, sources, réservoirs ou GES sont exclus, le choix est dûment justifié et argumenté.
- Ce chapitre contient également des éléments sur la cohérence en termes de puits, sources, réservoirs et GES entre le NERF et les émissions et absorptions de GES rapportées dans le cadre de la seconde communication nationale.
- Le chapitre 3 contient une description de la méthodologie générale utilisée pour le calcul du NERF sur la base du guide du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) de 2006 concernant les inventaires nationaux de GES.
- Le chapitre 4 contient un descriptif de la méthode spécifiquement liée au calcul des données d'activités
- Le chapitre 5 présente la méthode de calcul des stocks de carbone et des différents facteurs d'émissions
- Le chapitre 6 quantifie le NERF
- Le chapitre 7 présente l'estimation des incertitudes dans le calcul du NERF
- Le chapitre 8 propose des discussions et conclusions sur le calcul du NERF et présente le plan d'action pour son amélioration future et par étapes.

Lorsque cela est possible, le rapport contient des encadrés expliquant comment les méthodes ou les données seront améliorées ultérieurement (en lien avec le plan d'action du chapitre 8).





2 PORTEE DU NERF

Le chapitre 2 présente le cadre méthodologique et les définitions clés pour le développement du NERF.

2.1 DEFINITION DE LA FORET

La définition adoptée au niveau national à Madagascar est présentée dans le tableau ci-dessous. La définition correspond à celle adoptée dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre. Dans le cadre de l'assistance technique de l'Office Nationale pour Environnement/MEEF/Madagascar National Parks (MNP), une analyse de l'Inventaire Ecologique et Forestier National de 1996 (IEFN 1996) a permis de constater que toutes les formations forestières (forêts denses humide de l'Est, forêt dense sèche de l'ouest, forêt épineuse, mangrove) peuvent répondre à cette définition de la forêt en termes de superficie et couverture houppier. En quelques cas les massifs de forêt épineuse et Mangrove n'arrivent pas à 5 mètres de manière naturelle, mais à cause du manque d'informations, cette soumission va considérer qu'ils atteignent la hauteur de 5 mètres. Madagascar est maintenant engagé dans un processus de définition du système de classification de Utilisation et Occupation de Terres qui va aussi analyser la opérationnalisation de la définition de la forêt et s'il est nécessaire de modifier la définition pour ces écorégions. Par ailleurs, lors de l'atelier organisé par le BNC-REDD+ en Avril 2016 pour la définition nationale des activités REDD+, cette définition a été rappelée et revalidée par l'ensemble des parties prenantes de la REDD+ comme étant celle qui doit s'appliquer. Toutefois, cette définition de forêt au niveau national concerne seulement la forêt naturelle, notamment intacte, elle ne tient pas en compte les autres écosystèmes comme les formations secondaires ou très dégradées, plantation et autres. Aussi, elle fera encore l'objet de consultation d'autres parties prenantes à tous les niveaux (régional et national) et de validation par un document national ou un texte règlementaire.

C'est important de noter que cette définition est cohérente avec la définition utilisée dans l'inventaire national GES et dans le domaine du MDP. Néanmoins, la définition n'est pas cohérente avec celle du FRA qui est cohérente avec la définition par défaut définit para la FAO. Il est prévu que la définition de la forêt utilisée dans le cadre du FRA sera mise à jour à la définition ci présenté.





:

Tableau 1 : Définition de la forêt

Seuils	VALEUR
Hauteur minimale des arbres (m)	≥ 5m
Couverture de canopée minimale (%)	≥ 30%
Superficie minimale (hectare)	≥ 1

La définition de la forêt a été respectée dans les différentes étapes du développement du NERF :

- Les sites avec une surface inférieure à un hectare sont exclus des données d'activité : cela a été réalisé par l'intermédiaire de l'unité minimale de cartographie (UMC) qui correspond ici à 9 pixels des images satellitaires utilisées (chaque pixel faisant 30 m x 30 m), soit une superficie totale de 0,81 ha (qui sert comme approximation de 1 ha).
- Dans l'inventaire de l'IEFN 1996 et l'inventaire PERR-FH, le plan d'échantillonnage a été établi sur la base d'une carte forestière respectant la définition de la forêt en termes de couverture de canopée.

2.2 PORTEE GEOGRAPHIQUE, DELIMITATION DES ECOREGIONS ET ZONAGE FORESTIER NATIONAL

L'échelle du NERF est nationale, c'est-à-dire que les données collectées pour sa quantification couvrent l'ensemble du pays. Conformément aux instructions du GIEC (2006), p. 4.8, la délimitation des écorégions a été effectuée sur la base de critères écologiques.

L'Inventaire Ecologique Forestier National (IEFN) de 1996 avait pour but de combler les lacunes d'information concernant l'état et l'évolution des ressources forestières de Madagascar, et s'était ainsi fixé comme objectif de connaître la localisation et la distribution dans l'espace des différentes formations forestières, leurs principales caractéristiques dendrologiques et dendrométriques, écologiques, ainsi que leurs tendances évolutives. Ainsi, deux cartes de végétation de Madagascar ont été





produites pour les années 1994 et 2000 et les domaines phytogéographiques y sont délimités de la façon suivante :

- A. Domaines de l'Est et du Sambirano (0 800 m);
- B. Domaines du Centre Versants Orientaux Etage de moyenne altitude (800 1800 m);
- C. Domaines du Centre Etage des montagnes (> 1800 m);
- D. Domaines du Centre Versants Occidentaux étage de moyenne altitude (800 à 1800 m);
- E. Domaines de l'Ouest (0 à 800 m);
- F. Domaines du Sud;
- G. Autres formations naturelles azonales;
- H. Autres occupations du sol.





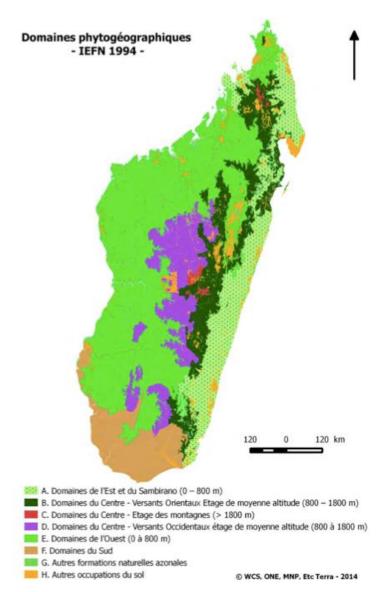


Figure 1 : Domaines phytogéographiques de la Madagascar

Compte tenu de la nécessité de rationaliser les travaux à conduire dans le cadre de la REDD+ au niveau national, il a été précisé dans le R-PP que seules quatre écorégions REDD+ seraient définies : Forêts Humides de l'Est, Forêts Sèches de l'Ouest, Forêts Epineuses du Sud, Mangroves. Ces quatre écorégions, issues de regroupements des domaines phytogéographiques présentés ci-dessus, sont délimitées de la manière suivante :





- L'écorégion des Forêts Humides de l'Est correspond aux domaines et types de forêts/fourrés suivants :
 - A. Domaines de l'Est et du Sambirano (0 800 m): tous types de forêts denses humides sempervirentes de basse altitude et forêts littorales ;
 - B. Domaines du Centre Versants Orientaux Etage de moyenne altitude (800 1800 m) : tous types de forêts denses humides sempervirentes de moyenne altitude ;
 - C. Domaines du Centre Etage des montagnes (> 1800 m) : tous types de forêts sclérophylles de montagne et fourrés sclérophylles de montagne
- L'écorégion des Forêts Sèches de l'Ouest correspond aux domaines et types de forêts/fourrés suivants:
 - D. Domaines du Centre Versants Occidentaux étage de moyenne altitude (800 à 1800m): tous types de forêts sclérophylles de moyenne altitude :
 - E. Domaines de l'Ouest (0 à 800 m) : tous types de forêts denses sèches (série à Dalbergia, Commiphora et Hidegardia)
- L'écorégion des Forêts Epineuses du Sud correspond au domaine suivant:
 F. Domaines du Sud : tous types de forêts denses sèches et tous types de fourrés xérophiles
- 4. L'écorégion des Mangroves dont les contours ont été extraits du domaine suivant :
 - G. Autres formations naturelles azonales

Le zonage forestier national définit deux types de modalités de gestion des ressources forestières lesquels sont le Système des Aires Protégées de Madagascar (SAPM) et les Sites de Gestion Forestière Durable (SGFD ou Koloala en langue malgache).

1) Le SAPM, régie par la loi 2015-005 portant refonte du Code des Aires Protégées, est un ensemble structuré et cohérent de toutes les Aires Protégées sans distinction y compris les Aires Protégés privées agréées, les Aires Protégées communautaires.

On entend par Aire Protégée un territoire délimité, terrestre, marin côtier, aquatique dont les composantes présentent une valeur particulière notamment biologique, naturelle, esthétique, morphologique, historique archéologique, cultuelle ou culturelle, et qui nécessite, dans l'intérêt général, une préservation multiforme.





Elle est gérée en vue de la protection et du maintien de la diversité biologique, de la conservation des valeurs particulières du patrimoine naturel et culturel et de l'utilisation durable des ressources naturelles contribuant à la réduction de la pauvreté. (Loi n°2015-005)

2) KOLOALA: ce sont des sites ayant pour objectifs de participer à la conservation des ressources forestières à travers la mise en place de systèmes de gestion forestière rationnelle et durables, permettant d'assurer une production soutenue en produits forestiers ligneux et non ligneux et d'améliorer la participation du secteur forestier au développement rural

Les modalités de gestion des sites Koloala sont les suivants :

- Propriété de l'Etat; gestion par l'Administration Forestière; valorisation des ressources à travers l'octroi de conventions d'exploitation par voie d'adjudication régie par le décret N°98-782 relatif au régime de l'exploitation forestière;
- Propriété de l'Etat ; gestion par des Communautés de Base (CoBa) riveraines ; valorisation des ressources à travers des permis de coupe annuels octroyés dans le cadre du contrat de transfert gestion.
- Propriété de l'état ; gestion déléguée au secteur privé par appel d'offres ; valorisation des ressources à travers des permis de coupe annuels octroyés dans le cadre du contrat de délégation de gestion.

Selon la carte PERR-FH de 2013, sur un total de 8,49 millions d'hectares de forêts denses, environ 6,59 millions d'hectares se situent dans le SAPM. Environ 1,9 millions d'hectares de forêts, se trouvent par conséquent en dehors des AP donc dans les sites Koloala.

Des calculs distincts de biomasse et de facteurs d'émissions ont été réalisés pour chacune de ces quatre écorégions. Il n'est pas nécessaire d'en faire pour chaque zone (SAPM et Koloala). En effet le SAPM et Koloala ne sont pas des strates forestières, ce sont en fait des modalités de gestion des ressources forestière selon le zonage forestier. D'ailleurs la comparaison de quantité de biomasses dans ces deux systèmes démontre qu'il n'y a pas vraiment une différence significative.





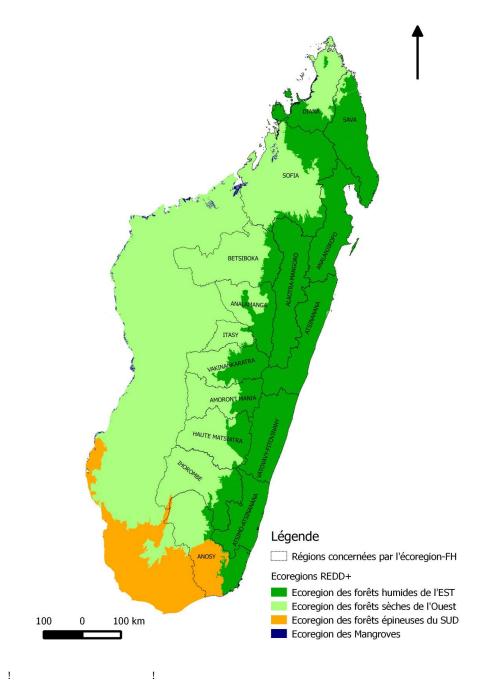


Figure 2 : Classes de couverture du sol qui forment la base du NERF :





2.3 PERIODE DE REFERENCE

Conformément à la décision 13/CP19, paragraphe 2, le NERF a été développé à partir de données issues de la période historique de référence de 2006 jusqu'à 2015 – cette période a été sélectionnée en raison des données récentes et complètes dont elle dispose.

Par conséquent le NERF quantifie les émissions de la déforestation pendant cette période. Il est toutefois important de noter que les images satellitaires adéquates ne sont pas disponibles à partir du 1^{er} Janvier 2006 jusqu'au 31 décembre 2016, mais plutôt approximativement autour de ces dates. Par conséquent, la période de référence est de 10 ans ; donc cette période de 10 ans a été considérée pour le calcul de la perte annuelle moyenne de couvert forestier.

Activités REDD+

Conformément à la décision 1/CP.16, paragraphe 70 définissant les activités REDD+, le tableau ci-dessous présente les sources et les puits sélectionnés pour le NERF:





Tableau 2 : Postes d'émissions et d'absorptions comptabilisés dans les activités REDD+

ACTIVITÉS Sources / Puits	INCLUS ?	JUSTIFICATION / EXPLICATION	
La réduction des émissions liées à la déforestation (source)	oui	Les travaux de PERR-FH relatif au calcul du facteur d'émission de l'écorégion de forêt humide de l'Est ont permis de recueillir les informations nécessaires pour élaborer le NERF national sur la période de référence souhaitée. Les émissions liées à la déforestation incluent les émissions liées au changement des stocks de carbones forestiers et les émissions non-CO2 causées par des feux au moment de la conversion.	
La réduction des émissions liées à la dégradation des forêts (source)	non	Aucune donnée disponible. Madagascar souhaite cependant développer une méthodologie afin d'estimer la dégradation. Il est donc possible qu'elle soit prise en compte lors d'une prochaine soumission du NERF (voir chapitre 8).	
Le renforcement des stocks de carbone forestier: plantations ou reboisements menant à une conversion de terres non forestières vers des terres forestières (puits)	non	Aucune donnée disponible à ce stade, la cartographie de plantations forestières n'ayant pas été effectuée jusqu'à maintenant. Malgré tout Madagascar lance actuellement un programme de reboisement important, et dans ce cadre il sera possible d'inclure le renforcement des stocks de carbone forestier dans une prochaine soumission du NERF.	
Le renforcement des stocks de carbone forestier: régénération naturelle dans des terres forestières demeurant forestières (puits)	non	Aucune donnée disponible. Cependant dans le cadre du financement FCPF pour la préparation nationale à la REDD+, Madagascar a déjà réalisé des inventaires dans les zones forestières dégradées des forêts humides de l'Est, et a prévu de réaliser des inventaires dans les forêts sèches de l'Ouest et épineuses du sud en 2017 -2018. Cela permettra donc lors d'une prochaine soumission du NERF de prendre en compte ce renforcement des stocks de carbone.	
La conservation des stocks de carbone	non	Étant donné que la réduction des émissions dues à la déforestation présente des chevauchements avec la conservation des stocks de carbone et la gestion	





La gestion durable des forêts	non	durable des forêts, ces deux dernières activités REDD+ ne sont pas prises en compte dans le NERF de Madagascar. En effet Madagascar n'a pas de définition sur la gestión durable des forêts et conservation.et toutes les absorptions et émissions de forêts restant forêts sont couvertes par les activités "renforcement de stocks de carbone et de dégradation des forêts".
-------------------------------	-----	--

Par conséquent, les données d'activité concerneront uniquement la déforestation des différentes écorégions. Comme indiqué dans le tableau ci-dessus, l'évaluation de la dégradation est un défi majeur. Dans le cadre du développement d'un Programme de Réduction d'Emissions Atiala Atsinanana (PRE-AA) pour le Fonds Carbone du FCPF, le BNC-REDD+ est en train de tester une méthodologie pour quantifier les GES issus de la dégradation. Si cette méthodologie est satisfaisante, elle pourra être testée au niveau national dans une version ultérieure du NERF.

Ci-dessous sont ainsi indiquées les définitions provisoires des activités REDD+ qui ont été décidées à Moramanga, et qui vont être testées dans le cadre du PRE-AA. Ces définitions ne sont applicables que pour la forêt humide de l'Est.

Déforestation : Conversion directe anthropique, d'une superficie continue d'au moins 1 ha, permanente, d'une terre forestière à une terre non forestière.

A titre d'exemple, la conversion d'une forêt primaire en *Tavy* serait de la déforestation, bien que cette conversion soit temporaire. La conversion d'une forêt secondaire à non forêt serait aussi de la déforestation.

Dégradation: Réduction des stocks de carbone forestier due à des perturbations anthropiques se manifestant par la perte de canopée, non qualifiable comme déforestation.

Par exemple : la dégradation forestière représente la perte brute de carbone forestier en forêt mature.

Renforcement des stocks: Augmentation des stocks de carbone forestier, soit par un passage d'une terre non forestière à une terre forestière, soit par la croissance et/ou la restauration de forêts existantes.

2.4 RESERVOIRS CARBONE

Ce chapitre présente et justifie le choix des différents réservoirs carbone du NERF.





Tableau 3 : Prise en compte des réservoirs carbone

RÉSERVOIRS CARBONE	SÉLECTIONNÉ ?	Justification / Explication
Biomasse aérienne (BA)	Oui	Les émissions provenant de la biomasse aérienne constituent la majorité des émissions et il est donc indispensable de comptabiliser ce réservoir.
Biomasse souterraine (BS)	Oui	En considérant un rapport BS/BA de l'ordre de 20% à 56%, ce réservoir est significatif à l'échelle nationale et sera donc pris en compte.
Bois mort (MOM 1) et litière (MOM 2)	Oui	Lors de l'inventaire de l'IEFN 1996 et du PERR-FH, les bois morts sur pied ont été mesurés et ils ont été pris en compte dans le calcul de biomasse. Le bois mort sur le sol a été considéré seulement pour la forêt sèche de l'Ouest. La litière n'a pas été prise en compte.
Carbone organique du sol (SOC)	Oui	.1 Madagascar dispose de données précises et fiables pour l'écorégion des forêts humides mais pas pour les autres écorégions, les résultats de l'étude réalisée en février 2018 par MEEF et al sur la définition des cibles en matière de neutralité de la dégradation des terres ont été utilisés. Cette étude a permis à Madagascar de produire une cartographie de stock de carbone de sol à 30cm de profondeur. Malgré des données SOC de qualité dans les forêts humides de l'Est, il n'a pas été possible de développer un modèle fiable qui pronostique le facteur d'émission du SOC (c'est-à-dire l'évolution du SOC pendant la transition du stade forêt au stade non-forêt). Cela peut être dû aux multiples cycles de déforestation / jachère/ régénération qui peuvent engendrer des valeurs très variables de SOC pour des sites de BA similaire.
Produits ligneux récoltés (PLR)	Non	.2 Pas de données disponibles et fiables à ce stade. D'après le Protocole Kyoto, les Pays Non-Annexe I ne sont pas obligées d'inclure PLR dans leurs inventaires GES.





2.5 GAZ A EFFET SERRE

Le tableau ci-dessous présente et justifie le choix des GES sélectionnés pour le NERF.

Table 4 : GES sélectionnés dans la comptabilisation carbone

GAZ À EFFET DE SERRE	SÉLECTIONNÉ ?	Justification / Explication
CO ₂	Oui	Le CO2 représente la part la plus importante des émissions dues à la déforestation à Madagascar, principalement due à la culture sur brûlis.
CH ₄	Oui	Normalement la cause principale de la déforestation, sauf les mangroves, est la culture sur brûlis. Donc il a été considéré l'émission CH4 au moment de la conversion en non-forêt. La raison de cela est d'augmenter l'exhaustivité du NERF et avoir une idée de l'importance des forêts par rapport aux émissions totales. Dans cette soumission, les émissions non CO2 liées au feu en forêt restant forêt (dégradation) n'ont pas été considérées.
N ₂ O	Oui	Normalement la cause principale de la déforestation, sauf les mangroves, est la culture sur brûlis. Donc il a été considéré l'émission N2O au moment de la conversion en non-forêt. La raison de cela est d'augmenter l'exhaustivité du NERF et avoir une idée de l'importance des forêts par rapport aux émissions totales. Dans cette soumission, les émissions non CO2 liées au feu en forêt restant forêt (dégradation) n'ont pas été considérées.





3 APPROCHE METHODOLOGIQUE GENERALE

Il est préconisé de développer le NERF en suivant les orientations du GIEC, en effet :

- La Décision 4/CP15 incite les pays en développement à utiliser les orientations et les directives les plus récentes du GIEC, telles qu'elles ont été adoptées ou préconisées par la Conférence des Parties (CP), pour calculer les émissions (sources) et les absorptions (puits) de GES liées aux forêts ainsi que les stocks de carbone forestier et les changements de superficies forestières;
- De même, le Cadre Méthodologique du Fonds Carbone du FCPF, Critère 5 demande que [Le Programme de Réduction d'Emissions applique les directives et orientations les plus récentes du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), telles qu'adoptées ou préconisées par la Conférence des parties, en tant que base d'estimation des émissions de gaz à effet de serre liées aux forêts, par source, et des Absorptions par puits].

Conformément à ces orientations, le NERF a été développé en suivant les règles et les méthodes préconisées par le GIEC, 2006. D'après les définitions du GIEC, la méthodologie se base sur l'approche des gains et des pertes, c'est-à-dire une estimation du solde net des additions et des absorptions à partir d'un stock de carbone (IPCC, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, section 2.2). Le tableau ci-dessous présente une vue d'ensemble.

Tableau 5 : Equations GIEC utilisées pour le développement du NERF

ACTIVITÉS REDD+ (SOURCES ET PUITS)	EQUATIONS APPLIQUÉS	Référence
Toutes activités	Equation 2.2 Equation 2.3	Vol. 4, chapitre 2, section 2.2.1, page 2.7
Déforestation - changements des stocks	Equation 2.16	Vol. 4, chapitre 2, section 2.3.1.2, page 2.20
Déforestation – émissions non-CO2	Equation 2.27	Vol. 4, chapitre 2, section 2.4, page 2.53

Changement de stocks





Suivant les notations du GIEC, la somme des changements du stock de carbone (ΔC_{LU_i}) est défini comme somme des changements dans la biomasse aérienne (ΔC_{BA}) et dans la biomasse souterraine (ΔC_{BS}) , dans la biomasse du bois mort (ΔC_{BM}) .et dans la biomasse du sol (ΔC_{SOC}) .

$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{BA} + \Delta C_{BS} + \Delta C_{BM} + \Delta C_{SOC}$		Equation 1
Avec ΔC_{LU_i}	Changement de stock de carbone, pour l'activité R	EDD+ i, pendant
	la période de référence, en tC/an	
ΔC_{BA}	Changement de stock de carbone dans le réservoir aérienne, pendant la période de référence, en tC/ar	
ΔC_{BS}	Changement de stock de carbone dans le réservoir souterraine, pendant la période de référence, en tC	
ΔC_{BM}	Changement de stock de carbone dans le réserve pendant la période de référence, en tC/an	oir du bois mort,
ΔC_{SOC}	Changement de stock de carbone dans le réservoi	r du sol pendant

Étant donné que la déforestation est la seule activité REDD+ comptabilisée, les équations suivantes permettent de quantifier les émissions. Ainsi, selon le GIEC 2006, le changement annuel de stock de carbone dû au changement de l'occupation du sol de forêt à non-forêt est déterminé par :

Le changement de stock de carbone est estimé de la manière suivante :

la période de référence, en tC/an

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_{j} EF_{j} \times \Delta A_{j}$$
 Equation 2

 $\Delta C_{CONVERSION}$

 EF_i

Changement du stock de carbone lors de la conversion du stade

foret au stade non-forêt, en tonnes C/an

Facteur d'émission pour le réservoir carbone j, en tonnes CO2 ha-1.





 ΔA_i

Superficie de forêt convertie du stade forêt au stade non-forêt pendant la période de référence, en ha/an.

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

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

Equation 3

Avec

 EF_i

Facteur d'émission pour le réservoir carbone j en tonnes CO2 ha-1.

 $B_{Avant,i}$

Stock de biomasse avant la conversion du stade forêt au stade nonforêt, pour le réservoir carbone j, en tonnes de matière sèche ha⁻¹

 $B_{Apres,j}$

Stock de biomasse après la conversion du stade forêt au stade nonforêt, pour la transition j, en tonnes de matière sèche ha-1. Dans le cas de la biomasse morte, conformément aux recommandations du GIEC pour le Niveau 1, il a été considéré que la valeur est égale à

zéro.

CF

Fraction de carbone dans la biomasse sèche.

44/12

Facteur d'expansion de carbone à CO2.

Conformément à l'approche méthodologique présentée plus haut, le Chapitre 4 fournit des données d'activités (c.à.d. ΔA_j) à partir d'analyses de la déforestation historique. Ensuite, le Chapitre 5 présentera des données sur les facteurs d'émission pour la biomasse aérienne et souterraine (conformément à l'approche méthodologique présentée dans le Chapitre 2).

Emissions non-CO2

Suivant les notations du GIEC, les émissions non-CO2 sont calculées en base à l'équation 2.27 :

$$P_{feu} = SxM_BxC_fxG_{fe}x10^{-3}$$

Equation 4





Δ	١,	۵	^
$\overline{}$	·V	ㄷ	u

P_{feu}	Quantité d'émissions de gaz à effet de serre dues au feu, tonnes de
	chaque GES, par exemple, CH4, N2O, etc.

Superficie brûlée, ha. Dans cette soumission, la superficie brulée est

la même que la superficie déforestée.

 M_B Masse de combustible disponible à la combustion, tonnes ha-1.

Sont inclus la biomasse, la litière du sol et le bois mort. Lorsqu'on utilise des méthodes de niveau 1, on suppose que les pools de

litière et de bois mort sont nuls.

 C_f Facteur de combustion, non dimensionnel (valeurs par défaut au

tableau 2.6)

 G_{fe} Facteur d'émissions, g kg-1 de matière sèche brûlée (valeurs par

défaut au tableau 2.5)

Les quantités d'émissions non CO2 sont multipliées par les facteurs de conversion en tCO2eq (*le global warming potential*). Pour CH4, la valeur est de 25 et pour N2O c'est 298.

Stock de carbone organique de sol

Les stocks de COS de référence et leurs variations peuvent être soit modélisés, soit mesurés directement, soit les deux. Afin d'obtenir une indication sur les stocks de carbone organique du sol de référence par défaut, les produits SoilGrids250m de l'ISRIC³ (Hengl et al., 2016) relatifs au pourcentage de carbone organique du sol, à la densité apparente, à la fraction de gravier et à la profondeur du substrat rocheux ont été utilisés pour calculer un stock de carbone organique du sol prédit pour 0 à 30 cm (c'est-à-dire la couche superficielle du sol). Même si SoilGrids250m n'avait pas pour objet de représenter l'état du COS dans les sols au cours de l'année 2000 (étant construit à partir de données sur les sols recueillies sur plusieurs décennies), il est cohérent à l'échelle mondiale et facilement accessible, contient les relations modélisées entre quelques profils pédologiques. Ces valeurs ont été obtenues à partir du rapport du Programme de définition des cibles en matière de Neutralité de la dégradation des terres (MEEF et al, 2018).

³ World Soil Information. http://www.isric.org/





4 DONNEES D'ACTIVITES

La première version du NERF a été établit en utilisant comme données de référence, le comptage de pixels d'une carte de changement de couvert. Cependant, comme indiqué par le GFOI MGD (2016) ⁴ "les méthodes qui produisent des estimations des données d'activités telles que les sommes des surfaces des unités cartographiques assignées aux classes de la carte sont caractérisées en pixel de comptage et généralement ne prévoient pas d'arranger les effets des erreurs de classification de la carte". Par conséquent, les méthodes de comptage de pixel ne fournissent aucune assurance que les estimations sont cohérentes avec les directrices du GIEC, i.e. ne pas surestimer ou sous-estimer pour autant qu'on puisse en juger, et réduire les incertitudes autant que possible (GIEC, 2003; préface).

⁴ https://www.reddcompass.org/documents/184/0/MGD2.0_French/a43e9d95-15cf-4487-8256-673efaa5f351#page=184





PLAN D'ECHANTILLONNAGE POUR L'ESTIMATION DES DONNEES D'ACTIVITES

I. Système d'échantillonnage :

I.1. Objectifs et variables d'intérêt

Tout système d'échantillonnage est utilisé pour obtenir des estimations de certaines propriétés de la population étudiée et le système d'échantillonnage sera jugé d'après la qualité des estimations obtenues. Des estimations individuelles peuvent, par hasard, être très près ou différer grandement de la valeur vraie et donner une piètre mesure des mérites du système. Un bon système d'échantillonnage, de temps en temps, donnera une estimation éloignée de la valeur vraie tout comme un système ordinaire, médiocre, donnera parfois une estimation très proche de la valeur vraie. Un système est mieux jugé par la distribution de fréquences des nombreuses estimations qui sont ou pourraient être obtenues par des échantillonnages répétés. Un bon système donnera une distribution de fréquences avec une petite variance et une estimation de la moyenne très proche de la valeur vraie [1].

Il existe plusieurs types de système d'échantillonnage, mais le système d'échantillonnage stratifié sera utilisé pour estimer la proportion de déforestation à Madagascar sur une période 2006 à 2015 pour le quatre types de forêts (Forêt humide, Forêt Sèche, Forêt épineuse et Mangrove).

Pour achever cet objectif, on va collecter la classe de couverture du sol en 2006 et 2015, le type et l'année de changement d'occupation du sol sur la période 2006-2015.

I.2. Stratification:

La Stratification est une autre manière pour réduire l'incertitude (Erreur standard, variance ou intervalle de confiance), mais il faut que les critères de





stratification soient corrélés à la variable d'intérêt. En ce cas, une carte de changement de couvert forestier pourrait être la stratification optimale.

La période d'étude définie dans l'ERPD de Madagascar est de 2006 à 2015 [2]. Dans ce cas, deux sources des données ont été utilisées pour créer une carte de stratification : les résultats d'analyse historique de la déforestation sur la période 2005-2010-2013 et les résultats de l'analyse de séries temporelles d'images Landsat d'Hansen sur la période 2000-2015.

L'analyse historique de la déforestation sur la période 2005-2010-2013 a été mené par le consortium WCS, ONE, MNP et ETC sous financement du Projet d'Appui de l'IDA/GEF au Programme Environnemental, Phase 3 - Financement additionnel dans le cadre du projet de définition des niveaux de référence et du système MRV de l'écorégion des forets humides de l'Est de Madagascar. L'objectif est de cartographier l'étendue des forêts et les changements de couverture forestière afin de déterminer les superficies et les taux annuels de la déforestation historique [3]. Les résultats de l'analyse de séries temporelles d'images Landsat caractérisant l'étendue et le changement de la forêt, fait par Hansen de l'Université de Maryland et ses collègues [4]. Les arbres sont définis comme des végétaux de plus de 5 m de hauteur et sont exprimés en pourcentage par cellule de grille de sortie en tant que «couverture arborée à 2 000 pour cent». La «perte de couvert forestier» est définie comme une perturbation du remplacement du peuplement, ou un changement de la forêt à l'état non forestier, au cours de la période 2000-2016. Le «gain de couverture forestière» est défini comme l'inverse de la perte, ou un changement non forestier vers la forêt entièrement au cours de la période 2000-2016. L'année de la perte de forêt est une désagrégation de la perte de forêt totale aux échelles de temps

Les résultats de PERR-FH sur la période 2005-2010-2013 ont été fusionnés avec l'extrait des résultats d'Hansen sur la période 2013-2016. Ces deux sources de

annuelles. Les images de référence 2000 et 2016 sont des observations médianes

tirées d'un ensemble d'observations de la saison de croissance qui ont été soumises

à une évaluation de la qualité [4].





données ont une résolution spatiale égale (30m x 30m). Mais la fusion a été précédée par une Co-enregistrement d'images ; c'est-à-dire, généralement, le Co-enregistrement fait référence à l'alignement spatial d'une série d'images, soit entre deux ou plusieurs volumes d'images. Méthodologiquement, cela se chevauche avec le réalignement et la normalisation. Cela étant fait pour que les pixels de l'image d'Hansen soient bien superposés avec les pixels de l'image de PERR-FH.

Ensuite, les classes d'occupation de Terre sur la carte de 2005-2010-2013-2015 ainsi obtenues ont été simplifié afin d'avoir des strates simples mais très pertinentes sur la période 2005-2016. Il s'agit de voir l'état d'occupation du Sol de 2005 à 2016 au lieu de subdiviser en trois intervalles de période.

Et enfin, la résolution spatiale de la carte finale (30m x 30m) a été ré échantillonné à 90m x 90m, mais en ce cas on a utilisé un arbre de décision de majorité :

- S'il y a au moins un pixel (30 m x 30 m) de déforestation dans le pixel de 90 m
 x 90 m → classifiée déforestation
- S'il y a au moins un pixel (30 m x 30 m) de boisement dans le pixel de 90 m x
 90 m → classifiée boisement/reboisement
- S'il y a au moins un pixel (30 m x 30 m) de forêt dans le pixel de 90 m x 90 m
 → classifiée forêt
- Reste → classifiée non-forêt





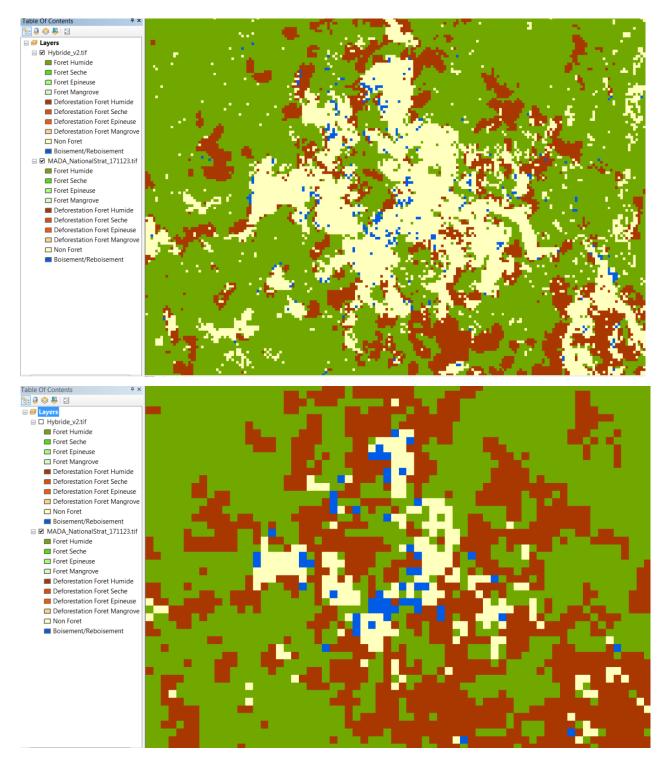


Figure 3 : Example de l'application de l'arbre de décision et le rééchantillonnage.

Mai 2018 33

.





I.3. Précision et niveau de confiance ciblés

Au niveau national, le niveau de confiance que nous allons adopter sera 10% à 90%. Ce niveau de confiance est aussi cohérence avec la précision du facteur d'émission

I.4. Calcul du nombre d'échantillonnage

Pour l'échantillonnage stratifié, le calcul de nombre d'échantillon sera fait à l'aide formule de Cochran [5]

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\hat{0})]^2 + (\frac{1}{N}) \sum W_i S_i^2} \approx (\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{0})})^2$$

Où : N est le nombre de pixel dans la zone d'intérêt ;

 $S(\hat{O})$ est l'erreur standard de toute précision estimé que nous voudriez atteindre :

Wi est la proportion de chaque classe i et

Si est la variance de la strate i, $S_i = \sqrt{U_i(1-U_i)}$

I.5. Localisation des échantillons

Une fois que le calcul de nombre d'échantillon par strate a été fait, la sélection du nombre d'échantillons va se faire avec un script de R. Les données d'entrées sont des nombres d'échantillon par strate et les résultats obtenus seront : un fichier csv qui contient tous les points d'échantillonnage et un fichier shapefile qui contient des placettes chaque point d'échantillonnage.

II. Système de réponse :

II.1. Unité d'échantillonnage





La résolution spatiale de la carte est 90mx90m ce qui donne une superficie d'un pixel égale à 0,81 ha. L'unité d'échantillonnage sera une placette de 90mx90m co-registré sur le pixel de la carte.

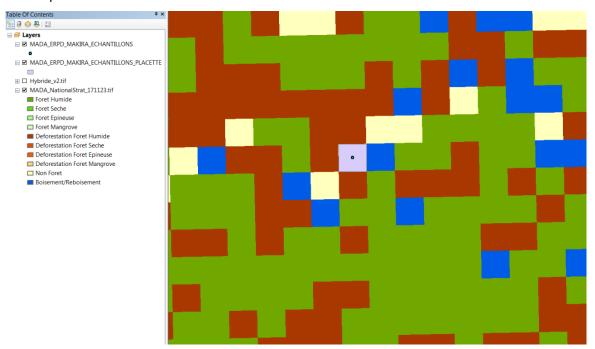


Figure 4 : Exemple de placette d'échantillonnage

.

II.2. Source des données de référence

Plusieurs sources des données seront utilisées pour ce travail : Images Landsat 5, 7 et 8 ; Images Sentinel 2, Aster d'Earth engine ; Images google Earth de Digital Globe et d'Air Bus/CNS et Bing aireal de google. Autres sources d'images, comme SPOT et Tree Cover Map de l'Universite de Maryland, seront utilisées pour confirmer une labélisation de chaque classe.

Pour avoir accès à toutes ces ressources, Madagascar va travailler sur OpenForis Collect Earth et QGIS.





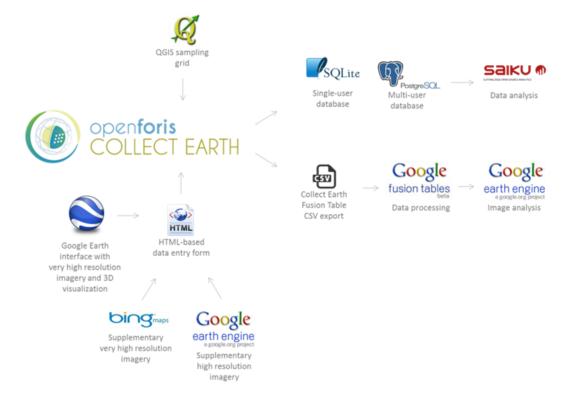


Figure 5 : Collect Earth et relation avec d'autres plateformes

II.3. Protocole de labélisation.

La classification des unités d'échantillonnage de référence est fait avec l'aide d'une grille 5 x 5 systématique de points. Si la majorité des points (plus de 12) tombe sur terre forestière, l'unité est classifiée comme forêt.







Figure 6 : Unité d'échantillonnage en Google Earth - Collect Earth

.

Pour déterminer si les points tombent sur forêt, il faut identifier les objets qui correspondent à une forêt, i.e. superficie minimale de 1 ha et couverture de canopée de plus de 30%. Dans l'exemple ci-dessus, on peut constater qu'il y a un objet de plus de 1 ha et que 24 points tombent sur cet objet, donc l'unité est classifiée comme forêt.







Figure 7 : Exemple de classification de l'unité

L'interprétation en 2006 est faite avec le même critère. Si on trouve des différences dans la classification, cela veut dire un changement de couverture qui doit être enregistré.

Les classes de couverture à considérer sont les mèmes que la carte.

III. Système d'analyse :

Le système d'analyse est conforme avec les recommendations du GFOI⁵.

La superficie de déforestation peut être calculée en multipliant la superficie totale de l'aire d'intérêt (sampling frame) A par l'estimateur stratifiée de proportion de de la variable i qui est la déforestation (\hat{p}_{DEF}). On pourrait utiliser d'autres estimateurs statistiques, mais la pratique commune en ce moment sont les estimateurs stratifiés. Cette valeur est la proportion de la région d'intérêt classifiée comme déforestation.

⁵ https://www.reddcompass.org/documents/184/0/MGD2.0_French/a43e9d95-15cf-4487-8256-673efaa5f351#page=187





$$A_{DEF} = A \times \hat{p}_{DEF}$$

Afin de calculer l'estimateur stratifiée (\hat{p}_{DEF}) , on multiplie le poids de chaque strate h (W_h) par la proportion de chaque strate h $(\overline{p}_{h,l})$

$$\hat{p}_{DEF} = \sum_{h}^{H} W_{h} \overline{p_{h,DEF}}$$

Le poids est calculé en base à la carte, la proportion est calculée en base aux échantillons.

L'erreur absolue à 90% de confiance est équivalente à la moitié de l'intervalle de confiance (« Half Width of the Confidence Interval »). On calcul l'erreur absolu avec l'équation suivante :

$$Error_{90\%} = t_{student} \cdot \sqrt{Var(p_{DEF})}$$

Où, t $t_{student}$ est la t-student à 90% de niveau de confiance (aprox. 1.67) et $\sqrt{Var(p_{DEF})}$ est l'erreur standard ou déviation typique de la moyenne d'échantillonnage. $\widehat{Var}(p_{DEF})$ est la variance de la moyenne, la quelle en ce cas est l'estimateur stratifié présenté ci-dessus.

La variance est calculée avec l'équation suivante, ou Wi est le poids de chaque strate, ni est le nombre d'échantillons en chaque strate, et $\hat{\sigma}_i^2$ est la variance d'échantillonnage.

$$\widehat{Var}(p_{DEF}) = \sum_{h=1}^{H} W_h^2 \times Var(\overline{p_{h,DEF}})$$

On calcule ce variance avec l'équation suivante :

$$\hat{\sigma}_h^2 = \operatorname{Var}(\overline{p_{h,DEF}}) = \frac{p_{h,DEF}(1 - p_{h,DEF})}{n_h - 1}$$





Dates et périodes de référence

La période de référence du NERF national est de 2006-2015, du 1er janvier 2006 au 31 décembre 2015. La période de référence couvre donc 10 ans

Données d'activités par écorégion

Cette section présente les résultats d'analyse des données d'activité par écorégion. Il n'existe pas de modèle officiel de rapport pour retranscrire les données d'activités d'un NERF national soumis à la CNUCC.

Descriptio n du paramètre	Perte annuelle de forêt humide
Sources ou puits concernés par le paramètre considéré :	Le paramètre concerne l'estimation des GES dus à la déforestation. C'est-à-dire: A (j, i) - Conversion annuelle du type de forêt j (forêts) aux utilisations des terres non forestières (non forestières) au cours de la période 2006-2015
Unité de la donnée :	Hectares par an
Valeur du paramètre	Activité Type Surface (ha/an) Deforestation Forêt humide 28 907
Source de la donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la donnée:	Comme indiqué précédemment, l'inférence basée sur le plan des unités d'échantillonnage de référence et la carte de changement du couvert forestier comme carte de stratification ont été utilisées pour estimer les données d'activité. Toutes les étapes ci-dessous ont été faites suite à un ensemble de procédures opératoires standard qui peuvent être trouvées sur le site web de BNCR http://bnc-redd.mg/index.php?lang=fr .





Plan d'échantillonnage

Estimateur:

Estimateur aléatoire stratifié d'une proportion

Stratification:

Une carte changement de la couverture forestière est utolosée comme critère stratification. Cette care est une combinaison d'une carte de la couverture forestière pour 2005, une carte de déforestation et une carte de gain forestière, qui a été simplifié dans la légende montrée cidessous. Cette carte a été ré-échantillonnée à 90 mètres et le système de classification a été simplifié. Un arbre de décision a été apliqué pour assigner le strate à chaque pixel.

Tableau 6 : stratification utilisée pour l'estimation des données d'activité

Strate

- 1. Forêt
- 5. Déforestation
- 9. Non Forêt
- 10. Gains

Précision et niveau de confiance ciblés :

Au niveau national, le niveau de confiance que nous allons adopter sera 20% à 95%. Ce niveau de confiance est aussi cohérence avec la précision du facteur d'émission

Calcul du nombre d'échantillonnage :

Pour l'échantillonnage stratifié, le calcul de nombre d'échantillon sera fait à l'aide formule de Cochran [5]

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\hat{0})]^2 + (\frac{1}{N}) \sum W_i S_i^2} \approx (\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{0})})^2$$

Où : N est le nombre de pixel dans la zone d'intérêt ;

S(Ô) est l'erreur standard de toute précision estimé que nous voudriez atteindre ;





Wi est la proportion de chaque classe i et

Si est la variance de la strate i, $S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)}$

Le nombre d'échantillon est estimé à l'aide d'une approche itérative et utilisé la proportion de la déforestation totale comme la variable d'intérêt :

- Tout d'abord, 100 unités d'échantillonnage ont été collectées par strate.
- Un calcul de la taille de l'échantillon a été fait, et 660 échantillons supplémentaires ont été ajoutés dans toutes les strates.

L'attribution d'échantillon est basée sur l'approche proportionnelle comme montré dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion humide

Cod e	Classe	Proportio n	Poid s	Nombre d'échantillo n	Nombre d'échantillon s retenu
1	FH	0.030	0.22	432	432
5	Déforestation FH	0.170	0.10	427	428
9	NF	0.000	0.64	100	100
10	Gains	0.010	0.04	100	100
Total					1060

Unité d'échantillonnage

La région d'intérêt est divisée en éléments d'échantillonnage de 90 mx 90 m qui correspondent à la taille en pixels de la carte de stratification. Le tirage des échantillons a été effectué en sélectionnant des carrés de 90 mx 90 m dans chaque strate, c'est-à-dire une approche par population finie. Un exemple de localisation et d'ajustement d'une unité d'échantillonnage est fourni ci-dessous.





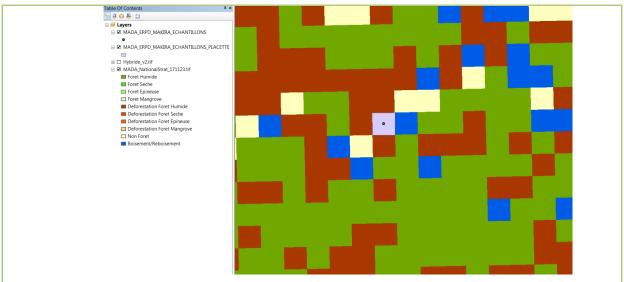


Figure 8 : exemple de stratification et unité d'échantillonnage pour l'écorégion de forêt humide

Cela a été fait grâce à un script R qui peut être trouvé dans les SOP qui peuvent être trouvées sur le site de BNCR http://bnc-redd.mg/index.php?lang=fr.

Unité d'évaluation spatiale:

L'unité d'évaluation spatiale est une zone quadrillée de 90 mètres de côté qui contient 25 points à l'intérieur et qui est centrée sur le point aléatoire choisi dans la base de sondage. Considérant que l'erreur de géolocalisation acceptable de l'imagerie Landsat est de 30 mètres, cette unité d'évaluation spatiale serait justifiée.

Cependant, en termes de soutien spatial, les informations au-delà des limites de la placette ont été utilisées pour évaluer si un objet dans l'unité d'évaluation serait conforme à l'unité de cartographie minimale.





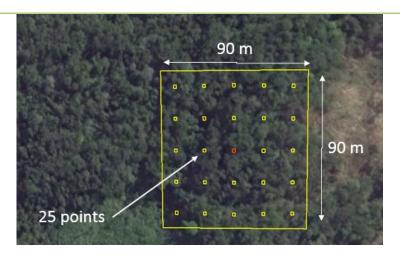


Figure 9 : **Unité d'échantillonnage en Google Earth pour l'écorégion de forêt humide**

Source des données de référence :

Les données de référence dans ce cas seront recueillies grâce à l'interprétation visuelle de toutes les images satellitaires disponibles pour le pays. Ceci comprend:

- SPOT 6/7: Imagerie haute résolution (résolution de 5 m) pour 2014/2015
- Google Earth et Bing: toutes les images haute et très haute résolution accessibles via Google Earth et Bing. La couverture spatiale de l'imagerie à très haute résolution dans la zone du programme des urgences est relativement élevée, de nombreuses zones étant couvertes de 2005 à 2015.
- Aster: Résolution de 15 mètres de 2000 à 2009
- Landsat 5 TM et 7 ETM +: Disponible via google earth engine.
- Landsat 8 OLI: Disponible via google earth engine pour 2013-2017.
- Sentinel 2A MSI: Disponible via google earth engine pour 2015-2017

On considère que ce sont des données de référence car la plupart des





interprétations seront basées sur l'interprétation directe d'images à plus haute résolution pour différentes périodes, ce qui fournit l'information contextuelle temporelle nécessaire.

Protocole de labélisation

Classification Forest / Non Forest: Afin d'attribuer l'état de la forêt à l'échantillon, l'interprète évalue combien de points de la grille tomberaient sur la forêt (un objet différencié qui a au moins un ha dans la zone et a 30% de couverture de la canopée des arbres). Si au moins 13 points (> 50% des points) tombent en forêt, le point serait classé comme forêt, sinon comme non forestier. Cette méthode garantit qu'il n'y a pas de surreprésentation de la forêt, ce qui arrive avec les systèmes de classification hiérarchiques. Dans l'exemple ci-dessous, bien que seulement 10 points tombent sur la canopée, 18 points tombent dans la zone forestière, de sorte que l'unité d'échantillonnage serait classée comme forêt.

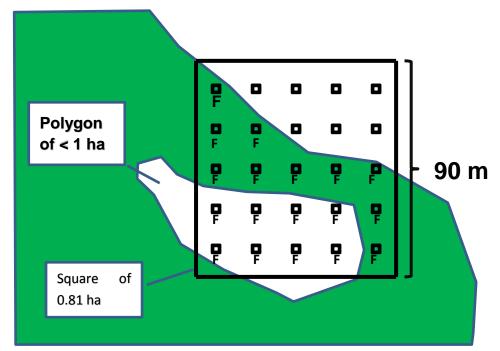


Figure 10 : Exemple de classification de l'unité dans l'écorégion de forêt humide





- L'interprétation a été basée sur un protocole qui se trouve sur le site de BNCR http://bnc-redd.mg/index.php?lang=fr.
- AQ / CQ: Un certain nombre de procédures d'AQ / CQ ont été appliquées:

Les résultats de l'interprétation sont les suivants:

Tableau 8 : Unité d'échantillonnage par strate pour l'écorégion de forêt humide

			Strate		
Activité	Туре	1	5	10	9
Deforestation	Forêt humide	6	50	0	1
Total de nombre d'unité d'échantillonnage		432	428	100	100

Système d'analyse

Le système d'analyse est conforme avec les recommandations du GFOI⁶.

La superficie de déforestation peut être calculée en multipliant la superficie totale de l'aire d'intérêt (sampling frame) A par l'estimateur stratifiée de proportion de de la variable i qui est la déforestation (\hat{p}_{DEF}). On pourrait utiliser d'autres estimateurs statistiques, mais la pratique commune en ce moment est les estimateurs stratifiés.

Cette valeur est la proportion de la région d'intérêt classifiée comme déforestation.

$$\widehat{A}_{DEF} = \mathbf{A} \times \widehat{p}_{DEF}$$

Afin de calculer l'estimateur stratifiée (\hat{p}_{DEF}), on multiplie le poids de chaque strate h (W_h) par la proportion de chaque strate h ($\overline{p}_{h,i}$)

⁶ https://www.reddcompass.org/documents/184/0/MGD2.0_French/a43e9d95-15cf-4487-8256-673efaa5f351#page=187





$$\widehat{p}_{DEF} = \sum_{h}^{H} W_{h} \overline{p_{h,DEF}}$$

Le poids est calculé en base à la carte, la proportion est calculée en base aux échantillons.

Afin de convertir les proportions en zones, la proportion moyenne est multipliée par la superficie totale de la région d'intérêt de 19 338 967 ha. Cette zone est la somme de tous les éléments de la population (pixels).

Tableau 9 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt humide

Activité	Туре	Estimation stratifiée	Estimation de surface (ha)
Deforestat	ion Forêt humide	0.015	289 071

Afin d'exprimer la proportion de la déforestation sur une base annuelle, l'estimation de l'échantillon est divisée par la durée de la période de référence (c'est-à-dire 10 ans).

Tableau 10 : Estimation de données d'activité dans l'écorégion de forêt humide

Activité	Туре	Surface (ha/an)
Deforestation	Forêt humide	28 907

AQ/QC

- Les procédures de CQ dans ce cas consistent en la mise en place d'une Procédure Opératoire Standard (POS) pour l'interprétation des échantillons et l'application des procédures de formation afin d'assurer la mise en œuvre correcte des POS. Les POS conçues avant la collecte des données peuvent être consultées sur le site web de BNCR http://bnc-redd.mg/index.php?lang=fr.
- · Les formes de Collect Earth ont également été conçues pour





implémenter des règles de validation qui éviteraient toute erreur de cohérence. Étant donné que les règles de validation ne pouvaient pas éviter toutes les erreurs d'incohérence possibles, les résultats des unités d'échantillonnage recueillies un jour ont été examinés par un interprète différent pour vérifier la cohérence.

- Des interprètes experts ont été utilisés, suffisamment formés, avec une PON spécifique pour l'interprétation.
- De plus, les interprètes indiquent si la qualité de l'interprétation est élevée ou faible, ce qui permet de filtrer les points de mauvaise qualité dans l'interprétation. Toutes les unités d'échantillonnage étiquetées comme étant peu fiables sont réévaluées par un interprète expert.
- En termes d'AQ, 10% ont été examinés par un interprète expert et toutes les incohérences ont été discutées avec le groupe d'interprètes.

Echelle	
spatiale:	

Le paramètre est applicable à l'écorégion des forêts humides sur une superficie totale (c.à.d. forêt et non-forêt) de 19 338 967 ha.

Analyse

des

principales incertitude

L'incertitude principale est l'incertitude d'échantillonnage

s:

Estimatio de l'exactitud précision et/ou degré de

confiance

L'erreur absolue à 90% de confiance est équivalente à la moitié de e, de la l'intervalle de confiance (« Half Width of the Confidence Interval »). On calcul l'erreur absolu avec l'équation suivante :

$$Error_{90\%} = t_{student} \cdot \sqrt{\widehat{Var}(p_{DEF})}$$

Où, t $t_{student}$ est la t-student à 90% de niveau de confiance (aprox. 1.67) et $\sqrt{Var}(p_{DEF})$ est l'erreur standard ou déviation typique de la

> Mai 2018 48





moyenne d'échantillonnage. $\widehat{Var}(p_{DEF})$ est la variance de la moyenne, la quelle en ce cas est l'estimateur stratifié présenté ci-dessus.

La variance est calculée avec l'équation suivante, ou Wi est le poids de chaque strate, ni est le nombre d'échantillons en chaque strate, et $\hat{\sigma}_i^2$ est la variance d'échantillonnage.

$$\widehat{Var}(p_{DEF}) = \sum_{h=1}^{H} W_h^2 \times \operatorname{Var}(\overline{p_{h,DEF}})$$

On calcule cette variance avec l'équation suivante :

$$\widehat{\sigma}_h^2 = \text{Var}(\overline{p_{h,DEF}}) = \frac{p_{h,DEF}(1 - p_{h,DEF})}{n_h - 1}$$

Tableau 11 : Incertitude des estimations des données d'activité dans l'écorégion de forêt humide

Activité	Туре	Erreur Standard (proportion)	90 % confidence- erreur marginale relative
Deforestation	Forêt humide	0.002	22%

Descriptio n du paramètre :	Perte annuelle de forêt sèche
Sources ou puits concernés par le paramètre considéré :	Le paramètre concerne l'estimation des GES dus à la déforestation. C'est-à-dire: A (j, i) - Conversion annuelle du type de forêt j (forêts) aux utilisations des terres non forestières (non forestières) au cours de la période 2006-2015
Unité de la donnée :	Hectares par an





Valeur	du
paramèt	tre

Activité	Туре	Surface (ha/an)
Deforestation	Forêt sèche	104 428

Source de la donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la

donnée :

Voir Source de donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la donnée dans l'écorégion humide précédemment.

• Les échantillons collecté qui sont 100 par strate

Tableau 12 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion de forêt sèche

Cod e	Classe	Proportio n	Poid s	Nombre d'échantillo n	Nombre d'échantillon s retenu
1	F sèche	0.020	0.09	189	100
5	Déforestation F sèche	0.160	0.03	171	100
9	NF	0.030	0.87	2180	100
10	Gains	0.000	0.00	100	0
Total					300

Les résultats de l'interprétatio

Tableau 13 : Unité d'échantillonnage par strate

		Strate			
Activité	Туре	1	5	10	9
Deforestation	Forêt sèche	2	16	0	3
Total de nombre d'unité d'échantillonnage		100	100	0	100

 les proportions en zone, qui n'est autre que la proportion moyenne est multipliée par la superficie totale de la région d'intérêt de 31 501 279 ha. C'est-à-dire la somme de tous les éléments de la population (pixels)





Table 14 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt sèche

Activité	Туре	Estimation stratifiée	Estimation de surface (ha)
Deforestation	Forêt sèche	0.033	1 044 280

donnée d'activité

Table 23:

Table 15 : Estimation de données d'activité pour l'écorégion de forêt sèche

Activité	Туре	Surface (ha/an)
Deforestation	Forêt sèche	104 428

Echelle

Le paramètre est applicable à l'écorégion des forêts sèches sur une

spatiale: superficie totale (c.à.d. forêt et non-forêt) de 31 501 279 ha.

Analyse

des

L'incertitude principale est l'incertitude d'échantillonnage

principales incertitudes

•

Estimation de

uc ..

l'exactitude , de la

précision et/ou du degré de

confiance:

Même méthode que dans l'écorégion Forêt humide.

Tableau 16 : Incertitude des estimations des données d'activité pour l'écorégion de forêt sèche

Activité	Туре	Erreur	90 %
		Standard	confidence-
		(proportion)	erreur
			marginale
			relative
Deforestation	Forêt sèche	0.015	75%

Descriptio n du paramètre

Perte annuelle de forêt épineuse





puits

Sources ou Le paramètre concerne l'estimation des GES dus à la déforestation.

C'est-à-dire:

concernés par paramètre

le A (j, i) - Conversion annuelle du type de forêt j (forêts) aux utilisations des terres non forestières (non forestières) au cours de la période

considéré : 2006-2015

Unité de la Hectares par an

donnée:

Valeur du	
paramètre	Act

Activité	Туре	Surface (ha/an)
Deforestation	Forêt épineuse	9 204

Source de la donnée ou description de méthode utilisée pour obtenir la donnée:

Voir Source de donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la donnée dans l'écorégion humide précédemment.

la Mais les différences sont :

• Les échantillons collecté qui sont 100 par strate

Tableau 17 Calcul de nombre d'échantillon par strate pour l'écorégion de forêt épineuse

Cod e	Classe	Proportio n	Poid s	Nombre d'échantillo n	Nombre d'échantillon s retenu
1	F épineuse	0.020	0.09	505	100
5	Déforestation F épineuse	0.160	0.03	497	100
9	NF	0.030	0.87	100	100
10	Gains	0.000	0.00	100	100
Total					400

Les résultats de l'interprétation

Tableau 18: Unité d'échantillonnage par strate pour l'écorégion de forêt épineuse

> Mai 2018 52





			Str	ate	
Activité	Туре	1	5	10	9
Deforestation	Forêt épineuse	1	18	7	0
Total de nombre d'unité d'échantillonnage		100	100	100	100

 les proportions en zone, qui n'est autre que la proportion moyenne est multipliée par la superficie totale de la région d'intérêt de 5 402 851 ha. C'est-à-dire la somme de tous les éléments de la population (pixels)

Tableau 19 : Estimation de proportions pour l'écorégion de forêt épineuse

Activité	Туре	Estimation stratifiée	Estimation de surface (ha)
Deforestation	Forêt épineuse	0.017	92 043

donnée d'activité

Tableau 20 : Estimation de données d'activité pour l'écorégion de forêt épineuse

	Activité	Туре	Surface (ha/an)	
	Deforestation	Forêt épineuse	9 204	
Echelle spatiale	•	est applicable à l'é ale (c.à.d. forêt et no	•	ts épineuses sur une 851 ha.
Analyse des principales incertitudes :	L'incertitude p	orincipale est l'incert	itude d'échantillor	nnage
Estimation de l'exactitude , de la	Même métho	de que dans l'écoré	gion Forêt humide) .





précision et/ou du degré de confiance,

Tableau 21 : Incertitude des estimations des données d'activité pour l'écorégion de forêt épineuse

Activité	Туре	Erreur Standard (proportion)	90 % confidence- erreur marginale relative
Deforestation	Forêt épineuse	0.004	41%

Descriptio n du paramètre :	Perte annue	Perte annuelle de mangroves				
Sources ou puits concernés par le paramètre considéré :	C'est-à-dire : A (j, i) - Con	A (j, i) - Conversion annuelle du type de forêt j (forêts) aux utilisations des terres non forestières (non forestières) au cours de la période				
Unité de la donnée :	Hectares par an					
Valeur du						
paramètre	Activité	Туре	Surface (ha/an)			
	Deforestation	Forêt mangrove	1 018			





Source de la donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la donnée:

Voir Source de donnée ou description de la méthode utilisée pour obtenir la donnée dans l'écorégion humide précédemment.

la Mais les différences sont :

Les échantillons collecté qui sont 100 par strate

Tableau 22 : Calcul de nombre d'échantillon par strate pour Mangrove

Cod e	Classe	Proportio n	Poid s	Nombre d'échantillo n	Nombre d'échantillon s retenu
1	F Mangrove	0.020	0.09	1324	100
5	Déforestation F Mangrove	0.160	0.03	206	100
9	NF	0.030	0.87	460	100
10	Gains	0.000	0.00	100	0
Total					300

Les résultats de l'interprétation

Tableau 23 : Unité d'échantillonnage par strate pour Mangrove

			Strate		
Activité	Туре	1	5	10	9
Deforestation	Forêt Mangrove	3	28	0	2
Total de nombre d'unité d'échantillonnage		100	100	0	100

 les proportions en zone, qui n'est autre que la proportion moyenne est multipliée par la superficie totale de la région d'intérêt de 274 995 ha. C'est-à-dire la somme de tous les éléments de la population (pixels)





Tableau 24: Estimation de proportions pour Mangrove

Activité	Туре	Estimation stratifiée	Estimation de surface (ha)
Deforestation	Forêt mangrove	0.037	10 184

• donnée d'activité

Deforestation

Tableau 25 : Estimation de données d'activité pour Mangrove

Activité	Туре	Surface (ha/an)
Deforestation	Forêt mangrove	1 018

Echelle spatiale	Le paramètre est applicable à l' superficie totale (c.à.d. forêt et non	écorégion des mangroves sur une forêt) de 274 995 ha.
Analyse des principales incertitudes :	L'incertitude principale est l'incertitu	ude d'échantillonnage
Estimation de l'exactitude , de la précision		on Forêt humide.
et/ou du Tableau 26 : Incertitude des estimations des d		ations des données d'activité
degré de confiance:	Activité Type	Erreur 90 % Standard confidence- (proportion) erreur

Forêt mangrove

Mai 2018 56

0.012

marginale relative

55%





5 STOCKS DE CARBONE ET FACTEURS D'EMISSION

L'estimation de la biomasse forestière par écorégion a été développée à partir des sources suivantes :

- Ecorégion des forêts denses humides : analyse des 567 placettes d'inventaire issues du projet PERR-FH;
- 2. Ecorégion des forêts sèches : analyse de 64 grappes de placettes (3 placettes par grappe) issues de l'inventaire forestier de 2017 ;
- 3. Ecorégion des forêts épineuses : analyse de 106 grappes de placettes (3 placettes par grappes) issues de l'inventaire forestier national de 1996 ;
- 4. Ecorégion des mangroves : estimation basée sur la publication de Jones et al. (2014).

La biomasse de la strate non-forêt a été estimée à partir de la publication de Andriamananjara et al. (2016).

La biomasse souterraine a ensuite été calculée à partir des rapports des systèmes racinaires/foliacés (*root-shoot ratios*, RSR) publiés dans l'article de Mokany et al. (2006).

Finalement, les facteurs d'émissions ont été calculés en soustrayant, par écorégion, la biomasse de la strate non-forêt à celle de la strate forestière (voirTableau 27) puis en convertissant cette perte de biomasse en émissions de CO₂.

Tableau 27 : Calcul des facteurs d'émission

OCCUPATION DU SOL INITIALE	OCCUPATION DU SOL APRÈS DÉFORESTATION	FACTEUR D'EMISSION
Forêt Humide	Non-forêt	Déforestation Foret Humide (D _{FH})
Forêt Séche	Non-forêt	Déforestation Forêt Séche (D _{FS})
Forêt Épineuse	Non-forêt	Déforestation Forêt Épineuse (DFE)
Forêt Mangrove	Non-forêt	Déforestation Mangroves (D _M)





5.1 DESCRIPTION DES DONNEES D'INVENTAIRE FORESTIER

5.1.1 L'inventaire forestier de 1996

L'IEFN 1996 constitue jusqu'à l'heure actuelle le premier et seul inventaire écologique et forestier qui couvre l'ensemble des écosystèmes terrestres de Madagascar. L'IEFN 1996 avait pour but de combler les lacunes d'information concernant l'état actuel et l'évolution des ressources forestières de Madagascar, informations jugées indispensables pour une gestion stratégique et durable des ressources forestières au niveau national et régional. Il s'était ainsi fixé comme objectif de connaître la localisation et la distribution dans l'espace des différentes formations forestières.

La méthode utilisée dans le cadre de l'IEFN 1996 comportait deux phases :

- · la première phase d'inventaire, dédiée au traitement et à l'interprétation visuelle d'images satellites LANDSAT5 dans le but de réaliser une cartographie numérique des formations forestières,
- la deuxième phase d'inventaire, dédiée à la récolte par échantillonnage terrestre des principaux paramètres dendrologiques, dendrométriques, floristiques et faunistiques des formations forestières importantes et la constitution d'une base de données informatique dans le but d'examiner et d'analyser les données récoltées.

L'inventaire est constitué de 196 « camps », contenant chacun 5 grappes. L'une des cinq grappes est directement localisée au centre du camp, tandis que les autres sont placées à 1 km de la grappe centrale vers le nord, l'est, le sud et l'ouest (voir Figure 11).

Les dispositifs d'échantillonnages en grappes se divisent en deux types d'unités :

- grappe à six placettes, dans les forêts denses humides sempervirentes : échantillons aux sommets et à mi-distance des côtés d'un triangle équilatéral de 80m de côté ;
- grappes à trois placettes, dans les forêts denses sèches décidues et dans les fourrés xérophiles : échantillons aux sommets d'un triangle équilatéral de 40m de côté.





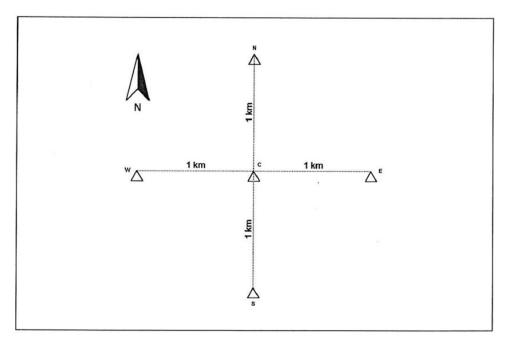


Figure 11 : Disposition des camps d'inventaire de 1996 (Source: IEFN 1996)

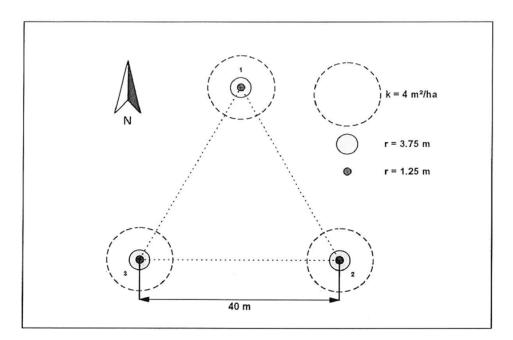


Figure 12 : Disposition des grappes d'inventaire de 1996 pour les forêts sèche et Épineuse (Source: IEFN 1996)





L'IEFN 1996 a relevé des paramètres dendrologiques et dendrométriques sur les individus échantillonnés et a également relevé des paramètres écologiques, floristiques, faunistiques et d'utilisation des ressources.

A l'issue de l'IEFN 1996, il a été recensé 773 échantillons au total, avec 678 espèces appartenant à 378 genres et à 116 familles. Ainsi, une carte de végétation de Madagascar à l'échelle du 1/200 000 a été produite pour l'année 1996 (FTM, ONE, Direction des Eaux et Forêts).

Les domaines phytogéographiques délimités ont été présentés dans la partie 2.

5.1.2 L'inventaire forestier du PERR-FH 2014

L'inventaire forestier PERR-FH a été mené en 2014 et a couvert l'ensemble de l'écorégion des forêts humides de l'Est. L'objectif était de déterminer les facteurs d'émission à utiliser avec les données d'activités de déforestation afin de quantifier le niveau de référence des émissions au sein de cette écorégion. Cet inventaire a permis également de développer la carte éco-régionale des stocks de carbone du sol.

Le cadre méthodologique pour cet inventaire peut se résumer comme suit : (i) utilisation des données existantes, (ii) stratification basée sur celle de l'IEFN 1996, (iii) Méthode d'échantillonnage (avec une précision de 10% à 95% de probabilité), (iv) Réservoirs carbones mesurés, (v) types de données à collecter (selon le manuel de la DGF), (vi) Echantillons et placettes, (vii) traitement (modèle allométrique, logiciel de traitement d'inventaire).

Concernant la méthode de relevé des données sur le terrain : les réservoirs de carbones mesurés sont la biomasse aérienne vivante et la biomasse morte debout. Le dispositif d'inventaire distingue deux niveaux d'organisation : (i) les grappes d'inventaires à trois échantillons (A, B et C) disposés sous forme de triangle équilatéral de 200m de côté et (ii) les placettes d'inventaires regroupant chacune quatre sous-échantillons (1,2, 3 et 4) circulaires pour le relevé des grands arbres, des arbres moyens, des petits arbres et de la régénération naturelle.





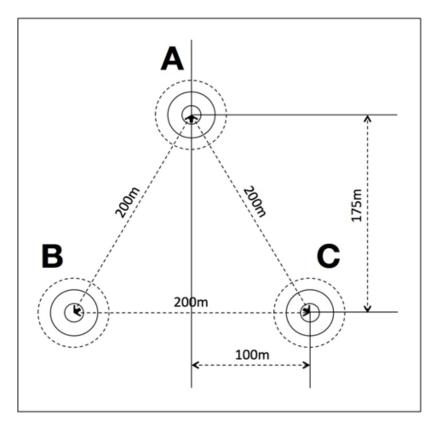


Figure 13: Disposition des grappes d'inventaire PERR FH

Figure 13montre La schématiquement une grappe d'inventaire avec les trois placettes qui la composent. Chaque grappe d'inventaire est composée trois de placettes d'inventaire disposées en triangle. Les placettes (ou échantillons) définies sont par coordonnées géographiques de leur centre. Les centres des placettes sont identifiés à l'aide du GPS et marqués de manière permanente à l'aide de piquets en acier. Chaque placette photographiée d'un point situé environ 10 m

aval du centre de la placette (Geotagging).

Chaque placette

d'inventaire est divisée en quatre sous-placettes ou sous-échantillons (cf. Figure 14) :

1-Grands arbres:

Arbres avec dhp ≥ 30 cm ;Identifiés à partir du centre de la placette à l'aide du Relaskop en utilisant le facteur 2.

2-Arbres moyens:

Arbres avec dhp \geq 15 cm et dhp < 30 cm ; Relevés dans un cercle avec 10 m de rayon.

3-Petits arbres:

Arbres avec dhp ≥ 5 cm et dhp < 15 cm; Relevés dans un cercle avec 4 m de rayon.

4-Régénération naturelle :

Arbres avec dhp < 5 cm; Relevés dans un cercle avec 1 m de rayon, décalé de 15 à 20 m.





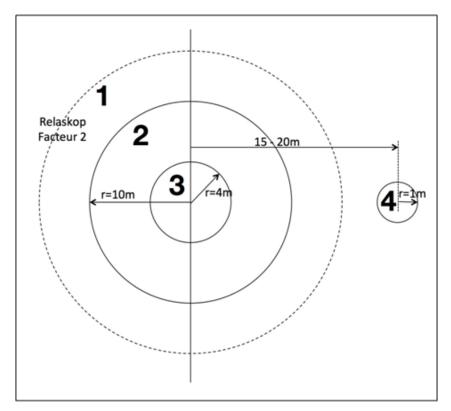


Figure 14 : Disposition des placettes d'inventaire PERR-FH

Les types de données à collecter sont : les renseignements généraux, les paramètres dendrométriques et dendrologiques (DHP, hauteur totale)

Dans le cadre de cet inventaire, 567 placettes ou 189 grappes ont été inventories selon la carte ci-dessous.





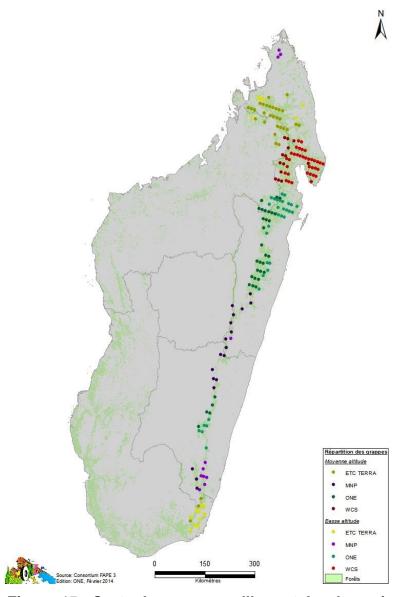


Figure 15 : Carte des grappes d'inventaire du projet PERR-FH (2014)





5.1.3 L'inventaire forestier de l'écorégion des forêts sèches de l'ouest 2017

L'inventaire forestier de l'écorégion des forêts sèches de l'ouest a été mené en 2017. L'objectif était de déterminer les facteurs d'émission à utiliser avec les données d'activités de déforestation afin de permettre de quantifier et de mettre à jour le niveau de référence des émissions au sein de cette écorégion.

Le cadre méthodologique pour cet inventaire peut se résumer comme suit : (i) utilisation des données existantes, (ii) stratification basée sur celle de l'IEFN 1996, (iii) Méthode d'échantillonnage (avec une précision de 10% à 95% de probabilité), (iv) Réservoirs carbones mesurés, (v) types de données à collecter (selon le manuel de la DGF), (vi) Echantillons et placettes, (vii) traitement (modèle allométrique, logiciel de traitement d'inventaire).

Concernant la méthode de relevé des données sur le terrain : les réservoirs de carbones mesurés sont la biomasse aérienne vivante et la biomasse des arbres morts sur pied, arbres morts abattus et les souches. Le dispositif d'inventaire distingue deux niveaux d'organisation : (i) les grappes d'inventaires à trois échantillons (A, B et C) disposés sous forme de triangle équilatéral de 200m de côté et (ii) les placettes d'inventaires regroupant chacune trois sous-échantillons (1,2, et 3) circulaires pour le relevé des grands arbres, des arbres moyens, et des petits arbres.

Le lien sur les document relatif à la méthodologie et au protocole d'inventaire de l'inventaire de l'écorégion de forêt sèche de l'ouest est le suivant : http://bnc-redd.mg/images/documents/rapports/20180115/Protocole-dinventaire-de-lcosystme-des-forts-sches-de-lOuest.pdf

Les types de données à collecter sont : les renseignements généraux, les paramètres dendrométriques et dendrologiques (DHP, hauteur totale)

Dans le cadre ces travaux d'inventaire, 64 grappes ou 192 placettes ont été inventoriés réparties dans l'ensemble de l'écorégion de l'ouest selon la carte cidessous en suivant une échantillonnage aléatoire en utilisant comme portée d'échantillonnage la carte décrite dans le Chapitre 4:





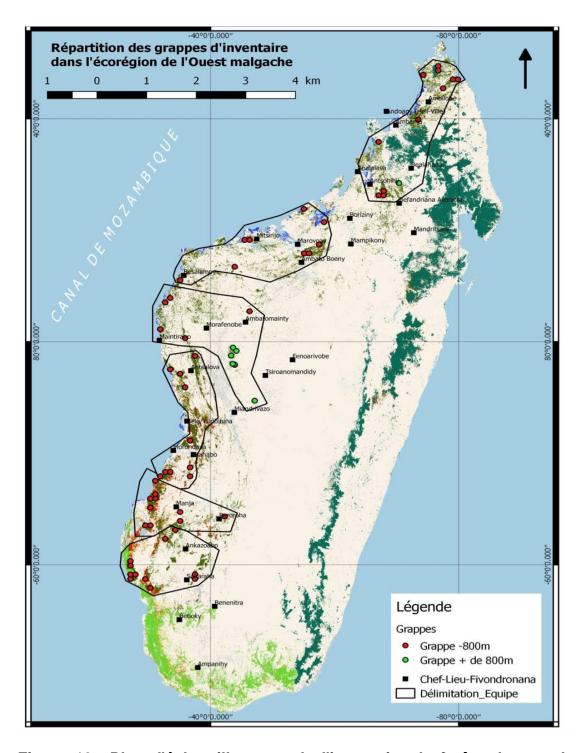


Figure 16 : Plan d'échantillonnage de l'inventaire de forêts denses de l'ouest





5.2 LA BIOMASSE AERIENNE, LA BIOMASSE DU BOIS MORT ET CARBONE ORGANIQUE DU SOL

5.2.1 Forêt humide

Le calcul de la biomasse aérienne dans l'écorégion des forêts humides a été réalisé à partir des 567 placettes d'inventaires réparties en 189 grappes mises en place dans le cadre du projet PERR-FH (*cf.* résumé dans la section 5.1.2 ou le Livrable 2 de l'étude PERR-FH annexé à ce rapport). Nous considérons ici que la grappe est l'unité d'échantillonnage.

Le traitement des données de l'inventaire PERR-FH a été réalisé de la manière suivante (Figure 17**Error! Reference source not found.**) :

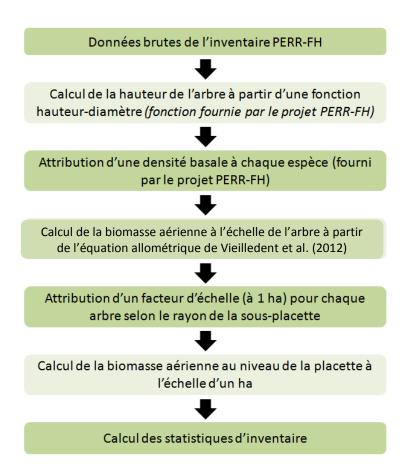


Figure 17 : Description du traitement des données de l'inventaire PERR-FH

Janvier 2018





Le rapport d'inventaire de PERR-FH (livrable 2) est fourni en annexe du présent rapport sous la forme d'un fichier distinct. Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (201805_PERR_FH_inventory_biomass.xlsx).

Les données sur les hauteurs des arbres collectées sur le terrain (2 519 arbres) ont été utilisées pour construire une relation hauteur-diamètre sur base d'une fonction proposée par Chave et al. (2014). Après analyse de ces données, la relation suivante a pu être développée :

$$H_{est} = 1,389036*exp(0,980517*ln(D))*exp(-0,07032031*(ln(D))^2)$$
 (1)

L'application de cette relation diamètre-hauteur aux arbres de l'inventaire de 1996 (écorégion des forêts humides) dont la hauteur a réellement été mesurée montre une surestimation de la hauteur d'environ 16%.

Les densités basales spécifiques des arbres inventoriés ont déjà été compilées par le projet PERR-FH. D'après Clovis Grinand (2016, *comm. pers.*), les valeurs de densités proviennent d'une part des Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de GES, et d'autre part de la base de données globale de densités de bois⁷. Lorsque la valeur de densité n'était pas disponible pour une espèce donnée, c'est la valeur moyenne de densité du genre ou de la famille qui était recherchée. Lorsqu'aucune de ces valeurs n'était disponible ou connue, c'est alors la valeur par défaut conservative⁸ de 0,5 qui était utilisée.

Ensuite, la biomasse était calculée à partir de l'équation allométrique de Vieilledent et al. (2012) :

$$AGB_{est} = EXP(-1.948+1.969*LN(D)+0.66*LN(H_{est})+0.828*LN(\rho))$$
 (2)

Avec:

AGB_{est} Biomasse aérienne estimée, exprimée en tonnes de matière sèche (tms)

- ρ Densité du bois (t/m³)
- D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) (cm)

⁷ Global wood density database (Chave et al. 2009; Zanne et al. 2009): http://datadryad.org/handle/10255/dryad.235

⁸ Les termes conservative or conservateur dans les contexte de ce document veut dire sousestimation des émissions GES du NERF. Cela est liée à le concept d'approche conservative consacrée dans la Decision 20/CMP.1 du Protocole de Kyoto.





Hest Hauteur totale de l'arbre estimée (m)

Après le calcul de biomasse au niveau de l'arbre, un facteur d'échelle a été attribué à chaque arbre pour transposer à l'échelle d'un hectare les valeurs calculées. Etant donné que chaque placette est constituée de 4 sous-placettes (voir Figure 14dans la section 5.1.2), différents facteurs d'échelle ont été attribués selon le diamètre de l'arbre (voir **Error! Reference source not found.** pour les sous-placettes de dimension fixe).

Tableau 28 : Facteur d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe – Inventaire forestier PERR-FH de 2014

DHP DE L'ARBRE [CM]	RAYON DE LA SOUS- PLACETTE [M]	DIMENSION DE LA SOUS-PLACETTE [M²]	FACTEUR D'ÉCHELLE DE CONVERSION À 1 HA
≥15<30	10	314,16	31,83
≥5<15	4	50,27	198,94
<5cm	1	3,14	3 183,10

Pour les arbres de diamètre ≥ 30 cm qui ont été sélectionnés au relascope (facteur 2), le facteur d'échelle a été calculé de la manière suivante :

$$SF=RCV * \frac{10,000}{\pi * c^2 * D^2}$$
 (4)

Avec:

SF facteur d'échelle, sans dimension

RCV valeur comptabilisée au relascope (0 ou 0,5 ou 1)

c c-value pour la surface terrière de facteur 2, sans dimension (ici 35,352)

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), en m

Le facteur d'échelle a ensuite été utilisé pour calculer la biomasse à l'échelle de 1 ha pour chaque arbre. Puis, les biomasses aériennes ont été sommées par grappe pour calculer les statistiques d'inventaire ().

Pour le bois mort sur pied, on a suivi le même processus de calcul que celle de la biomasse aérienne vu qu'on n'avait pas des indicateurs de l'état ou le degré de dégradation des arbres morts.

Les stocks de Carbone Organique au Sol (COS) de référence et leurs variations peuvent être soit modélisés, soit mesurés directement, soit les deux. Afin d'obtenir





une indication sur les stocks de carbone organique du sol de référence par défaut, les produits SoilGrids250m de l'ISRIC⁹ (Hengl et al., 2016) relatifs au pourcentage de carbone organique du sol, à la densité apparente, à la fraction de gravier et à la profondeur du substrat rocheux ont été utilisés pour calculer un stock de carbone organique du sol prédit pour 0 à 30 cm (c'est-à-dire la couche superficielle du sol). Même si SoilGrids250m n'avait pas pour objet de représenter l'état du COS dans les sols au cours de l'année 2000 (étant construit à partir de données sur les sols recueillies sur plusieurs décennies), il est cohérent à l'échelle mondiale et facilement accessible, contient les relations modélisées entre quelques profils pédologiques. Ces valeurs ont été obtenues à partir du rapport du Programme de définition des cibles en matière de Neutralité de la dégradation des terres (MEEF et al, 2018).

Tableau 29 : Statistiques de l'inventaire PERR-FH pour biomasse aérienne

PARAMÈTRES DE LA BIOMASSE AÉRIENNE	VALEUR
Moyenne [tms/ha]	262,18
Min [tms/ha]	28,82
Max [tms/ha]	520,56
Écart-type [tms/ha]	83,70
N	189,00
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	10,01
Intervalle de confiance à 90% [%]	3,82%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	252,16
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	272,19

⁹ World Soil Information. http://www.isric.org/





Tableau 30 : Statistiques de l'inventaire PERR-FH pour bois mort

PARAMÈTRES DU BOIS MORT (EN PIED)	VALEUR
Moyenne [tms/ha]	13,16
Min [tms/ha]	0,00
Max [tms/ha]	84,41
Écart-type [tms/ha]	13,61
N	189
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	1,63
Intervalle de confiance à 90% [%]	12,37%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	11,53
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	14,79

Tableau 31 : Statistique de carbone organique du sol dans l'écorégion humide

PARAMÈTRES DU SOC	VALEUR
Moyenne [tC/ha]	110.97
Min [tC/ha]	
Max [tC/ha]	
Écart-type [tC/ha]	39.17
N	125
Intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	5.76
Intervalle de confiance à 90% [%]	5.19
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	105.21
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	116.73

5.2.2 Forêt Épineuse

Le calcul de la biomasse aérienne dans cette écorégion a été effectué à partir des 106 grappes d'inventaire (3 placettes par grappe) mises en place par l'inventaire





forestier national de 1996 (*cf.* présentation dans la section 5.1.1 et le rapport de l'inventaire forestier national de 1996 annexé au présent rapport).

Etant donné que la distance entre les centres des placettes d'une même grappe est seulement de 40 m (contre 200 dans l'inventaire PERR-FH), les statistiques d'inventaire ont été calculées au niveau de la grappe.

Le processus de traitement des données d'inventaire est décrit dans la Figure 18

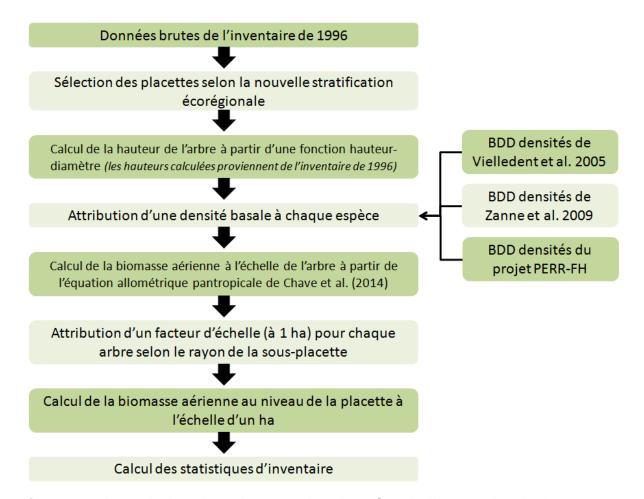


Figure 18 : Description du traitement des données de l'inventaire de 1996 ou de 2017

Les données de l'inventaire de 1996 ont été fournies à l'état brut. Le rapport d'inventaire de 1996 est fourni en annexe du présent rapport sous la forme d'un fichier distinct. Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi





sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (201805_1996_inventory_biomass_by_ecoregion (version 2) .xlsx).

Etant donné que le plan d'échantillonnage de l'inventaire de 1996 est basé sur une stratification végétale différente (cf. section 2.2), la première étape a consisté à sélectionner uniquement les placettes localisées dans les limites de l'écorégion des des forêts épineuses. Etant donné que les coordonnées géographiques n'étaient disponibles qu'au niveau du « camp » (c'est-à-dire le centroïde de 5 grappes, chaque grappe étant distante de 1 km du centroïde du camp), la sélection a été réalisée à partir de la localisation des camps (même si 1 ou 2 grappes pourraient être situées dans une autre écorégion).

Pour la majorité des arbres, les données de hauteur étaient disponibles dans les données brutes. Pour la minorité d'arbres dont aucune valeur de hauteur n'était attribuée, celle-ci a été calculée à partir de la relation diamètre-hauteur (fournie dans le rapport d'inventaire forestier de 1996) suivante :

$$H_{est} = e^{2.4798 - \frac{9.9758}{D}} \tag{6}$$

Avec:

Hest Hauteur totale estimée de l'arbre, en m

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), en cm

Les valeurs de densité de chaque arbre ont été attribuées selon l'arbre de décision présenté dans la Figure 19





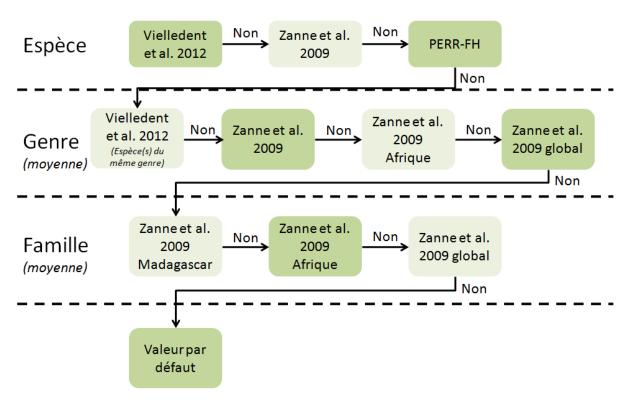


Figure 19 : Arbre de décision pour attribuer les densités spécifiques

Les densités de bois proviennent des 3 bases de données suivantes, par ordre de priorité d'utilisation :

- La base de données de densités de bois réalisée par Vieilledent et al. (2012) dans le cadre de recherches dans le domaine des équations allométriques (cette base de données est en partie basée sur celle de Rakotovao et al, 2011);
- La base de données globale des densités de bois compilées par Zanne et al. (2009);
- 3. La base de données de densités de bois compilées par le projet PERR-FH dans le cadre de l'analyse des données de l'inventaire PERR-FH

Nous avons utilisé en priorité la base de données de Vieilledent et al. (2012) puisqu'elle provient directement de recherches spécifiques à Madagascar.





Dans un premier temps, la valeur de densité au niveau de l'espèce était recherchée. Lorsque l'espèce n'était pas répertoriée, ou sa densité non connue, la valeur de densité était recherchée au niveau du genre, en utilisant les bases de données dans l'ordre suivant :

- Densité d'une espèce de même genre (la moyenne des densités de plusieurs espèces du même genre n'a été réalisée que lorsque plusieurs espèces d'un même genre étaient disponibles) dans la base de données de Vieilledent et al. (2012)
- 2. Densité moyenne de toutes les espèces du même genre présentes à Madagascar dans la base de données de Zanne et al. (2009)
- 3. Densité moyenne de toutes les espèces du même genre présentes en Afrique dans la base de données de Zanne et al. (2009)
- 4. Densité moyenne de toutes les espèces du même genre présentes dans le monde dans la base de données de Zanne et al. (2009)

Dans les cas où une seule espèce du même genre était indiquée dans la base de données, c'est la densité de cette espèce qui était attribuée.

Si aucune valeur de densité n'était disponible à l'échelle du genre, ou si seule la famille de l'arbre était connue, la valeur de densité utilisée provenait alors des bases de données utilisées de la manière suivante :

- Densité moyenne de toutes les espèces de la même famille présentes à Madagascar dans la base de données de Zanne et al. (2009)
- 2. Densité moyenne de toutes les espèces de la même famille présentes en Afrique dans la base de données de Zanne et al. (2009)
- 3. Densité moyenne de toutes les espèces de la même famille présentes dans le monde dans la base de données de Zanne et al. (2009)

Enfin, si aucune valeur de densité ne pouvait encore être attribuée à ce stade (parce qu'aucune valeur de densité n'était disponible ou parce que l'arbre n'était pas identifié), c'est alors la valeur de densité par défaut de 0,5 qui était attribuée (cette valeur a été choisie puisqu'il s'agit de la valeur par défaut utilisée dans le projet PERR-FH).

Ensuite, la biomasse était calculée à partir de l'équation allométrique de Vieilledent et al. (2012) :

$$AGB_{est} = EXP(-1.103+1.994*LN(D)+0.317*LN(H_{est})+1.303*LN(\rho))$$
 (2)

Avec:





AGB_{est} Biomasse aérienne estimée, exprimée en tonnes de matière sèche (tms)

ρ Densité du bois (t/m³)

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) (cm)

Hest Hauteur totale de l'arbre estimée (m)

Après le calcul au niveau de l'arbre, un facteur d'échelle a été appliqué à chaque arbre afin de mettre à l'échelle de 1 ha les valeurs de biomasse. Etant donné que chaque placette est constituée de 4 sous-placettes (Figure 14dans la section 5.1.2), différents facteurs d'échelles ont été attribués en fonction du DHP de chaque arbre. Le Tableau 32 ci-dessous indique les facteurs d'échelle pour les sous-placettes de dimension fixe.

Tableau 32 : Facteurs d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe

DHP DE L'ARBRE [CM]	RAYON DE LA SOUS-PLACETTE [M]	SUPERFICIE DE LA SOUS- PLACETTE [M²]	FACTEUR DE MISE À L'ÉCHELLE DE 1 HA
15 > DHP ≥ 3	3,75	44,18	226,35
DHP < 3 cm	1.25	3,14	3 183,10

Pour les arbres de DHP ≥ 15 cm qui ont été identifiés au relascope (facteur 4), le facteur d'échelle a été calculé de la manière suivante :

$$SF=RCV * \frac{10,000}{\pi * c^2 * D^2}$$
 (8)

Avec:

SF facteur d'échelle, sans dimension

RCV valeur comptabilisée au relascope (0 ou 0,5 ou 1)

c c-value pour la surface terrière de facteur 4, sans dimension (ici 24,995)

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), en m

Le facteur d'échelle a ainsi été utilisé pour la calculer la biomasse à l'échelle de 1 ha pour chaque arbre. Les biomasses aériennes ont ensuite été sommées par grappe pour calculer les statistiques d'inventaire (Tableau 33).

Pour le bois mort, le même processus de calcul a été suivi. La raison de ne pas appliquer des facteurs réducteurs de biomasse c'est que les inventaires ne





fournissaient pas une indication de l'état de dégradation de l'arbre, mais seulement une indication de si l'arbre était mort ou pas.

Pour le carbone organique du sol, le même processus de calcul pour la forêt humide de l'Est a été suivi.

Tableau 33 : Statistiques de l'inventaire forestier de 1996 pour biomasse aérienne pour l'écorégion de forêt épineuse

PARAMÈTRES DE LA BIOMASSE AÉRIENNE		VALEUR FORÊT ÉPINEUSE
Moyenne [tms/ha]		20,21
Min [tms/ha]		1,07
Max [tms/ha]		78,44
Écart-type [tms/ha]		14,50
N		122
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	2,16	
Intervalle de confiance à 90% [%]		10,68%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	18,05	
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	22,37	

Tableau 34 : Statistiques de l'inventaire forestier de 1996 pour bois mort pour l'écorégion de forêt épineuse

PARAMÈTRES DU BOIS MORT SUR PIED	VALEUR Forêt épineuse
Moyenne [tms/ha]	0,71
Écart-type [tms/ha]	2,63
N	122
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	0,39
Intervalle de confiance à 90% [%]	55,30%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	0,32
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	1,10





Tableau 35 : Statistique du carbone organique du sol pour l'écoregion de forêt épineuse

Paramètres du SOC	VALEUR
Moyenne [tC/ha]	45.66
Min [tC/ha]	9
Max [tC/ha]	116
Écart-type [tC/ha]	14.18
N	148180
Intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	0.06
Intervalle de confiance à 90% [%]	0.13
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	45.60
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	45.72

5.2.3 Forêts sèches

Le calcul de la biomasse aérienne dans cette écorégion a été effectué à partir des 65 grappes d'inventaire (3 placettes par grappe) mises en place par l'inventaire forestier de l'écorégion de l'ouest (*cf.* présentation dans la section 5.1.3). Comme les deux précédentes écorégions, la grappe est considérée comme l'unité d'échantillonnage. 5.1.3). Comme les deux précédentes écorégions, la grappe est considérée comme l'unité d'échantillonnage.

Le processus de traitement des données d'inventaire est le même que ce qui est décrit dans la Figure 18.

Les données de l'inventaire de l'écorégion de forêt sèche de l'ouest de 2017 ont été fournies à l'état brut. Le rapport d'inventaire de 2017 est actuellement en cours de rédaction par la DVRF mais la version finale publiable dudit rapport fera l'objet de publication dans le site web du BNC REDD+10. Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (201805_inventory_biomass_by_for_seche.x/sx).

¹⁰ http://bnc-redd.mg





Pour la majorité des arbres, les données de hauteur étaient disponibles dans les données brutes. Pour la minorité d'arbres dont aucune valeur de hauteur n'était attribuée (moins de 20 arbres en total), celle-ci a été calculée à partir de la relation diamètre-hauteur suivante qui a été calibré en base à tous les données de diamètre et hauteur :

$$H_{est} = 3,1706 * D^{0.3901} (6)$$

Avec:

Hest Hauteur totale estimée de l'arbre, en m

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), en cm

Les valeurs de densité de chaque arbre ont été attribuées selon l'arbre de décision présenté dans la Figure 19.

Ensuite, la biomasse était calculée à partir de l'équation allométrique de Vieilledent et al. (2012) :

$$AGB_{est} = EXP(-1.103+1.994*LN(D)+0.317*LN(H_{est})+1.303*LN(\rho))$$
 (2)

Avec:

AGB_{est} Biomasse aérienne estimée, exprimée en tonnes de matière sèche (tms)

ρ Densité du bois (t/m³)

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) (cm)

Hest Hauteur totale de l'arbre estimée (m)

Après le calcul au niveau de l'arbre, un facteur d'échelle a été appliqué à chaque arbre afin de mettre à l'échelle de 1 ha les valeurs de biomasse. Etant donné que chaque placette est constituée de 4 sous-placettes (Figure 14 dans la section 5.1.2), différents facteurs d'échelles ont été attribués en fonction du DHP de chaque arbre. Le Tableau 36 ci-dessous indique les facteurs d'échelle pour les sous-placettes de dimension fixe,





:

Tableau 36 : Facteurs d'échelle dans les sous-placettes de dimension fixe

DHP DE L'ARBRE [CM]	RAYON DE LA SOUS-PLACETTE [M]	SUPERFICIE DE LA SOUS- PLACETTE [M²]	FACTEUR DE MISE À L'ÉCHELLE DE 1 HA
15 ≤ DHP < 30	10	314,16	31,83
5 ≤ DHP < 15 cm	4	50,27	198,94

Pour les arbres de DHP ≥ 30 cm qui ont été identifiés au relascope (facteur 2), le facteur d'échelle a été calculé de la manière suivante :

$$SF=RCV * \frac{10,000}{\pi * c^2 * D^2}$$
 (8)

Avec:

SF facteur d'échelle, sans dimension

RCV valeur comptabilisée au relascope (0 ou 0,5 ou 1)

c c-value pour la surface terrière de facteur 2, sans dimension (ici 35,352)

D Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), en m

Le facteur d'échelle a ainsi été utilisé pour la calculer la biomasse à l'échelle de 1 ha pour chaque arbre. Les biomasses aériennes ont ensuite été sommées par grappe pour calculer les statistiques d'inventaire (Tableau 37).

Pour le calcul du carbone dans le réservoir du bois mort, la méthodologie décrit dans l'outil du MDP « Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in AR CDM project activities » V3.1.0¹¹ a été appliqué. L'unique déviation a la méthodologie a été fait par rapport au bois mort sur le sol, car seulement données des arbres abattus ont été collectées (DBH et hauteur totale). En ce cas l'équation 5 de l'outil a été appliqué, mais la biomasse de l'arbre a été calculé en considérant l'arbre comme le volume d'un cône, pas comme un cylindre.

 $^{^{11}\} http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-12-v3.1.pdf$





Tableau 37 : Statistiques de l'inventaire forestier de 2017 (Biomasse aérienne) pour l'écorégion de forêt sèche

PARAMÈTRES DE LA BIOMASSE AÉRIENNE	Valeur Forêt sèche
Moyenne [tms/ha]	63,16
Min [tms/ha]	2,27
Max [tms/ha]	137,29
Écart-type [tms/ha]	35,10
N	64
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	7,22
Intervalle de confiance à 90% [%]	11,43%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	55,95
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	70,38

Tableau 38 : Statistiques de l'inventaire forestier de 2017 (Bois mort) pour l'écorégion de forêt sèche

PARAMÈTRES DU BOIS MORT	Valeur
	Forêt sèche
Moyenne [tms/ha]	4,09
Écart-type [tms/ha]	7,11
N	187
Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	0,85
Intervalle de confiance à 90% [%]	20,87%
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	3,24
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	4,95





Tableau 39 : Statistique du carbone organique du sol pour l'écorégion de forêt sèche

PARAMÈTRES DU SOC	VALEUR
Moyenne [tC/ha]	53.31
Min [tC/ha]	13
Max [tC/ha]	169
Écart-type [tC/ha]	12.62
N	253399
Intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	0.04
Intervalle de confiance à 90% [%]	0.08
Valeur min de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	53.27
Valeur max de l'intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	53.35

5.2.4 Mangrove

Une estimation de la biomasse des mangroves est indiquée dans cette première version du NERF par souci d'exhaustivité, c'est-à-dire dans le but de fournir un NERF pour l'ensemble des types forestiers prédominants à Madagascar. Les valeurs de biomasse des mangroves proviennent d'un article de Jones et al. (2014). Les estimations de biomasse sont considérées comme fiables, mais il existe plusieurs difficultés majeures qui limitent leurs applicabilités au NERF national :

- Les mesures de biomasses ont été réalisées dans une petite zone d'étude au Nord-Ouest de Madagascar, l'échantillon n'est donc pas représentatif de l'ensemble de l'écorégion des mangroves;
- · De même, l'échantillon est de petite taille
- · La valeur de biomasse fournie dans cet article inclut le bois mort.
- Bien que Jones et al. (2014) ait cartographié les sites de déforestation au sein des mangroves, aucune estimation de biomasse n'a été réalisée sur ces sites post-déforestation.

Néanmoins, cette étude fournit les meilleures données disponibles actuellement pour estimer les émissions liées à la déforestation des mangroves. Mais afin de prendre en compte les limites citées ci-dessus, le calcul des émissions a été réalisé de manière plutôt conservative.





Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (201805_mangrove_biomass.xlsx).

Les mesures de biomasse ont été réalisées dans 55 placettes de dimension 10 m x 10 m (dans certains cas 20 m x 20 m) localisées dans le Nord-Ouest de Madagascar. La zone d'étude est constituée d'approximativement 26 000 ha de mangroves (Figure 20).





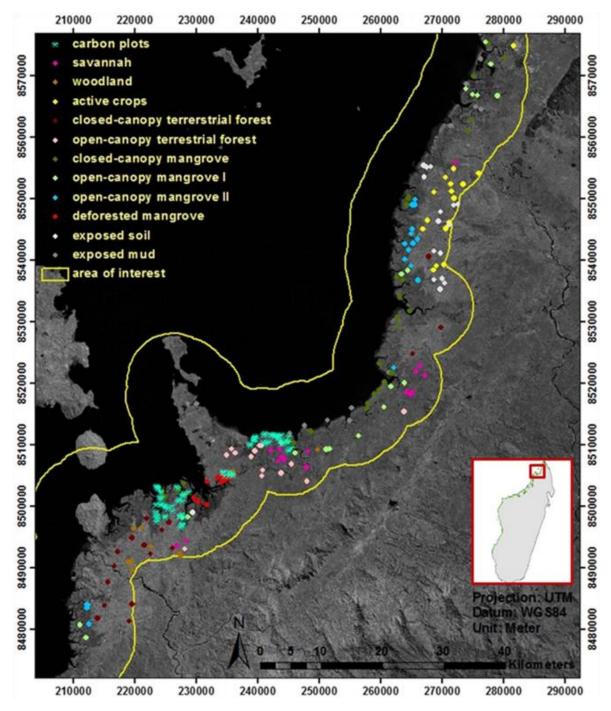


Figure 20 : Mangrove biomass study area (source: Jones et al. 2014)





Avant de procéder à l'échantillonnage de la biomasse, les mangroves (ainsi que les autres écosystèmes forestiers et non forestiers) ont été cartographiés et classifiés. Les mangroves ont été divisées en 4 classes (Tableau 40).

Tableau 40 : Classes de mangroves (source : adapté de Jones et al. 2014)

CLASSE		DESCRIPTION DE LA COMPOSITION CARACTERISTIQUE	AUTRES TYPES DE MANGROVES POTENTIELLEMENT INCLUS
Mangrove couvert fermé	à	Peuplement grand et mature. Couvert > 60%	Stade jeune extrêmement dense
Mangrove couvert ouvert type 1		Arbres jeunes, de taille petite à moyenne. Couvert compris entre 30 et 60%. Influencé par le contexte pédologique (sol/vase).	Naturellement ouvert ; strate dominante extrêmement dégradée
Mangrove couvert ouvert type 2		Arbres petits et rabougris, très clairsemés. Couvert forestier ≥ 10%. Dominé par le contexte pédologique (sol/vase).	- -
Mangrove déforestée		Mosaïque d'arbres rabougris et dépérissants. Couvert forestier < 30%. Extrêmement influencé par l'érosion du sol et de la vase.	

La biomasse aérienne (incluant le bois mort), la biomasse racinaire et le carbone organique du sol ont été mesurés dans les trois premières classes présentées dans le tableau ci-dessus. La biomasse a été estimée à partir des équations allométriques et des densités de bois présentées dans le Tableau 41(le DHP et la hauteur ont été systématiquement mesurés sur le terrain). Les équations allométriques proviennent de Clough et al. (1989), Comley et al. (2005) et Kauffman et al. (2010), tandis que les densités de bois proviennent de Dharmawan et al. (2008) : toutes ces références sont citées dans Jones et al. (2014).





Tableau 41 : Equations allométriques et densités de bois utilisées dans l'estimation de la biomasse (source : adapté de Jones et al., 2014)

Espèce	Equation allométrique	Densité du bois
Avicennia marina	$B = 0.1848 \times DHP^{2.3524}$	0,661
Bruguiera gymnorrhiza (feuilles)	$B = 0.0679 \times DHP^{1.4914}$	0,741
Bruguiera gymnorrhiza (tige)	$B = 0.464 \times (DHP^2 \times H)^{0.94275} \times p$	0,741
Ceriops tagal (DHP 2–18 cm)	$B = 10^{-0.7247} \times DHP^{2.3379}$	0,803
Ceriops tagal (DHP 18–25 cm)	$B = 10^{-0.494} \times DHP^{2.056}$	0,803
Heritiera littoralis (feuilles)	$B = 0.0679 \times DHP^{1.4914}$	1,074
Heritiera littoralis (tige)	B = $0.464 \times (DHP^2 \times H)^{0.94275} \times p$	1,074
Lumnitzera racemosa	B = $0.0214 \times (DHP^2 \times H)^{1.05655} \times p$	0,565
Rhizophora mucronata (feuilles)	$B = 0.0139 \times D^{2.1072}$	0,867
Rhizophora mucronata (racines)	$B = 0,0068 \times DHP^{3,1353}$	0,867
Rhizophora mucronata (tige)	B = $0.0311 \times (DHP^2 \times H)^{1.00741} \times p$	0,867
Sonneratia alba	B = $0.0825 \times (DHP^2 \times H)^{0.89966} \times p$	0,78
Xylocarpus granatum	B = $0.0830 \times (DHP^2 \times H)^{0.89806} \times p$	0,7

Note : DHP désigne le diamètre à hauteur de poitrine ; D désigne le diamètre ; H désigne la hauteur ; p désigne la densité.

Les résultats de Jones et al. (2014) pour la biomasse aérienne sont présentés dans le Tableau 42 (les résultats sont indiqués en tC/ha et non en tms/ha comme précédemment parce que la fraction carbone utilisée par Jones et al. 2014 n'a pas pu être déterminée.





Tableau 42 : Estimation des stocks de carbone des mangroves (source : basé sur Jones et al. 2014)

CLASSE	MOYENNE DES STOCKS DE CARBONE CONTENUS DANS LA BIOMASSE AÉRIENNE ET RACINAIRE (INCLUANT LE BOIS MORT) [TC/HA]	N	Intervalle de confiance à 90% [tC/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Mangrove à couvert fermé	146,8	23	+/- 17,52	+/- 12%
Mangrove à couvert ouvert – type 1	42,9	28	+/- 9,88	+/- 23%
Mangrove à couvert ouvert – type 2	20,8	4	+/- 10,83	+/- 52%

- Étant donné que les données d'activité des mangroves ne sont pas disponibles avec la même stratification que celle des facteurs d'émissions, les hypothèses suivantes ont été établies afin de calculer le NERF :
- 35% de la déforestation des mangroves se produit dans les mangroves à couvert fermé, et 65% dans les mangroves à couvert ouvert de type 1 (en pratique, cela signifie que c'est la moyenne du stock de carbone des deux premières classes qui est utilisée). Ces valeurs correspondent aux superficies de forêt fermée et forêt ouverte présente dans la zone d'étude de la publication. La moyenne a été calculée comme la moyenne ponderée;





Tableau 43 : Estimation de la biomasse aérienne des mangroves (source : basé sur Jones et al. 2014) *La moyenne est la moyenne pondéré en base aux superficies de chaque strate

	Mangrove à couvert fermé	Mangrove à couvert ouvert – type 1	Moyenne*
Superficie dans la zone de l'étude (ha)	14 015	26 192	
Poids	0,35	0,65	
BA+BS (tms/ha)	312,34	91,28	168,33
SE	10,20	5,80	
N	23,00	28,00	
z value 90% CI	1,72	1,70	
90% IC	17,51	9,88	12,54
Incertitude relative	5,61%	11%	7,45%

 L'estimation de la biomasse dans les mangroves à couvert ouvert de type 2 est utilisée pour estimer le stock de carbone résiduel après déforestation afin d'établir le facteur d'émission.

5.2.5 Non-forêt

Afin d'estimer les émissions dues au changement d'occupation du sol et à la déforestation en particulier, il est nécessaire de tenir compte de la biomasse résiduelle à long-terme dans l'usage/occupation du sol post-déforestation.

Etant donné qu'il n'existe pas de données d'inventaires à grande échelle dans les stades non forestiers, le stock de carbone résiduel post-déforestation a été estimé à partir d'une publication d'Andriamananjara et al. (2016) pour les forêts humides et de Raharimalala et al. (2012) pour les forêts sèches et épineuses.

Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (201805_Non-Forest_Biomass.xlsx).

5.2.5.1 Forêts humides

Dans le cadre de cette étude, la biomasse aérienne et le carbone du sol ont été évalués dans les forêts à couvert fermé, les jachères arborées, les jachères buissonnantes et les terrains dégradés dans le Corridor Ankeniheny-Zahamena situé à l'Est de l'écorégion des forêts humides (Figure 21).

Janvier 2018







Figure 21 : Zone d'étude (source : Andriamananjara et al. 2016)

Les catégories « jachère arborée », « jachère buissonnante » et « terrain dégradé » sont intéressantes ici puisqu'elles correspondent au stade post-déforestation. D'après Styger et al. (2007 ; 2009), ces classes représentent la succession végétale typique après l'agriculture sur abattis-brûlis, ou « *tavy* » qui est le principal facteur de déforestation dans l'écorégion des forêts humides.

Au total, 91 sites post-déforestation ont été échantillonnés par Andriamananjara et al. (2016): 32 jachères arborées, 29 jachères buissonnantes et 30 terrains dégradés. Quatre sous-placettes ont été mises en place au sein de chaque placette d'inventaire (Figure 22). Dans chaque sous-placette, toutes les espèces végétales ont été inventoriées individuellement à travers un quadrat de 1 m x 1 m, puis ont été coupées au niveau du sol et pesées afin d'estimer la biomasse aérienne. La biomasse a été obtenue après un séchage en étuve et un pesage des échantillons collectés dans le quadrat de 1 m², puis extrapolée à l'échelle d'1 ha.





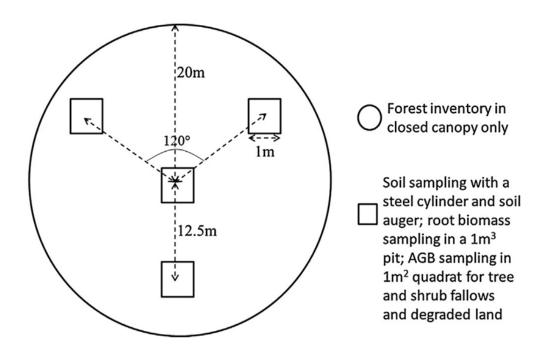


Figure 22 : Plan d'échantillonnage dans les occupations du sol postdéforestation (source : Andriamananjara et al. 2016)

Le Tableau 44présente l'estimation de la biomasse aérienne dans les trois classes d'occupation du sol post-déforestation¹².

Tableau 44 : Biomasse aérienne dans les classes d'occupation du sol postdéforestation

CLASSE	BIOMASSE AÉRIENNE (TMS/HA]	N	ÉCART- TYPE	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [TMS/HA] ¹³	Intervalle de confiance à 90% [%]
Jachère arborée	21,6	32	14,82	+/- 4,31	+/- 19,95%
Jachère buissonnante	21,8	29	14,95	+/- 4,57	+/- 20,95%
Terrain degrade	16,6	30	11,39	+/- 3,42	+/- 20,60%

¹² Les stocks de carbone (tC/ha) ont été convertis en biomasse (tms/ha) à partir de la valeur de fraction carbone indiquée dans Andriamananjara et al. (2016)

¹³ Andriamananjara et al. (2016) ont uniquement indiqué l'amplitude du coefficient de variation de la biomasse à travers les quatre classes étudiées, incluant la forêt à couvert fermé. Par principe de conservativité, nous avons utilisé la valeur la plus élevée pour calculer l'écart-type puis l'intervalle de confiance.





Étant donné que les données d'activité de la strate non-forêt ne se conforment pas à la stratification présentée ci-dessus, nous avons utilisé la valeur de la classe « jachère buissonnante » pour estimer la valeur de la biomasse du stade post-déforestation dans l'écorégion des forêts humides, puisque cette valeur est la plus élevée des trois et est donc conservative en termes d'estimation des émissions.

5.2.5.2 Forêts Sèches et Forêts Épineuses

Pour l'écorégion des forêts sèches et des forêts épineuses, nous avons utilisé des estimations de la biomasse post-déforestation issues de la publication de Raharimalala et al. (2012). Ce dernier a réalisé des recherches (dans l'écorégion des forêts sèches) dans des sites post-déforestation qui ont été abandonnés puis ont fait l'objet d'une régénération naturelle sur différents laps de temps (de 1 an à plus de 40 ans).

Tableau 45 : Biomasse dans des sites post-déforestation localisés dans l'écorégion des forêts sèches (adapté de 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

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 serre¹⁴.

-

¹⁴ Volume 4, Chapitre 2, section 2.3.1.1: [...] The length of time that land remains in a conversion category after a change in land use is by default 20 years (the time period assumed for carbon stocks to come to equilibrium for the purposes of calculating default coefficients [...]





5.2.5.3 Forêts de Mangrove

Conformément à ce qui a été mentionné dans la partie 5.2.4, nous avons utilisé la valeur de biomasse de la classe « Mangrove à couvert ouvert de type 2 » pour estimer la biomasse des sites post-déforestation dans l'écorégion des mangroves.

5.2.5.4 Recapitulatif

Le **Error! Reference source not found.** ci-dessous récapitule les valeurs de biomasse utilisées pour les sites post-déforestation.

Tableau 46 : Biomasse aérienne de la classe "non-forêt" par écorégion

CLASSE NON-FORÊT	BIOMASSE AÉRIENNE (TMS/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Non-forêt dans l'écorégion des forêts humides	21,80	+/- 4,57	+/- 20,95%
Non-forêt dans l'écorégion des forêts sèches	2.50	+/- 0,64	+/- 25,58%
Non-forêt dans l'écorégion des forêts épineuses	2.50	+/- 0,64	+/- 25,58%
Non-forêt dans l'écorégion des mangroves	44,26 ¹⁵	+/- 10,83	+/- 54,16%

5.3 LA BIOMASSE SOUTERRAINE

La biomasse souterraine a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (*rootshoot ratio*, RSR). Les RSR ont été sélectionnés dans la publication de Mokany et al. (2006) (Tableau 47).

1

¹⁵ La valeur de biomasse en tms/ha est présentée dans ce tableau uniquement à titre indicatif, afin de faciliter la comparaison avec les autres valeurs des classes non-forêt. Etant donné que Jones et al. (2014) n'a pas indiqué la valeur de la fraction carbone utilisée dans sa publication, la biomasse a été calculée ici en divisant le stock de carbone par une fraction carbone de 0,47 (valeur par défaut du GIEC). De plus, cette valeur contient la biomasse souterraine et le bois mort.





Tableau 47 : Quotients racinaire/foliacé (RSR)

CATÉGORIE DE VÉGÉTATION (ISSU DE MOKANY ET AL. 2006)	CORRESPONDANCE AVEC LES ÉCORÉGIONS DU NERF	ROOT- SHOOT RATIO	Intervalle de Confiance à 90%	Intervalle de confiance à 90% [%]
Forêt tropicale humide décidue > 125 tms/ha	Forêt humide	0,235	+/- 0,08	+/- 36,05%
Forêt tropicale humide décidue < 125 tms/ha	Forêt Humide Non-Forêt de l'écorégion des forêts humides	0,205	+/- 0,02	+/- 9,84%
Forêt tropicale/subtropicale sèche > 20 tms/ha	Forêt séche Forêt épineuse	0,275	+/- 0,02	+/- 6,89%
Forêt tropicale/subtropicale sèche < 20 tms/ha	Forêt séche Forêt épineuse Non-Forêt des écorégions des forêts sèches et épineuses	0,563	+/- 0,20	+/- 35,95%

Nous avons appliqué le même RSR pour les stades forestiers et non forestiers au sein d'une écorégion : en effet, étant donné que le facteur de déforestation prédominant est dû à l'agriculture de subsistance (et qu'il y a donc une régénération cyclique de la végétation naturelle), il ne serait pas conservatif d'utiliser des RSR différents (puisque le RSR des formations buissonnantes et des pâturages — par exemple — sont beaucoup plus élevés). Quoiqu'il en soit, les mises à feu fréquentes empêchent l'accroissement de la biomasse souterraine ; cette approche peut donc être considérée comme appropriée.

La biomasse souterraine a été calculée en multipliant la biomasse aérienne estimée dans la section 5.2 par les RSR présentés dans le Tableau 47. La biomasse souterraine ainsi obtenue est présentée dans le tableau suivant, par écorégion.





Table 48 : Biomasse souterraine par classe d'occupation du sol

CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	MOYENNE DE LA BIOMASSE SOUTERRAINE [TMS/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tms/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]		
Forêt humide	53,75	8,57	15,94%		
Forêt sèche	17,73	1,90	10,70%		
Forêt épineuse	7,30	1,44	19,79%		
Mangrove	Not displayed here provide total biomas		al, (2014) only		
Non-forêt, écorégion des forêts humides	4,47	1,03	23,15%		
Non-forêt, écorégion des forêts sèches	1,41	0,62	44,12%		
Non-forêt, écorégion des forêts épineuses	1,41	0,62	44,12%		
Non-forêt, écorégion des Mangroves	Not displayed here because Jones et al. (2014) only provide total biomass values in carbon				

Pour le calcul de la biomasse souterraine, le RSR a été utilisé pour les écorégions de forêt humide, forêt sèche et forêt épineuse. Les données d'inventaire à notre disposition nous permettent l'application de cette méthodologie. Contrairement à l'écorégion de Mangrove, nous avons utilisé les valeurs de biomasses fournies par l'article de Jones et al (2014) sans données brutes d'inventaire.

5.4 LES FACTEURS D'ÉMISSION

5.4.1 Changements de stocks

Afin de calculer les facteurs d'émissions, nous avons d'abord calculé la biomasse totale (biomasse aérienne + biomasse souterraine) puis converti cette biomasse en stock de carbone et en équivalent CO₂ en utilisant les facteurs de conversion présentés dans leTableau 51. Nous avons utilisé l'estimation de la fraction carbone la plus conservative, et présumons donc que l'incertitude liée à ce facteur est égale à zéro.

Le Table 52 indique le stock total de carbone dans les strates forestières et non forestières par écorégion. Le Tableau 53 synthétise les facteurs d'émissions calculés





pour ce NERF. Les Tableau 54à Tableau 57présentent le détail de chaque facteur d'émissions (y compris de leurs principales incertitudes).

Ces données ainsi que toutes les étapes de traitement qui ont suivi sont annexées à ce rapport dans un fichier distinct (NERF_version_mai_2018.xlsx).

Tableau 49 : Biomasse par réservoir et totale en classes forestières et non forestières

	tms/ha				
Classe NERF	ВА	BS	мом	cos	Total
Forêts Humide	262,18	53,75	13,16	236.15	565.24
Forêt Séche	63,16	17,73	6,93	113.43	200.65
Forêt Epineuse	20,21	7,30	0,71	97.15	125.37
Forêt Mangrove			-		
Non-forêt Ecoregion Forêt Humide	21,80	4,47	0	222.66	248.93
Non-forêt Ecoregion Forêt Séche	2,50	1,41	0	107.85	111.853
Non-forêt Ecoregion Forêt Épineuse	2,50	1,41	0	100.98	104.89
Non-forêt Ecoregion Mangrove		-			

Tableau 50 : Biomasse totale en classes forestières et non forestières

CLASSE NERF	BIOMASSE TOTALE [TDM/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tdm/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Forêt humide	565,19	41,56	7,35%
Forêt sèche	192,05	10,30	5,36%

Janvier 2018





CLASSE NERF	BIOMASSE TOTALE [TDM/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tdm/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Forêt épineuse	129,19	4,01	3,11%
Mangrove	319,93	69,82	21,82%
Non-forêt, écorégion des forêts humides	248,93	5,52	2,22%
Non-forêt, écorégion des forêts sèches	111,77	0,89	0,80%
Non-forêt, écorégion des forêts épineuses	101,07	0,89	0,88%
Non-forêt, écorégion des Mangroves	182,29	98,73	54,16%

Tableau 51: Facteurs de conversion Carbone et CO2

PARAMÈTRE	VALEUR	Source
Fraction carbone de la biomasse [tC/tms]	0,47	Lignes directrices AFOLU du GIEC 2006, tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004)
Facteur de conversion du C vers le CO ₂ [tCO2/tC]	44/12	Basé sur la masse moléculaire du carbone et de l'oxygène

Table 52 : Stocks de carbone forestiers et non forestiers

STOCKS DE CARBONE [TCO2/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
974,02	71,61	7,35%
1	17 74	5,36%
	[TCO2/HA]	STOCKS DE CARBONE [TCO2/HA] CONFIANCE À 90% [TCO2/HA] 974,02 71,61





CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	STOCKS DE CARBONE [TCO2/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Forêt épineuse	222,63	6,91	3,11%
Mangrove	551,34	120,32	21,82%
Non-forêt, écorégion des forêts humides	428,99	9,51	2,22%
Non-forêt, écorégion des forêts sèches	6, 192,61	1,54	0,80%
Non-forêt, écorégion des forêts épineuses	174,17	1,54	0,88%
Non-forêt, écorégion des Mangroves	314,14	170,15	54,16%

:

Tableau 53 : Synthèse des facteurs d'émissions

TYPE DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL	FACTEUR D'EMISSIONS [TCO2/HA]	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [TCO2/HA]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Déforestation en Forêt Humide (D _{FH})	545,03	72,24	13,25%
Déforestation en Forêt Sèche (D _{FS})	1138,35	17,81	5.4.1.1.1.1.1.1 112,87%
Déforestation en Forêt Épineuse (DFE)	48,46	7,08	14,62%
Déforestation dans les Mangroves (D _M)	237,20	208,40	87,86%





Tableau 54 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Humide »

DESCRIPTION DU PARAMÈTRE	DÉFORESTATION DE LA FORÊT HUMIDE (D _{FH}): CONVERSION DE LA FORÊT HUMIDE EN NON-FORÊT		
Unité de la donnée	tCO2/ha		
Valeur du paramètre	545,03		
Source de la donnée	 Pour la biomasse aérienne forestière: 567 placettes d'inventaire réparties en 189 grappes (mesure des DHP de tous les arbres et des hauteurs sur un échantillonnage d'arbres) Estimation de la hauteur des arbres à partir d'une relation diamètre-hauteur développée grâce à un jeu de données de hauteurs mesurées sur 2 519 arbres Densités de bois issues de PERR-FH (2014) Equation allométrique de Vieilledent et al. (2012) Pour la biomasse aérienne non forestière: 29 placettes d'inventaire dans des strates végétales non forestières (Andriamananjara et al. 2016) Pour la biomasse souterraine et le calcul du stock de carbone: RSR issus de Mokany et al. 2006 Fraction carbone issue des Lignes Directrices AFOLU du GIEC (2006), tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004) 		
Échelle spatiale	Ecorégion / locale		
Incertitudes clés de ce paramètre	Erreur d'échantillonnage Erreurs de mesure du DHP et de la hauteur Erreur liée à la fonction diamètre-hauteur Erreur liée à l'équation allométrique Erreur liée au RSR		
Estimation de l'incertitude	-		





Tableau 55 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Sèche »

Description parameter	du	Déforestation de la Forêt Sèche (DFS): Conversion de la Forêt Sèche en non-forêt		
Unité de la donnée		tCO2/ha		
Valeur du paramètre		138,35		
Source de la donnée		 Pour la biomasse aérienne forestière: 64 grappes de placettes d'inventaire (inventaire forestier de 2017) (mesure des DHP et hauteur de tous les arbres) Estimation de la hauteur des arbres à partir d'une relation diamètre-hauteur Densités de bois issues de Zanne et al. (2009), Vieilledent et al. (2012) et PERR-FH (2014) Equation allométrique de Vieilledent et al. (2012) Pour la biomasse aérienne non forestière: 5 placettes d'inventaire dans des strates végétales non forestières (Raharimalala 2012) Pour la biomasse souterraine et le calcul du stock de carbone: RSR issus de Mokany et al. 2006 Fraction carbone issue des Lignes Directrices AFOLU du GIEC (2006), tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004) 		
Échelle spatiale		Ecorégion / locale		
Incertitudes clés de paramètre	ce	Erreur d'échantillonnage Erreurs de mesure du DHP et de la hauteur Erreur liée à la fonction diamètre-hauteur Erreur liée à l'équation allométrique Erreur liée au RSR		
Estimation de l'incertitude		-		





Tableau 56 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Forêt Épineuse »

DESCRIPTION DU PARAMÈTRE	Déforestation de la Forêt Épineuse (D _{FE}): Conversion de la Forêt Épineuse en non-forêt		
Unité de la donnée	tCO2/ha		
Valeur du paramètre	48,46		
Source de la donnée	 Pour la biomasse aérienne forestière: 106 grappes de placettes d'inventaire (inventaire forestier national de 1996) (mesure des DHP de tous les arbres et des hauteurs sur un échantillonnage d'arbres) Estimation de la hauteur des arbres à partir d'une relation diamètre-hauteur Densités de bois issues de Zanne et al. (2009), Vieilledent et al. (2012) et PERR-FH (2014) Equation allométrique de Chave et al. (2014) Pour la biomasse aérienne non forestière: 5 placettes d'inventaire dans des strates végétales non forestières (Raharimalala 2012) Pour la biomasse souterraine et le calcul du stock de carbone: RSR issus de Mokany et al. 2006 Fraction carbone issue des Lignes Directrices AFOLU du GIEC (2006), tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004) 		
Échelle spatiale	Ecorégion / locale		
Incertitudes clés de c paramètre	e Erreur d'échantillonnage Erreurs de mesure du DHP et de la hauteur Erreur liée à la fonction diamètre-hauteur Erreur liée à l'équation allométrique Erreur liée au RSR		
Estimation de l'incertitude	-		





Tableau 57 : Facteur d'émissions « Déforestation de la Mangrove »

DESCRIPTION DU PARAMÈTRE	Déforestation de la Mangrove (D _M): Conversion de la Mangrove en non-forêt		
Unité de la donnée	tCO2/ha		
Valeur du paramètre	237		
Source de la donnée	 55 placettes d'inventaire de mangrove (Jones et al. 2014; mesures du DHP et de la hauteur) Densités de bois issues de Dharmawan et al (2008; tel que cité par Jones et al. 2014) Equations allométriques issues de Clough et al. (1989), Comley et al. (2005) et Kauffman et al. (2010; tels que cités par Jones et al. (2014) 		
Échelle spatiale	Locale		
Incertitudes clés de ce paramètre	Erreur d'échantillonnage Erreurs de mesure du DHP et de la hauteur Erreur liée à l'estimation de la densité du bois Erreur liée à l'équation allométrique		
Estimation de l'incertitude	,		

5.4.2 Émissions non-CO₂

On n'a pris en compte que les émissions non-CO₂ liées à la déforestation, en effet, c'est la seule activité qu'on a considérée dans le calcul de NERF. Les émissions non-CO₂ en forêt restant forêt, correspondent à l'activité dégradation qui n'a pas encore été prise en compte en cette soumission.

Pour le calcul des émissions non-CO₂, il a été utilisé les valeurs par défaut du GIEC pour les facteurs d'émission et facteurs de combustion présentées respectivement dans les tableaux 2.5 et 2.6 du Volume 4, Chapitre 2. Afin d'attribuer des valeurs du tableau du GIEC, Il a été considéré que les valeurs de savane et prairie correspondent à la forêt épineuse, tandis que la forêt sèche correspond à une forêt tropicale qui ne peut pas être considéré comme une savane puisque elle est une forêt à canopée fermée.

Afin d'exprimer les valeurs de CH₄ et N₂O en tCO₂ équivalents, on a utilisé les GWP de 25 pour le CH₄ et 298 pour le N₂O.





Tableau 58 : Facteur d'émissions, g kg-1 de matière sèche brûlée

	Facteur d'émission (g/kg)		
Type vegetation	CH4	N20	
Savane et prairie (foret épineuse)	2,3	0,21	
Forêt tropicale (forêt humide et forêt sèche)	6,8	0,2	

Tableau 59 : Facteur d'émissions, g kg-1 de matière sèche brûlée

Type vegetation		Facteur combustion
Savanes arborées (feux de misaison/fin de saison sèche) *	Savane arborée (forêt épineuse)	0,72
Forêt primaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt primaire tropicale (forêt sèche)	0,32
Forêt primaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt primaire tropicale humide (forêt humide)	0,5

Tableau 60 : Global warming potential

Paramètre	Valeur	
GWP CH ₄	25	
GWP N₂O	298	

Table 61 : Calcul du facteur d'émission pour les émissions non-CO2

Type végétation	T ms /ha	Erreur à 90%	EF (tCO₂/ha)	Erreur à 90%
Forêt Humide	565	7%	64,88	46,27%
Forêt Séche	192	5%	14,11	76,35%
Forêt Épineuse	129	3%	11,17	112,6%
Forêt Mangrove	320	22%	-	-





Tableau 62 : Calcul du facteur d'émission pour les sols

Type vegetation	EF (tCO ₂ /ha)	Erreur à 90%	
Forêt Humide	236,11	8,04%	
Forêt Séche	113,42	8,00%	
Forêt Épineuse	100,97 8,00%		
Forêt Mangrove	151,60	8,00%	
Non forêt ecoregion humide	222,66	8,11%	
Non forêt ecoregion séche	107,86	8,00%	
Non forêt ecoregion épineuse	97,16	8,00%	
Non forêt ecoregion Mangrive	138,03	8,00%	





6 QUANTIFICATION DU NERF

Les calculs du NERF peuvent être trouvés dans la page du BNC-R : http://bnc-redd.mg/images/documents/rapports/ NERF_version_mai_2018.xlsx

À partir des données d'activités décrites dans le chapitre 4 et des facteurs d'émissions présentés dans le chapitre 5 nous avons calculé les émissions annuelles par strate d'écorégion puis sommé 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 (Tableau 63)

Tableau 63 : Emissions par écorégion et calcul du NERF

STRATE	CHANGEMENTS DE STOCKS DE CARBONE [TCO2/AN]	ÉMISSIONS NON-CO2 [TCO2/AN	Emissions [TCO2/AN]	Intervalle de confiance à 90% [TCO2/AN]	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [%]
Déforestation en Forêt Humide (D _{FH})	15755209	1875610	17630818	4489895	25,47%
Déforestation en Forêt Sèche (D _{FS})	14447730	1473502	15921232	91213717 6	76,23%
Déforestation en Forêt Épineuse (DFE)	446003	102800	548803	261309	47,61%
Déforestation dans les Mangroves (D _M)	241474	0	241474	250290	103,65%
Niveau d'émissions de référence des forêts	30890415	3451912	34342327	12946086	37,70%





7 EVALUATION DE L'INCERTITUDE DU NERF

7.1 IDENTIFICATION ET EVALUATION DES SOURCES D'INCERTITUDE

Ce chapitre présente l'approche utilisée pour identifier, minimiser et quantifier l'incertitude d'après les Lignes Directrices du GIEC (2006) pour l'inventaire national des gaz à effet de serre (chapitre 3).

La méthodologie utilisée pour estimer les émissions moyennes annuelles de GES pendant la période de référence s'appuie sur dispositions des LD du GIEC (2006), et est équivalente à la méthode « Donnée d'activité x Facteur d'émissions » (DA x FE) indiquée dans le chapitre 3.2.3 du GFOI MGD 2¹⁶ ainsi que nous l'avons démontré dans le chapitre 6. Etant donné que la multiplication n'entraîne pas elle-même d'incertitude, les incertitudes peuvent être divisées en 2 groupes : les incertitudes liées aux données d'activité (DA) et les incertitudes liées aux facteurs d'émissions (FE).

7.1.1 Source des incertitudes des données d'activité

Les incertitudes des données d'activité proviennent des incertitudes associées à la classification de l'occupation du sol à chacune des dates étudiées. D'après le GOFC-GOLD REDD Sourcebook, les sources d'incertitudes potentielles seraient

- Erreur de mesure lors de la création de la carte strate forestière L'erreur de mesure pourrait être une erreur systématique et aléatoire et est causée par ce qui suit:
- 1. Qualité et pertinence des données satellitaires (résolution spatiale, spectrale et temporelle et géolocalisation). Ceci est généralement une source d'erreurs systématiques.
- 2. Normes cartographiques et thématiques
- 3. Procédure d'interprétation : C'est la plus grande source d'erreur (erreur Systématique).
- Procédure d'interprétation d'image durant le collecte des données.

¹⁶ GFOI (in press). Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative – Version 2. Chapitre 3.2.3

Janvier 2018





7.1.2 Sources d'incertitudes des facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont calculés comme étant la différence entre deux estimations de moyennes de biomasse. L'incertitude des facteurs d'émissions est donc directement liée à l'estimation de la moyenne de la biomasse des différentes strates forestières et non forestières considérées.

D'après Cunia (1987), les mesures de biomasse aérienne entraînent trois types de sources d'erreurs : les erreurs de mesure (variables biométriques comme le DHP, la hauteur totale ou la densité basale, par exemple), l'erreur de prédiction du modèle allométrique utilisé (par exemple : incertitude des paramètres du modèle) et l'erreur d'échantillonnage (par exemple : plan d'échantillonnage, hétérogénéité spatiale de la forêt).

Toutefois, des recherches plus récentes comme celles de Picard et al. (2015), de Van Breugel et al. (2011) et de Chave et al. (2004) ajoutent une source d'incertitude supplémentaire qui serait liée à la sélection du modèle allométrique (par exemple lorsque différents modèles prédisent des valeurs différentes).

En outre, une autre erreur liée à l'estimation de la biomasse aérienne spécifique à la présente étude concerne l'erreur de la relation diamètre-hauteur. En effet, étant donné que la hauteur n'a pas été systématiquement mesurée sur l'ensemble des arbres, une fonction diamètre-hauteur a été développée d'une part par l'inventaire forestier national de 1996 et d'autre part par le projet PERR-FH. Cette fonction a été utilisée pour calculer la hauteur des arbres dans le but d'utiliser ce paramètre dans l'équation allométrique permettant d'estimer la biomasse. Dans le cas de l'inventaire de 2017, toutes les hauteurs ont été mesurées.

Ce NERF inclut également la biomasse souterraine. Celle-ci a été calculée à partir de plusieurs rapports racinaire-foliacé (*root-shoot ratios*, RSR). Par conséquent, l'erreur liée au RSR doit également être considérée dans l'estimation de l'incertitude.

7.1.2.1 Estimation de la biomasse aérienne dans les placettes de terrain

7.1.2.1.1 Erreurs de mesure

L'erreur de mesure sont les erreurs des paramètres du modèle allométrique. L'erreur de mesure sur le DHP peut être systématique ou aléatoire. La première est considérée comme négligeable étant donné que les mesures ont été effectuées par des opérateurs expérimentés qui ont suivi un protocole précis, tandis que la seconde peut se produire à cause d'erreurs aléatoires et engendrer ainsi par propagation un biais égal à zéro. Picard et al. (2015) présument dans leur analyse des incertitudes des facteurs d'émissions que cette erreur est approximativement égale à 2%.





La hauteur totale de l'arbre est un autre paramètre qui est mesuré et à laquelle peut être associée une erreur aléatoire (en supposant qu'il n'existe pas d'erreur systématique). D'après Chave et al. (2004), qui a mesuré 1 000 arbres, l'erreur de mesure de hauteur est égale à environ 10% de la hauteur réelle.

Enfin, la densité basale spécifique est un autre paramètre fréquemment utilisé dans les modèles allométriques. Etant donné que cette variable ne peut pas être mesurée sur le terrain, les valeurs utilisées proviennent généralement de la littérature et de bases de données mondiales. Chave et al. (2004) supposent que l'erreur liée à ce paramètre est égale à environ 10% de la valeur estimée.

D'après Chave et al. (2004), l'erreur propagée due à ces trois paramètres est égale à 16,5% de la biomasse totale de l'arbre. Toutefois, comme nous l'avons indiqué dans cette étude, les erreurs à l'échelle d'un arbre se compensent et s'annulent à l'échelle d'un peuplement. Mais d'après Picard et al. (2015) qui a uniquement considéré l'erreur de mesure du DHP, cette erreur est négligeable par rapport aux autres sources d'erreur.

7.1.2.1.2 Erreur de la fonction diamètre-hauteur

L'inventaire forestier national de 1996, comme le projet PERR-FH, ont développé une relation diamètre-hauteur pour estimer la hauteur (variable nécessaire dans l'équation allométrique). En appliquant la fonction développée par le projet PERR-FH aux arbres inventoriés lors de l'inventaire forestier national de 1996 (écorégion des forêts humides) pour lesquels la hauteur réellement mesurée était disponible, cette hauteur estimée avait un biais égal à +16%. Toutefois, l'application de l'équation allométrique pantropicale de Chave et al. (2014) ne faisant pas intervenir la hauteur donne une surestimation de la biomasse de 6% sur l'ensemble des placettes. Par conséquent, la relation hauteur-diamètre surestime certes la hauteur, mais le calcul de la biomasse à partir de l'équation allométrique utilisant cette hauteur estimée reste plus faible que la biomasse calculée à partir de l'équation allométrique sans hauteur. Bien que cette erreur ne soit pas quantifiée, elle participe à l'erreur totale dans l'estimation de la biomasse à l'échelle de la placette (section 7.2). Dans le cas de l'inventaire de 2017, toutes les hauteurs ont été mesurées.

7.1.2.1.3 Erreur du modèle allométrique

L'erreur du modèle allométrique provient des trois sources suivantes :

- L'erreur due à l'incertitude des coefficients du modèle
- L'erreur due à l'erreur résiduelle du modèle
- La sélection du modèle allométrique





D'après Picard et al. (2015), la majeure partie de l'incertitude est liée à la sélection du modèle allométrique : elle peut atteindre 77% de l'estimation moyenne. Van Breugel et al. (2011) estime que l'erreur liée à l'équation allométrique peut varier de 5 à 35% selon le modèle sélectionné.

La première et la deuxième erreur peuvent quant à elles être considérées comme négligeables étant donné que l'incertitude des paramètres et l'erreur résiduelle du modèle de Chave et al. (2014) sont très faibles. Par conséquent, on peut supposer que la majeure source d'erreur ici est liée au choix de l'équation allométrique ; cette erreur est significative.

7.1.2.1.4 Erreur d'échantillonnage

L'erreur d'échantillonnage doit être ajoutée aux erreurs de mesures et de prédiction mentionnées plus haut. Celle-ci est utilisée pour extrapoler la biomasse à l'échelle de la zone d'intérêt. Cette erreur dépend: a) du plan d'échantillonnage ; b) de la taille de l'échantillon ; c) du type d'estimateur utilisé ; d) de la variabilité interne entre les différentes unités d'échantillonnage. L'erreur d'échantillonnage est considérée comme significative.

7.1.2.2 Estimation de la biomasse racinaire

Erreur du quotient racinaire/foliacé

Afin d'estimer la biomasse racinaire, la biomasse aérienne a été multipliée par le quotient racinaire/foliacé (*root-shoot ratio*, RSR). Nous avons utilisé des moyennes de RSR fournis par Mokany et al. (2006), qui a publié des valeurs de RSR selon différents types de végétation. Certaines des erreurs liées à l'estimation de la biomasse aérienne sont également valables ici, comme l'erreur de mesure et d'échantillonnage. Toutefois, la seule erreur disponible dans l'article de Mokany et al. (2006) concerne l'erreur d'échantillonnage au sein des différentes études analysées.

7.1.2.3 Synthèse

Comme cela a été présenté ci-dessus, les principales sources d'incertitude qui sont significatives pour l'estimation des facteurs d'émissions sont les suivantes :

• Erreur de mesure : erreurs aléatoires liées à la mesure des paramètres prédicateurs. Ainsi que cela a été décrit ci-dessus, cette erreur peut atteindre 10 à





16,5% du total, mais on peut espérer que ces erreurs se compensent (au moins en partie) les unes les autres étant donné qu'il s'agit d'erreurs aléatoires.

- Erreur du modèle allométrique : la majeure source d'incertitude est la sélection de l'équation allométrique. Le choix d'équation de Vieilledent et al. (2012) va réduire l'incertitude au minimum car celle-ci est une équation locale.
- Erreur de la relation hauteur-diamètre: Ainsi que cela a été expliqué ci-dessus, cette erreur est comptabilisée dans l'estimation de l'erreur agrégée pour l'estimation de la biomasse aérienne au niveau de la placette lorsqu'on utilise une équation allométrique (voir plus haut). Afin de comptabiliser ces erreurs, nous avons utilisé une erreur agrégée de 15% qui comptabilise les erreurs de mesure (DHP et hauteur), l'erreur dans l'estimation de la densité basale du bois et l'erreur de la relation hauteur-diamètre. Cette valeur est la valeur maximale d'une estimation réalisée par Chave et al. (2014) qui avait évalué que l'incertitude totale de l'estimation de la biomasse pouvait aller jusqu'à 15% sur des placettes d'inventaire de 0,25 ha. Dans le cas de l'inventaire de 2017, toutes les hauteurs ont été mesurés.
- Erreur d'échantillonnage : l'erreur d'échantillonnage des différents types forestier est présentée dans le Tableau 64





Tableau 64 : Erreur d'échantillonnage de la biomasse dans différentes strates forestières et non forestières

TYPE D'OCCUPATION DU SOL	ERREUR D'ÉCHANTILLONNAGE [%] (INTERVALLE DE CONFIANCE À 90%)
Forêt Humide	12,61%
Forêt Sèche	14,42%
Forêt Épineuse	14,22%
Mangrove	21,82%
Non-forêt, écorégion des Forêts Humides	17,83%
Non-forêt, écorégion des Forêts Sèches	22,81%
Non-forêt, écorégion des Forêts Épineuses	22,81%
Non-forêt, écorégion des Mangroves	54,16%

7.2 QUANTIFICATION DE L'INCERTITUDE

Lorsque l'incertitude n'a pas pu être réduite à zéro ou proche de zéro (en appliquant des valeurs conservatives par exemple), nous avons quantifié l'incertitude de tous les facteurs d'émissions et de toutes les données d'activité. Nous avons utilisé la méthode de propagation simple des erreurs du GIEC (2006), en calculant l'incertitude de chaque donnée d'activité et de chaque facteur d'émission avant de les agréger pour estimer l'incertitude des émissions moyennes annuelles de GES. D'après le GIEC (2006), l'estimation de la moyenne et de l'écart-type de toutes les variables en entrée – ainsi que les équations qui combinent ces variables en entrée pour obtenir des résultats intermédiaires ou finaux – sont nécessaires pour quantifier l'incertitude selon la méthode de propagation simple des erreurs. L'approche suivante a été appliquée :

Lorsque la moyenne, l'écart-type et la taille de l'échantillon étaient disponibles, nous avons calculé l'intervalle de confiance à 90%. Lorsque ces données





n'étaient pas disponibles, nous avons appliqué les préconisations du GIEC (2006) et avons estimé à dire d'expert cet intervalle de confiance (relatif).

 Dans tous les cas, nous avons supposé que cet intervalle de confiance était symétrique.

L'incertitude a ensuite été calculée en utilisant les équations fournies par les Lignes Directrices du GIEC (2006) pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (équations 3.1 et 3.2).

7.2.1 Calcul de l'incertitude des données d'activités

L'incertitude des données d'activités est indiquée dans le tableau suivant :

Tableau 65 : Incertitude des estimations des données d'activités par activité et écorégion

Ecorégion/Activité	90% de confiance	Intervalle de
	Marge d'erreur	confiance de 90%
	relative (%)	(Ha/an)
Déforestation forêt	22%	6360
humide		
Déforestation forêt	75%	78321
sèche		
Déforestation forêt	41%	3774
épineuse		
Déforestation forêt	55%	560
de mangrove		

En remarquant que les incertitudes d'estimation des données d'activités pour les écorégions sèche, épineuse et mangrove sont encore élevées. Car le nombre des échantillons utilisé pour l'estimation des données d'activités est insuffisant.

Ces valeurs d'incertitude pourraient diminuer en augmentant le nombre des échantillons à collecter.





7.2.2 Calcul de l'incertitude des facteurs d'émissions

Le cadre méthodologique du Fonds Carbone du FCPF n'indique pas clairement quelles erreurs doivent être considérées dans l'évaluation de la précision des facteurs d'émissions. En revanche, les Lignes directrices du GIEC (2006) contiennent une description des bonnes pratiques du calcul et de la considération des incertitudes, mais n'inclut pas non plus de recommandations claires quant aux sources d'incertitudes qui doivent être comptabilisées.

Ainsi que cela a été mentionné ci-dessus, l'agrégation ou la propagation des incertitudes a été réalisée à partir de la méthode 1 des Lignes directrices du GIEC. Dans ce cas, l'estimation des incertitudes a été réalisée à partir des Lignes directrices du GIEC (Chapitre 2, Volume 1 de GIEC 2006). La propagation de l'erreur – à partir des incertitudes décrites dans les différentes publications ou déterminées à partir de différentes sources de données (dans le cas de la combinaison de valeurs) – a été réalisée à partir de la méthode 1 du GIEC (2006). Cela signifie que dans le cas d'une somme de deux paramètres x et y, nous avons considéré que leurs incertitudes σx et σy seraient combinées avec la racine de la somme de leurs carrés :

Incertitude $(x+y) = \sqrt{\sigma_x + \sigma_y}$.

Dans le cas d'une multiplication de deux paramètres x et y, nous avons considéré que les incertitudes σx et σy seraient combinées de la manière suivante :

Incertitude
$$(x * y) = \sqrt{\left[\frac{\partial f}{\partial x}\sigma_x\right] + \left[\frac{\partial f}{\partial y}\sigma_y\right]}$$

Ces équations sont équivalentes à celles indiquées dans le Chapitre 2 du Volume 1 des LG du GIEC (2006).





Les cinq tableaux suivants présentent l'incertitude de la biomasse aérienne, de la biomasse racinaire, des stocks de carbone et des facteurs d'émis

Tableau 66 : Composition et agrégation de l'incertitude de l'estimation de la biomasse aérienne

TYPE D'OCCUPATION DU SOL	MOYENNE DE LA BIOMASSE AÉRIENNE [TMS/HA]	ERREUR D'ECHANTIL LONNAGE (IC 90%) [TMS/HA]	ERREUR D'ÉCHANTIL LONNAGE (IC 90%) [%]	ERREUR EQUATION CHAVE (IC 90%) [TMS/HA]	ERREUR EQUATIO N CHAVE (IC 90%) [%]	ERREUR TOTALE BA (IC 90%) [TMS/HA]	ERREUR TOTALE BA (IC 90%) [%]
Forêt humide	262,18	10,01	3,82%	39,33	15%	40,58	15,48%
Forêt sèche	58,01	4,52	11,7,78%	8,70	15%	9,80	16,90%
Forêt épineuse	20,21	2,16	10,68%	3,03	15%	3,72	18,42%
Mangrove		Jones et	al, (2014) ne pré	esente pas que val	eurs de carboi	ne total,	
Non-forêt, écorégion des forêts humides	21,80	4,57	20,95%	0,00	0%	4,57	20,95%
Non-forêt, écorégion des forêts sèches	2,50	0,64	25,58%	0,00	0%	0,64	25,58%
Non-forêt, écorégion des forêts épineuses	2,50	0,64	25,58%	0,00	0%	0,64	25,58%
Non-forêt, écorégion des Mangroves		Jones et	al. (2014) ne pré	esente pas que val	eurs de carboi	ne total.	

Tableau 67 : Composition et agrégation de l'incertitude de l'estimation des stocks de carbone en mangrove

TYPE D'OCCUPATION DU SOL	MOYENNE DU STOCK DE CARBONE DE LA BIOMASSE AÉRIENNE + SOUTERRAINE (DONT BOIS MORT) [TC/HA]	ERREUR D'ECHANTI LLONNAGE (IC 90%) [TC/HA]	ERREUR D'ÉCHANTILL ONNAGE (IC 90%) [%]	ERREUR ALLOMETRIQUE (IC 90%) [TC/HA]	ERREUR ALLOMÉTR IQUE (IC 90%) [%]	ERREUR TOTALE BIOMASSE (IC 90%) [TC/HA]	ERREUR TOTALE BIOMASSE (IC 90%) [%]
Mangrove	79,12	12,54	15,85%	11,87	15%	17,27	21,82%
Non-forêt, écorégion des Mangroves	20,80	10,83	52,05%	3,12	15%	11,27	54,16%





Tableau 68 : Incertitude de l'estimation de la biomasse souterraine

CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	MOYENNE DE LA BIOMASSE SOUTERRAINE [TMS/HA]	INTERVALLE DE CONFIANCE A 90% [TMS/HA]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Forêt humide	53,75	8,57	15,94%
Forêt sèche	116,52	3,03	218,33%
Forêt épineuse	7,30	1,44	19,79%
Mangrove	Jones et al, (2014) ne prés	ente pas que valeurs de ca	rbone total,
Non-forêt, écorégion des forêts humides	4,47	1,03	23,15%
Non-forêt, écorégion des forêts sèches	1,41	0,62	44,12%
Non-forêt, écorégion des forêts épineuses	1,41	0,62	44,12%
Non-forêt, écorégion des Mangroves	Jones et al. (2014) ne prés	ente pas que valeurs de ca	rbone total.

Tableau 69 : Incertitude de l'estimation du bois mort

	Forêt Humide	Forêt Séche	Forêt Épineuse
Moyenne Bois Mort [tms/ha]	13,16	4,09	0,71
Erreur relatif (+/- 90% CI)	12,37%	20,87%	55,30%
Intervalle confiance (tms/ha)	1,63	0,85	0,39





Tableau 70 : Incertitude de l'estimation des stocks de carbone

CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	STOCKS DE CARBONE [TCO2/HA]	Intervalle de confiance a 90% [tCO2/ha]	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [%]
Forêts Humide	974,02	71,61	7,35%
Forêt Sèche	330,96	17,74	15,36%
Forêt Epineuse	222,63	6,91	13,11%
Forêt Mangrove	551,34	6 120,32	221,82%
Non-forêt Ecoregion Forêt Humide	428,99	8 9,51	12,22%
Non-forêt Ecoregion Forêt Séche	192,61	1,54	20,80%
Non-forêt Ecoregion Forêt Épineuse	174,17	1,54	0,88%
Non-forêt Ecoregion Mangrove	314,14	170,15	54,16%

Table 71 : Incertitude des facteurs d'émissions de changements de stocks

TYPE DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL	FACTEUR D'ÉMISSIONS [TCO2/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Déforestation Foret Humide (D _{FH})	545,03	72,24	13,25%
Déforestation Forêt Séche (D _{FS})	138,35	17,81	12,87%
Déforestation Forêt Épineuse (DFE)	48,46	7,08	14,62%
Déforestation Mangoves (D _M)	237,20	208,40	87,86%





Tableau 72 : Incertitude des facteurs d'émissions non-co2

TYPE DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL	FACTEUR D'ÉMISSIONS [TCO2/HA]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/ha]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Déforestation Foret Humide (D _{FH})	64,88	30,02	46,27%
Déforestation Forêt Séche (DFS)	14,11	10,77	776,35%
Déforestation Forêt Épineuse (D _{FE})	11,17	12,58	112,62%
Déforestation Mangoves (Dм)	0,00	0,00	0,00%

7.2.3 Calcul de l'incertitude du niveau de référence

À partir de l'incertitude des données d'activité et des facteurs d'émissions, l'incertitude des émissions pendant la période de référence et finalement l'incertitude du NERF a été calculée en utilisant la propagation de l'erreur (Tableau 70). L'incertitude totale du NERF a été estimée à environ ± 13 millions tCO2/an soit approximativement 38%.

Tableau 73 : Incertitude du NERF et des émissions par écorégion

STRATE	EMISSIONS [TCO2/AN]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/an]	Intervalle de confiance à 90% [%]
Déforestation en Forêt Humide (D _{FH})	17630818	4489895	25,47%
Déforestation en Forêt Sèche (D _{FS})	15921232	2 12137176	76,23%





STRATE	EMISSIONS [TCO2/AN]	Intervalle de confiance à 90% [tCO2/an]	Intervalle de Confiance à 90% [%]
Déforestation en Forêt Épineuse (D _{FE})	548803	261309	47,61%
Déforestation dans les Mangroves (D _M)	241474	250290	103,65%
Niveau d'émissions de référence des forêts	34342327	12946086	37,70%





8 DISCUSSION, CONCLUSION ET PLAN D'ACTION POUR L'AMELIORATION DU NERF

Cette section discute brièvement quelques problématiques concernant le NERF, en particulier le manque de données, la validité des hypothèses et des simplifications méthodologiques. De plus, elle fournit des recommandations sur la façon dont ces points seront traités pour la révision du NERF national et du plan d'action pour sa mise en œuvre.

Le Niveau d'Emissions de Référence des Forêts (NERF) présenté ici est basé sur les meilleures données disponibles à ce jour. L'objectif était de présenter un NERF aussi complet que possible en termes de couverture géographique. Ce NERF couvre les quatre écorégions forestières principales du Madagascar. En tant que tel, la priorité a été donnée à l'exhaustivité plutôt qu'à la qualité des données ou à leur disponibilité – ces données ont en partie été complétées par des hypothèses que nous pensons réalistes et conservatrices. Ces hypothèses, ainsi qu'une partie de ces insuffisances techniques, sont discutées plus amplement ci-dessous.

Ce NERF a grandement bénéficié du projet PERR-FH récemment finalisé, qui a fourni toutes les données d'activité ainsi que celles de la biomasse pour l'écorégion forestière humide de l'Est. L'inventaire forestier de l'écorégion de forêts sèches de l'ouest a été finalisé en 2017. Il a également bénéficié de l'inventaire forestier national de 1996, ainsi que de la recherche scientifique menée dans les écosystèmes forestiers des mangroves (Jones et al. 2014), et des types d'occupation du sol post-déforestation (Andriamananjara et al. 2016).

Il est également important de mentionner que Madagascar s'est lancé dans deux procédures qui sont particulièrement pertinentes dans le cadre de la soumission de ce NERF.

- 1. Le premier est un processus national pour l'amélioration des données d'activité et des facteurs d'émissions, et pour la mise en œuvre du système national MRV. Une nouvelle analyse des changements du couvert végétal sera menée de 2005 à 2016 couvrant l'ensemble du territoire national. De plus, des inventaires forestiers supplémentaires seront menés en 2018 afin de fournir de meilleures estimations de la biomasse des Forêts Epineuses et des Mangrove.
- 2. Le second est un processus régional couvrant l'ensemble de l'écorégion forestière humide de l'Est. Le BNC-REDD+ a soumis une demande au FCPF afin d'enregistrer une fraction de cette écorégion au PRE-AA sous financement du Fonds Carbone FCPF. Tel que défini par ce processus, une classification plus détaillée du couvert végétal est en cours d'élaboration, de





façon à inclure également la dégradation des forêts et l'augmentation des stocks de carbone forestier dans la comptabilisation des GES. Il est envisagé que cette classification plus détaillée du couvert végétal soit appliquée aux autres écorégions forestières au niveau national. Un inventaire a déjà été mené en 2016 afin d'améliorer l'estimation de la biomasse dans les forêts dégradées de l'écorégion des forêts humides de l'Est, fournissant des estimations de biomasse sur plus de 450 placettes sur 5 strates de dégradation différentes (reste à déterminer si l'on gardera cette stratification dans les études ultérieures).

Activités REDD+

Ce NERF comptabilise uniquement la déforestation brute. Certes, les émissions dues à la dégradation des forêts sont probablement importantes – en particulier dans les écorégions des Forêts Sèches et des Forêts Epineuses - mais aucune donnée n'est encore disponible à ce jour pour quantifier cette dégradation, dans aucune des écorégions. Néanmoins, et comme mentionné plus haut, un inventaire forestier a été mené en 2016 afin d'estimer la biomasse dans 5 strates différentes de forêt dégradée dans l'écorégion des forêts humides. Dans le cadre de l'élaboration du programme de réduction d'émission Atiala Antsinanana, une étude a été entreprise afin de développer une nouvelle stratification forestière pour l'écorégion forestière humide qui, combinée à une nouvelle analyse du changement du couvert végétal et de l'inventaire forestier ci-nommé, celle-ci a permis de quantifier les émissions de la dégradation forestière, juste pour l'écorégion des forêts humides en 2017. A moyen terme, la dégradation sera également estimée dans les autres écorégions forestières de façon à ce que la dégradation puisse être comptabilisée pour l'ensemble du pays dans une version ultérieur révisée de ce NERF. De la même manière, la nouvelle analyse du changement du couvert végétal permettra aussi une estimation des améliorations des stocks de carbone du passage à 'terre non forestière' à 'forêt', de façon à ce que l'estimation de la dégradation brute actuelle puisse être remplacée par une estimation nette de la déforestation.

L'évaluation de l'augmentation des stocks de carbone dans les forêts demeurant 'forêts' nécessitera des relevés fréquents dans des placettes permanentes, et ceux-ci ne sont pas encore prévus, bien que la validation et donc la mise en œuvre du -PRE-AA sur les Forêts Humides de l'Est permettra d'effectuer ces relevés (notamment dans le cadre de son système MRV), mais uniquement à l'échelle de cette écorégion.





Réservoirs carbone

Ce NERF comptabilise la biomasse aérienne, souterraine, bois mort sur pied et bois mort, le carbone du sol. Des données sur le Carbone Organique du Sol (COS) sont disponibles pour l'écorégion forestière humide, ainsi que pour les mangroves (Jones et al. 2014) et pour les sites non forestiers dans l'écorégion des forêts humides (provenant du Projet PERR-FH et Andriamananjara et al. 2016). Une étude sur la définition de cible en matière de neutralité de la dégradation de terre a permis de produire une carte de carbone de sol à profondeur de 30cm. Ce qui a permis d'intégrer le réservoir carbone du sol dans cette version de NERF.

De même, l'analyse menée par le Projet PERR-FH n'a pas pu déterminer de façon concluante comment la perte du COS se produit dans le temps après la déforestation. Les données existantes montrent donc leurs faiblesses à expliquer la différence entre le COS des placettes forestières et celui des placettes non forestières. Cela peut être lié au fait qu'il y a dans le cycle de tavy des sites qui ont été déforestés, ont été transformés en jachères puis ont progressivement évolué vers la forêt avant d'être à nouveau déforestés.

D'après les instructions du GIEC (2006), il est plus important de connaître la valeur finale d'une transition que de comprendre l'évolution des valeurs pendant la transition elle-même. Dans ce contexte, ces données pourront être étudiées de manière plus approfondie lors du calcul du niveau d'émission de référence du PRE-AA dans l'écorégion des forêts humides ; l'opportunité d'étendre ces données au niveau national sera alors étudiée.

Ce NERF ne comptabilise aucun transfert du réservoir de la biomasse aérienne et souterraine vers le réservoir de la Matière Organique Morte, ce qui peut ne pas être conservateur¹⁷ – du moins pour les émissions de la biomasse souterraine. Il semble probable que la biomasse racinaire, lorsqu'elle n'est pas brûlée, se décompose progressivement après la déforestation : les émissions de carbone s'étendraient donc sur une longue période au lieu d'être immédiatement libérées dans l'atmosphère. Il se peut qu'il en soit de même pour une partie de la biomasse aérienne, lorsque celle-ci n'est pas brûlée en intégralité ni extraite suite à la déforestation. D'un autre côté, si nous considérons que la déforestation est constante pendant la période de référence (ce qui est d'ailleurs insinué avec l'approche actuelle de la 'moyenne historique'), alors le transfert et la libération du carbone des réservoirs de MOM vers l'atmosphère peuvent être considérés comme étant constants et, par conséquent, les émissions ne seraient pas surestimées. Le

-

¹⁷ Le terme conservateur est utilisé





transfert et la libération du carbone des réservoirs de MOM vers l'atmosphère devraient d'ailleurs faire l'objet de recherches plus approfondies et pourraient ainsi être inclus dans une version ultérieure du NERF.

Définition de la forêt

Il existe un certain nombre de divergences entre la définition de la forêt et son application aux données d'activité.

En plus, il y a évidence que certaines formations de Forêts épineuses et Mangroves n'atteignent pas les 5 mètres en maturité. Donc il est prévu d'analyser en détail cette question ce qui pourrait mener à une nouvelle définition de forêt de Madagascar pour des différentes écorégions.

Par conséquent, les changements de définition de la forêt ou de l'unité minimale de cartographie devront être considérés dans une future version du NERF.

Données d'activité

Comme mentionné plus haut, les données d'activité actuelles pour l'écorégion des forêts humides pour inclure davantage de strates forestières. Grâce à l'estimation de la biomasse de ces strates, l'estimation des émissions de la déforestation brute sera améliorée, et les émissions liées à la dégradation forestière et à l'augmentation des stocks de carbone (terre non forestière vers terre forestière) seront ajoutées au NERF de l'écorégion des forêts humides en cours d'amélioration.

Des efforts similaires seront entrepris pour améliorer les données d'activité dans les autres écorégions.

Estimation de la biomasse et des facteurs d'émissions

Il existe plusieurs problèmes liés au calcul de la biomasse et des facteurs d'émissions.

- 1. L'inventaire forestier des forêts épineuses peut être considéré comme obsolète étant donné qu'il date de près de 20 ans. En supposant que la dégradation joue un rôle majeur dans ces écorégions, il est possible que la biomasse moyenne de ces écorégions soit considérablement plus faible aujourd'hui qu'en 1996. Une comparaison des données de 2005 et de 2015 à partir de collecte earth nous a donné le résultat suivant : après avoir effectué une collecte de 30 points, deux points sur 30 collectés ont enregistrés un changement de forêt épineuse intacte en forêts épineuse dégradée et ceci correspond à une erreur de surestimation de 7% de biomasse environ par rapport aux données d'inventaire de forêts épineuse en 1996.
- 2. Pour la majorité des arbres de l'inventaire PERR-FH (écorégion des forêts humides), la hauteur a été estimée à partir d'une fonction hauteur-diamètre,





qui est elle-même dérivée d'un sous-échantillon de 2 500 arbres dont la hauteur a été mesurée. En appliquant cette fonction aux arbres de l'inventaire de 1996 (écorégion des forêts humides) pour lesquels la hauteur était disponible, la hauteur calculée est surestimée de 16%. Mais, étant donné que l'équation allométrique avec hauteur donne une valeur de biomasse inférieure à celle calculée à partir de l'équation allométrique sans hauteur, on peut finalement considérer que ce problème n'en est pas un. De plus, une surestimation de la hauteur de 16% n'engendrait pas une surestimation de la biomasse avec une même amplitude. Quoiqu'il en soit, une amélioration de la fonction hauteur-diamètre pourrait être réalisée dans une future version du NERF; ce travail devra inclure l'erreur de prédiction de la fonction.

- 3. Pour une petite partie des arbres de l'inventaire de 1996 (moins de cent arbres dans les forêts épineuses), la hauteur a également été calculée à partir de deux fonctions hauteur-diamètre. Ces fonctions ont été fournies par l'inventaire de 1996 mais sans apporter la moindre information sur les sources utilisées. Etant donné qu'elles n'ont été appliquées qu'à un petit nombre d'arbres, on peut considérer que ce problème est négligeable. Quoiqu'il en soit, la source et la validité de ces fonctions devront être identifiées, testées voire révisées dans une future version du NERF.
- 4. La procédure d'attribution des densités basales spécifiques aux arbres inventoriés n'a pas été exactement la même selon les inventaires traités. Pour le jeu de données issu du projet PERR-FH, la valeur de densité basale spécifique provient directement du projet PERR-FH, bien que la correspondance entre les noms scientifiques et les noms vernaculaires enregistrés pendant l'inventaire n'ait pas pu être finalisée; cependant, des jeux de données différents (et parfois contradictoires) ont été utilisés. Afin d'améliorer cela dans une version ultérieure du NERF, une base de données dendrologiques nationale devra être réalisée, ce qui permettra d'une part d'établir clairement les correspondances entre les noms scientifiques et les noms vernaculaires, et d'autre part de rassembler les valeurs de densité basale spécifique issues de différentes sources.
- 5. L'estimation de la biomasse dans les sites post-déforestation est considérée comme appropriée dans l'écorégion des forêts humides. Pour les sites post-déforestation situés en forêt sèche et en forêt épineuse, la taille de l'échantillon est assez faible (n = 5). L'estimation concerne donc les forêts sèches et ne peut pas être applicable aux forêts épineuses. Dans ces deux dernières écorégions, l'approche actuelle peut plutôt être considérée comme une approximation discutable visant à pallier le manque de données. L'alternative aurait consisté à notifier la perte brute de biomasse, ce qui aurait conduit à une surestimation des émissions par rapport à l'approche





- précédente. Quoiqu'il en soit, un nouvel inventaire forestier est prévu dans les écorégions des Mangroves en 2018 et des forêts épineuses en 2019, qui inclura des mesures dans des sites post-déforestation. Ces valeurs seront utilisées dans une version ultérieure du NERF afin de produire des estimations fiables de biomasse post-déforestation au sein de ces écorégions.
- 6. L'estimation de la biomasse des mangroves provient d'une étude locale ; les estimations de biomasse peuvent donc être considérées comme non représentatives de l'écorégion des mangroves. Pour résoudre cette simplification méthodologique, un inventaire des mangroves est prévu pour 2018 : la biomasse sera échantillonnée dans l'intégralité de l'écorégion des mangroves, y compris dans des sites dégradés et déforestés. Cela devrait permettre une estimation de la biomasse et des facteurs d'émissions plus représentative pour une version ultérieure du NERF.

Incertitudes

L'estimation de l'incertitude a été réalisée d'après les lignes directrices du GIEC (2006) pour les inventaires nationaux de GES. Pour le moment, la méthode de propagation de l'erreur a été utilisée pour agréger les incertitudes et produire une valeur d'incertitude totale du NERF dans un intervalle de confiance de 90%. La plupart des problèmes rencontrés pour l'estimation de l'incertitude (en particulier l'incertitude de l'évaluation de la biomasse) ont déjà été discutés dans le chapitre 7. De notre point de vue, le principal problème concernant l'estimation de l'incertitude dans ce NERF concerne l'incertitude liée au choix de l'équation allométrique et celle liée à la détection des changements. Concernant les éguations allométriques, nous n'avons pas la possibilité d'estimer l'erreur de prédiction de la biomasse à l'échelle de l'arbre ou de la placette. Concernant la détection des changements, l'évaluation de la précision ne suit pas les recommandations faites par Oloffson et al. (2014). De plus, le BNC-REDD+ a réalisé une validation supplémentaire de la détection des changements en utilisant Collect Earth. Cela a permis de suivre les étapes décrites par Oloffson et al. (2014) et de remplacer les estimations cartographiques (données d'activité) par des estimations de superficies ajustées (et de leurs intervalles de confiance), afin d'actualiser l'estimation de l'incertitude du NERF. Enfin, il est envisagé de calculer l'incertitude d'une version ultérieure du NERF selon une simulation Monte Carlo.

Cohérence du NERF avec les inventaires nationaux de GES, la CPDN et le Programme de Réduction des Émissions du Fonds Carbone FCPF

 NERF et inventaire des GES: Madagascar n'a pas initié d'inventaire national des GES pour le moment. Les émissions et les absorptions du secteur AFOLU





(incluant les forêts) ont été publiées au sein de communications nationales. Les méthodes, les données et la portée de la comptabilisation de ces communications nationales ne sont pas cohérentes avec le présent NERF. Il est prévu que le processus national REDD+ de Madagascar contribue à améliorer les communications nationales à venir. Il faudra ainsi s'assurer d'obtenir une certaine cohérence, et que les inventaires nationaux de GES à venir prendront en compte les données et les méthodes utilisées dans le calcul de ce NERF et ses futures versions.

• NERF et Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN): Madagascar a soumis sa CPDN à la CCNUCC; l'objectif affiché était de réduire les émissions de GES de 30 millions de tCO₂e et d'augmenter ses absorptions de 62 millions de tCO₂e/an d'ici 2030. Cet objectif a été défini à partir d'un modèle « business as usual » qui suppose une tendance linéaire des émissions et des absorptions par rapport à une période historique de référence 2000-2010. Ce modèle considère de plus que le secteur LULUCF est un puits considérable (environ 215,89 millions de tCO2e pour l'année 2020). Le présent NERF indique toutefois que le secteur forestier — qui l'un des sous-secteurs les plus importants du LULUCF — est une source d'émissions.

Il est important de noter que le présent NERF ne comptabilise pas la régénération ; il ne quantifie pas non plus les émissions dues à la dégradation ou l'augmentation de la biomasse dans les forêts. Or ces puits et ces sources influenceront notablement la compréhension globale de l'ensemble des émissions nettes liées à la déforestation et à la dégradation. Cela devra constituer la base de l'amélioration de la CPDN de Madagascar. Il est toutefois important de noter que le présent NERF ne préjuge pas de la qualité de la CPDN de Madagascar.

• NERF et PRE-AA: Le PRE-AA et son niveau d'émissions de référence couvrent une grande partie de l'écorégion des forêts humides: le niveau d'émission de référence sera donc proche de la sous-composante nationale des forêts humides du NERF. Cependant, il est fort probable que les périodes historiques de référence du niveau d'émission de référence du PRE-AA et du NERF ne soient pas les mêmes. De plus, il est possible que le Programme-RE inclut des réservoirs carbone supplémentaires ou des activités REDD+ supplémentaires (comme la dégradation des forêts) et doive donc introduire d'autres méthodologies et d'autres données. De même, on peut s'attendre à des incohérences (au moins au niveau temporel) entre le niveau d'émission de référence du PRE-AA et le NERF. Il est toutefois envisagé d'utiliser le PRE-AA comme un test pilote avant son application à l'échelle nationale —





c'est-à-dire que les méthodes éprouvées dans le cadre du PRE-AA pourront être appliquées aux autres écorégions en temps voulu afin d'améliorer le NERF national. En termes de cohérence de comptabilisation des émissions, la comptabilisation du PRE-AA devra être considérée comme complémentaire et comme plus détaillée que le NERF.

8.1 PLAN D'ACTIONS POUR L'AMELIORATION DU NERF

Le tableau ci-dessous synthétise le plan d'actions visant à résoudre les principaux problèmes décrits dans les sections précédentes.

Tableau 74 : Synthèse du plan d'actions

PROBLEME RENCONTRE	Activite	PERIODE
Exclusion de la dégradation des forêts et augmentation des stocks de carbone, déforestation brute	Une analyse plus détaillée des changements d'occupation du sol incluant une ou plusieurs strates de forêt dégradée est en cours dans l'écorégion des forêts humides. Cela permettra de quantifier les émissions liées a) à la déforestation nette et b) à la dégradation des forêts.	Deuxième semestre 2017 pour l'écorégion des forêts humides Premier semestre 2019 pour les autres écorégions
Exclusion du carbone organique du sol	Dans la zone du Programme-ER (située dans l'écorégion des forêts humides), la possibilité d'inclure le carbone organique du sol sera considérée. À cette fin, des analyses approfondies seront mises en œuvre.	Premier semestre 2018
Incohérence des données d'activité avec la définition de la forêt	Le BNC-REDD+ évaluera la nécessité ou non de revoir la définition de la forêt.	Premier semestre 2018
Données d'inventaire forestier obsolètes ou non représentatives. Manque de données de biomasse pour la strate non-forêt.	De nouveaux inventaires forestiers sont prévus dans les forêts sèches, les forêts épineuses et les mangroves, incluant des échantillonnages dans les sites post-déforestation.	2019
Attribution de la densité basale spécifique	Une base de données dendrologiques nationale va être établie; elle comprendra une attribution (unique,	En continu à partir du premier semestre 2018





PROBLEME RENCONTRE	Астіуіте	PERIODE
	sans ambiguïté) des noms scientifiques aux noms vernaculaires ainsi que la correspondance des densités basales spécifiques issues de différentes sources.	
Fonctions hauteur- diamètre	Les fonctions diamètre-hauteur actuelles dans les différentes écorégions seront analysées en détail et révisées si nécessaire.	2018
NERF, l'inventaire national de GES, la CPDN et le niveau d'émissions de	Le BNC-REDD+, en collaboration avec les autres institutions gouvernementales concernées, travailleront à améliorer la cohérence entre le NERF national, les inventaires nationaux de GES (le cas échéant), la CPDN et le Programme-ER. À cette fin, un groupe de travail sera établi et mènera des échanges fréquents avec les différentes parties prenantes afin d'initier – si nécessaire – l'alignement des méthodes et des données liées à la comptabilisation des GES.	Dès 2017





Références

- [1] www.fao.org/docrep/x5684f/x5684f04.htm.
- [2]
- [3] http://www.bnc-redd.mg/images/documents/rapports/20170822/141210-
 FCC 051013_PERR-FH_2014.pdf;
- [4] M. C. Hansen , P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, J. R. G. Townshend, « High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change », *Science*, 15 Nov 2013, Vol. 342, Issue 6160, pp. 850-853
- [5] William G. Cochran, « Sampling Techniques », Livre, 3em Edition, 1977.
- [6] ERP





BIBLIOGRAPHIE

Andriamananjara, A.; Hewson, J. Razakamanarivo, H.; Andrisoa, R.H.; Ranaivoson, N.; Ramboatiana, N.; Razafindrakoto, M.; Ramifehiarivo, N.; Razafimanantsoaa, M.P.; Rabeharisoa, L.; Ramananantoandro, T.; Rasolohery, A.; Rabetokotany, N.; Razafimbeloa, T. (2016) Land cover impacts on aboveground and soil carbon stocks in Malagasy rainforest. Agriculture, Ecosystems and Environment 233 (2016) 1–15.

Asner et al (2012): Human and environmental controls over aboveground carbon storage in Madagascar, Gregory P. Asner, John K. Clark, Joseph Mascaro, Romuald Vaudry, K. Dana Chadwick, Ghislain Vieilledent, Maminiaina Rasamoelina, Aravindh Balaji, Ty Kennedy-Bowdoin, Léna Maatoug, Matthew S. Colgan and David E Knapp. Carbon Balance Management, 2012.

Baccini et al (2012): Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps, January, 2012. A. Baccini, S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta & R. A. Houghton. Nature Climate Change. Letters. DOI: 10.1038/nclimate1354

Breiman, L, (2001): Random Forests, Machine Learning 45(1), 5-32, http://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324#page-1

Breiman, L (2002): "Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3,1",http://oz,berkeley,edu/users/breiman/Using_random_forests_V3,1,pdf,

Chave J, Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R (2004) Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. Philos Trans Royal Soc B 359:409–420

Chave et al (2005): Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145:87–99.

Chave J, Coomes DA, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12(4): 351-366. http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x

Chave et al (2014): Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees, Jérôme Chave, Maxime Réjou-Méchain, Alberto Burquez, Emmanuel Chidumayo, Matthew S. Colgan, Welington B. B. Delitti, Alvaro Duque, Tron Eid, Philip M. Fearnside, Rosa C. Goodman, Matieu Henry, Angelina Martinez - Yrizar, Wilson A. Mugasha, Helene C. Muller -Landau, Maurizio Mencuccini, Bruce W. Nelson, Alfred Ngomanda, Euler M. Nogueira, Edgar Ortiz-Malavassi, Raphaël Pélissier, Pierre Ploton, Casey M. Ryan, Juan G. Saldarriaga and Ghislain Vieilledent, 2014. Global Change Biology, doi: 10.1111/gcb.12629.

Clough, B.F.; Scott, K. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. For. Ecol. Manag. **1989**, 27, 117–127.





Comley, B.W.T.; McGuinness, K.A. Above- and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. Aust. J. Bot. **2005**, 53, 431–436.

Cunia, T. 1987. Error of forest inventory estimates: its main components. *In* E.H. Whraton& T. Cunia, eds., *Estimating tree biomass regressions and their error. Proceedings of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error offorest inventory estimates, <i>May* 26–30, 1986, *Syracuse*, *N.Y. – Part E.* Broomall, PA, USA,USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Reportno. NE-117, pp. 1–14. 34, 39, 46, 184

Dharmawan, I.W.S.; Siregar, C.A. Soil carbon and carbon estimation of Avicennia marina (Forsk.). Vierh. Stand at Ciasem, Purwakarta. J. Penelit. Hutan dan Konservasi Alam. **2008**, 5, 317–328

FCPF, 2016, Cadre méthodologique du Fonds de partenariat pour le carbone forestier, Final révisée, 22 juin 2016,

GOFC-GOLD (2010): A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. Resource Canada, Alberta, Canada. 210p.

Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S., and R. Headley (2008): Towards monitoring land cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 74, 6-10,

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.

GFOI (2013) Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014

Grinand, C., Rakotomalala, F., Gond, V., Vaudry, R., Bernoux, M., Vieilledent, G., (2012): "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".

Grinand (2011) : Développement d'une méthode de spatialisation des stocks de carbone dans le sol à l'échelle régionale, Application à un projet REDD à Madagascar, Mastère SILAT

Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S., and R. Headley (2008) Towards monitoring land cover and land-use changes at a global scale: The Global LandSurvey 2005, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 74, 6-10





Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. (2013): "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." Science 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest.

IEFN (1996) Carte des domaines phytogéographiques. Extrait de : Inventaire Ecologique Forestier National, Direction des Eaux et Forêts, DFS Deutsche Forstservice GmbH, Entreprise d'Etudes de Développement Rural « Mamokatra », Foiben-Taosarintanin' I Madagasikara

Heritokilalaina, A. (2010) : Évaluation du stock de Carbone de la biomasse végétale et du sol de la forêt du Nord-Est de Madagascar, suivant le niveau de dégradation cas du corridor forestier de Betaolana, Andapa. ESSA, Département des eaux et forêts, Université d'Antananarivo. Mémoire de fin d'études.

Jones, T.G; Ratsimba, H.R.; Ravaoarinorotsihoarana, L.; Cripps, G.; Bey, A. (2014) Ecological Variability and Carbon Stock Estimates of Mangrove Ecosystems in Northwestern Madagascar. *Forests* **2014**, *5*(1), 177-205; doi:10.3390/f5010177

Kauffman, J.B.; Cole, T.G. Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. Wetlands **2010**, 30, 1077–1084.

 $\label{limited-limit} Liaw \quad and \quad Wiener \quad (2002): \quad \text{``Classification} \quad and \quad Regression \quad By \quad random \quad Forest \ \ \text{'} \\ \text{''the problem of the prob$

McGroddy, M.E., Daufresne, T. and Hedin, L.O. (2004). Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial Redfield-type ratios. Ecology 85: 2390-2401.

Mokany, K.; Raison, R.J.; Prokushkin, A.S. (2006) Critical analysis of root :shoot ratios in terrestrial biomes. Global Change Biology (2006) 12, 84–96, d oi: 10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x

Olofsson, P.; Foody, G.M.; Herold, M.; Stehman, S.V.; Woodcock, C.E; Wulder, M.A. (2014) Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment 148 (2014) 42–57

Picard, N.; Henry, M.; Fonton, N.H.; Kondaoule, J.; Fayolle, A.; Birigazzi, L.; Sola, G.; Poultouchidou, A.; Trotta, C.; Maidou, H. (2015) Error in the estimation of emission factors for forest degradation in central Africa. J For Res DOI 10.1007/s10310-015-0510-5

Puyravaud, J. -P. (2002): Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. Forest Ecology and Management, 177, 593–596. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/2160/Puyravaud2.pdf

Raharimalala, O; Buttler, A.; Schlaepfer, R.; Gobat, J.-M.(2012) Quantifying biomass of secondary forest after slash-and-burn cultivation in Central Menabe, Madagascar. Journal of Tropical Forest Science24(4): 474–489.





Rakotovao, G., A. Rabevohitra, J. Gerad, and P. Collas de Chatelperron (2011) Atlas des Bois de Madagascar. Technical report. Cirad and Fofifa, Montpellier, France

Styger, E., Rakotondramasy, H.M., Pfeffer, M.J., Erick, C.M., Fernandes, E.C.M., Bates, D.M., 2007. Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land degradation in the rainforest region of Madagascar. Agric. Ecosyst. Environ. 119 (3–4), 257–269.

Styger, E., Fernandes, E.C.M., Rakotondramasy, H.M., Rajaobelinirina, E., 2009.Degrading uplands in the rainforest region of Madagascar: fallow biomass, nutrient stocks, and soil nutrient availability. Agrofor. Syst. 77 (2), 107–122.

van Breugel, M; Ransijn, J.; Craven, D.; Bongers, F.; Hal, J.S. (2011) Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. Forest Ecology and Management

Volume 262, Issue 8, 15 October 2011, Pages 1648-1657

Vieilledent, G., R. Vaudry, S. F. D. Andriamanohisoa, O. S. Rakotonarivo, H. Z. Randrianasolo, H. N. Razafindrabe, C. Bidaud Rakotoarivony, J. Ebeling, and M. Rasamoelina (2012) A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications* 22: 572–583. *Ecological Archives* A022-035

Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J (2009) Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234