

**CONSORTIUM
WCS – ONE – MNP - ETC**



**DEFINITION DES NIVEAUX DE REFERENCE ET DU SYSTEME MRV DE
L'ECOREGION DES FORETS HUMIDES DE L'EST
(PERR-FH)**

**Composante 2 :
Scénario de référence éco-régional 2015-2024**

**Livrable 5 :
Scénario de référence des émissions de la déforestation et états de
référence socio-économique et de la biodiversité**

**Projet d'appui de l'IDA/GEF au Programme Environnemental
Phase 3 – Financement additionnel
(FA PE3)**

Crédit IDA 4965 MG

Mars 2015

Table des matières

1	Contexte et justification	4
1.1	Introduction	4
1.2	Le financement FA PE3 REDD	4
1.3	Projet Eco-Régional REDD des Forêts Humides (PERR-FH)	5
1.3.1	Objectifs et résultats attendus	5
1.3.2	Composantes	6
1.3.3	Zone d'intervention	8
1.3.4	Livrables	8
1.4	Etapas et méthodologies	8
1.5	Présentation des résultats du projet	9
1.5.1	Ateliers de présentation et de discussion	9
1.5.2	Géoportail du projet	10
1.5.3	Autres produits du projet	12
2	Délimitation de l'écorégion des forêts humides	13
2.1	Collecte d'informations et de données pour la délimitation	13
2.1.1	Cartographies écologiques	13
2.1.2	Inventaire Ecologique Forestier National	13
2.2	Délimitation des écorégions REDD+	15
2.3	Délimitation de l'écorégion des forêts humides de l'Est	16
3	Analyse des facteurs d'émission après déforestation	18
3.1	Emissions de carbone de la biomasse aérienne	18
3.1.1	Méthodologies d'inventaire	18
3.1.2	Collecte des données sur terrain	21
3.1.3	Résultats de l'inventaire	23
3.1.4	Cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne	24
3.2	Emissions de carbone du sol	28
3.2.1	Cartographie des stocks de carbone du sol	28
3.2.2	Détermination des facteurs d'émission liés au carbone du sol	39
4	Analyse de l'évolution de la couverture forestière	43
4.1	Introduction	43
4.2	Méthodologies	44
4.2.1	Chaîne de traitement des données	45
4.2.2	Type d'image satellite	46
4.2.3	Dates et périodes de référence	46
4.2.4	Prétraitement des données	47
4.2.5	Classification	48
4.2.6	Evaluation de la classification	52
4.2.7	Post-classification	53
4.2.8	Validation externe des résultats	57
4.2.9	Calcul des taux de déforestation	58
4.3	Résultats	59
4.3.1	Résultats pour l'écorégion des forêts humides	61
4.3.2	Résultats par Région administrative	61
4.3.3	Résultats par catégorie d'altitude	63
4.3.4	Résultats par rapport aux efforts de conservation	64
4.3.5	Validation des résultats de classification (validation externe)	66
5	Scénarios de référence éco-régionaux	67
5.1	Introduction	67
5.2	Analyse et choix méthodologiques	70
5.2.1	Analyse des cadres méthodologiques internationaux	70
5.2.2	Choix opérés au niveau de l'écorégion	70

5.3	Délimitation des éco-zones.....	72
5.3.1	Analyse des facteurs sous-jacents influençant l'intensité de la déforestation.....	72
5.3.2	Analyse des facteurs influençant la localisation de la déforestation	74
5.3.3	Découpage de l'écorégion en éco-zones homogènes	74
5.4	Etablissement des niveaux d'émissions de référence (REL) éco-régionaux.....	78
5.4.1	Etape 0 : Scénario d'intensité de la déforestation	79
5.4.2	Etape 1 : Préparation des données spatiales.....	81
5.4.3	Etape 2 : Préparation du jeu de données de calibration/validation	83
5.4.4	Etape 4 : Projection de l'intensité.....	86
5.4.5	Etape 5 : Croisement avec les stocks C de la biomasse et du sol.....	88
5.5	Résultats	89
6	Etats de référence socio-économique et de la biodiversité.....	91
6.1	Etat de référence socio-économique	91
6.1.1	Méthodologies.....	91
6.1.2	Résultats des enquêtes socio-économiques.....	96
6.2	Scénario de référence de la biodiversité.....	111
6.2.1	Données utilisées et/ou collectées.....	111
6.2.2	Analyses effectuées.....	113
6.2.3	Résultats	115
7	Systèmes de suivi éco-régionaux	117
7.1	Suivi des émissions liées à la déforestation.....	117
7.1.1	Suivi des données d'activité	117
7.1.2	Suivi des facteurs d'émission	120
7.1.3	Suivi des fuites	122
7.1.4	Institutions en charge du suivi des émissions	124
7.2	Suivi des sauvegardes	125
7.2.1	Le système de suivi des impacts et bénéfices socio-économiques	125
7.2.2	Les indicateurs.....	126
7.2.3	Méthodologie de suivi.....	127
7.2.4	Mécanisme de feedback et de gestion des plaintes	129
7.2.5	Le système de suivi des impacts sur la biodiversité.....	131
7.2.6	Fiches descriptives des indicateurs.....	139
7.2.7	Exemple méthodologique de Makira	139
7.3	Suivi des causes de la déforestation	141
7.3.1	Introduction.....	141
7.3.2	Analyse de la déforestation	142
7.3.3	Analyse de la dégradation des forêts.....	150
7.3.4	Gestion des données du suivi des causes de la déforestation et de la dégradation	153
	Bibliographie	155

Annexes

Annexe 1 :	Stocks de carbone par placette d'inventaire.....	160
Annexe 2 :	Modèles d'émission de carbone du sol.....	175
Annexe 3 :	Exemple de calcul des taux de déforestation.....	177
Annexe 4 :	Résumé des indicateurs socio-économiques.....	179
Annexe 5 :	Détails de la modélisation de la déforestation future	187
Annexe 6 :	Détails de la modélisation de la déforestation future	198

1 Contexte et justification

1.1 Introduction

Madagascar est reconnu pour être un pays de méga diversité. Aucun autre pays au monde ne possède un niveau d'endémisme biologique aussi élevé, notamment du point de vue taxonomique. Cependant, cette richesse en biodiversité est fortement menacée et à partir des années 90, le gouvernement malgache et ses partenaires techniques et financiers ont entrepris des efforts scientifiques et de sensibilisation considérables pour construire une vision nationale de l'importance de préserver le capital naturel de la biodiversité et des forêts. En 2003, le Gouvernement de Madagascar a déclaré, à l'occasion du Congrès sur les Aires Protégées à Durban de 2003, son intention de tripler en cinq ans la superficie des aires protégées et de la porter ainsi à 6 millions d'hectares, soit 10% du territoire national.

Afin de faciliter l'extension du réseau d'aires protégées, le COAP stipule que les nouvelles aires protégées (NAP) seront constituées, promues et gérées par des promoteurs, en général des ONG environnementales, sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et des Forêts (MEF). Cette délégation de la gestion ne concerne pas seulement la gestion d'aires protégées proprement dite, mais également le développement de systèmes de financements pérennes de leur gestion. Parmi les approches potentielles mentionnées dans le document de projet se trouve la vente de crédits carbone générés par les mécanismes de Réduction des émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+), notamment à travers la composante C.3.1. *Appuyer la préparation à l'entrée sur le marché de financement de carbone.*

Parallèlement à ces efforts d'extension du réseau des aires protégées, Madagascar est également en train de se préparer aux mécanismes de Réduction des Emissions de la Déforestation et de la Dégradation des forêts et d'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+). Il est généralement reconnu que l'extension susmentionnée du réseau d'aires protégées contribue à la réduction de la déforestation et de la dégradation des ressources forestières, mais également que les mécanismes financiers liés à la REDD+ pourraient jouer un rôle essentiel dans le financement durable de la gestion des nouvelles aires protégées.

Les trois grandes NAP mentionnées ci-dessus (CAZ, COFAV et Makira) se sont lancées depuis près de 10 ans dans ces procédures en tant qu'initiatives et projets pilotes REDD+, faisant de Madagascar un des pays les plus avancés sur le plan de la mise en œuvre pratique de la REDD+. Au cours des dernières années, d'autres initiatives REDD+ ont vu le jour, notamment le Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF) mis en œuvre conjointement par WWF et Etc Terra. Ces initiatives se sont également focalisées sur l'écorégion des forêts humides, et à l'heure actuelle, c'est quasiment l'ensemble des forêts humides de Madagascar qui se trouve dans la zone d'influence d'un de ces projets pilotes REDD+. Néanmoins, jusqu'à présent, ces projets ont travaillé indépendamment les uns des autres et se sont notamment appuyés sur des méthodologies différentes aboutissant à des résultats variables, difficilement comparables les uns avec les autres.

1.2 Le financement FA PE3 REDD

Afin de valoriser au maximum les bénéfices potentiels de la REDD+ pour la conservation des forêts et de la biodiversité à Madagascar, toutes les parties prenantes s'accordent à dire que le temps est maintenant venu de procéder à une approche conjointe pour harmoniser les méthodes et les résultats qui en découlent, et pour réduire les coûts de mise en œuvre. Par conséquent, la composante REDD+ du projet FA PE3, dont l'objectif est d'« appuyer l'entrée sur les marchés des financements carbone » a évolué d'une série d'études méthodologiques relatives au système de monitoring, de vérification et de rapportage (MRV), vers un appui à l'intégration des initiatives pilotes REDD+ orientées vers les marchés du carbone au niveau de l'écorégion des forêts humides voir section 1.3.3 pour la délimitation de l'écorégion des forêts humides).

Ce nouveau programme appelé PERR-FH est du moins partiellement une initiative JNR (Jurisdictional and Nested REDD) selon le Verified Carbon Standard, (VCS) et intègre les quatre principales composantes suivantes :

- **Composante 1 : Détermination des méthodologies harmonisées pour développer le scénario de référence éco-régional :**
Valider, sur base des travaux d'évaluation et de comparaison effectués par le projet MRV-ONE, les méthodologies relatives à l'estimation ex post et ex ante des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts humides ; Evaluer et comparer les méthodologies existantes relatives au suivi des aspects non carbone (impacts environnementaux et sociaux, causes de la déforestation) ; Proposer des options de méthodologies harmonisées de ces aspects non carbone et appuyer la validation d'une méthodologie définitive ; Renforcer les capacités des acteurs en matière d'application de ces méthodologies harmonisées.
- **Composante 2 : Développement d'un scénario de référence pour l'écorégion des forêts humides :**
Délimiter l'écorégion ; Etablir une carte des stocks de carbone ; Analyser la déforestation historique ; Analyser les causes et les facteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts ; Modéliser l'évolution de la déforestation dans le futur ; Valider au niveau nationale et de manière indépendante (VCS) le scénario de référence ; partager les résultats.
- **Composante 3 : Conduite de recherches complémentaires pour aller vers l'établissement d'un "Reference Level" et renforcer le cadre de mise en œuvre de la REDD au niveau de l'écorégion :**
Etudier les possibilités et opportunités d'intégrer les autres compartiments carbone (bois mort, produits ligneux longue durée, etc.) ; Etudier les possibilités et opportunités de prise en compte de la dégradation et de l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+) ; Evaluer les schémas de distribution des revenus REDD existant et proposer des procédures harmonisées.
- **Composante 4 : Développement et éventuellement mise en place de systèmes de suivi au niveau de l'écorégion :**
Mettre en place un système de suivi du carbone ; Etablir un système d'information sur les sauvegardes REDD+ ; Mettre en place un système de suivi des facteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts.

Les Composantes 1 et 3, comportant principalement des études et des analyses, seront attribuées par appel d'offres public international (sous-composante 1) et national (sous-composante 3). Pour les composantes 2 et 4, comportant les activités d'un projet REDD éco-régional proprement dit, une mise en œuvre par les acteurs de terrain semblait plus appropriée leur exécution a été confiée par la Banque Mondiale à un consortium constitué par les principaux intervenants en matière de REDD au niveau de l'écorégion des forêts humides : Wildlife Conservation Society (WCS, mandataire du consortium), Office National pour l'Environnement (ONE), Madagascar National Parks (MNP) et Etc Terra (ETC).

1.3 Projet Eco-Régional REDD des Forêts Humides (PERR-FH)

En novembre 2013, la Banque mondiale a approuvé l'attribution directe de l'exécution des composantes 2 et 4 du financement FAPE3 REDD au consortium WCS – ONE – MNP – ETC. Les négociations entre ce consortium et l'Unité de Coordination du Projet Environnemental (UCPE) ont abouti en début Février 2014 à la signature par l'attribution au consortium du marché intitulé « Définition des niveaux de référence et du système MRV de l'écorégion des forêts humides de l'est ».

1.3.1 Objectifs et résultats attendus

Objectif global :

- Contribuer à la bonne gestion des aires protégées de Madagascar à travers le développement de sources de financement alternatives et durables.

Objectifs spécifiques :

- Faciliter l'accès des initiatives et projets pilotes REDD+ mis en œuvre au niveau du réseau des aires protégées de Madagascar (AP et NAP) aux marchés du carbone ;
- Contribuer à la préparation du pays à la REDD+ à travers la réalisation d'un test d'une approche de mise en œuvre de la REDD au niveau juridiction (écorégion).

Résultats attendus :

- Le scénario de référence pour l'écorégion des forêts humides, incluant des aspects d'émissions carbone, socio-économiques et biodiversité, est validé ;
- Les systèmes de suivi du carbone, des facteurs de déforestation et des impacts socio-économiques et environnementaux au niveau de l'écorégion sont développés ;

1.3.2 Composantes

Comme déjà mentionné dans l'introduction, le projet éco-régional REDD forêts humides proposé ci-après sera focalisé sur les deux composantes suivantes :

- **Composante 2** : Développer et valider au niveau national et de manière indépendante (VCS) le scénario de référence pour l'écorégion des forêts humides pour la période 2014 à 2024, incluant les émissions de carbone, mais également les impacts socio-économiques et sur la biodiversité (Résultat 2) ;
- **Composante 4** : Développer des systèmes appropriés pour le suivi des émissions de carbone au niveau de l'écorégion des forêts humides (MRV), ainsi que des principales causes et facteurs de la déforestation et des impacts socio-économiques et sur la biodiversité (Résultat 4) ;

1.3.2.1 Composante 2 : Scénario de référence éco-régional 2015 - 2024

Composante comportant tous les travaux pratiques relatifs au développement du scénario de référence pour l'écorégion des forêts humides, aussi bien pour les émissions de GES qu'au niveau socio-économique et biodiversité. Cette composante comporte notamment :

• Sous-composante 2.1 : Délimitation de l'écorégion

Cette sous-composante contient les activités nécessaires à la délimitation détaillée de la zone d'intervention, notamment : i) la collecte d'informations et de données relatives aux différentes zones de l'écorégion ; et ii) la délimitation de l'écorégion proprement dite.

• Sous-composante 2.2 : Etablissement d'une carte des stocks de carbone de la biomasse

Cette sous-composante comporte les activités suivantes : i) préparation des inventaires ; ii) collecte de données sur terrain ; et iii) traitement des données et développement de la carte des stocks de carbone.

• Sous-composante 2.3 : Etablissement d'une carte des stocks de carbone du sol

Les activités de cette sous-composante sont les suivantes: i) préparation de l'inventaire carbone sol, ii) collecte de données et d'échantillon sur le terrain, iii) analyse et traitement des échantillons en laboratoire et iv) développement de la carte des stocks de carbone. Ces travaux seront réalisés entièrement par un prestataire de service dans le cadre d'un sous-contrat établi par WCS et exécuté sous la supervision technique de Etc Terra.

• Sous-composante 2.4 : Analyse de la déforestation historique

Cette analyse sera réalisée en trois étapes : i) acquisition d'images satellitaires de moyenne résolution appropriées ; ii) analyse des images et établissement de cartes du couvert forestier et de la déforestation ; et iii) validation des cartes de la déforestation historique.

- **Sous-composante 2.5 : Analyse des agents, causes et facteurs de la déforestation**

Cette analyse sera conduite par le consortium en deux étapes : i) collecte des données nécessaires sur les agents, les causes et les facteurs sous-jacents de la déforestation aux niveaux national et régional ; et ii) analyse des données collectées et délimitation de sous-écorégions homogènes.

- **Sous-composante 2.6 : Modélisation des émissions de GES dans le futur**

Cette étape du projet comporte : i) la détermination des futurs taux de déforestation au niveau de l'écorégion ; ii) la spatialisation de la déforestation future au niveau de l'écorégion ; iii) la modélisation des pertes du carbone du sol ; et iv) l'établissement et la validation du scénario éco-régional des émissions dues à la déforestation.

- **Sous-composante 2.7 : Développement de scénarii ou lignes de référence socio-économiques et pour la biodiversité**

Dans le cadre de cette sous-composante, le scénario de référence des émissions liées à la déforestation sera complétée avec des scénarii similaires sur : i) les aspects socio-économiques ; et ii) sur la biodiversité. Cela permettra dans le futur de vérifier ou de démontrer périodiquement les impacts socio-économiques et écologiques du projet FAPE3 REDD.

- **Sous-composante 2.8 : Développement et la validation du scénario de référence définitif**

Une fois le scénario de référence développé et validé, le consortium élaborera un document de description du projet selon les procédures de validation des standards VCS et CCBA. Ce PDD sera validé à deux niveaux : i) au niveau national par les principales parties prenantes dont notamment l'administration forestière et les bailleurs de fonds ; et ii) de manière indépendante.

- **Sous-composante 2.9 : Partage des résultats aux niveaux national et international**

La sous-composante sera mise en œuvre en deux étapes : i) la détermination des termes de référence et le recrutement d'un consultant national junior pour programmer le géoportail et ii) la programmation proprement dite du système et un événement de lancement.

1.3.2.2 Composante 4 : Développement des systèmes de suivi

La REDD est un mécanisme de Paiement pour Services Environnementaux (PSE) et les paiements sont toujours directement liés à la performance d'un projet ou d'un programme. Par conséquent, les systèmes de suivi prennent une place très importante dans le projet éco-régional REDD, parce que ce seront finalement eux qui permettront de déterminer le succès et ainsi les revenus définitifs du projet. Mais les systèmes de suivi ne seront pas limités aux émissions liées à la déforestation, mais intégreront également le suivi et les informations sur les sauvegardes environnementales et sociales REDD+, ainsi que le suivi des causes directes et des facteurs sous-jacents de la déforestation. Cette composante comporte :

- **Sous-composante 4.1 : Suivi des émissions dues à la déforestation**

Cette sous-composante comporte les activités suivantes : i) Etablir un protocole de suivi des émissions dues à la déforestation au niveau de l'écorégion ; ii) développer un système de suivi des fuites d'émissions de la déforestation ; et iii) Valider les procédures et méthodologies développées au niveau national et de manière indépendant par des organismes habilités.

- **Sous-composante 4.2 : Suivi des sauvegardes environnementales et sociales**

Les activités de cette sous-composante activité focaliseront sur : i) le suivi des impacts et des co-bénéfices socio-économiques et environnementaux ; ii) les mécanismes d'information et de plaintes par rapport au projet éco-régional ; et iii) les critères et les procédures de la distribution des revenus REDD aux différents parties prenantes.

- **Sous-composante 4.3 : Suivi des causes et des facteurs de la déforestation**

Cette analyse comportera le développement du système de suivi des causes de la déforestation, ainsi que l'identification et l'acquisition de matériel nécessaire à sa mise en œuvre au niveau régional.

1.3.3 Zone d'intervention

La zone d'intervention du projet, l'écorégion des forêts humides, a été définie en mars 2014 lors d'un atelier et en présence de toutes es parties prenantes de la REDD+ au niveau national, sur proposition des membres du consortium chargé de la mise en œuvre du programme éco-régional (cf. section 2).

1.3.4 Livrables

Selon le contrat établi entre l'UCPE et le consortium WCS – ONE – MNP – ETC, les livrables à fournir par le consortium sont les suivants :

- **Livrable 1 : Délimitation de l'écorégion des forêts humides :**

Ce livrable constitue le principal produit de la sous-composante 2.1 et définit la zone d'intervention du projet éco-régional REDD (cf. figure 1).

- **Livrable 2 : Carte éco-régionale des stocks de carbone de la biomasse aérienne :**

Ce livrable est le produit final de la sous-composante 2.2 et déterminera une partie des facteurs d'émission à appliquer dans le développement du scénario de référence des émissions de la déforestation.

- **Livrable 3 : Carte éco-régionale des stocks de carbone du sol :**

Cette carte sera également développée à travers des inventaires de terrain, mais pas en régie par les membres du consortium, mais plutôt par un sous-traitant recruté selon les procédures et exigences de l'UCPE.

- **Livrable 4 : Systèmes MRV éco-régionaux :**

Les systèmes de suivi constituent le principal résultat de la composante 4 du financement FAPE3 REDD. Ces systèmes porteront sur le suivi des émissions de la déforestation, le suivi des sauvegardes sociales et environnementales et le suivi des causes et des facteurs de la déforestation.

- **Livrable 5 : Scénarii de référence des émissions de la déforestation, socio-économique et pour la biodiversité :**

Le livrable 5 est en fait le résultat clé de la composante 2 du financement FAPE3 REDD et résulte de la combinaison des différentes sous-composantes et livrables intermédiaires mentionnées plus haut.

- **Livrable avenant : Carte de la déforestation dans les forêts de l'Ouest :**

En novembre 2014, le consortium a signé avec l'UCPE un avenant au contrat initial comportant notamment l'extension de l'analyse de la déforestation dans la période 2005-2010-2013 sur les écorégions des forêts sèches, des forêts épineuses et des mangroves de l'Ouest de Madagascar. Ce livrable est le principal résultat de cet avenant et constitué de cartes forestières et de la déforestation pour ces dates et les zones concernées.

1.4 Etapes et méthodologies

Dans le cadre de la réalisation de la composante 2 précitée, le consortium WCS-ONE-MNP-ETC s'est proposé de développer un scénario de référence des émissions liées à la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides au cours des 10 prochaines années, ainsi que des états de référence au niveau de l'écorégion par rapport à la situation socio-économique et à la biodiversité. Comme mentionné plus haut, ce scénario et ces états de référence seront développés par le consortium à travers les étapes suivantes :

1. Délimitation de l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar avec les parties prenantes de la REDD+ (cf. rapport livrable 1 du consortium) ;
2. Analyse des facteurs d'émission après déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides, dont plus particulièrement les stocks de carbone de la biomasse aérienne (cf. rapport livrable 2 du consortium), ainsi que les stocks de carbone du sol et des pertes de carbone après déforestation (cf. rapport livrable 3 du consortium) ;

3. Analyse de l'évolution de la couverture forestière dans l'écorégion des forêts humides au cours de la période historique 2005 – 2010 – 2013 ;
4. Analyse des causes et des facteurs spatiaux de la déforestation et découpage de l'écorégion des forêts humides de l'Est en éco-zones homogènes en matière de processus de la déforestation ;
5. Modélisation de la déforestation future et établissement du scénario de référence au niveau de l'écorégion pour les 10 années à venir ;
6. Analyses socio-économiques et de la biodiversité et établissement des états de référence par rapport à la situation socio-économique et la biodiversité au niveau de l'écorégion.

Le présent rapport présente des résumés des étapes 1 et 2, qui sont déjà décrites en détail dans les trois premiers livrables soumis par le consortium, ainsi que des descriptions détaillées des étapes 3, 4, 5 et 6 relatives au développement du scénario de références des émissions et des états de référence socio-économique et de la biodiversité proprement dits.

Il est à rappeler à cet endroit que les méthodologies à appliquer dans la réalisation des travaux du consortium ont été définies et validées avec la participation des toutes les parties prenantes de la REDD+ à Madagascar à travers deux activités distinctes conduites dans le cadre de la composante 1 de l'initiative REDD+ du financement additionnel au PE3 :

- Les méthodologies relatives aux analyses des stocks de carbone et des émissions liées à la déforestation (cf. sections 3 et 4) et au développement du scénario de référence éco-régional (cf. section 5) ont été déterminées et validées par l'ensemble des parties prenantes de la REDD+ lors d'un atelier méthodologique REDD+ en décembre 2013 ;
- Les méthodologies relatives aux sauvegardes REDD+ (milieu socio-économique et biodiversité) ont été déterminées dans le cadre d'une étude spécifique conduite en 2014 par le bureau d'étude Oréade-Brèche mandaté directement par l'UCPE ;

1.5 Présentation des résultats du projet

1.5.1 Ateliers de présentation et de discussion

Le consortium WCS-ONE-MNP-ETC aimerait attirer l'attention sur le fait que suite au temps très limité disponible pour la conduite des différentes études prévues dans le cadre du projet, certains ateliers prévus dans les termes de référence et l'offre du consortium n'ont pas pu se tenir au cours de l'année de mise en œuvre du projet. Il s'agit plus particulièrement des ateliers et des événements suivants :

- **Atelier national de revue des méthodologies de suivi proposées :**
Dans le cadre de la composante 4 du projet, le consortium a proposé des méthodologies de suivi des émissions de carbone et de l'impact des initiatives REDD+ au niveau de l'écorégion des forêts humides sur le plan socio-économique et sur la biodiversité, ainsi que le suivi de l'évolution des principales causes directes et des facteurs sous-jacents de la déforestation (cf. rapport du livrable 4 sur les systèmes de suivi proposées) ;
- **Atelier national de présentation des scénarios et états de référence éco-régionaux :**
Cet atelier national devait faciliter une discussion entre parties prenantes sur le scénario de référence éco-régional des émissions liées la déforestation, ainsi que du scénario de référence de la biodiversité et de l'état de référence socio-économique au niveau de l'écorégion des forêts humides (cf. section 6) ;
- **Evènement de lancement du géoportail du projet :**
Le développement d'un géoportail était prévu afin de communiquer sur les principaux résultats du projet et afin de donner aux diverses parties prenantes REDD+, y compris au niveau régional et local, la possibilité d'y accéder. Il comportera notamment une présentation exhaustive des résultats de l'analyse de l'évolution du couvert forestier au niveau national dans la période 2005-2010-2013, ainsi que les projections de la déforestation future développées pour le scénario de référence des émissions. Il présentera également des données par rapport aux

stocks de carbone de la biomasse aérienne et les stocks de carbone du sol résultant des différents inventaires réalisés par le consortium et ses partenaires (cf. section 3) ;

- **Atelier de présentation de l'évolution de la couverture forestière :**

Comme mentionné dans le chapitre 1.3.4, le consortium a signé en novembre 2014 un avenant au contrat PERR-FH concernant l'extension de l'analyse de l'évolution de la couverture forestière sur les écorégions des forêts denses sèches, des forêts épineuses et des mangroves de l'Ouest du pays (cf. section 2). Cet atelier était prévu pour présenter la déforestation au niveau de ces trois écorégions de l'Ouest, de les comparer avec les résultats obtenus pour l'écorégion des forêts humides et de lancer une discussion sur les principales causes directes de la déforestation et leurs facteurs sous-jacents.

Le consortium s'engage par la présente de réunir ces trois ateliers/événements en un seul événement de restitution de deux à trois jours, qui se tiendra à Antananarivo au cours du mois de mars 2015. Cet événement sera également l'occasion de distribuer certains résultats du projet (cartes de la déforestation, base de données inventaire, etc.) aux diverses parties prenantes.

1.5.2 Géoportail du projet

Dans le cadre de la sous-composante 2.9, le consortium a développé et mis en place un géo-portail pour la communication et la distribution des principaux résultats du projet. L'objectif de ce portail est de rendre disponibles les informations développées dans le cadre du projet ERR-FH aux parties prenantes concernées. Cela inclut notamment les données suivantes :

- Données spatiales (cartes forestières et cartes de la déforestation) résultant des analyses de l'évolution du couvert forestier au niveau de l'écorégion des forêts humides dans la période historique 2005 à 2010 et 2010 à 2013 conduites par le consortium (cf. section 4 ci-dessous) ;
- Données spatiales (cartes forestières et cartes de la déforestation) résultant des analyses de l'évolution du couvert forestier au niveau des écorégions des forêts denses sèches, des forêts épineuses et des mangroves dans la période historique 2005 à 2010 et 2010 à 2013 conduites par le consortium (cf. rapport livrable 6 du PERR-FH) ;
- Scénario de référence de la déforestation future et des émissions futures au niveau de l'écorégion des forêts humides pour la période de projection 2014 à 2024 (cf. section 6 ci-dessous) ;
- Scénario de référence par rapport aux impacts potentiels de la déforestation future escomptée sur la biodiversité ;
- Données spatiales sur la modélisation des stocks de carbone de la biomasse aérienne conduites dans le cadre du projet (carte éco-régionale des stocks de carbone de la biomasse aérienne) ;
- Données spatiales sur la modélisation des stocks de carbone du sol (carte éco-régionales des stocks de carbone du sol) ;
- Résultats traités par grappe d'inventaire des inventaires forestiers conduits par le consortium dans l'écorégion des forêts humides.

Ces données sont en train d'être chargées sur le site web du projet se trouvant à l'adresse suivante :

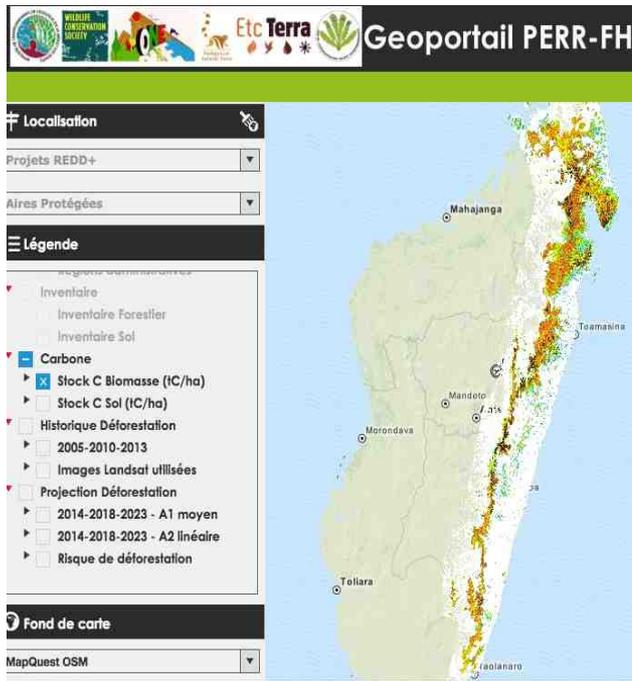
<http://www.perr-fh-mada.net/>

L'ensemble des données mentionnées ci-dessus n'est pas encore disponible sur le géoportail, mais elles seront progressivement rendues disponibles en ligne et la totalité des données spatiales devrait être accessible d'ici un ou deux mois. Pour assurer une bonne gestion du site et le chargement de données relatives à la REDD+ collectées après la fin du PERR-FH, les experts du consortium vont organiser des formations en matière de gestion de sites web auprès des responsables au niveau de la DGF et de l'ONE.

Figure 0: Captures d’écran illustrant les fonctionnalités du géoportail PERR-FH mis en place par le consortium pour la diffusion des données spatiales sur la REDD+ disponibles à Madagascar en général et des résultats du projet en particulier



Déforestation



Stocks de carbone



Projection moyenne



Projection linéaire

1.5.3 Autres produits du projet

Certains produits développés par le projet ne se prêtent pas facilement à une présentation spatiale sur le géoportail du projet. Il s'agit notamment :

- Des logiciels développés dans le cadre du projet, comme par exemple l'application de saisie des données d'inventaires sur ordinateur portable (FORGE Echo), ainsi que le logiciel d'analyse des données d'inventaire forestier développés pour faciliter les inventaires forestiers et de carbone de la biomasse aérienne ;
- Des bases de données résultant des analyses des stocks de carbone du sol (y compris les pertes des stocks de carbone du sol après déforestation) et des analyses socioéconomiques conduites dans le cadre du projet et qui ont servi de base au développement des cartes des stocks de carbone du sol et de l'état de référence socio-économique ;
- Les propositions par rapport aux systèmes de suivi des émissions de la déforestation, des sauvegardes environnementales et sociales et des causes et facteurs sous-jacents de la déforestation.

D'autres produits ont des caractères confidentiels qui ne permettent pas une diffusion à large échelle à travers un site web. Il s'agit notamment :

- Des résultats bruts de l'inventaire forestier et plus particulièrement de l'emplacement détaillé des différents échantillons d'inventaire relevés.

Selon le cas ces données seront diffusées sous forme électronique au client UCPE et à l'administration forestière sur disque dur.

2 Délimitation de l'écorégion des forêts humides

La délimitation de l'écorégion des forêts humides a été effectuée par le consortium en deux étapes : i) la collecte d'informations et de données relatives aux différentes zones de l'écorégion ; et ii) la délimitation de l'écorégion proprement dite. Ces deux étapes de la délimitation, ainsi que les résultats sont présentés dans les prochains chapitres.

2.1 Collecte d'informations et de données pour la délimitation

Conformément aux possibilités offertes par les documents cadres du Verified Carbon Standard Jurisdictional and Nested REDD+ (VCS JNR) et du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier (FCPF) et conformément aux orientations prises en conséquence par la R-PP de Madagascar, ce travail de délimitation s'est basée sur des critères écologiques (d'où le terme « Projet Ecorégional ») plutôt que sur des critères administratifs (limites de régions ou communes par exemple).

2.1.1 Cartographies écologiques

Dans le cadre de ces travaux, le consortium a collecté et ensuite analysé les documents et bases cartographiques suivants (cf. rapport livrable 1 du PERR-FH pour plus de détail) :

- Perrier de la Bâthie (1921) : Cartographie des écorégions principales pour les plantes
- Humbert et Cours Darne (1965) : Cartographie des territoires phytogéographiques
- Cornet 1974 : Cartographie bioclimatique de Madagascar
- Faramalala (1996) : Formations végétales de Madagascar
- Du Puy et Moat (1996) : Classification de la végétation primaire de Madagascar
- Faramalala et Rajeriarison (1999) : Cartographie des zones écofloristiques de Madagascar
- Kew, Missouri Botanical Gardens, Conservation International (2006) : Carte de végétation de Madagascar

2.1.2 Inventaire Ecologique Forestier National

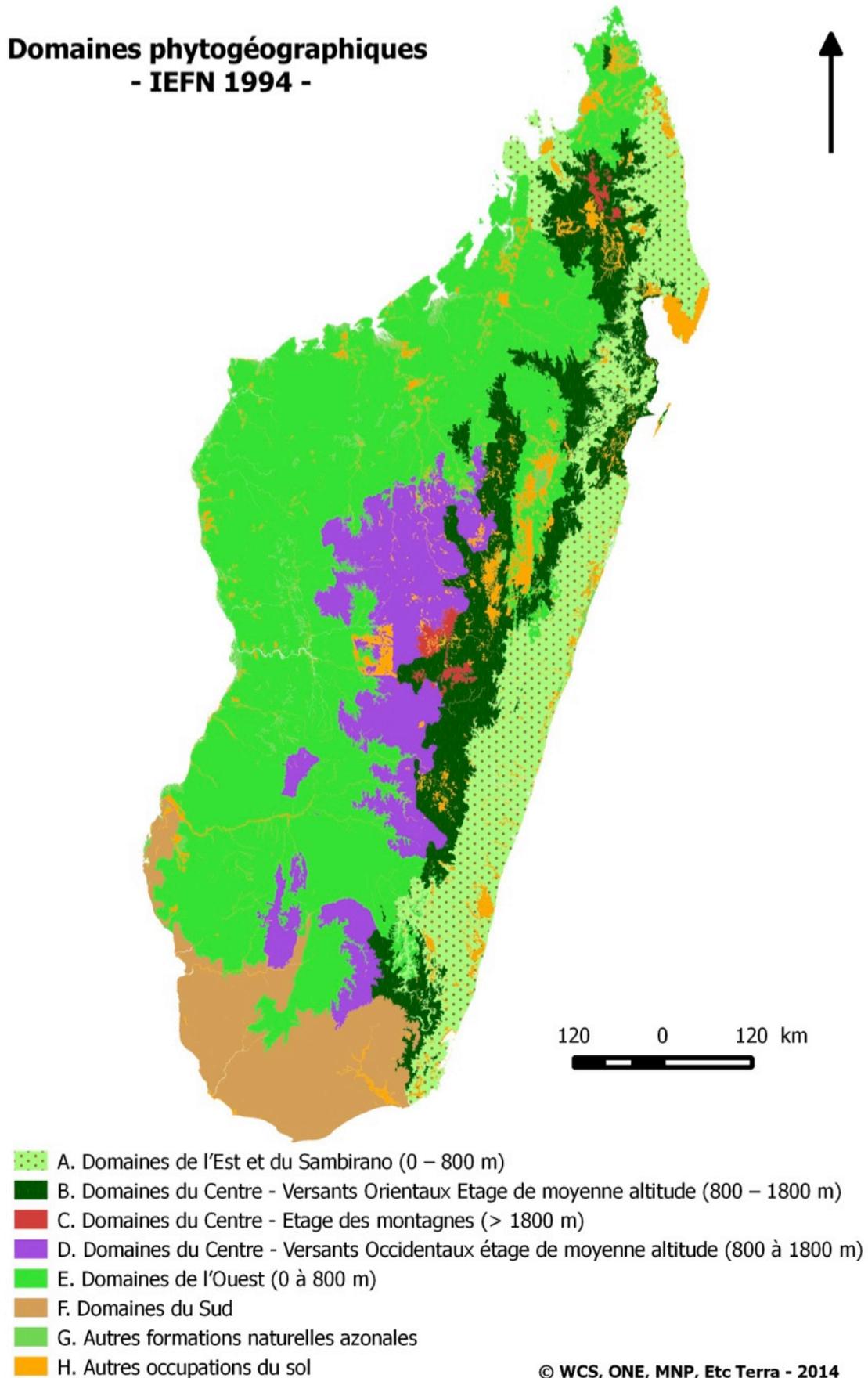
L'IEFN avait pour but de combler les lacunes d'information concernant l'état actuel et l'évolution des ressources forestières de Madagascar, informations jugées indispensables pour une gestion stratégique et durable des ressources forestières au niveau national et régional. Il s'était ainsi fixé comme objectif de connaître la localisation et la distribution dans l'espace des différentes formations forestières, leurs principales caractéristiques dendrologiques et dendrométriques, certains de leurs paramètres floristiques et faunistiques, ainsi que leurs tendances évolutives.

Dans ce cadre, deux cartes de végétation de Madagascar ont également été produites pour les années 1994 et 2000 (FTM, ONE, Direction des Eaux et Forêts) 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: Carte des domaines phytogéographiques identifiés par l’Inventaire Ecologique Forestier National



Suite à l'examen des différentes données décrites précédemment, il a finalement été décidé de baser la délimitation de l'écorégion des Forêts Humides de l'Est sur les strates définies par l'Inventaire Ecologique Forestier National (IEFN) de 1994. En effet, ce travail s'est basé sur les différentes publications scientifiques citées dans ce rapport et c'est une référence validée au niveau national par le Ministère alors en charge des Forêts qui a par ailleurs déjà servi de support à plusieurs études REDD+¹.

Le possible recours à la cartographie de l'IEFN 2000 a été écarté compte tenu d'une plus forte proportion de nuages par rapport à la cartographie de l'IEFN 1994, ce qui complique largement la délimitation visée.

2.2 Délimitation des écorégions REDD+

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 la Readiness-Preparation Proposal² que seules 4 écorégions REDD+ seraient définies : Forêts Humides de l'Est, Forêts Sèches de l'Ouest, Forêts Epineuses du Sud, Mangroves

Même si le PERR-FH ne concerne par définition que les Forêts Humides de l'Est, le consortium se propose de délimiter les 4 écorégions ainsi :

- **L'écorégion des Forêts Humides de l'Est** regroupant les 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** regroupant les domaines et types de forêts/fourrés suivants :
 - D. Domaines du Centre – Versants Occidentaux étage de moyenne altitude (800 à 1800 m) : 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** comprenant le domaine suivant :
 - F. Domaines du Sud : tous types de forêts denses sèches (série à Didieraceae) et tous types de fourrés xérophiles
- **L'écorégion des Mangroves** dont les contours ont été extraits du domaine suivant :
 - G. Autres formations naturelles azonales

Du point de vue de la REDD+, le regroupement des Domaines D et E au sein de l'écorégion des Forêts Sèches de l'Ouest se justifie par la proximité des stocks de carbone des types de forêt majoritaires qui les composent : les « Forêts denses sclérophylles occidentales de moyenne altitude » (ex. forêts de Tapia de l'Itasy) présentent en effet des stocks moyens de carbone pour la biomasse aérienne très proches des « Forêts denses sèches décidues de l'Ouest » (respectivement 46 et 60 t C/ha en moyenne) tandis que les « Forêts denses sclérophylles de montagne » phyto-géographiquement plus proches présentent des stocks de carbone plus éloignés (110 t C/ha en moyenne).

¹C'est le cas de l'inventaire préliminaire de la biomasse aérienne du projet Makira (déjà validé par le VCS) et de différents travaux conduits dans le cadre de l'Assistance Technique ONE/MEF

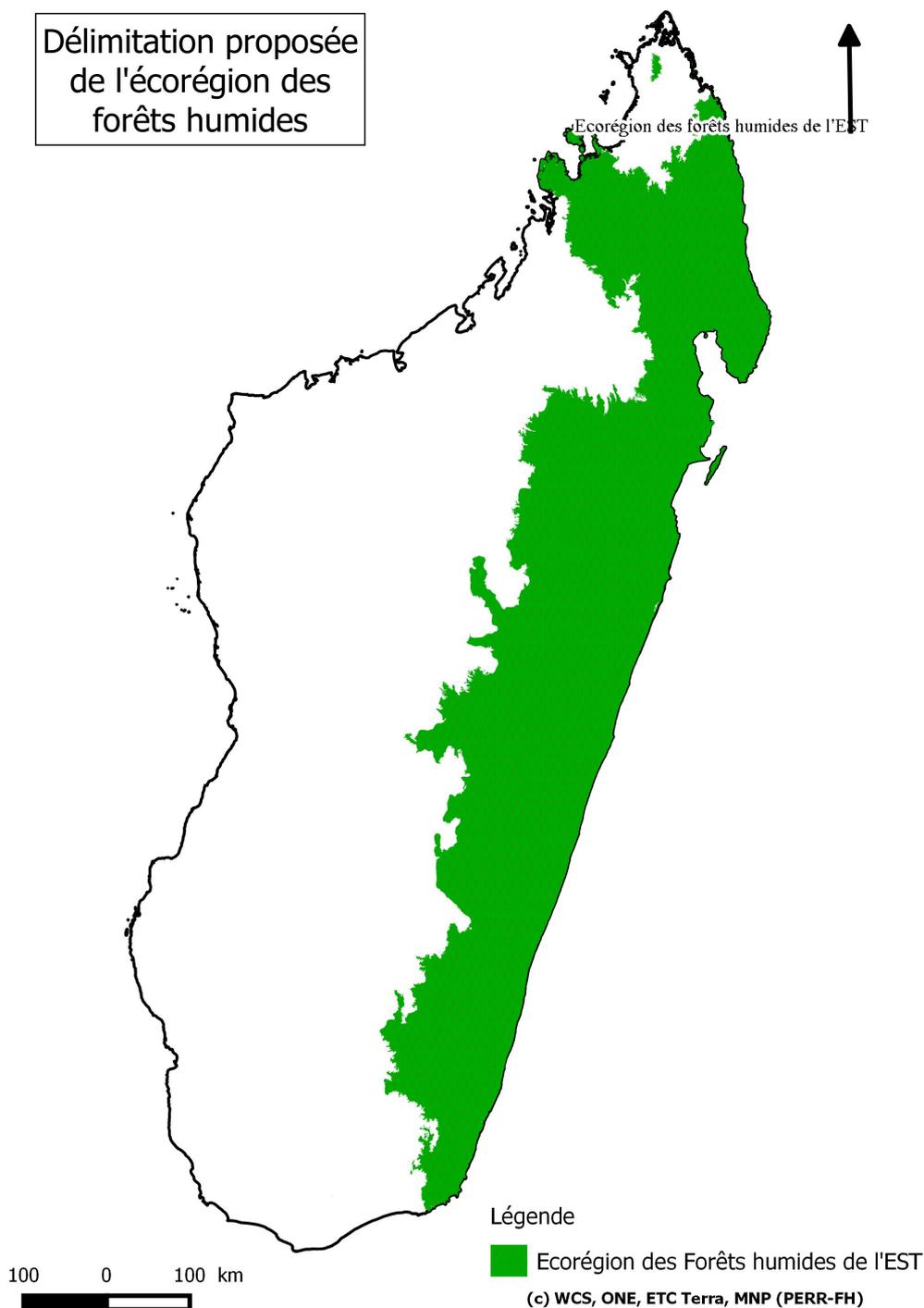
² Document cadre national de préparation à la mise en œuvre du mécanisme REDD+ (dernière version actualisée en mars 2014)

Compte tenu de leur grande dispersion géographique et des faibles enjeux REDD+ qui les concernent, les peuplements artificiels (inclus dans le Domaine H : Autres occupations du sol) ne peuvent faire l'objet d'une écorégion spécifique. Les peuplements pleins de cette catégorie seront également exclus des analyses historiques et des projections de la déforestation. Les peuplements mélangés artificiels/autochtones seront quant à eux intégrés à ces mêmes analyses car il est délicat de les discriminer par télédétection.

2.3 Délimitation de l'écorégion des forêts humides de l'Est

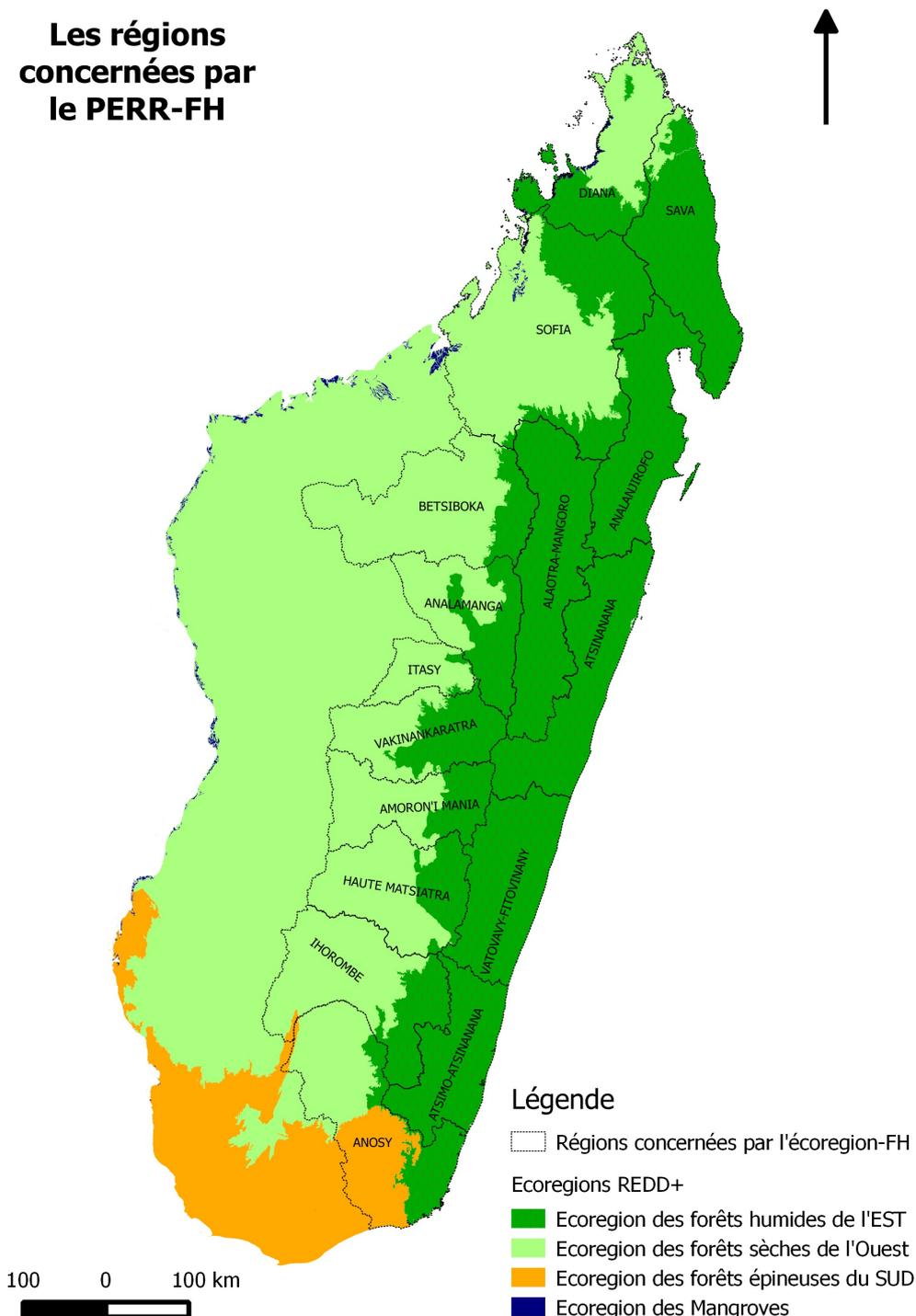
Les analyses et réflexions mentionnées ci-dessus ont abouti à la délimitation provisoire de l'écorégion des forêts humides de l'Est présentée dans la figure 2.

Figure 2: Délimitation validée de l'écorégion des forêts humides de l'Est



La validation de la délimitation proposée de l'écorégion des forêts humides de l'Est a eu lieu lors de l'atelier de validation organisé par la Direction Générale des forêts et le consortium le mardi 18 mars 2014 au Motel d'Anosy. Les détails de ce processus de validation sont repris dans le PV de l'atelier présenté dans l'annexe 3. La carte de la délimitation validée de l'écorégion des forêts humides de l'est de Madagascar est présentée dans la figure 2 et dans la figure 3 ensemble avec les régions administratives de Madagascar et les trois autres écorégions REDD+ proposées pour Madagascar.

Figure 3 : L'écorégion des forêts humides de l'Est les trois autres écorégions REDD+ proposées et les régions administratives concernées



3 Analyse des facteurs d'émission après déforestation

Les facteurs d'émission sont un des deux éléments clé du développement d'un scénario de référence des émissions, l'autre étant les données d'activité ou les projections par rapport au superficies qui seront déboisées dans le futur (cf. section 6). Dans le cadre du PERR-FH, il a été décidé de distinguer les deux facteurs d'émission suivants :

- Emissions liées à la destruction de la biomasse aérienne suite à la déforestation ;
- Emissions liées à la libération de carbone du sol après déforestation.

3.1 Emissions de carbone de la biomasse aérienne

Les émissions de carbone de la biomasse aérienne sont des émissions principalement de CO₂ qui sont générées par la destruction du matériel végétal constituant une forêt. Ces émissions de carbone de la biomasse aérienne peuvent être rapides si le feu est utilisé dans le processus, ou elles peuvent être beaucoup plus lentes si le matériel végétal d'une forêt se décompose naturellement sans intervention de feu. Cependant, dans les procédures REDD+ et pour simplifier les procédures il est habituellement supposé que ces émissions sont générées immédiatement lors de la destruction de la forêt.

Pour estimer les émissions venant de la destruction de la biomasse aérienne, il était donc nécessaire de connaître les stocks de carbone contenus dans ce compartiment. A cet effet, le consortium a conduit un inventaire forestier sur l'ensemble des forêts de l'écorégion des forêts humides dont les méthodologies et résultats sont brièvement présentés dans les chapitres suivants (pour plus de détails voir le rapport livrable 2 du consortium par rapport à cette analyse et cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne).

3.1.1 Méthodologies d'inventaire

Le développement du plan de sondage pour l'inventaire de stocks de la biomasse dans les différents types de forêts de l'écorégion des forêts humides s'est basé sur les résultats de l'atelier de validation des méthodologies REDD+ qui s'est tenu en décembre 2013 et dont les principales conclusions par rapport aux inventaires forestiers étaient les suivantes (voir rapport livrable 2 du PERR-FH pour plus de détails) :

3.1.1.1 Utilisation de données existantes:

Uniquement les données d'inventaires de moins de 10 ans d'âge pourront être intégrées dans l'inventaire PERR-FH. Les données plus anciennes peuvent cependant être utilisées comme données de prospection pour la préparation de l'inventaire.

Certaines données collectées récemment par Etc Terra dans le cadre du projet PHCF ont été utilisées lors de la cartographie des stocks pour des zones qui n'étaient pas touchées par l'inventaire PERR-FH. C'était le cas principalement des données de l'Inventaire Ecologique Forestier National conduit en 1995/96 et qui ont servi à déterminer le nombre d'échantillons nécessaire pour atteindre une précision donnée des résultats.

3.1.1.2 Stratification :

Selon les indications de l'atelier méthodologique REDD+, la stratification de l'IEFN a servi de base à la stratification de l'inventaire PERR-FH. Les deux principales strates des forêts de basse (strate 1, 0 à 800 m, 2'233'562 ha) et de moyenne altitude (strate 2, 800 m et plus, 1'666'233 ha) de l'IEFN ont été utilisées. Les autres strates de l'IEFN étaient trop peu importantes pour être prises en considération et toutes les forêts inventoriées ont été attribuées à une de ces deux strates.

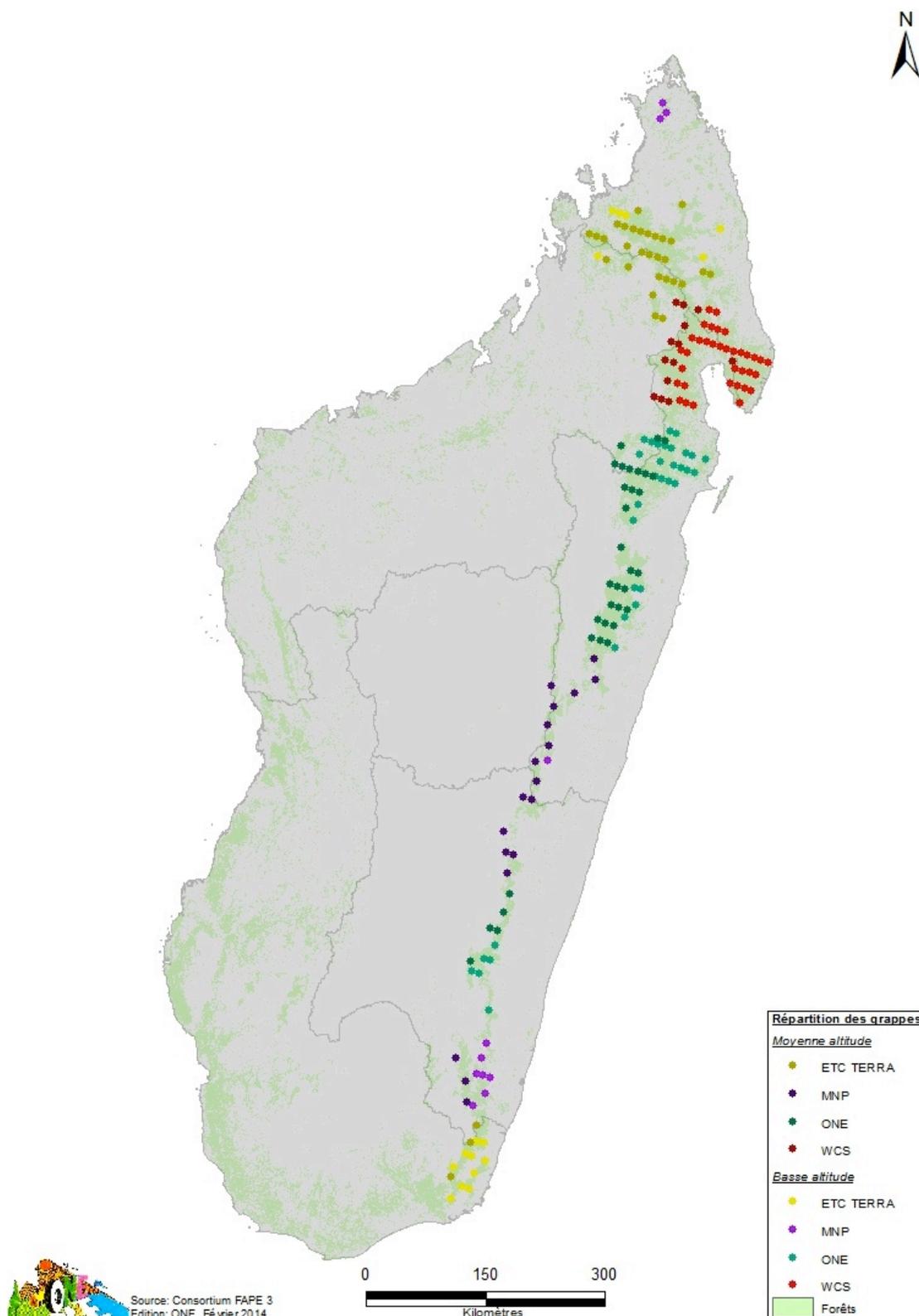
3.1.1.3 Echantillonnage :

Le nombre d'échantillons à relever doit s'orienter selon la variabilité des peuplements (données IEFN utilisées) et la précision à atteindre. Sur base des standards internationaux, cette précision a été fixée à +/- 10% de la moyenne à 95% de probabilité, aboutissant à un total minimal de 263 échantillons dans la strate 1 et 265 échantillons dans la strate 2.

La distribution des échantillons a été systématique sur une grille rectangulaire adaptée à la taille et au nombre minimum d'échantillons pour chacune des deux strates. Les échantillons ont été regroupés en grappes de trois, ce qui menait à l'identification de 285 échantillons (95 grappes) dans la strate 1 et 288 échantillons (96 grappes) dans la strate 2 (cf. figure 4).

Chaque échantillon a été subdivisé en quatre sous-échantillons pour les grands arbres ($dhp \geq 30$ cm), les arbres moyens ($dhp \geq 15$ cm et $dhp < 30$ cm), les petits arbres ($dhp \geq 5$ cm et $dhp < 15$ cm) et la régénération naturelle ($dhp < 5$ cm).

Figure 4 : Carte des grappes d'inventaire prévues par strate et par organisation



3.1.1.4 Compartiments de carbone et données relevées :

Sur la base des expériences des projets pilotes REDD+ existants, les compartiments de carbone du bois mort couché, de la végétation herbacée et de la litière ont été considérés non-significatifs et ont été exclus de la biomasse aérienne. En effet, dans les inventaires conduits par le projet REDD+ Makira par exemple ont montré qu'avec seulement 15 tC/ha, l'ensemble des stocks de carbone dans le bois mort (debout et couché) représente moins que 10 pourcent des stocks moyens totaux de 196 tC/ha. Selon ces expériences, le bois mort debout n'est pas significatif non plus, mais le compartiment a été maintenu parce qu'il est facilement mesurable ensemble avec les arbres vivants. Par conséquent, seuls les individus sur pied des espèces arborescentes ont été mesurés lors des travaux de terrain.

Pour les sous échantillons 1, 2 et 3, l'espèce de chaque arbre mesuré a été identifiée et son diamètre à hauteur de poitrine (dhp) mesuré. Pour un nombre réduit d'arbres de ces mêmes sous-échantillons (3 à 7 par échantillon) la hauteur a également été mesurée, permettant ainsi le développement d'une relation hauteur/diamètre très utile pour améliorer les calculs de la biomasse de chaque arbre inventorié (cf. traitement des données).

Bien que les stocks de carbone de la régénération naturelle ne soient pas significatifs, ce compartiment a été mesuré dans le cadre du sous-échantillon 4 pour des raisons davantage sylvicoles et notamment pour donner une idée de la régénération attendue dans les peuplements des forêts humides de Madagascar. Pour ce sous-échantillon, les espèces rencontrées ont été identifiées, ainsi que le nombre d'individus par espèce.

3.1.1.5 Traitement des données :

Lors du développement du projet PERR-FH, le consortium a décidé de valoriser et d'enrichir une application développée au niveau de la DGF pour l'analyse des inventaires forestiers, notamment en y un module permettant le calcul des stocks de carbone de la biomasse aérienne pour pouvoir remettre à la disposition de la DGF et de tous les praticiens REDD+ du pays un logiciel convivial et robuste. Cependant, cet outil maintient les fonctionnalités de la base de données d'inventaire d'origine et peut ainsi être utilisée en dehors de la REDD+ pour des inventaires forestiers de toute sorte.

Pour l'estimation de la biomasse il était indispensable d'utiliser une fonction allométrique et parmi les différentes options la nouvelle fonction allométrique suivante a été retenue par le consortium :

$$AGB_{est} = 0,0673 * (\rho * D^2 * H_{est})^{0,976} \quad (1)$$

Avec :

AGB_{est} : *Above-Ground Biomass* estimée, exprimée en tonnes de matière sèche

ρ : Densité des bois, issue de la liste du GIEC et de la liste par genre de Rakotovo et al. 2011 et en se basant sur les noms vernaculaires inventoriés sur le terrain

D : Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP)

H_{est} : Hauteur totale de l'arbre estimée

Les données sur les hauteurs des arbres collectées sur terrain ont été utilisées pour développer une relation hauteur diamètre sur base d'une fonction proposée par Chave et al. (2014). Après dépouillement des données sur la hauteur totale des arbres la fonction suivante a été développée pour estimer cette hauteur :

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

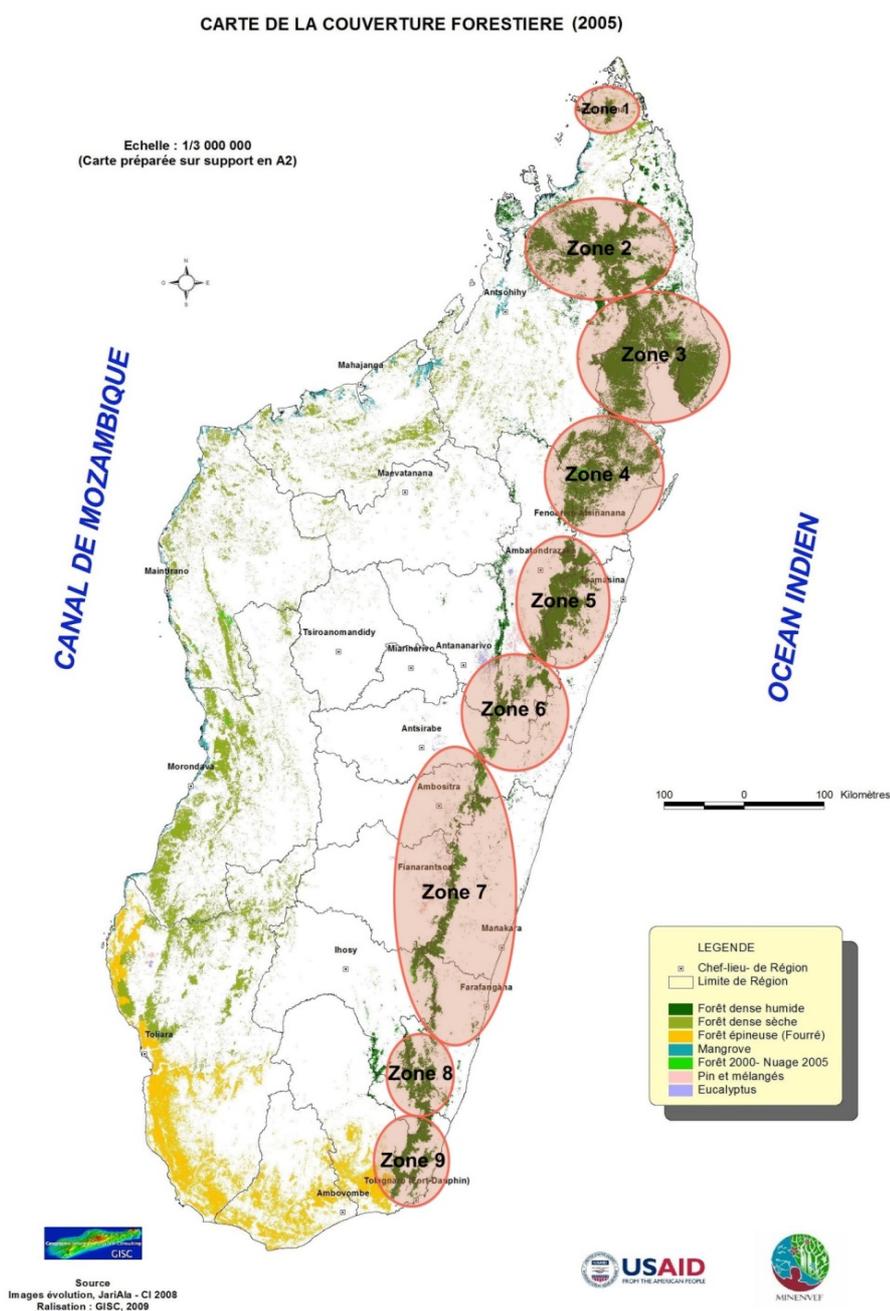
Dans le module biomasse de l'application développée par le consortium, cette fonction a par la suite été combinée avec la fonction (1) afin de calculer la biomasse pour chaque arbre individuel mesuré dans le cadre de l'inventaire. Ces stocks de carbone individuels sont ensuite compilés à l'échelle de la placette pour donner une valeur en tonnes de carbone par hectare (tC/ha) (cf. section 3.1.3 et tableau 1 ci-dessous).

3.1.2 Collecte des données sur terrain

Lors du développement du projet, les zones d'inventaire suivantes ont été déterminées par le consortium (cf. figure 5) au niveau de l'écorégion des forêts humides :

- Zone 1 : Montagne d'ambre ; inventoriée par MNP ; une équipe d'inventaire ;
- Zone 2 : Tsaratanana ; inventoriée par ETC Terra ; deux équipes d'inventaire ;
- Zone 3 : MaMaBaïa ; inventoriée par WCS ; trois équipes d'inventaire ;
- Zone 4 : Manompana ; inventoriée par ONE ; une équipe d'inventaire ;
- Zone 5 : CAZ ; inventoriée par ONE ; deux équipes d'inventaire ;
- Zone 6 : COFAV Nord ; inventoriée par MNP ; une équipe d'inventaire ;
- Zone 7 : COFAV Sud ; inventoriée par ONE ; 1 équipe d'inventaire ;
- Zone 8 : Midongy du Sud ; inventoriée par MNP ; une équipe d'inventaire ;
- Zone 9 : Fort-Dauphin ; inventoriée par ETC Terra ; une équipe d'inventaire.

Figure 5 : Zones d'inventaire forestier définies dans le cadre du PERR-FH



Afin d'assurer une bonne qualité des travaux d'inventaire, chacune des 13 équipes d'inventaire était composée comme suit :

- 1 Chef d'Equipe, issu du staff du membre du consortium en charge de la zone ou bien du niveau consultant national junior ;
- 3 Techniciens mesurateurs issu du staff du membre du consortium et/ou de l'administration forestière et/ou de niveau consultant local senior ;
- 1 Botaniste de niveau consultant local senior ;
- 5 Guides/porteurs de niveau consultant local junior.

En accord avec le dispositif d'inventaire décrit ci-dessus, chacune des équipes d'inventaire était équipée avec le matériel suivant :

- Matériel d'inventaire :
 - 1 « datalogger » Forge portable pour la saisie des données d'inventaire, faisant également office de GPS, de caméra digitale, de « rangefinder », de clinomètre et d'hypsomètre ; avec chargement électrique solaire ;
 - 1 Relaskop à miroir selon Bitterlich pour le comptage angulaire ;
 - 2 décamètres métalliques de type « logger's tape » pour la mensuration de distances ;
 - 2 rubans à diamètre pour mesurer les diamètres à hauteur de poitrine (dhp) ;
 - 1 jeu de petit matériel (matériel d'écriture et de cuisine, imperméables, etc.) ;
 - 1 tablette d'écriture avec formulaires de relevé des données en papier résistant à l'eau ;
 - 1 jeu de matériel de marquage des échantillons (tubes ou barres en fer, marteau pour les enfoncer, peinture et pinceau pour marquer les trois arbres les plus proches).

Les travaux de terrain se sont généralement bien passés, mais il convient de noter les éléments et évènements suivants :

- Pour certaines placettes, les équipes d'inventaire se sont rendues compte sur terrain que les zones indiquées par les coordonnées calculées sur écran à Tana n'étaient en fait plus boisées et ces placettes n'ont par conséquent pas pu être relevées ;
- Dans les zones d'inventaire 7 (VOFAV Sud), 8 (Midongy du Sud) et 9 (fort-Dauphin), l'insécurité en milieu rural a obligé les équipes d'inventaire déployées par ETC Terra et MNP dans ces zones de déplacer certaines grappes d'inventaire qui n'étaient pas accessibles sans courir des risques inacceptables pour les membres de l'équipe.
- Dans la zone d'inventaire 2, les équipes déployées par ETC Terra ont rencontré des difficultés avec les planteurs de cannabis qui occupent des parties importantes de cette zone. Ils ont bloqué l'accès aux zones forestières dans lesquelles ils sont actifs et les équipes étaient obligées de déplacer certaines grappes d'inventaire.
- Un accident survenu lors de la traversée d'une rivière sur la péninsule de Masoala par l'une des équipes d'inventaire de WCS a entraîné la perte de l'ensemble du matériel d'inventaire de cette équipe et des données d'inventaires de 10 grappes situées dans la forêt de Masoala.

Malgré toutes ces difficultés, les treize équipes déployées par les membres du consortium ont relevé un total de 537 placettes d'inventaire, soit 179 grappes d'inventaire à trois placettes (cf. section 3.1). Ce nombre total est déjà au dessus du nombre minimum de 177 grappes d'inventaires déterminé lors de la préparation de l'inventaire, mais en dessous des 191 grappes prévues lors de la préparation du plan de sondage (cf. section 2.2.1.4 et tableau 4). La différence est due à la perte des données de 10 grappes à Masoala dans la zone d'inventaire 3 suite à l'accident mentionné ci-dessus. Ces 10 grappes ont été relevés par les équipes de WCS dans une deuxième campagne d'inventaire organisée en septembre, ce qui a amené le nombre total de grappes relevées à 189, soit 567 placettes d'inventaire (cf. tableau 7 sur la page 30) et toutes les données y relatives ont été intégrées dans les résultats afin de servir de base au développement du scénario de référence des émissions de CO₂.

3.1.3 Résultats de l'inventaire

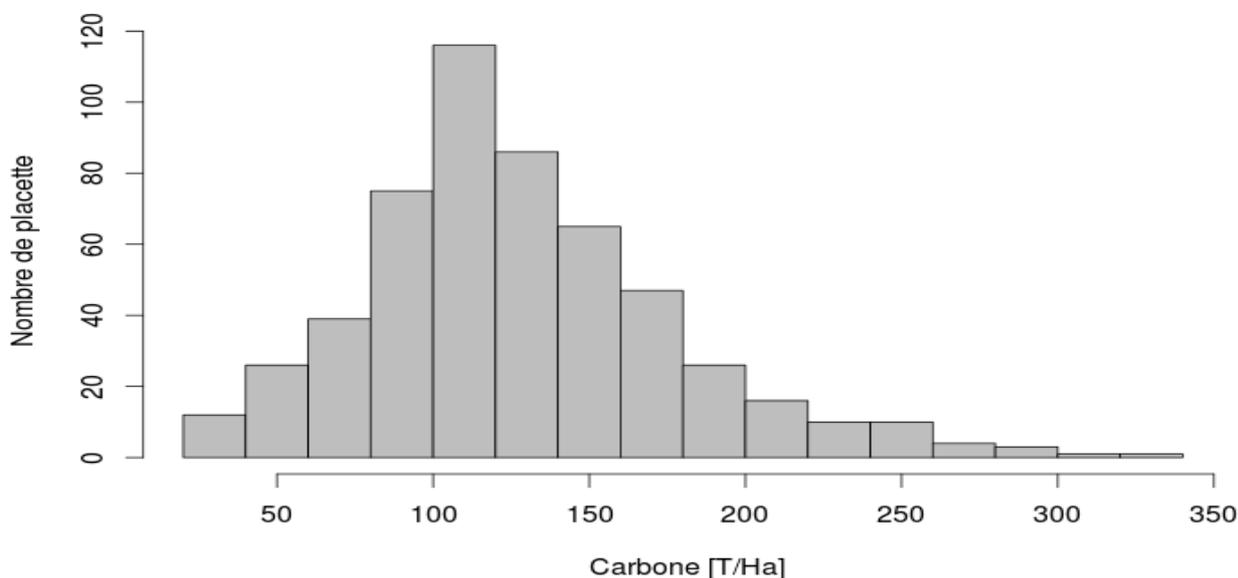
Sur les 567 placettes relevées, la moyenne des stocks de carbone s'établit à 122,7 t C/ha, avec un minimum de 29,8 t C/ha et un maximum de 325,2 t C/ha. L'analyse par strates forestières (forêts de basse et haute altitude séparées par la ligne d'iso-altitude de 800 m) donne une moyenne de 120,9 t C/ha et de 124,2 t C/ha respectivement et ne montre donc pas de différence importante. La valeur la plus élevée est cependant observée pour la strate supérieure à 800 m et le minimum pour la strate inférieure (cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Résumé statistique des résultats

Paramètre	Toutes placettes	Placettes < à 800 m alt.	Placettes > à 800 m alt.
Nombre	567	255	312
Minimum [t C/ha]	29,8	29,8	30,6
Médiane [t C/ha]	117,0	117,4	117,0
Moyenne [t C/ha]	122,7	120,9	124,2
Maximum [t C/ha]	325,2	282,4	325,2
Ecart type [t C/ha]	44,9	44,2	45,4
Coefficient de variation [%]	36,6	36,6	36,6
Erreur standard [t C/ha]	1,9	2,8	2,6
Erreur standard relative [%]	1,5	2,3	2,1
Intervalle de confiance (probabilité 95%)	sup. [t C/ha]	126,4	126,3
	inf. [t C/ha]	119,0	115,4

Les statistiques du tableau 1 montrent par ailleurs une intervalle de confiance inférieure à 10% de la moyenne arithmétique des stocks de carbone, ce qui remplit les exigences des standards internationaux et correspond aux précisions imposées par les méthodologies appliquées (cf. section 2.2.1.4). Plus spécifiquement on observe une répartition quasi gaussienne des stocks de carbone de la biomasse aérienne sur l'ensemble de l'écorégion (cf. Figure 6). Les résultats des analyses des données d'inventaire par groupe d'inventaire sont présentés sous forme de tableau dans l'annexe 1.

Figure 6 : Histogramme des stocks de carbone



3.1.4 Cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne

Comme mentionné dans la section 1, le principal objectif des travaux d'inventaire est de déterminer les facteurs d'émission à utiliser ensemble avec les données d'activités de déforestation pour estimer les émissions passées et futures. Les moyennes présentées dans le tableau 1 ci-dessus permettent déjà d'établir une première cartographie des stocks de carbone par strate forestière, qui pourraient facilement être transformés en facteurs d'émission en multipliant les stocks de C par 44/12. Cependant, avec seulement deux valeurs sur l'ensemble des forêts humides cette carte serait très grossière et ne permettrait pas de prendre pas en considération les variations parfois importantes des stocks de carbone de la biomasse aérienne selon différents paramètres.

Par conséquent, le consortium a proposé de compléter cette cartographie par strate forestière avec une cartographie « par pixel » nettement plus détaillée, développée à l'aide de la modélisation des stocks de carbone sur la base des résultats de l'inventaire forestier. Lors du développement du scénario de références des émissions issues de la déforestation et de la dégradation au niveau de l'écorégion, ce seront ces données par pixel de 90m x 90m (3 x 3 pixels des images satellitaires utilisées pour l'analyse de la déforestation) qui seraient transformées en facteurs d'émission et appliquées aux modèles de déforestation.

3.1.4.1 Méthodologie

Le principe de travail est d'extrapoler les stocks de carbone estimés sur les 556 placettes mesurées sur le terrain à l'ensemble de l'écorégion. L'approche retenue dite « par pixel » consiste à développer un modèle de régression multi-variée reliant les stocks à des variables environnementales spatialisées représentant les facteurs contrôlant la distribution du carbone dans le paysage

La cartographie est obtenue en utilisant le modèle le plus fiable et robuste possible c'est-à-dire après sélection des variables environnementales qui expliquent le mieux la distribution des stocks de carbone à l'échelle éco-régionale, en s'appuyant sur des indicateurs de qualité du modèle

Le travail a donc suivi les étapes suivantes :

- Préparation des données environnementales ;
- Développement d'un modèle de spatialisation des stocks de carbone de la biomasse ;
- Spatialisation finale des stocks de carbone de la biomasse aérienne.

3.1.4.2 Préparation des données environnementales

D'après la bibliographie (Asner 2012, Baccini 2012), les expériences récentes à Madagascar (Assistance Technique ONE/DGF) et nos connaissances sur la répartition spatiale de la biomasse, il est avéré que les caractéristiques forestières (types d'espèces, vitesse de croissance, densité) varient en fonction de ces conditions bio-topo-climatiques. L'objectif de cette étape est de déterminer les variables spatiales qui représentent le mieux ces conditions.

Dans un premier temps, un grand nombre de données spatiales ont été collectées, mosaïquées et découpées sur la zone d'étude. Ces variables sont issues de différentes sources, accessibles gratuitement, avec des résolutions différentes et regroupées en 4 thèmes :

- Relief ;
- Végétation ;
- Climat ;
- Substrat géologique.

A partir des données brutes (ex. altitude GDEM), certaines variables ont été dérivées (pente, rugosité, orientation de la pente, indice d'humidité du sol, etc.). D'autres données proviennent d'études récentes sur la végétation (GFC, Hansen *et al*, 2013) ou produites en routine à partir du capteur MODIS. Les variables climatiques ont été produites à partir d'une base de données mondiale sur la base d'enregistrement des quarante dernières années (Hijmans *et al*, 2005). Enfin, les couches représentant le sol et sous-sol issues d'études anciennes et disponibles au format numérique ont également été introduites dans cette analyse. Ces deux sources de données ont été converties au format raster (pixel) sur la base de l'identifiant de l'unité géologique ou pédologique. Enfin, afin de permettre la

modélisation, toutes ces variables environnementales ont été ré-échantillonnées à 30 m de résolution par la méthode des plus proches voisins.

3.1.4.3 Développement d'un modèle de spatialisation des stocks de carbone de la biomasse

Cette dernière étape comportait les parties suivantes :

- **Géolocalisation des placettes et vérification des données :**

Les données de stocks de carbone calculées par placette ont été projetées dans un Système d'Information Géographique et stockées dans une base de données spatialisée (au format *shapefile*) avec les coordonnées géographiques réelles des grappes, relevées par GPS sur le terrain (cf. Figure 16 ci-dessous). En effet bien qu'ayant respecté le plus possible le plan d'échantillonnage, des ajustements sur le terrain ont dû être effectués compte tenu des diverses contraintes inhérentes à ce genre de travaux précédemment décrites.

Suite à cette projection des données, une étape de contrôle de la qualité a été réalisée à trois niveaux:

- Localisation des placettes au sein de la grappe afin de corriger les erreurs de GPS ou de saisie en regardant la distance entre chaque placette (entre 100 et 400 m)
- Localisation des placettes par rapport à la lisière de la forêt afin d'identifier les placettes très proches d'autres modes d'occupation du sol et potentiellement incluses dans des "mixels" : pixels avec des signatures spectrales mixtes, représentant différentes surfaces terrestres et pas uniquement la forêt)
- Valeurs de stocks des trois placettes de la grappe au regard des valeurs de certaines co-variables dont les variables de végétation (tableau 8) et au regard des images Google Earth afin d'évaluer la pertinence des mesures de stocks.

Suite à la première étape de vérification, 11 placettes présentaient des problèmes de localisation (ex. superposition de placettes, éloignement inexplicable de certaines placettes). Ces problèmes, essentiellement liés à des erreurs de saisie des coordonnées GPS, ont été corrigés dans la base de données. Par contre, l'observation des valeurs de stocks, bien que présentant par endroit une variabilité très élevée (> 100 t C/ha en moins de 200 m de distance au sol), n'a pas permis d'identifier d'estimations aberrantes qui seraient dues à des erreurs de mesures sur le terrain ou de saisie. Enfin, l'observation de la localisation des pixels par rapport à la lisière de la forêt a permis d'identifier 5 placettes à moins de 30 m de la lisière. Elles ont été retirées de la modélisation spatiale.

- **Modélisation spatiale des stocks de carbone de l'écorégion :**

Une fois préparée et vérifiée, la base de données des stocks ainsi que les variables environnementales ont été importées dans le logiciel R afin de réaliser plusieurs étapes de modélisation. Ces étapes ont été consignées dans un script afin de pouvoir améliorer la traçabilité et la reproductibilité des travaux. L'objectif était ici de déterminer le modèle optimal (choix des variables discriminantes, réalisation de plusieurs tests de configuration de modélisation) à utiliser pour la prédiction sur l'ensemble de l'écorégion sur la base d'indicateurs de qualité du modèle.

- *Création d'un jeu de données pour la modélisation :*

Cette étape consiste à croiser les données d'inventaire terrain avec les variables environnementales afin de créer un jeu de données (tableau) près à l'emploi pour le modèle. Le jeu de données ainsi créé doit couvrir l'ensemble de la gamme des valeurs représentées dans l'écorégion. Après quelques tests préliminaires, il s'est avéré que l'inventaire systématique du PERR-FH ne couvrait pas : 1) les valeurs d'altitude les plus hautes ; et 2) les valeurs les plus faibles hors forêt. Cela est cependant nécessaire pour capturer toute la variabilité des stocks de carbone de la végétation. Les données de biomasse relevées dans le cadre du PHCF 1 dans le massif du Tsaratanana situé à plus de 2'000 m d'altitude (14 placettes) ont ainsi été ajoutées au jeu de données, ainsi que des points hors forêt tirés au hasard (100 placettes) à partir des cartographies exhaustives de biomasse (Asner *et al*, 2012). Le nombre total de placettes finalement utilisé a été de 611.

- *Procédure de validation :*

Afin d'assurer la fiabilité et la robustesse du modèle, une procédure de validation a été mise en place. Le jeu complet de données a été séparé en deux lots par tirage aléatoire des placettes, 70% d'entre elles étant destinées à la calibration et 30% pour la validation. La validation du modèle s'effectue par comparaison des valeurs des stocks carbone prédites avec celles mesurées sur les sites de validation.

- *Calibration du modèle :*

La calibration du modèle s'effectue à partir du jeu de données de calibration et avec l'aide de l'algorithme Random Forest. Cet algorithme est un modèle non linéaire basé sur le principe des arbres de décisions (Breiman 2001). Il permet de résoudre tout autant des problèmes de classification (ex. utilisation pour la détection de la déforestation) que des problèmes de régression avec des variables quantitatives. De plus, il offre de nombreux avantages notamment quant à l'intégration de variables corrélées, une certaine robustesse vis-à-vis des valeurs aberrantes et une sélection des variables les plus importantes. Il a été utilisé avec succès pour des études de référence sur la cartographie de la biomasse (Baccini 2012, Saatchi 2011, Asner 2012).

Dans cette étude et après plusieurs tests initiaux, le modèle a été appliqué avec les paramètres par défaut (mtry, ntree et nsample). La validation du modèle s'est effectuée en appliquant le modèle sur le jeu de données de validation et en calculant les indices de qualité présentés précédemment.

- *Choix du modèle final :*

Le choix du modèle final a demandé plusieurs tests, principalement basés sur le choix des variables environnementales utilisées dans le modèle et un développement de toute la chaîne de traitement jusqu'à la cartographie (plusieurs itérations). Considérant l'ensemble des cartes de végétation disponibles, une cartographie composite de VCF MODIS a été produite à partir de la sélection de dates présentant le moins d'effets indésirables et en prenant la moyenne de ces 4 dates (2003-2004-2006-2009).

Au final, c'est donc le modèle suivant (équation 3) qui a été retenu :

$$\text{Stock de carbone AGB} = f(\text{VCF_LTM}, \text{VCF_MOD}, \text{PREC}, \text{ALT}, \text{PEN}, \text{BEV}) \quad (3)$$

Avec :

VCF_LTM : *Vegetation Cover Fraction* extraite des images LANDSAT pour l'année 2000;

VCF_MOD: *Vegetation Cover Fraction* extraite des images MODIS, compilées pour les années 2003, 2004, 2006 et 2009.

PREC : Précipitation annuelle

ALT : Altitude ;

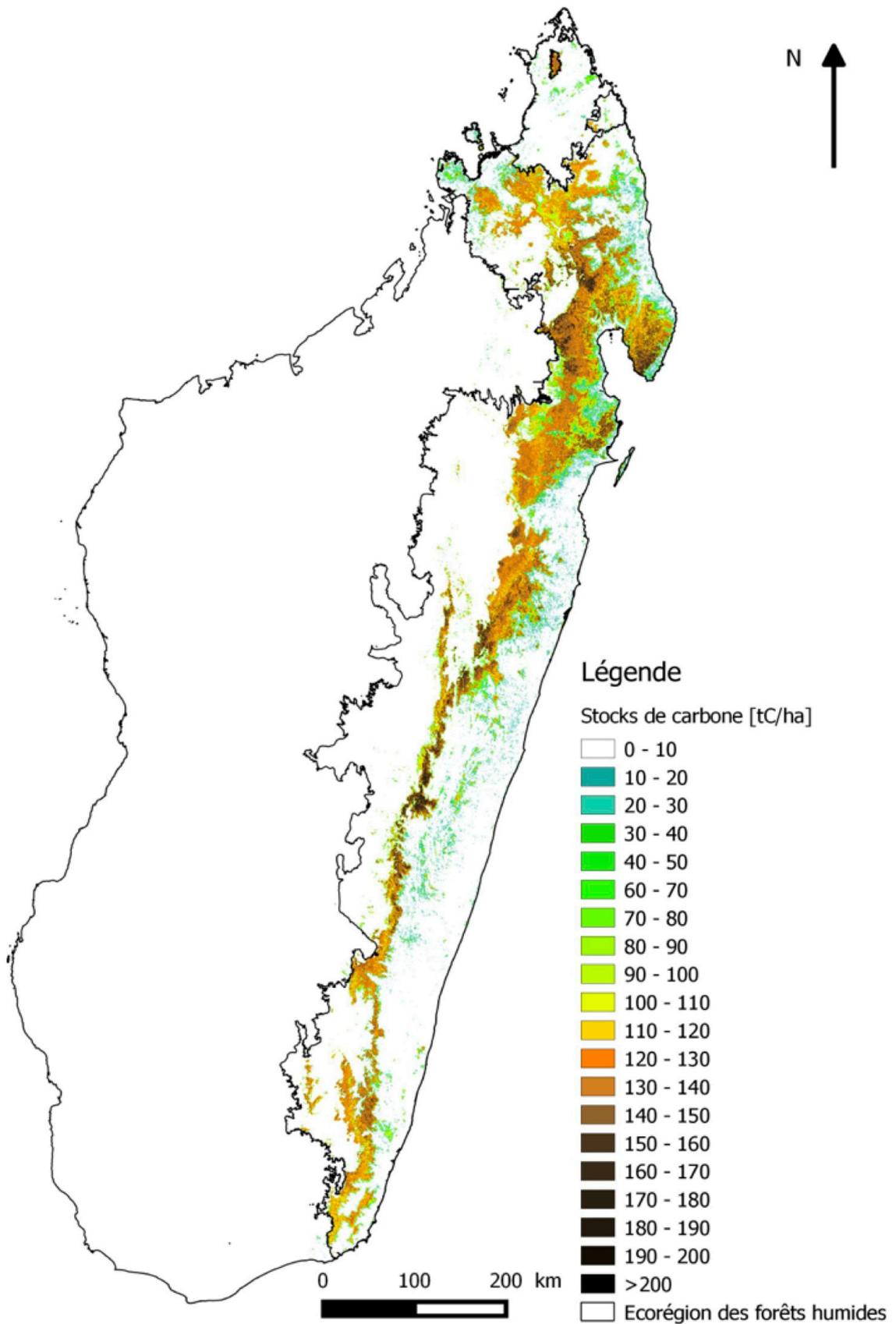
PEN : Pente ;

BEV : Indice d'humidité du sol.

- *Validation du modèle :*

Le modèle retenu montre des résultats satisfaisants du point de vue des indicateurs de qualité. En effet, nous avons estimé un R² de 0.78 et une RMSE de 28,2 tonnes de carbone par hectare. Le coefficient de variation est de 27% et le RPD de 2,13. Ces résultats sont cependant à nuancer par l'observation du graphique des valeurs prédites et mesurées. En effet, bien que l'essentiel des points de validation soient alignés sur la droite 1:1, on observe une tendance du modèle à surestimer les valeurs faibles (<100 t C/ha) et à sous-estimer les valeurs fortes (> 100 t C/ha). Vu que le carbone est majoritairement stocké dans les gros arbres, cela mène obligatoirement à une sous-estimation des émissions de la déforestation et de la dégradation des forêts dans le scénario de référence. Cette sous-estimation est conservateur dans le sens des méthodologies REDD+ existantes et renforce donc la crédibilité du modèle.

Figure 7 : Cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne éco-régionale



3.1.4.4 Spatialisation finale des stocks de carbone de la biomasse aérienne

La spatialisation consiste à prédire les stocks de carbone sur toute l'étendue de l'écorégion des forêts humides en se basant sur le modèle retenu. La carte est produite au format Geotiff et à la résolution de 100 mètres ce qui signifie que chaque pixel d'un hectare (100 x 100 m) bénéficie d'une valeur propre.

Une fois obtenue la cartographie éco-régionale des stocks de carbone, les valeurs qui correspondent à l'étendue de la forêt en 2013 sont extraites d'après l'étude du consortium conduite vis à vis de l'historique de déforestation 2005–2010–2013. La carte finale obtenue (cf. figure 7 ci-dessus) présente ainsi les stocks de carbone de la biomasse aérienne pour toutes les forêts en 2013.

3.2 Emissions de carbone du sol

Les émissions potentielles de carbone du sol après déforestation dépendent d'un côté des stocks absolus de carbone dans le sol, et de l'autre de la vitesse et du degré d'émission de ce carbone après déforestation. Par conséquent, le PERR-FH sous-contracté le Laboratoire des Radio Isotopes (LRI) et l'Institut de Recherche au Développement (IRD) pour réaliser les différentes activités liées à l'analyse des stocks de carbone du sol.

Afin de produire les différents livrables attendus, le Consortium LRI-IRD-ICRAF-CIAT a réalisé les activités suivantes :

- Analyse et cartographie des stocks de carbone du sol au niveau de l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar ;
 - Adoption d'un plan de sondage détaillé, puis collecte de données relatives aux stocks de carbone du sol dans 4 zones représentatives de l'écorégion des forêts humides, à travers une campagne d'échantillonnage et une préparation des échantillons et des analyses en laboratoire ;
 - Organisation et analyse des données de stocks de carbone issues de l'inventaire et des données disponibles au niveau de la base de données;
 - Cartographie des stocks de carbone du sol à l'aide de l'inventaire au niveau de l'écorégion des forêts humide ;
- Etablissement des facteurs d'émissions du carbone organique du sol et la modélisation de pertes de carbone post-déforestation.

Les principaux résultats de ces deux études sont brièvement présentés dans les chapitres suivants. Plus de détails sur les aspects de cartographie des stocks de carbone du sol se trouvent dans le rapport livrable 3 du PERR-FH.

3.2.1 Cartographie des stocks de carbone du sol

La cartographie des stocks de carbone du sol s'est déroulée selon les quatre principales activités suivantes :

- Collecte des données sur terrain à travers un inventaire pédologique en quatre zones d'analyse dans l'écorégion des forêts humides ;
- Analyse des échantillons collectés sur terrain ;
- Intégration de données existantes et cartographie des stocks de carbone du sol au niveau de l'écorégion des forêts humides.

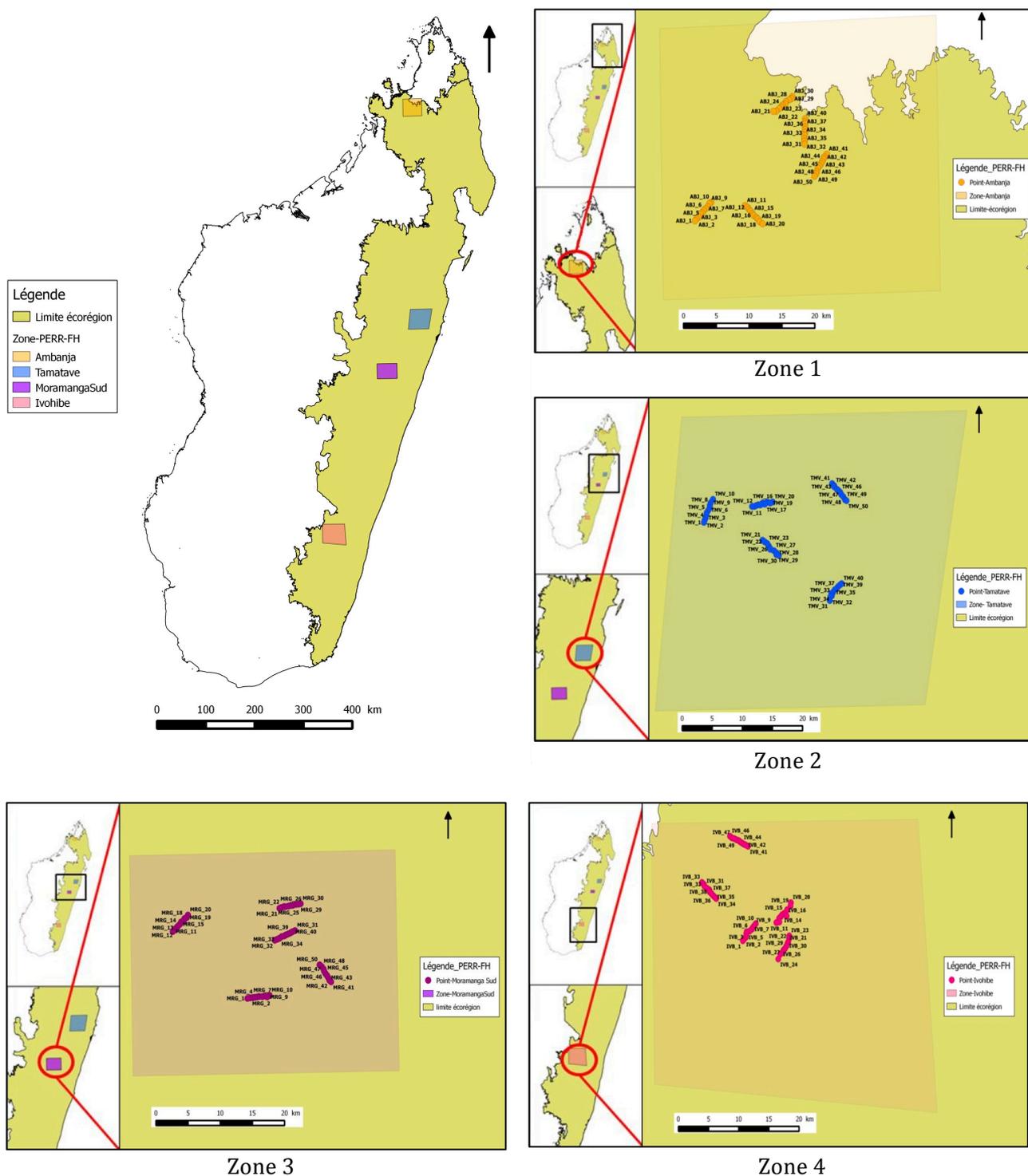
3.2.1.1 Collecte des données sur terrain

Sur la base de la première proposition du consortium LRI-IRD et selon les modifications apportées à l'offre suite aux premières échanges avec le PERR-FH, et aux discussions lors de l'atelier de validation du 07 mai 2014 au LRI, 200 points de prélèvements, distribués équitablement dans 4 zones d'intérêts réparties au niveau de l'écorégion ont été inventoriés. Ces quatre zones d'intérêts ont ainsi été sélectionnées suivant la couverture forestière et l'existence de modes d'usage autre que la forêt (jachères, cultures, pâturage), d'une part, et suivant les différents facteurs biophysiques déterminant

des stocks de carbone du sol, dont principalement les types de sol et de la roche mère selon les cartographies nationales y relatives disponibles, d'autre part. Ces zones sont listées ci-dessous (cf. figure 8) : Zone 1 : Ambanja, Tsaratanana ; Zone 2 : Tamatave Est ; Zone 3 : Moramanga Sud ; et Zone 4 : Ivohibe.

Dans chaque zone d'intérêt, différents modes d'usage du sol (MUS), forêt et non forêt (jachères, cultures, pâturage) ont été étudiés et prélevés, avec un ratio forêt/non forêt aux alentours de 1/3 en ayant différents âges de déforestation aussi large que possible afin de réaliser, à partir de cet inventaire, les deux objectifs spécifiques du mandat.

Figure 8 : Zones retenues pour les inventaires pédologiques pour la détermination des stocks de carbone du sol



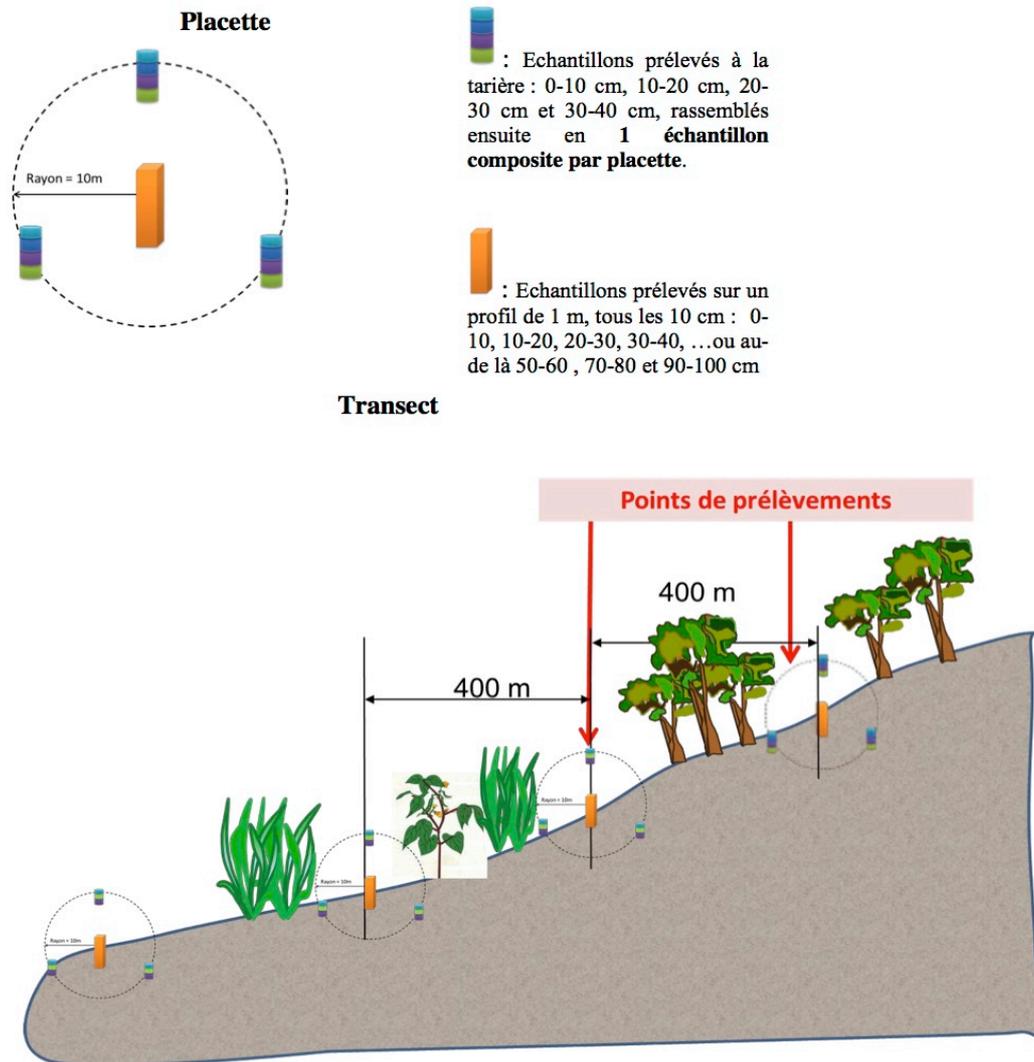
Zone 3

Zone 4

La méthode de sondage utilisée a été inspirée de celle utilisée par le projet AfSIS« AfricaSoil Information Service » développée par ICRAF–CIAT (<http://www.africasoils.net/>) et déjà mis en œuvre à Madagascar par le consortium LRI-ICRAF-CIAT dans la région de Didy, avec quelques modifications en termes de profondeurs ou des couche de sol considérées pour un meilleur calcul de la densité apparente du sol, paramètre nécessaire pour le calcul des stocks de carbone. La méthode de prélèvement adoptée est le prélèvement par transect dans un objectif d’appréhender simultanément le gradient de mode d’usage et le gradient d’altitude. Dans chaque zone d’intérêt, 5 transects de 4 km chacun ont ainsi été identifiés et prélevés, avec 10 points de prélèvements (ou placette) le long d’un transect, soit 50 points de prélèvement par zone d’intérêt et en tout 200 points de prélèvement pour tout l’écocorégion des forêts humides.

La localisation au préalable des transects et des points de prélèvements (tous les 400 m le long d’un transect) par zone ont été effectués à partir des cartes disponibles pour l’écocorégion (morpho-pédologique, altitude, routes et accès, carte géologique et carte de la déforestation). Cependant, les points de prélèvements pré-identifiés grâce à la-photo-interprétation ne correspondaient pas toujours aux modes d’usage rencontrés sur terrain. Aussi des ajustements ont dû être effectués sur terrain. Le point de prélèvement, également appelé placette a été le point élémentaire de prélèvement (cf. figure 9). Sur chaque placette, une description du site a été effectuée: relevés GPS (au milieu de la placette, en degré décimal), description du mode d’usage (forêt, jachère, pâturage, culture), de l’historique du site (date de défrichement, précédente succession culturales, passage de feux, etc.) et de l’environnement biophysique (altitude, pente, couverture de la canopée, éléments grossiers en surface, traces d’érosion, etc.).

Figure 9 : Représentation schématique des placettes (point de prélèvement) et des transects relevés dans le cadre de l’inventaire pédologique



Sur chaque placette, qui était composée de trois profils de prélèvement disposés en triangle équilatéral et d'une fosse pédologique située au milieu de la parcelle, ont été effectués (cf. figur 9) :

- **Prélèvements de sol à la tarière :**

Effectués sur les 3 sommets des triangles (donc 3 profils), à trois profondeurs 0-10, 10-20, 20-30 cm. Un échantillon composite ou échantillon moyen par profondeur, regroupant les 3 échantillons par profondeur ont été ensuite constitués et ont été analysés pour la mesure de carbone ;

- **Description du sol :**

Effectuée sur la fosse pédologique (50x50x100 cm) où les types d'horizons de sol, leurs couleurs, l'humidité, l'abondance racinaire, la structure du sol, et les teneurs en éléments grossiers ont été déterminés,

- **Prélèvement de sol au cylindre :**

Effectué sur la fosse pédologique à 0-10, 10-20, 20-30 cm de profondeur afin de mesurer de la densité apparente du sol. Des prélèvements dans des horizons plus profonds ont été également effectués.

3.2.1.2 Analyse des échantillons collectés

Après les travaux d'inventaire, les analyses suivantes ont été réalisées séparément pour chacun des échantillons collectés sur terrain :

- **Mesure de la teneur en carbone du sol:**

Tous les échantillons prélevés ont été ramenés au laboratoire d'analyses du LRI, pour être séchés et ensuite préparés (tamisés à 2 mm). Une aliquote de 20 g de chaque échantillon est ensuite broyée à 0,2 mm pour mesurer la teneur en carbone selon la méthode de Walkley et Black (1934). Les échantillons ont été également passés à la spectrométrie moyen infra-rouge pour la prédiction de certaines valeurs de carbone.

- **Mesure de la densité apparente :**

Les sols prélevés au cylindre ont été pesés frais et une aliquote de 50 g environ a été ensuite prélevée pour mesurer l'humidité à 105°C afin de déterminer la masse du sol à 105°C. La densité apparente est déterminée par le rapport entre la masse sec du sol et son volume à l'état humide.

- **Mesure des éléments grossiers :**

Les éléments grossiers (EG) sont des particules de sol de plus de 2 mm de diamètre (graviers, cailloux, pierres, blocs). Du fait de leur teneur quasi-inexistant en carbone, ils doivent être considérer lors du calcul des stocks de carbone. Les éléments grossiers ont été quantifiés par tamisage des échantillons à 2 mm, et en pesant les particules qui ne sont pas passées à travers le tamis de 2 mm.

- **Calcul des stocks de carbone :**

Le stock de carbone (en Méga-grammes de carbone par hectare, Mg/ha) pour une profondeur de sol donnée est donné par l'équation (1).

$$SCO_i = DA \times 0,1 \times (1 - (EG/100)) \times Corg \times e \quad (4)$$

Avec :

SCO_i : Stock de carbone de la couche de sol *i* (*i* = 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm), en Mg/ha ;

Da : Densité apparente, en g.cm⁻³ ;

EG : Pourcentage d'éléments grossiers, en % ;

Corg : Teneur pondérale en carbone organique, en gC.kg⁻¹ ;

e : Epaisseur de l'horizon, en cm (ici e = 10 cm).

Les principaux résultats obtenus de ces analyses sont les suivants :

- **Stocks de carbone entre 30 et 100 cm de profondeur :**

Les stocks de carbone à volume équivalent pour la profondeur 0-100 cm (SCO_100) ont été calculés sur les zones PERR-FH. Ces stocks varient de 32,14 à 371,88 Mg/ha avec une valeur moyenne de $183,67 \pm 66,34$ Mg/ha. Par zone d'intérêt, il a été observé des valeurs moyennes de $146,21 \pm 46,47$ Mg/ha pour Ambanja, $164,57 \pm 43,66$ Mg/ha pour Tamatave, $159,12 \pm 42,78$ Mg/ha pour Moramanga et $264,01 \pm 54,35$ Mg/ha pour Ivohibe (cf. tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs des stocks de carbone du sol à 0-30 et 0-100 cm de profondeur pour chacune des zones PERR-FH

Zone de relevé	SCO_30 (MgC.ha-1)					SCO_100 (MgC.ha-1)			
	N	Min	Max	Moy	Etype	Min	Max	Moy	Etype
Ambanja	50	20,77	155,81	81,05	23,37	32,14	289,28	146,21	46,47
Tamatave	50	46,32	158,64	97,76	23,59	93,49	304,56	164,57	43,66
Moramanga Sud	50	49,69	187,08	101,24	27,59	74,02	261,78	159,12	42,78
Ivohibe	50	95,54	220,82	154,35	33,15	134,58	371,88	264,01	54,35
Toute Zone	200	20,77	220,82	108,60	38,59	32,14	371,88	183,67	66,34

Il a été également observé que les stocks de carbone à 0-30 cm représentent 60% des valeurs de stocks de 0-100 cm, mais que les teneurs en carbone sont presque constantes à partir de 40 cm de profondeur et que les stocks SCO_30 et SCO_100 sont parfaitement corrélés ($R^2=0,84$).

- **Stocks de carbone et modes d'usage des terres :**

Concernant les comparaisons des valeurs de stocks selon les modes d'usage du sol (MUS) et l'âge de déforestation, les mêmes tendances ont été observées pour les stocks à 0-30cm et les stocks de 0-100 cm. Du point de vue statistique, il n'y a aucune différence significative entre les sites sous-« forêt » et ceux « non-forêt » d'une part (cf. tableau 3), et entre les différents âges de déforestation d'autre part (cf. tableau 4).

Tableau 3 : Valeurs des stocks de carbone à 0-30 et 0-100 cm de profondeur selon les modes d'usage

Mode d'usage	SCO_30 (MgC.ha-1)					SCO_100 (MgC.ha-1)			
	N	Min	Max	Moy	Etype	Min	Max	Moy	Etype
Forêt	125	20,77	220,82	110,97	39,17	32,14	353,05	185,39	65,80
Non-Forêt	75	39,79	209,16	104,65	37,53	61,70	371,88	180,76	67,59
Tout mode	200	20,77	220,82	108,60	38,59	32,14	371,88	183,67	66,34

Tableau 4 : Valeurs des stocks de carbone à 0-30 et 0-100 cm de profondeur selon l'âge de déforestation

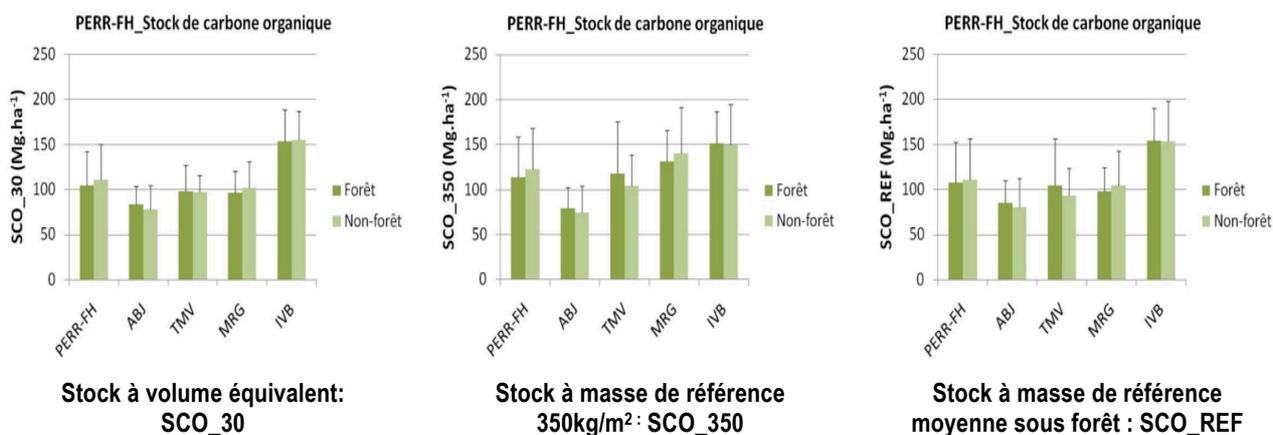
Période de déforestation	SCO_30 (MgC.ha-1)					SCO_100 (MgC.ha-1)			
	N	Min	Max	Moy	Etype	Min	Max	Moy	Etype
Forêt	75	39,79	209,16	104,65	37,53	61,70	371,88	180,76	67,59
2010 – 2014	40	53,62	191,50	106,02	34,99	98,81	327,63	172,94	56,76
2005 – 2009	57	38,56	215,02	111,62	39,77	74,02	353,05	193,41	69,75
2000 – 2004	28	20,77	220,82	116,73	43,88	32,14	345,77	186,82	69,08
Tout âge	200	20,77	220,82	108,60	38,59	32,14	371,88	183,67	66,34

En outre, les stocks de carbone organique (SCO) sous les modes d'utilisation des sols suivants ont été comparés entre eux :

- « Forêt » et « Non-forêt » ;
- « Forêt » et « Jachère » ;
- « Forêt » et « Culture ».

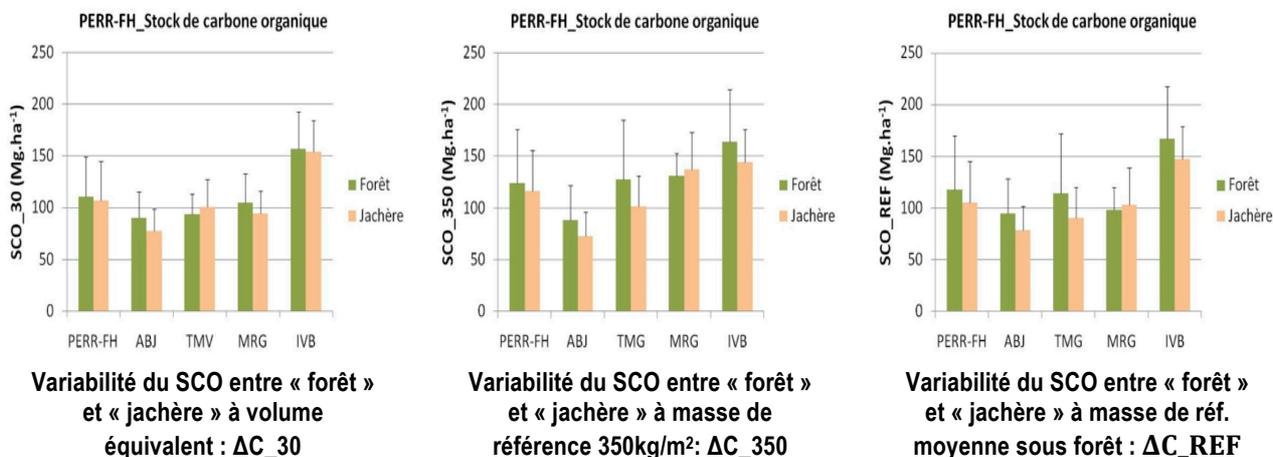
Aucune différence significative n'a été observée pour les stocks des différents MUS, que ce soit pour les SCO_30 ou les SCO_350 ou les SCO_REF dans le cas de comparaisons des moyennes entre « Forêt vs Non-Forêt » (cf. figure 10). Ceci peut être expliqué par l'âge relativement récent de déforestation (moins de 15 ans). En effet, le mode de gestion de ces sols après la déforestation n'inclut habituellement pas de labour, pas de travail du sol et une restitution des résidus de récolte, ce qui ne semble pas entraîner pas des diminutions importantes au niveau des stocks de carbone. D'une manière générale, les diminutions importantes ne s'observent que si les pratiques agricoles plus intenses et en permanence sont effectuées après la déforestation.

Figure 10 : Séries de figures montrant les différents stocks de carbone du sol de la base PERR-FH suivant le mode d'usage « forêt » et « non-forêt »



Seuls les stocks moyens entre « Forêt vs Jachère » montre une différence significative pour les SCO_REF ($p=0,041 < 0,05$). Ce résultat montre l'importance des calculs des stocks de carbone à masse équivalente comme outil de comparaison de ces stocks (cf. figure 11).

Figure 11 : Série de figures montrant les différents stocks de carbone suivant le mode d'usage « forêt » et « jachère » de la base PERR-FH

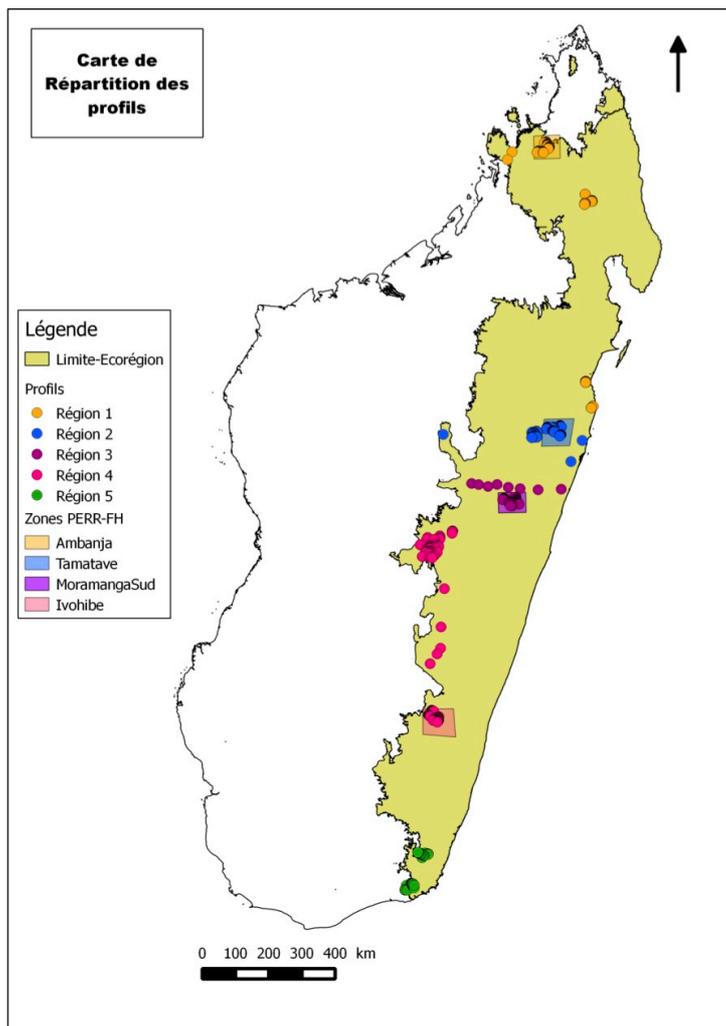


3.2.1.3 Modélisation et cartographie des stocks de carbone du sol

Cette partie traite la spatialisation des stocks de C du sol à l'échelle de l'Ecorégion humide de Madagascar en utilisant des modèles et leur cartographie par pixel. Comme ce genre de cartographie à une telle échelle nécessite de nombreuses données, une nouvelle base de données appelée PERR-FH&Autres a été développée, intégrant les résultats de l'inventaire pédologique PERR-FH décrits ci-dessus, mais également des données existantes de l'écorégion des forêts humides disponibles auprès de LRI et IRD. Le tableau 5 présente l'ensemble des données utilisées et la figure 12 leur distribution spatiale au niveau de l'écorégion des forêts humides.

Tableau 5 : Source et nombre des profils de la base de données PERR-FH&Autres

Zone de relevé	Source des données	Nombre d'échantillons		
		Forêt	Non-forêt	Total
Région 1	PERR-FH Ambanja	26	24	50
	Heritokilalaina, 2010	6	24	30
	Saneho, 2014		56	56
	Razafimahatratra, 2011		2	2
Région 2	PERR-FH Tamatave	22	28	50
	Zafindrabenja, 2014	28	96	124
	Razafimahatratra, 2011		3	3
Région 3	PERR-FH Moramanga Sud	11	39	50
	Ramifehiarivo, 2014	17	64	81
	Razafimahatratra, 2011		8	8
Région 4	PERR-FH Ivohibe	16	34	50
	Randrianandrasana, 2014		72	72
	Razafimahatratra, 2011		5	5
	Andriampiolazana, 2014		35	35
Région 5	Grinand, 2010	29	18	47
	Ramboatiana, 2014	7	18	25
	Rakotonarivo, 2010	27	18	45
Total		173	510	733

Figure 12: Carte des lieux de collecte des données de la base PERR-FH&Autres par région

La démarche générale qui a été adoptée pour la spatialisation des stocks de C du sol pour l'écorégion des forêts humides de Madagascar comporte les étapes suivantes :

- **Préparation des données spatiales:**

Cette étape comporte le choix des images satellites sur lesquelles va se baser la modélisation, ainsi que la récupération des données spatiales et l'extraction des différentes variables à utiliser

- **Etablissement de modèles de prédiction des stocks de carbone organique :**

Comme les points de prélèvement ne couvrent pas l'ensemble de l'écorégion, il est impératif de créer un modèle de prédiction des stocks permettant d'attribuer des valeurs de SCO pour l'ensemble de l'écorégion des forêts humides. Les valeurs de SCO qui ont été mesurées sur le terrain (cf. tableau 5) servent de valeurs de référence pour le modèle. Différents modèles sont alors à développer et à tester de façon à obtenir un (ou des) modèle(s) affichant les meilleures robustesses et fiabilité pour être appliqué sur l'écorégion.

Le modèle statistique utilisé est l'algorithme Random Forest (RF) qui est une version améliorée des arbres de régressions classiques, entre autre CART (Breiman, 2001). Son choix s'est basé principalement sur les expériences du consortium LRI-IRD et de leurs partenaires mais aussi aux travaux de modélisation menés à Madagascar (Grinand C., 2010). C'est un modèle assez complexe, mais son algorithme a l'avantage de proposer une sélection automatique des variables importantes pouvant expliquer le SCO. En d'autres termes, RF offre une meilleure capacité prédictive par rapport aux autres algorithmes d'arbres de régression comme il : i) effectue un double tirage aléatoire d'échantillons et de variables ; ii) répète le traitement à un grand nombre de fois, ce qui permet la construction d'une multitude de petits arbres indépendants ; et iii) fournit un modèle non explicite mais dont l'importance relative des variables dans la construction du modèle peut être évaluée.

- **Appréciation des modèles testés et des cartes produites :**

L'objectif de toutes les manipulations statistiques et spatiales est d'obtenir une valeur élevée de R2 et de réduire autant que possible la valeur de RMSE. A noter que les travaux de modélisation de SCO a été effectué sous R. Les travaux de spatialisation ont été effectués sous ArcGIS. A rappeler que les stocks de carbone utilisés sont les stocks calculés à volume équivalent. Selon les expériences de chaque membre du consortium, deux types d'image ont été considérés lors de ce mandat, donnant suite à deux approches définies-présentées dans les paragraphes qui suivent :

- Une approche utilisant les images MODIS
- Une approche utilisant les images LANDSAT

L'approche utilisant les images Landsat présente cependant des avantages incontestables et est plus cohérente avec les méthodologies utilisées pour la cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne et par conséquent seul les résultats de cette deuxième approche sont présentés ci-dessous.

- **Préparation des variables à utilisées dans la modélisation :**

En principe, les variables à retenir sont celles permettant de produire une carte à 1/1.000.000 d'échelle. Pour avoir une meilleure lisibilité et afin d'éviter l'apparition des pixels sur la carte, il faut un minimum de (3 x 3 pixels) dans 1 mm² de carte imprimée. Une image native avec une résolution de 30mx30m produira donc sans problème une carte au 1/100.000 tandis que les données avec une résolution de 500mx500m sont assez limite pour avoir une carte au 1/1.000.000.

Basée sur les expériences du consortium et en tenant compte des échanges avec le consortium WCS-ETC TERRA-ONE-MNP concernant les paramètres utilisés pour la spatialisation de la biomasse aérienne à Madagascar, les données suivantes ont été collectées pour la constitution des variables d'entrée dans la modélisation du SCO :

- Indices de végétation NDVI, NDWI et NIRI: calculés à partir des images satellites de la famille LANDSAT :
 - Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est connu pour sa limite et saturation en zone avec beaucoup de végétation verte, c'est la raison de l'ajout des deux autres indices qui ne saturent pas.
 - Le NDWI (Normalized Difference Water Index) représente la quantité d'eau disponible dans les végétaux, plus robuste et résistant à la saturation au vert
 - Le NIRI (Normalized InfraRed Index) est un indice de végétation, avec la différence des deux autres. Il utilise la bande InfraRouge des images Landsat et est donc moins sensible à la saturation à la végétation verte.

Pour pouvoir intégrer ces 3 paramètres dans le modèle, il faut que la totalité de la zone à analyser soit couverte par des images homogènes. Suite à la présence quasi permanente des nuages sur la zone d'étude, il a été difficile, voir impossible de réunir des images de la même date (ou saison) sur la zone.

Ainsi, nous avons pris comme alternative l'utilisation des images issues de la Global Forest Change de Hansen (2013). Ces images sont déjà normalisées et les nuages ont été remplacés par d'autres images. Les trois indices ont été donc calculées à partir de ces images normalisées, téléchargeable sur le site de "global forest cover" sous le nom de « last ». Les images datent de 2012 et sont des combinaisons d'images landsat 7 et 8.

- Modèle Numérique du Terrain (MNT), Pente (Slope), Orientation (Exposition) et indice d'humidité de Beven ont été dérivés des données Aster GDEM dans sa version 2.
- Carte d'utilisation du sol (vegkew) est le résultat d'une analyse d'image satellite landsat réalisée par Royal Botanic Gardens Kew en 2000.
- La température et la précipitation sont issues du shapefile au 1/2.000.000 de Cornet (1974).
- Précipitation en saison sèche (mai-octobre) et en saison humide (novembre-avril) dérivée de la base worldclim (www.worldclim.org).

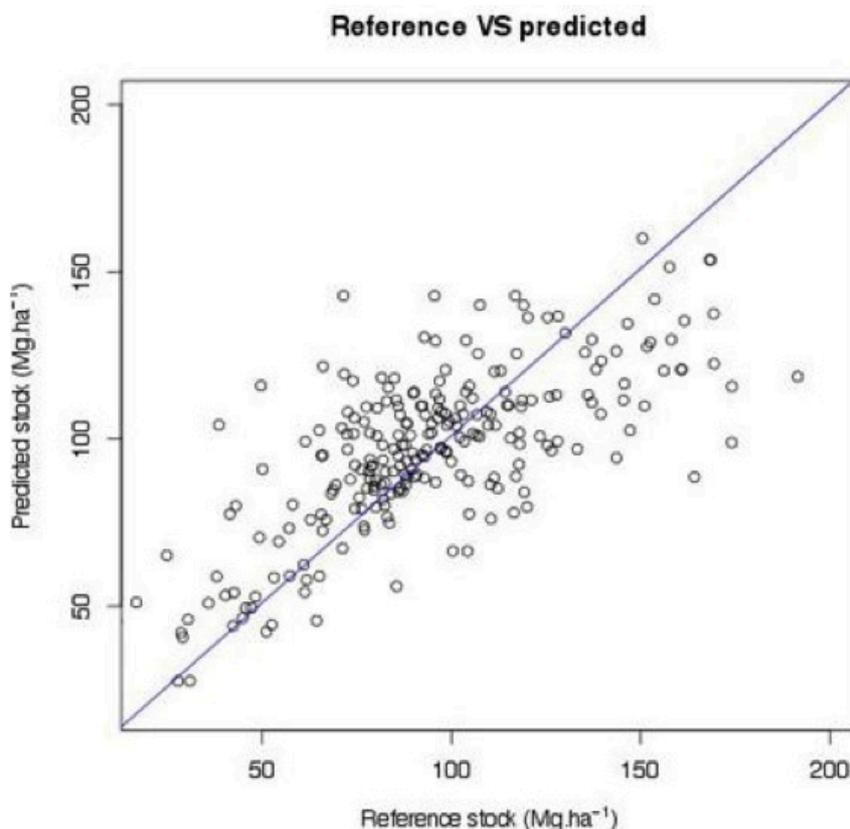
- La couche « Géologie » est issue de la carte au 1/2'000'000 de Besairie.
- La couche « pédologie » est issue de la carte géomorphologique de Delenne et al, (1981).
- **Travaux de modélisation et de spatialisation :**
 Pour les valeurs de SCO disponibles, les données ont été divisées en 2 lots: un pour la calibration pour (70%) et un lot pour la validation (30%). Au total, 513 points ont été utilisés pour la calibration du modèle et 220 points pour la validation. Après quelques essais de manipulation de RF, les paramètres suivant ont été retenu pour la création du modèle final :
 - Ndvi
 - Ndwi
 - Niri
 - Utilisation du sol (Kew)
 - Modèle numérique de terrain (MNT)
 - Pente

Les autres paramètres tels que la température maximale et la pluviométrie minimale, bien qu'ils aient participé à l'obtention du modèle, n'ont pas apporté une amélioration des résultats à cause de leur résolution et de leur variation spatiale trop grande.

Les paramètres de la validation du modèle sont (cf. Figure 12) :

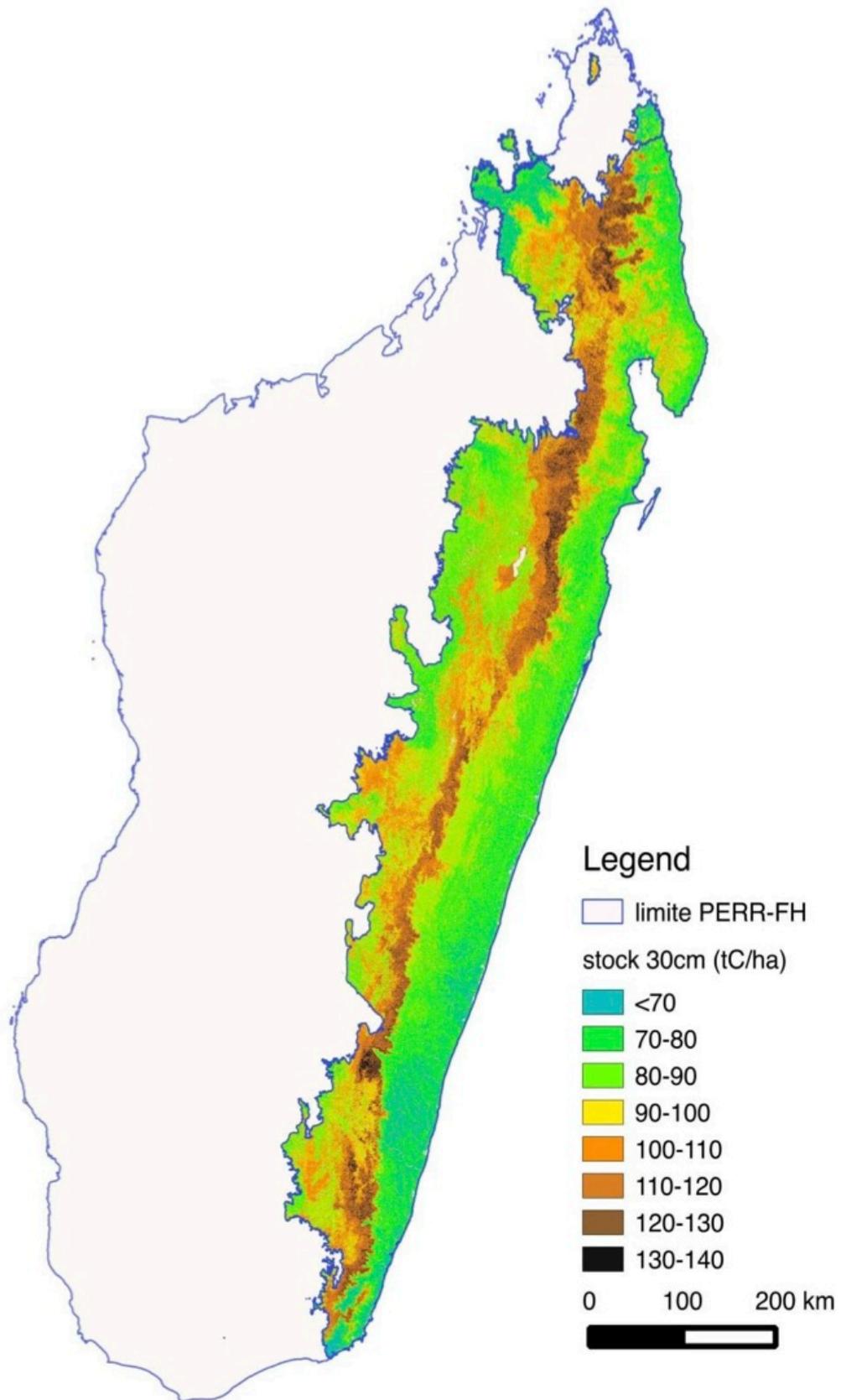
- RMSE = **25,76** : cette valeur signifie que l'erreur est de l'ordre de 26 tC.ha⁻¹ pendant la prédiction pour 0-30 cm de profondeur.
- R² : **0,58**

Figure 12: Résultats de la validation du modèle Random Forest utilisé pour la prédiction des stocks de C (0-30 cm) de l'écorégion humide de Madagascar selon l'approche LANDSAT



Une fois validé, le modèle a été appliqué sur l'ensemble de la zone de l'écorégion humide de Madagascar. La carte résultant de l'application du modèle est présentée dans la figure 13.

Figure 13: Carte des stocks de carbone du sol développée à partir des résultats du modèle



3.2.2 Détermination des facteurs d'émission liés au carbone du sol

3.2.2.1 Comparaison des stocks de carbone organique

Les facteurs d'émission et de variations des stocks de carbone du sol après déforestation ont été calculés à partir des différences de stocks de carbone du sol entre « forêt naturelle » et « un autre mode d'usage ». Les formules utilisées ont été celles proposées dans le document : « Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre Volume 4 Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Chapitre 2 : Méthodes génériques » du GIEC.

Les facteurs ont été calculés sur la base des différences entre :

- Stocks « forêt » et « non-forêt », pour l'ensemble des données de la base PERR-FH ainsi que la base PERR-FH&Autres.
- Stocks « forêt » et « jachère » pour la base PERR-FH.
- Stocks « forêt » et « culture » pour la base PERR-FH.

Les valeurs de stocks utilisées sont SCO_30, SCO_350, SCO_REF et SCO_REG.

Dans l'ensemble, ni émission ni séquestration majeure du carbone de sol n'est observée, pour les stocks des différents MUS, que ce soit pour les SCO_30 ou les SCO_350 ou les SCO_REF dans le cas de comparaisons des moyennes entre « Forêt vs Non-Forêt » et « Forêt vs Culture ». Toutefois, une diminution des stocks de carbone (de 30 à 40Mg.ha⁻¹) est observée quand on passe de la « Forêt » à « Non-forêt » pour les régions 4 et 5 de la base de données PERR-FH&Autres.

Cette absence d'effet observé dans la base PERR-FH s'explique par la très grande variabilité des valeurs de stocks observées, d'une part, mais également par le type de mode de gestion utilisée directement suite à la déforestation. En effet, seules les pratiques intensives comme le labour intensif et l'exportation des résidus conduisent à une diminution rapide des stocks de carbone. Or pour cette partie de l'écorégion humide, lors de la déforestation, les pratiques utilisées par les paysans sont des pratiques d'abattis-brûlis ou d'abattis sans brûlis, où le sol n'est pas labouré et où la majorité des résidus végétaux sont encore restitués à la parcelle. De ce fait, il est normal de ne pas observer des diminutions significatives de stocks au bout de 15 ans de déforestation (cas de la majorité des situations prélevées dans le cadre du PERR-FH). Les différences se verront à des échelles de temps plus longues.

3.2.2.2 Modélisation des pertes de carbone du sol après déforestation

Les stocks de carbone du sol ont été déterminés selon les méthodologies et procédures décrites dans la sous-composante 2.3. La simple estimation de ces stocks n'est pas suffisante pour estimer les émissions liées à la déforestation puisque suite à la déforestation, les stocks de carbone du sol ne sont pas libérés immédiatement (comme c'est le cas du carbone dans la biomasse, surtout en cas de défrichement par le feu), mais plutôt progressivement. Il a par conséquent été nécessaire de développer des modèles expliquant la vitesse à laquelle les stocks du carbone du sol sont libérés après déforestation.

Comme les activités précédentes, ces travaux ont été réalisés dans le cadre de réunions de travail des experts du consortium et dans le cas présent avec implication du prestataire de service retenu (consortium LRI-IRD) ayant réalisé : 1) la campagne d'inventaire de terrain pour la mesure des stocks de carbone dans le sol ; 2) l'analyse en laboratoire des échantillons ; 3) le traitement de données pour le calcul de stocks selon différentes méthodes de calcul ; 4) la spatialisation des stocks de carbone sur l'écorégion ; et 5) la modélisation des pertes de carbone après déforestation.

Ce paragraphe résume les travaux sur cette dernière activité et notamment les valeurs qui ont été utilisées pour calculer les émissions liées au carbone du sol.

3.2.2.3 Model théorique de perte de carbone du sol

L'approche qui a été retenue pour appréhender la dynamique du carbone du sol suite aux changements du Mode d'Utilisation du Sol (MUS) est la modélisation : simulation et prédiction de la réponse du sol à ces changements en termes de stocks de carbone. Conformément à la littérature

(Davidson et Ackerman, 1993), cette dynamique de pertes de carbone du sol post-déforestation a donc été modélisée suivant une fonction exponentielle décroissante.

La décroissance des stocks de carbone du sol de l'écorégion des forêts humides de Madagascar peut ainsi être modélisée selon l'équation décrite ci-après en considérant que le carbone du sol peut être divisé en au moins deux fractions présentant des dynamiques différentes : une fraction très labile qui décroît rapidement et une autre fraction plus résistante, qui disparaît à un rythme beaucoup plus faible.

Ce modèle exponentiel décroissant s'écrit :

$$y = a + b * e^{(-k*t)} \quad (5)$$

Avec :

- a = Stock de carbone à la fin (stock final sous vieille placette/parcelle) (Mg.ha-1)
- a + b = Stock de carbone à l'origine (stock initial de référence sous forêt) (Mg.ha-1)
- b = Perte de carbone entre l'état initial et l'état final (Mg.ha-1)
- k = Vitesse de minéralisation du carbone organique (Mg.ha-1)
- t = Temps (âge après défrichage/déforestation) (année)
- y = Stock de carbone du sol SCO à l'instant t (Mg.ha-1)

Les trois paramètres inconnus (a, b et k) de l'équation ont été déterminés en utilisant la fonction nls «Nonlinear Least Squares» sous le logiciel R (Script transmis au Client dans le livrable Modélisation). Le modèle a été appliqué aux données des bases PERR-FH et PERR-FH&Autres, afin de déterminer les paramètres globaux pour l'écorégion humide mais également les paramètres spécifiques à chaque zone de la base PERR-FH ou à chaque région de la base PERR-FH&Autres (Bates et al. 1988, 1992).

La modélisation des stocks de carbone du sol a été réalisée sur les trois valeurs de stocks de C : i) stock calculé à volume équivalent (SCO_30) ; ii) stock calculé à masse de sol équivalente à 350 kg/m² (SCO_350) ; et iii) stock calculé à masse de sol équivalente à la moyenne des masses de sol sous forêt pour chaque zone (SCO_REF) et pour les données PERR-FH et pour chaque région (SCO_REG) des données de la base PERR-FH&Autres.

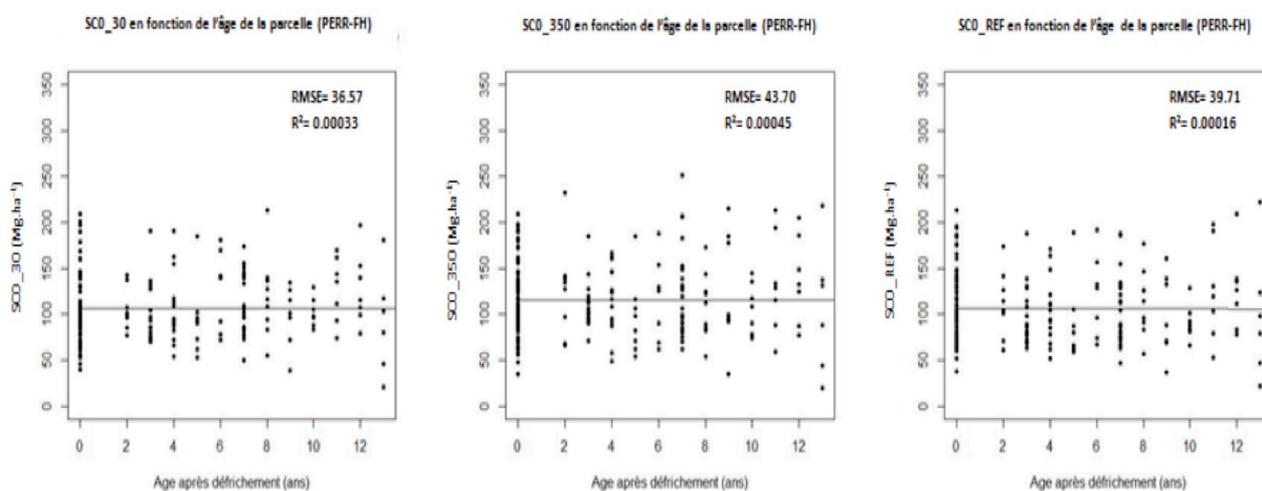
Tableau 6 : Résultats de la modélisation de la dynamique du SCO pour les données de la base PERR-FH

Type de stock de carbone	Paramètre	PERR-FH	Ambanja	Ivohibe	Tamatave	Moramanga
SCO volume équivalente	n	195	49	48	49	49
	a	90	45	90	90	90
	b	16.63	40.18	60	6.52	9.521
	k (%)	0.1	5.4	0.1	0.1	0.1
	RMSE	36.57	19.43	30.82	21.89	24.66
	R ²	0.00033	0.09	0.0035	0.00049	0.0004
SCO masse équivalente 350 kg/ha	n	195	49	48	49	49
	a	90	45	90	90	90
	b	25.43	35.55	56.58	15.76	45.5
	k (%)	0.1	6.012	0.27	0.1	0.1
	RMSE	43.7	21.41	33.66	33.67	42.77
	R ²	0.00045	0.07	0.0004	0.00012	0.001
SCO masse équivalente Site de référence	N	195	49	48	49	49
	A	90	45	90	90	90
	B	16.11	41.56	59.51	4.29	11.325
	k (%)	0.1	5.4	0.26	0.1	0.1
	RMSE	39.71	22.98	34.34	30.33	32
	R ²	0.00016	0.073	0.0004	4.5088E-05	0.00033

D'abord, les résultats de la modélisation pour l'ensemble des données et pour chacun des quatre (4) zones PERR-FH sont présentés dans le tableau 6. Pour l'ensemble des données PERR-FH, les pertes de carbone (ratio $b/a+b$) sur les 30 premiers centimètres du sol est de 15% pour SCO_30 et 22% pour SCO_350 et SCO_REF. Les taux de perte annuel (k) sont tous de 0,1%. L'utilisation des valeurs de stocks à masse de sol équivalent ont ainsi conduit à une constatation d'augmentation des pertes liées à la déforestation.

Ensuite, la modélisation des stocks par zone d'intérêt a montré que ce sont les données d'Ambanja qui ont donné les meilleurs résultats par rapport aux autres zones avec des valeurs de R^2 proches de 0,1 et des RMSE faibles (cf. tableau 6 et figure 14). Une diminution considérable des stocks de carbone du sol après défrichement est observée pour chaque zone, mais le taux d'émission de carbone durant les premières années après déforestation est plus élevé pour Ambanja (k varie de 5,4 à 6%) par rapport aux autres zones (k varie de 0,27 à 0,1%).

Figure 14 : Résultats de la modélisation des pertes de carbone du sol après déforestation sur base des données PERR-FH



Les résultats de la modélisation montrent en outre que :

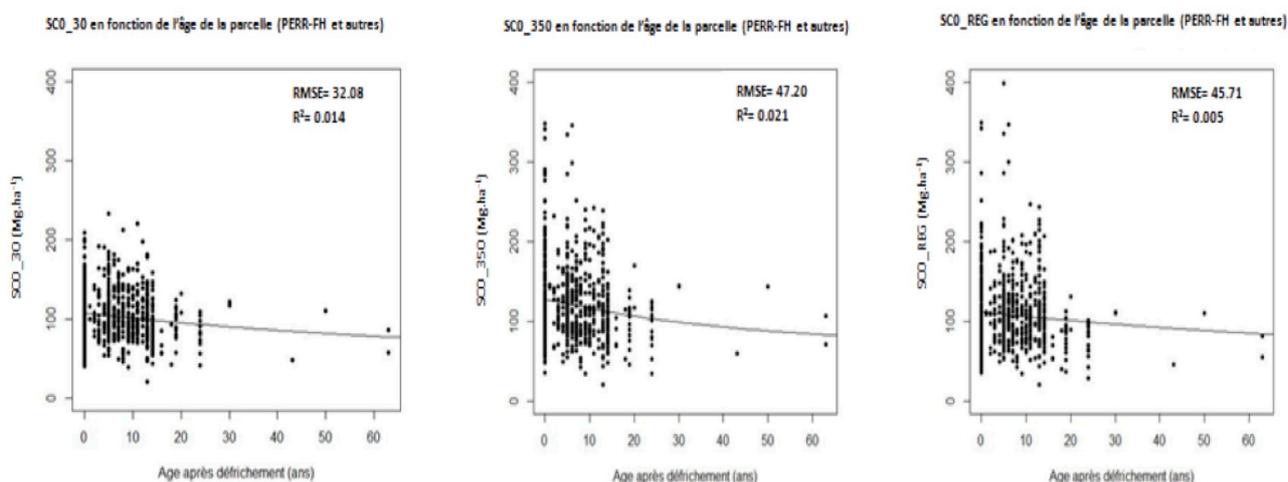
- Pour l'ensemble des données PERR-FH, les modèles de pertes sont très mauvais avec des $R^2 < 0.0003$. Toutefois, la modélisation des stocks par zone d'intérêt a montré que ce sont les données d'Ambanja qui ont donné les meilleurs résultats par rapport aux autres zones avec des valeurs de R^2 proches de 0,1 et des RMSE faibles. Une diminution considérable des stocks de carbone du sol après défrichement est observée pour chaque zone, mais le taux d'émission de carbone durant les premières années après déforestation est plus élevé pour Ambanja (k varie de 5,40 à 6,00%) par rapport aux autres zones (k varie de 0,27 à 0,10%).
- Pour l'ensemble des données PERR-FH&Autres, les modèles sont meilleurs par rapport à PERR-FH seuls, avec des valeurs de $R^2 > 0,005$. Les pertes de stocks de carbone de sol sont de 55,97% pour SCO_REG et de 46,94% pour SCO_350, par rapport au stock initial sous forêt. Le taux d'émission annuel varie ainsi de 0,97 à 2,20%. La modélisation de la dynamique des stocks par région présente des vitesses de minéralisation du carbone (k) ou des taux d'émission annuels de carbone pouvant aller jusqu'à 8,8%. Des pertes par rapport au stock sous-forêt allant de 15 à 56% sont observées; à l'exception de la Région 2, où le taux de perte annuel durant les premières années après défrichement n'est que de 0,1%.

Pour les données de la base PERR-FH&Autres, des pertes de stocks de carbone de sol de 55,97% pour le SCO_REG et de 46,94% pour SCO_350, par rapport au stock initial sous forêt sont observées. Le taux d'émission annuel varie ainsi de 0,97 à 2,20% (cf. tableau 6 et figure 14). Cette modélisation de la dynamique des stocks par région présente des vitesses de minéralisation de C (k) ou des taux d'émission de C pouvant aller jusqu'à 8,8% (cf. tableau 7). En effet, on peut assister à une perte par rapport au stock sous-forêt allant de 15 à 56%, à l'exception de la région 2 où le taux de perte annuel durant les premières années après défrichement n'est que de 0,1% (cf. tableau 7 et figure 15).

Tableau 7: Résultats de la modélisation des dynamiques de perte de carbone du sol après déforestation par région

Type de stock de carbone	Paramètre	Total	Région1	Région2	Région3	Région4	Région5
SCO volume équivalente	n	728	137	175	138	160	117
	a	47.2	45	90	45	86.84	45
	b	60	57.35	16.6	52.34	60	57.52
	k (%)	1.12	2	0.1	0.58	8.8	0.88
	RMSE	32.08	33.07	26.58	21.98	34.43	33.63
	R ²	0.014	0.013	0.00068	0.0086	0.066	0.019
SCO masse équivalente 350 kg/ha	n	728	137	175	138	160	117
	a	67.81	59.44	90	65.8	87.22	90
	b	60	60	33.23	60	60	42.73
	k (%)	2.2	3.8	0.1	2	5.1	3.9
	RMSE	47.2	65.19	36.96	34.62	40.17	53.51
	R ²	0.021	0.0086	0.00069	0.035	0.049	0.033
SCO masse équivalente Site de référence	n	728	137	175	138	160	117
	a	51.52	61.15	90	45	90	78.44
	b	60	60	17.66	56.62	60	23.42
	k (%)	0.97	3.8	0.1	1.7	5.2	7
	RMSE	45.71	66.84	34.63	27.88	40.98	40.95
	R ²	0.005	0.0079	0.00022	0.041	0.047	0.027

Figure 15 : Résultats de la modélisation des pertes de carbone du sol après déforestation sur base des données PERR-FH&Autres



4 Analyse de l'évolution de la couverture forestière

4.1 Introduction

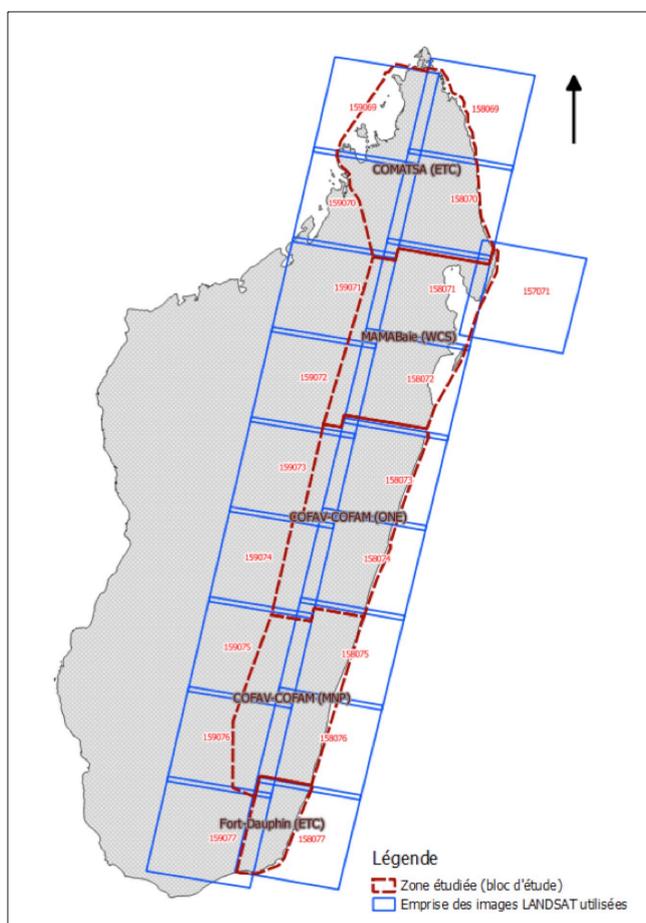
Selon les standards internationaux, le développement d'un scénario de référence des émissions de la déforestation nécessite deux différents types de données :

- Données sur les facteurs d'émission découlant d'analyses des stocks de carbone de la biomasse aérienne et des stocks de carbone du sol (cf. section 3 ci-dessus) ;
- Données d'activités obtenues à partir d'analyses de la déforestation historique ou de projections de la déforestation future attendue.

Le présent chapitre restitue le développement des données d'activité historiques à travers la réalisation des activités relatives à la sous-composante 2.4 « **Analyse historique de la déforestation pour l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar** » pour la période historique de référence 2005 – 2010 – 2013. Il décrit le procédé d'acquisition et le choix des images satellitaires, les méthodes de traitements et de classification, ainsi que les principaux résultats obtenus. Ces résultats ont par la suite servi de base aux travaux de modélisation de la déforestation future prévus dans le cadre de la sous-composante 2.7 « **Modélisation des émissions de GES dans le futur** » et présentés dans la section 5 du présent rapport.

Comme mentionné dans le chapitre 2 relatif à la délimitation de la zone d'intervention du projet, les activités portent essentiellement sur l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar. L'écorégion a été subdivisée en cinq blocs pour que les équipes des quatre membres du consortium puissent se partager le travail, notamment au regard de leurs connaissances du terrain. Au maximum, chaque bloc est constitué de cinq scènes LANDSAT (176 x 176 kilomètres) pour alléger le processus de traitement des images (cf. figure 16).

Figure 16: Emprise et références des scènes Landsat utilisées et subdivision des zones de travail



4.2 Méthodologies

Les méthodologies retenues pour réaliser cette analyse de l'évolution du couvert forestier se basent sur les directives méthodologiques REDD+ établies et validées pour l'écorégion lors de l'atelier qui s'est tenu à Antananarivo en décembre 2013 et qui visait à définir les méthodes les plus appropriées au regard des cadres méthodologiques du FCPF et de VCS. Le contenu de cette approche, des données utilisées et du processus de traitement, est résumé dans le tableau 8 ci-dessous.

Cette méthode s'est également inspirée d'une étude antérieure effectuée par Grinand et al (2013) dans le cadre du Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF), un des projets REDD mis en œuvre à Madagascar depuis 2008.

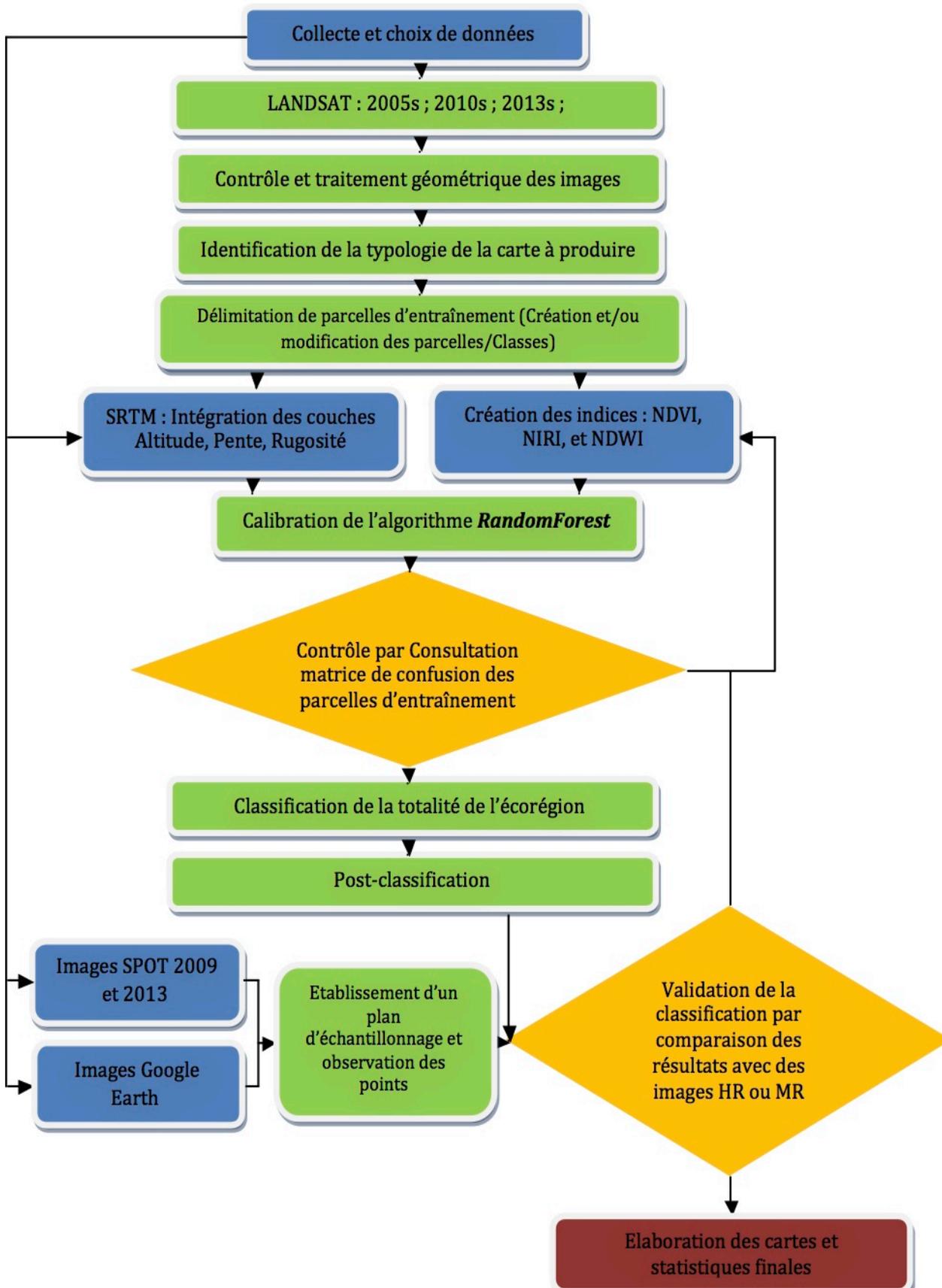
Tableau 8: Cadre méthodologique concernant l'analyse historique de la déforestation dans l'écorégion de forêt humide de l'Est

Etape 1 : Caractérisation des données	
Type d'image satellite	Images à haute résolution (30m ou mieux). Utilisation d'image d'un même fournisseur pour l'ensemble de l'écorégion. Note : Préférence pour les images LANDSAT qui sont gratuites.
Date et période observée	Image des années 2005, 2010 et 2013/14. On recherchera en priorité les groupes d'images prises dans une même année pour plus d'homogénéité.
Etape 2 : Traitements et Analyses	
Prétraitement	Si les images ne sont pas prétraitées, il faudra alors conduire : <ul style="list-style-type: none"> - une correction atmosphérique ; - une correction géométrique. Dans le cas où la couverture nuageuse dépasse les 10% dans une zone de l'écorégion, il faudrait appliquer des techniques de combinaison de scènes identiques à dates différentes pour réduire au minimum cette couverture nuageuse.
Classification	Utilisation de la méthode de classification supervisée (impliquant la délimitation de parcelles d'entraînement ou d'apprentissage) et prise en compte des 6 catégories d'occupation des sols du GIEC Utilisation souhaitable de Google Earth et/ou d'images à très haute résolution (2m ou mieux) pour aider à la délimitation de ces parcelles d'entraînement. Utilisation du logiciel R avec l'algorithme <i>RandomForest</i> sous réserve qu'un autre logiciel et/ou algorithme plus performants ne soient à notre disposition avant le début des travaux.
Analyse	L'analyse se fera automatiquement par R/ <i>Random Forest</i> . Elle sera conduite par zone pour faciliter le travail des opérateurs comme des machines.
Post traitement	3 niveaux de post traitements seront réalisés : <ul style="list-style-type: none"> - Lissage 3x3 pixels, sur un filtre à majorité ; - Filtre pour les forêts à moins de 1 ha - Filtre sur les surfaces déforestées inférieur à 0,36 ha (sur 2x2 pixels)
Etape 3 : Evaluation de la précision	
Evaluation de la précision des cartes produites	Utilisation d'un tiers (1/3) des parcelles d'apprentissage (ou parcelles d'entraînement) pour évaluer la précision. La précision globale (ou Overall Accuracy) recherchée sera d'au moins 75%.

4.2.1 Chaîne de traitement des données

La chaîne de traitement de données est résumée dans la figure 17 ci-dessous.

Figure 17: Les différentes étapes de traitement des données pour l’analyse historique de la déforestation



4.2.2 Type d'image satellite

Les images LANDSAT ont été utilisées pour réaliser ce travail afin de garantir une homogénéité dans le type d'images utilisées et un accès à des données sur une grande étendue en archive. D'autre part, ce type d'image étant recommandé pour la cartographie de la déforestation car elles offrent une résolution correspondant à la limite maximale de 30 m requise par les méthodologies REDD+ (GFC-GOLD 2013).

Ces images sont disponibles sur les serveurs de partage de données de l'USGS, à savoir Glovis et Earth Explorer et y ont été téléchargées gratuitement. Les caractéristiques de ces images sont résumées dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9: Caractéristiques des différentes bandes spectrales des capteurs LANDSAT

LANDSAT 5/7			LANDSAT 8		
Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution	Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Bleu (B)	0,45 - 0,52	30 m	Bande 2 – Bleu (B)	0,450 - 0,515	30 m
Bande 2 - Vert (V)	0,52 - 0,60	30 m	Bande 3 – Vert (V)	0,525 - 0,600	30 m
Bande 3 - Rouge (R)	0,63 - 0,69	30 m	Bande 4 – Rouge (R)	0,630 - 0,680	30 m
Bande 4 - Near-Infrared (NIR)	0,76 - 0,90	30 m	Bande 5 - Near-Infrared (NIR)	0,845 - 0,885	30 m
Bande 5 - Near-Infrared 1 (NIR1)	1,55 - 1,75	30 m	Bande 6 - Near-Infrared 1 (NIR1)	1,560 - 1,660	30 m
Bande 7 - Mid-Infrared (MID)	2,08 - 2,35	30 m	Bande 7 - Mid-Infrared (MID)	2,100 - 2,300	30 m

4.2.3 Dates et périodes de référence

Les années 2005, 2010 et 2013 ont été prises comme années de référence. Comme annoncé précédemment, ce choix a été opéré de façon à respecter à la fois les critères énoncés par les standards internationaux du VCS et du FCPF. Ces critères sont résumés dans le tableau 10.

Tableau 10: Critères par rapport aux images satellitaires des standards VCS-JNR et du cadre méthodologique du FCPF

VCS	FCPF
3 dates étudiées sur les 10 dernières années 2 ans minimum entre chaque date	L'échéance de la période de référence correspond à la date la plus proche, antérieure à 2013* La date de début de la Période de référence précède son échéance d'environ 10 ans

* Selon le cadre méthodologique du FCPF, « une autre échéance ne sera admise qu'en présence d'arguments concluants, par exemple pour s'aligner sur les dates d'un Niveau (d'émissions) de référence pour les forêts d'autres programmes REDD+ pertinents, des communications nationales, d'un Programme national de réduction d'émissions ou de la stratégie nationale en matière de changement climatique ».

Par ailleurs, il faut savoir que la présence de couverture nuageuse (voir paragraphe 2.2.3.1 ci-après) dans la zone d'étude limite fortement le choix des dates exactes de l'image. De ce fait, les dates ont été choisies à une année près de l'année de référence (\pm un an). Le tableau 11 ci-dessous présente les dates sélectionnées.

Tableau 11: Date des images Landsat utilisées pour l'analyse historique de la déforestation

Zone	Scènes	Images 2005	Images 2010	Images 2013	I ₁	I ₂
COMATSA	158 - 069	2/6/2004	9/8/2008	28/12/2013	4,19	5,39
	159 - 069	18/08/2006	10/6/2010	26/06/2013	3,81	3,05
	158 - 070	27/08/2006	5/10/2010	19/06/2013	4,11	2,71
	159 - 070	25/04/2005	10/6/2010	7/9/2013	5,13	3,25
Fort-Dauphin	158 - 077	12/4/2006	20/04/2009	26/06/2013	3,02	4,19
Makira - Masoala	157 - 071	25/03/2005	4/11/2011	7/2/2014	6,62	2,26
	158 - 071	27/01/2005	20/05/2011	18/03/2014	6,31	2,83
	159 - 071	6/2/2006	5/5/2009	13/08/2013	3,24	4,28
	158 - 072	10/6/2007	18/01/2011	18/03/2014	3,61	3,16
	159 - 072	20/03/2004	30/04/2010	13/08/2013	6,12	3,29
COFAV - COFAM	158 - 075	26/04/2005	15/11/2009	5/7/2013	4,56	3,64
	159 - 075	11/9/2006	30/03/2010	23/04/2013	3,55	3,07
	158 - 079	27/09/2006	9/11/2010	13/08/2013	4,12	2,76
	159 - 076	9/3/2005	15/11/2009	13/08/2013	4,69	3,75
	158 - 073	11/6/2007	8/7/2011	18/05/2013	4,08	1,86
	159 - 073	28/04/2006	1/5/2010	25/05/2013	4,01	3,07
	158 - 074	24/06/2006	8/7/2011	18/05/2013	5,04	1,86
	159 - 074	25/04/2005	7/6/2009	25/05/2013	4,12	3,97

I₁ : Intervalle en nombre d'année décimale pour la période 2005 -2010

I₂ : Intervalle en nombre d'année décimale pour la période 2010 -2013

4.2.4 Prétraitement des données

Outre la considération des différentes caractéristiques des bandes spectrales, le choix des images se base aussi sur les critères suivants :

- Taux de couverture nuageuse ;
- Caractéristiques géométriques de l'image ;
- Présence ou non d'effet de la défaillance du capteur Landsat 7 (*stripping*) ;

Le prétraitement des données a pour finalité de disposer de données utilisables dans le cadre d'une analyse temporelle, c'est-à-dire avec une faible ou pas de couverture nuageuse, un décalage géométrique inférieur à 1 un pixel et peu ou pas d'effet de *stripping*. Ce travail a été réalisé grâce aux logiciels ENVI, ERDAS Imagine et QGIS. Il consiste à respecter la conformité spatiale des données, notamment vis à vis du futur mosaïquage des images et de l'empilement des couches (Layer stacking). Ainsi, les images téléchargées ont fait l'objet d'une vérification et correction géométrique.

4.2.4.1 Couverture nuageuse

Comme dit précédemment, la disponibilité des images dénuées de nuages dans la zone d'étude située sur le versant oriental de Madagascar est assez fortement limitée. Les images retenues pour l'analyse présentent généralement moins de 20% de couverture nuageuse à l'exception notable des zones de Makira-Masoala, de la Baie d'Antongil (MaMaBaie) et du COMATSA où la couverture nuageuse est parfois très élevée. Ceci a conduit à effectuer une classification supervisée sur des images multi-dates dans toute l'écorégion dans le but de réduire les incertitudes.

En effet, d'après le GOF-C-GOLD (COP18, 2012), il est clairement mentionné que l'analyse multi-date réduit les erreurs en comparaison de classifications produites indépendamment pour plusieurs dates : *"It should also be noted, that rather than compare independently produced maps from different dates to*

find change, it is almost always preferable to combine multiple dates of satellite imagery into a single analysis that identifies change directly. This subtle point is significant, as change is more reliably identified in the multi-date image data than through comparison of maps derived from individual dates of imagery."

4.2.4.2 Correction géométrique

Afin de garantir la propriété géométrique des images, les produits Global Land Survey (GLS, <http://gls.umd.edu>) et *Level-1T* (L1T, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5847>) ont été utilisés. D'après Gutman et al (2008), ces données disposent des qualités radiométriques et géométriques satisfaisantes pour effectuer l'analyse des changements d'occupation du sol, notamment pour l'analyse historique de déforestation. Pourtant leur utilisation est fortement limitée par la présence des fortes couvertures nuageuses dans les régions Nord (COMATSA) et Nord-Est (Makira-Masoala) de l'écorégion. Dans ces régions les données GLS et L1T peuvent être complétées par d'autres images de niveau géométrique nécessitant des vérifications minutieuses. Les images qui présentaient des gros problèmes de géométrie (distorsion) ont été écartées de l'analyse. Par contre, celles qui présentaient seulement des problèmes de géométrie simple (calage) ont été corrigées et utilisées dans l'étude (COMATSA: 158-069 [2005 et 2010], COFAV: 158-073 [2005])

4.2.4.3 Correction des bandes dégradées

Liée à la défaillance du capteur du satellite LANDSAT-7 depuis 2003, des bandes de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres sans information sont présentes sur ces images. La présence de ces bandes sur les images relatives aux années de références 2005 et 2010 a également limité le choix et compliqué le travail puisqu'il a fallu mosaïquer deux scènes de même date afin de corriger ces défauts.

Généralement, de telles données ne sont pas retenues dans l'analyse s'il existe d'autres images de bonne qualité mais à l'inverse, certaines de ces images présentent parfois de moindres taux de couverture nuageuse et un bon calage géométrique, ce qui leur confère donc encore un certain intérêt.

4.2.5 Classification

A la base, l'approche cartographique pour la déforestation est exhaustive sur toute la zone à étudier (en l'occurrence l'écorégion), c'est-à-dire que le traitement des données est homogène sur l'ensemble de la région étudiée afin d'éviter les biais méthodologiques liés à un opérateur.

Dans la pratique, cette opération se déroule en trois étapes :

- Définition des classes d'occupation du sol ;
- Délimitation des parcelles d'entraînement ;
- Classification proprement dite à l'aide d'un algorithme de classification.

4.2.5.1 Définition des classes d'occupation du sol

La définition des différentes classes d'occupation des sols retenues a fait l'objet de discussion entre les différents membres du consortium qui ont travaillé pour ce mandat. En tenant compte avant tout des recommandations du GIEC (GIEC, 2006) puis des diverses occupations des sols connues sur l'ensemble de l'écorégion, et celles qui sont effectivement détectables via l'imagerie LANDSAT, les classes de végétation et d'occupation des sols suivantes ont été retenues :

- Terres forestières (F) ;
- Mangroves (M) ;
- Prairies et terres cultivées (P) ;
- Zones humides (H) ;
- Autres terres (Sol nu, sable, roche, établissement) (A) ;
- Nuage (N) ;
- Ombre (O) ;

L'analyse de l'historique de la déforestation ayant bien entendu privilégié la détection des changements au niveau de la classe des Terres forestières, c'est la typologie présentée dans le tableau 12 qui a ainsi été adoptée.

Tableau 12: Typologie des classes d'occupation du sol retenue pour l'analyse multi-date

Code numérique pour la cartographie	Identification dans la BDD Parcelle d'Entrainement	Description de la classe
111	FFF	Terres forestières humides intactes entre 2005-2013
113	FFP	Terres forestières humides converties en Prairies/Terres cultivées entre 2010-2013
133	FPP	Terres forestières humides converties en Prairies/Terres cultivées entre 2005-2010
333	PPP	Prairies/Terres cultivées depuis 2005
188	FNN	Terres forestières en 2005 et nuages/ombres entre 2010-2013
118	FFN	Terres forestières humides cachées par les nuages/ombres en 2013
444	HHH	Zones humides inchangées
666	AAA	Sols nus/sables/roches inchangés
777	MMM	Mangroves inchangées
888	OOO	Ombre due au relief ou au nuage

4.2.5.2 Délimitation des parcelles d'entraînement

Dans une approche de classification supervisée, cette étape est nécessaire pour calibrer l'algorithme de classification. La qualité du résultat de la classification dépend en grande partie de la bonne délimitation de ces parcelles d'entraînement. Dans cette étude, la délimitation de ces dernières a été réalisée par photo-interprétation sur les images à classifier et en s'appuyant sur d'autres sources d'information. Pour nous aider à mieux localiser les changements entre classes, une composition colorée multi-dates de la bande spectrale des images a été produite (cf. Figure 04 ci-dessous).

Les classes ont été localisées en grappes, regroupement de plusieurs parcelles d'entraînement dans un même paysage. Il a été fait en sorte que soient délimitées au moins 3 classes d'occupation du sol différentes (FFF, FFP et FPP) sur chaque grappe. Enfin, les contours des parcelles ont été affinés et vérifiés en les superposant que les images satellites très haute résolution disponible dans Google Earth. Au final, une base de données géolocalisées (BDD Parcelle Entraînement au format shapefile) a été produite et rassemble tous les polygones et résultats de photo-interprétation pour les trois dates étudiées. Les figures 18 à 20 ci-dessous illustrent cette procédure.

Figure 18: Mise en évidence des changements de classes sur une composition colorée multi-dates (R: Band 3-2013; G: Band 3-2010; B:Band3-2005) : En vert sont les déforestations entre 2005 - 2010, en rouge, soit des nuages en 2013 ou des déforestations entre 2010 - 2013

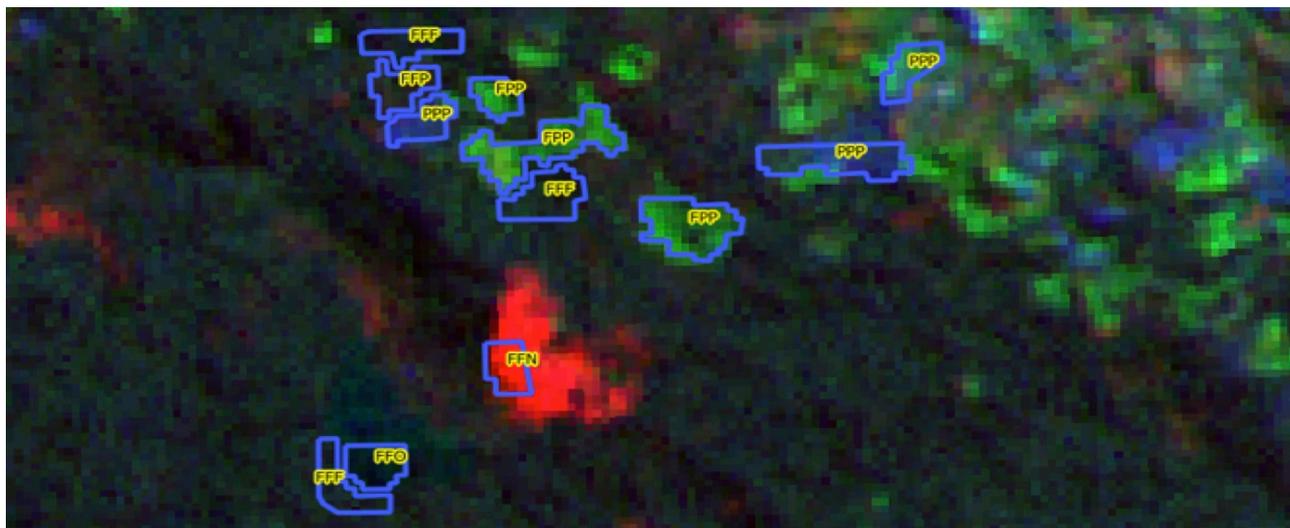


Figure 19: Délimitation des classes sur l'image 2013 à classifier (composition colorée : R : Band4; G : Band 5; B : Band 3) : Ici on observe les traces d'ombre en noir et les traces des nuages en rouge, les forêts en orange foncé et les déforestations en orange un peu plus clair

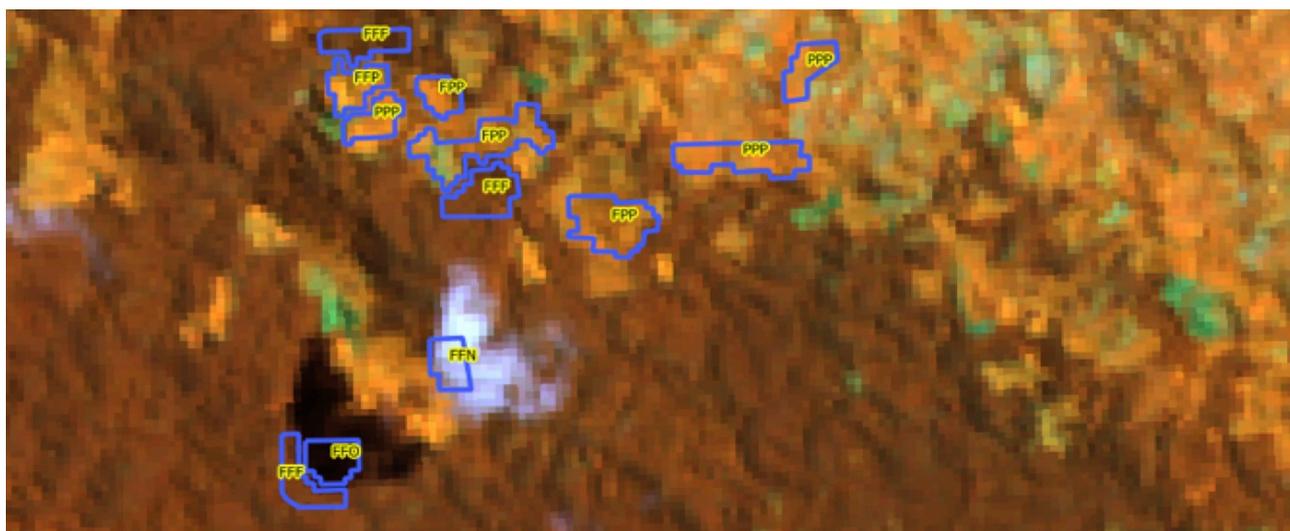


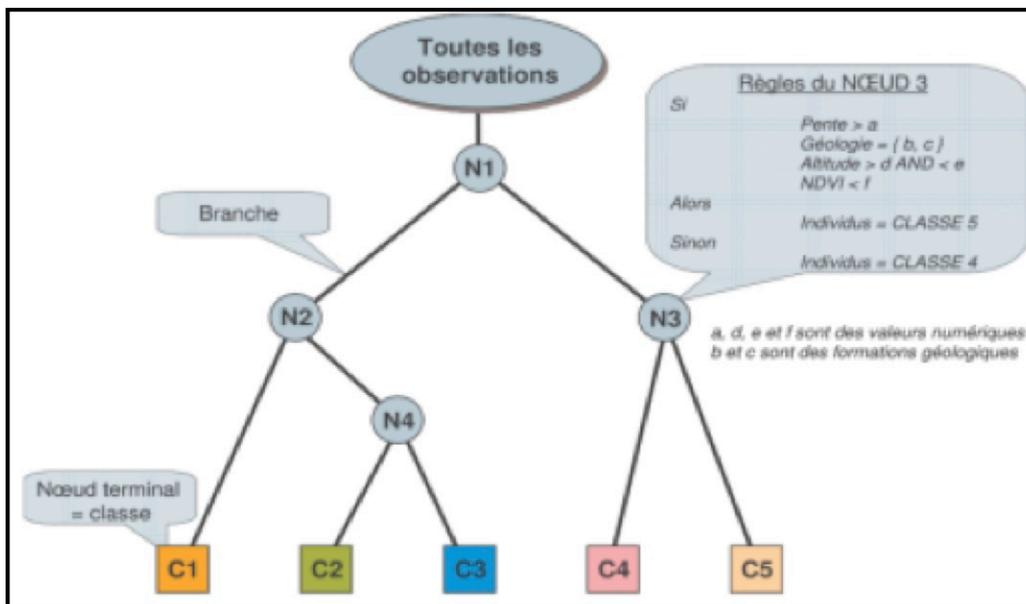
Figure 20: Vérification et affinement sur Google Earth



4.2.5.3 Classification à l'aide d'un algorithme de classification

C'est l'algorithme « *RandomForest* », développé par Breiman, et al (2001), qui a été sélectionné pour la classification. C'est un algorithme d'apprentissage supervisé qui combine une technique d'agrégation (*bagging*) et l'algorithme d'arbres de décision dont le principe est représenté dans la figure 21. Il a été importé dans le logiciel libre R par Liaw and Wiener (2002) dans le paquet *RandomForest*.

Figure 21: Principe de la classification par arbre de décision



Dans un premier temps, l'algorithme *RandomForest* doit être calibré afin de nous permettre de prédire les différentes catégories d'occupation du sol à classifier. La calibration sur modèle se fait en prenant les 70% du jeu de données d'apprentissage, les 30% restants étant utilisés pour la validation (matrice de confusion et indicateurs). On parle de validation interne car l'ensemble des placettes n'est pas utilisée et la carte n'est pas encore produite. Par ailleurs, l'algorithme calcule un autre indicateur de performance du modèle, une estimation de son erreur de généralisation sur les 30% de données non utilisées pour la construction du modèle de classification : l'erreur « *Out-Of-Bag* » (OOB).

Le paquet *RandomForest* permet aussi d'avoir des informations sur l'importance des variables utilisées. Quelles sont les variables vraiment nécessaires pour expliquer la classification ? De quelles variables peut-on se passer ? Voilà les questions pour lesquelles des réponses sont attendues. Pour ce faire, un indice d'importance des variables spécifiques aux forêts a été développé par Breiman (2001) ; il utilise la permutation aléatoire des variables. Plus les permutations aléatoires d'une variable engendrent une forte augmentation de l'erreur, plus la variable est importante. A l'inverse, si les permutations n'ont aucun effet sur l'erreur, la variable est considérée comme très peu importante. Cette permutation est donc relative au nombre de fois que la variable est utilisée dans le nœud de l'arbre.

4.2.5.4 Couches d'informations spatiales utilisées

Afin d'améliorer le degré de discrimination des classes étudiées, plusieurs couches d'indices dérivées des canaux primaires ont été calculées, notamment :

- L'indice normalisé de végétation : NDVI (Normalised Difference Vegetation Index);

$$NDVI = \frac{NIR1 - R}{NIR1 + R} \tag{6}$$

- L'indice de réflectance du proche infrarouge : NIRI (Near Infrared Reflectance Index);

$$NIRI = \frac{NIR2 - NIR1}{NIR2 + NIR1} \tag{7}$$

- L'indice normalisé de l'eau : NDWI (Normalised Difference Water Index).

$$NDWI = \frac{NIR1 - V}{NIR1 + V} \tag{8}$$

En plus de ces indices, des exo-canaux (indices morphométriques) ont été introduits (altitude, pente et rugosité) et dérivés d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ; ceci dans le but d'atténuer l'effet de relief sur les réflectances des canaux primaires.

4.2.6 Evaluation de la classification

4.2.6.1 Matrice de confusion

Une matrice de confusion a été calculée pour évaluer la qualité de la classification. Elle affiche les statistiques de la précision de classification, notamment les pourcentages d'omission ou commission parmi les diverses classes. Cette matrice est obtenue en comparant les données classées (en ligne) avec des données de référence (en colonne), les valeurs étant des nombres de pixels ou d'objets (cf. tableau 13).

Tableau 13 : Matrice de confusion

		Classes observées (référence)			
		Classes	1	i	n	Affecté
Classes calculées	1	M(1,1)	M (1,i)	M (1,n)	M (1,+)
	i	M (i,1)	M (i,i)	M (i,n)	M (i,+)
	N	M (n,1)	M (n,i)	M (n,n)	M (n,+)
	Classés	M (+,1)	M (+,i)	M (+,n)	T _{classés}
Marge	Non classés	M (x,1)	M (x,i)	M (x,n)	T _{non-classés}
	Total	T(1)	T(i)	T(n)	T

Avec :

- T = total des pixels échantillonnés, toutes classes confondues
- T(i) = total des pixels échantillonnés par classe
- T_{classés} = total des pixels classés, toutes classes confondues
- M(i,i) = pixels de la classe i correctement classés
- M(i,j) = $i \neq j$, pixels issus de l'échantillonnage mais affectés de manière erronée à une autre classe (erreur de commission)
- M(x,i) = pixels non classés de la classe i (erreur d'omission)
- M(i,+) = valeur marginale de la ligne i (somme de la ligne)
- M(+,i) = total des pixels classés devant appartenir à la classe i.

Les indices cités ci-dessous, issus de cette matrice, sont calculés afin connaître la qualité de la classification :

- Indice global de la classification ;
- Indice Kappa proposé par Cohen et al (1960) ;
- Précision pour le réalisateur ou « *producer accuracy*, PA»
- Précision pour l'utilisateur ou « *user accuracy*, UA»

4.2.6.2 Précision globale et indice Kappa

Il y a différentes manières de déterminer la précision des analyses réalisées :

- Une mesure globale de la précision de classification consiste à diviser le nombre de pixels classés correctement (éléments de la diagonale dans la matrice de confusion) par le nombre de pixels contenus dans l'ensemble des zones de référence.

$$G_0 = \frac{\sum M(i,i)}{T} \quad (9)$$

- L'indice le plus connu pour l'évaluation d'une classification dirigée est l'indice Kappa, proposé par Cohen et al (1960). Il est sensible surtout aux erreurs de classification commises par le classificateur. Ce coefficient est égal à (10).

$$Kappa = \frac{(T_{classés}) \sum M(i,i) - \sum [M(i,+).M(+,i)]}{(T_{classés})^2 - \sum [M(i,+).M(+,i)]} \quad (10)$$

Un indice Kappa proche de 0 traduira une concordance principalement dû au hasard, tandis qu'un indice Kappa s'approchant de 1 indiquera une concordance s'approchant de la perfection.

- La précision pour le réalisateur ou « *Producer accuracy, PA* » : Cet indice représente le pourcentage d'individus d'une classe de référence (les 30%) affectés à la même classe par la classification.

$$PA_i = \frac{M(i,i)}{M(+,i)} \quad (11)$$

- La précision pour l'utilisateur ou « *User accuracy, UA* » : Cet indice représente le pourcentage d'individus (pixels) d'un groupe issu de la classification qui sont correctement classés vis-à-vis de la référence.

$$UA_i = \frac{M(i,i)}{M(i,+)} \quad (12)$$

4.2.7 Post-classification

Suite à la procédure de classification, il subsiste généralement des classes ombres/nuages et un faible taux de pixels isolés lié à des petites forêts ou parcelles, ou des erreurs de classification. Ainsi, la post-classification consiste à nettoyer l'image classifiée afin de la faire correspondre aux exigences de MMU et réduire les erreurs.

4.2.7.1 Filtrage

Cette étape commence par le nettoyage du bruit (effet « poivre et sel ») sur l'image classifiée par l'application de filtre convolutif majoritaire de dimension 3 x 3. Ensuite, l'étape suivante consiste à appliquer consécutivement deux fonctions permettant d'éliminer les "patches de forêt" et les "patches de déforestation" selon les conditions suivantes :

- 1 hectare pour la forêt (soit environ 3x3 pixels avec des images LANDSAT),
- 0,36 hectare pour la déforestation (soit 2x2 pixels avec des images LANDSAT).

4.2.7.2 Elimination des ombres/nuages

Pour disposer d'une cartographie complète de l'écorégion, les ombres et nuage sont été traités grâce à la carte *Global Forest Change* (Hansen et al., 2012) qui met gratuitement à disposition une très importante quantité de données pour la période 2000-2012 (pourcentage de couverture forestière, pixel déforestée par année, images brutes). Les données ont été traitées de manière à produire une carte forestière en 2005 et 2012. Il a ainsi été possible de classer une grande partie des pixels concernés par les ombres et nuages sur les images LANDSAT sélectionnées par nos soins. Les figures 22 et 23 ci-dessous illustrent les démarches qui ont été appliquées.

Figure 22 : Représentation schématique du processus d'élimination des nuages/ombres pendant la phase de post-classification

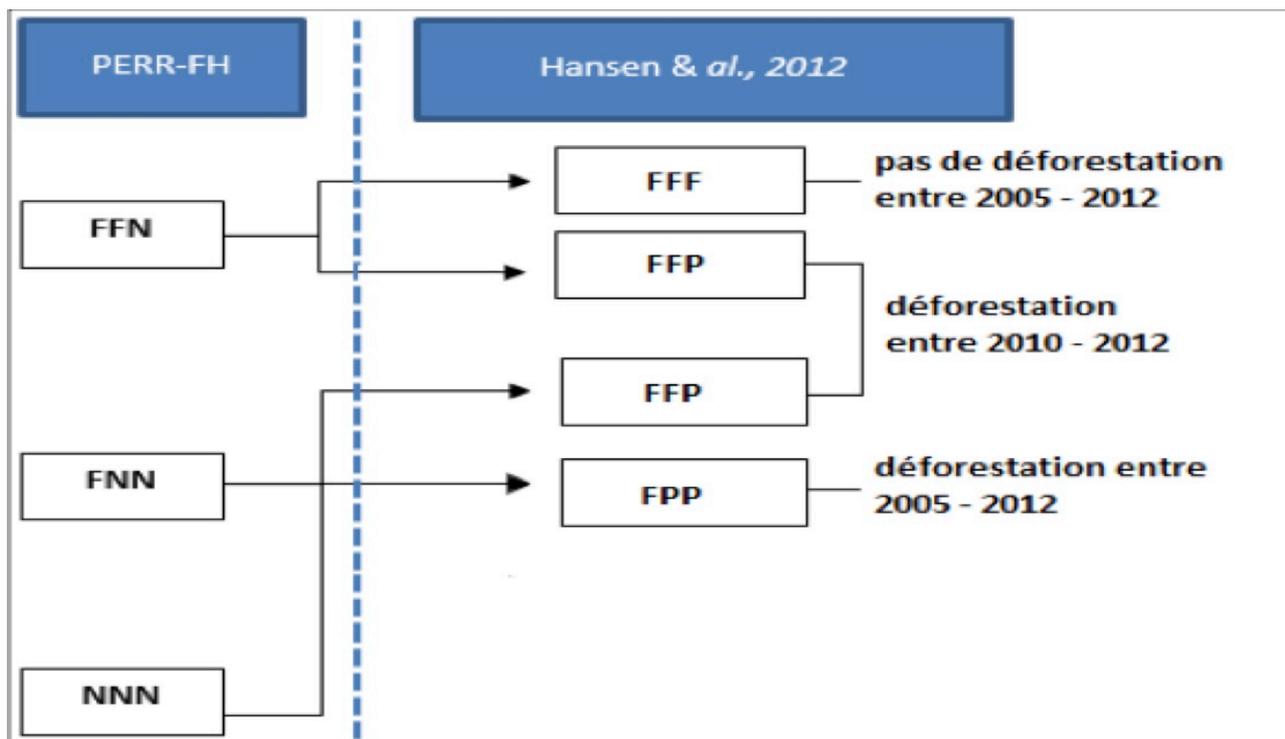


Figure 23 : (a) Classification avec la classe forêt humide sous nuage et ombre (en bleu clair, bruits déjà traités) ; (b) Carte de déforestation hybride entre 2005-2012 obtenue à partir de la carte *Global Forest Change* ; (c) Carte historique de la déforestation entre 2005-2013 du PERR-FH (patches de déforestation $\geq 0,36$ ha et patches forestiers ≥ 1 ha). En vert les forêts intactes, en orange les déforestations entre 2005 - 2010 et en rouge le déforestation entre 2010 - 2013

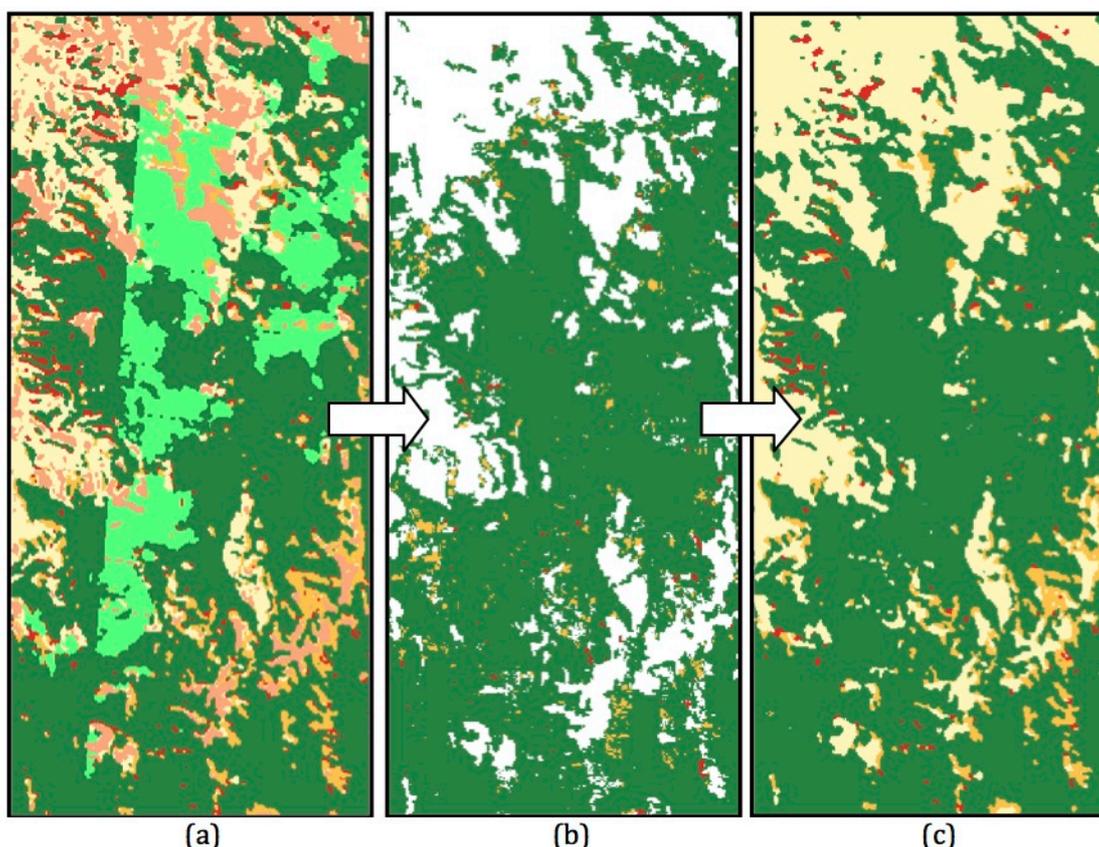


Figure 24 : (a) Carte de localisation des hot-spots de déforestation (b) Zones de validation, (b) Extrait des grilles d'échantillonnage sur des images SPOT 5 au niveau du COFAV (Images distribuées par SEAS-OI © CNES. Distribution Astrium Services / Spot image S.A., France, tous droits réservés)

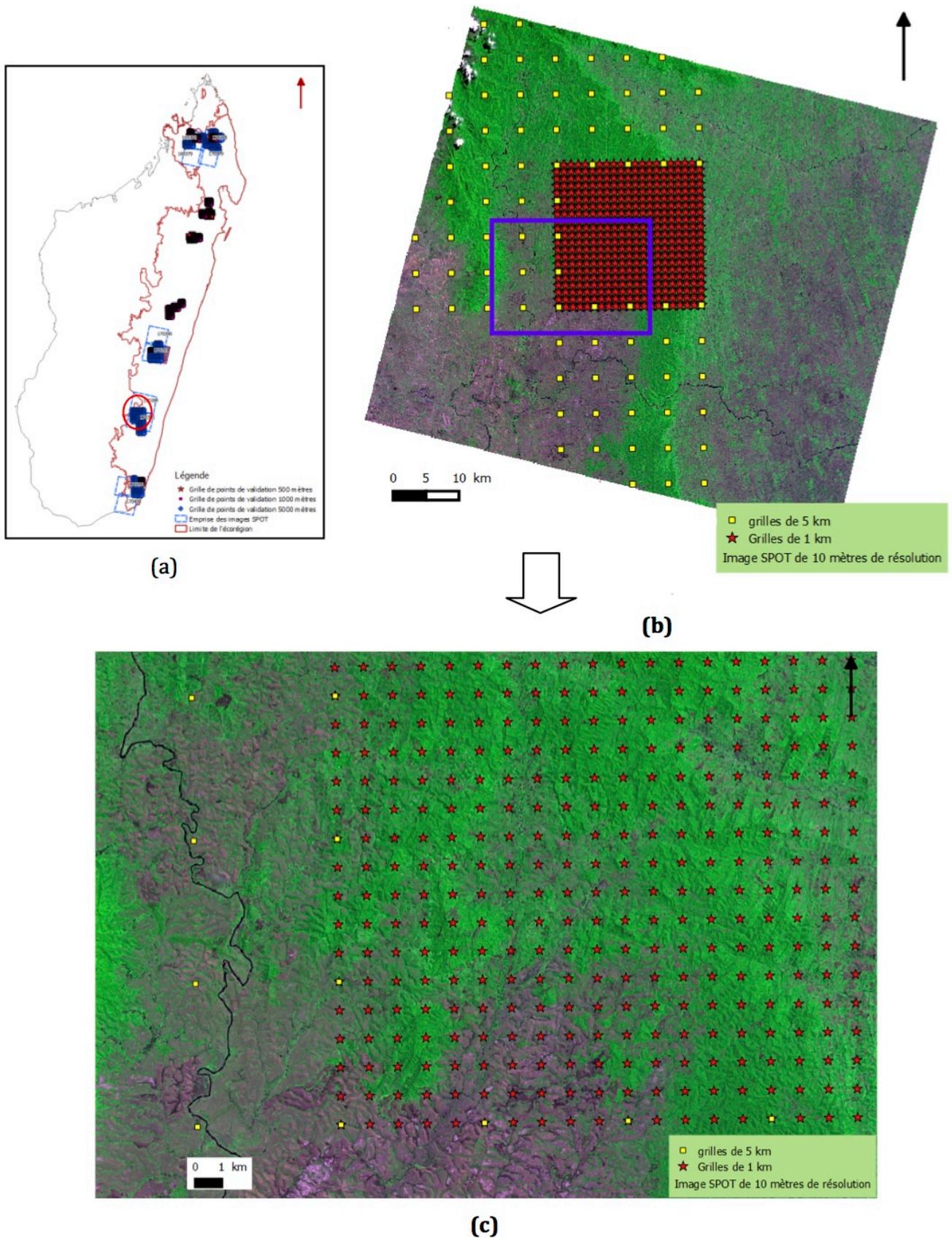
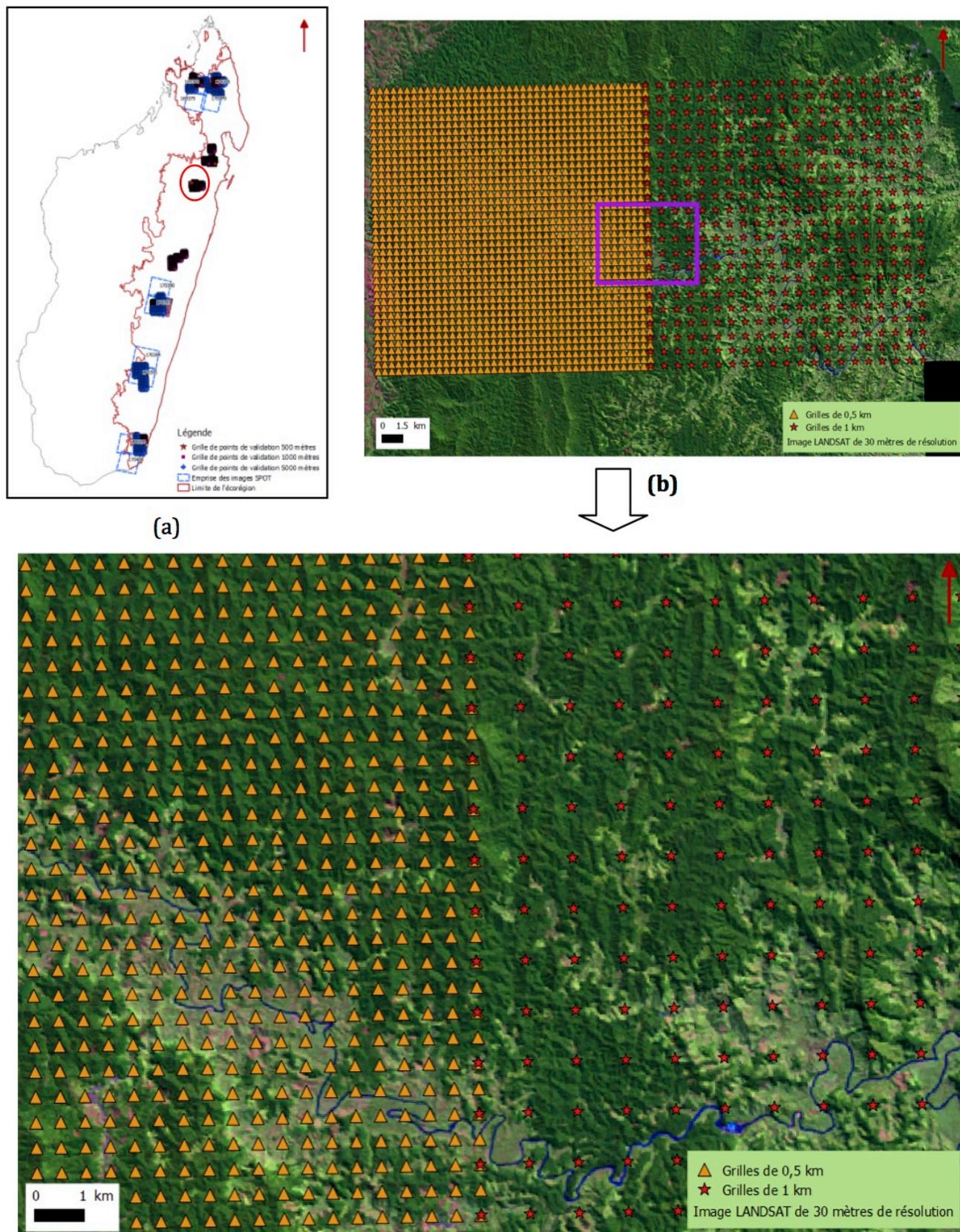


Figure 25 : (a) Carte de localisation des hot-spots de déforestation (b) Zones de validation, (b) Extrait des grilles d'échantillonnage sur des images LANDSAT dans les hot-spots d'Andilamena



4.2.8 Validation externe des résultats

Cette étape consiste en une confrontation statistique du résultat de la classification précédente (issue des images LANDSAT) avec le résultat de l'observation d'images satellites sur des points d'échantillonnage (approche *point sampling*) et pour deux dates historiques (2010 et 2013). L'échantillonnage de semis de points a été réalisée sur des images à haute résolution : SPOT 5 à 10 m de résolution et sur des images LANDSAT à 30 m de résolution. Ces dernières ont été utilisées au cas où de telles images SPOT n'étaient pas indisponibles sur les zones étudiées. Les images SPOT ont été collectées *via* la station de « Surveillance de l'Environnement Assisté par Satellite dans l'Océan Indien » (SEAS-OI) dans la plupart des cas et à partir de la base de donnée image du PHCF (*via Planet Action*) dans d'autres cas. Au final, quatre régions sont couvertes par les images à haute résolution et pour deux dates historiques (cf. Figures 24 et 25 ci-dessus).

Une carte des taux de déforestation à partir des données du GFC (*Global Forest Change*, Hansen et al, 2013) sur une grille carrée de 20 x 20 km à été produite. Un échantillonnage régulier sur cette grille a ensuite été réalisé selon l'importance de déforestation (taux de déforestation). Trois niveaux de classification ont été déterminés dans le but de densifier les observations de validation dans les « *hot-spots* » ou foyers de déforestation (cf. Tableau 14).

Tableau 14 : Espacement du semis de points régulier en fonction de l'intensité de la déforestation extraite des la carte du Global Forest Change et sur une grille de 20 par 20 km

Pression de déforestation par grille de 20 par 20 km (ha/an)	Intensité de la déforestation	Espacement des points [Km]
< 20	Faible	5 x 5
20 - 50	Moyenne	1 x 1
> 50	Forte	0,5 x 0,5

Le tableau 15 ci-dessous présente les différentes dates et les références des scènes d'images SPOT 5 utilisées pour la validation externe des résultats.

Tableau 15: Dates et références des images SPOT 5 utilisées pour la validation externe

Zone	Référence de la scène SPOT (K-J)	Sources	
		Archives PHCF Date - 2010	SEAS-OI Date - 2013
COMATSA	169 - 378	15/05/2009	11/09/2013
	169 - 379	24/03/2009	11/09/2013
	170 - 378	05/05/2009	12/08/2013
	170 - 379	05/05/2009	08/12/2013
COFAV-COFAM	170 - 390	24/03/2009	14/10/2013
	170 - 391	24/03/2009	14/10/2013
	170 - 394	29/04/2009	14/10/2013
	170 - 395	29/04/2009	14/10/2013
Fort-Dauphin	170 - 399	29/03/2009	12/05/2013
		22/02/2009	
		18/01/2008	
		14/03/2009	
	170 - 400	18/01/2008	12/05/2013
		16/02/2009	

4.2.9 Calcul des taux de déforestation

Le taux annuel de la déforestation résulte du rapport entre le taux de déforestation sur une période et le nombre d'années entre les deux années pivots de la période considérée (Menon and Bawa 1997, Ramesh et al. 1997, Narendra Prasad 1998, WRI 1995). Pourtant, le taux de déforestation annuel ne peut cependant pas être obtenu avec ce simple rapport. En fait, plusieurs publications ont récemment mis en lumière le fait que l'évolution de la perte forestière suit la même loi que l'intérêt composé (*Compound Interest Law*) et ont adapté l'approche de calcul du taux de la déforestation suivant cette loi (FAO 1995, Puyravaud et al 2002, Vieilledent et al 2013, Grinand et al 2013).

Tableau 16: Approche de calcul du taux de la déforestation

Références	Formules
WRI (1995), Menon and Bawa (1997), Ramesh et al.(1997), Narendra Prasad (1998),	$\theta = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1} \right)$
FAO, 1995	$\theta = 1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{t_2 - t_1}}$
Vieilledent et al 2013, Grinand et al, 2013	$\theta = 1 - \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$ γ intervalle pondéré

Avec :

- t1 = date à l'année 1 (resp. à l'année 2)
- θ = total des pixels échantillonnés par classe
- A₁ = total des pixels classés, toutes classes confondues

La formule standardisée proposée par J. P. Puyravaud, (2002) a été adoptée pour calculer le taux de déforestation annuel pour cette étude. Le choix s'est porté sur la simplicité et l'intuitivité de l'équation. Par ailleurs, la comparaison avec les autres formules, notamment celle proposée par Grinand et al 2013, donne des résultats quasi-similaires (1/100 près) (cf. tableau 16).

$$\theta = -\frac{1}{t_2 - t_1} \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right) * 100 \tag{13}$$

Ce mode de calcul demande à connaître exactement l'intervalle entre les deux dates (t1 et t2). Comme on l'a vu précédemment, cette étude historique de la déforestation, comme tout autre étude, n'utilise pas une seule date (jour dans l'année) par année pivot. Il existe par conséquent des intervalles de temps variables selon les scènes concernées (cf. tableau 15). Par ailleurs, le taux annuel de déforestation d'une région chevauchant plusieurs scènes résulte de la somme pondérée des taux de déforestations des scènes concernées en utilisant comme coefficient la valeur pondératrice résultant du rapport de la surface de la forêt sur la scène concernée avec la surface totale de la forêt sur la zone concernée (cf. figure 26).

En effet si :

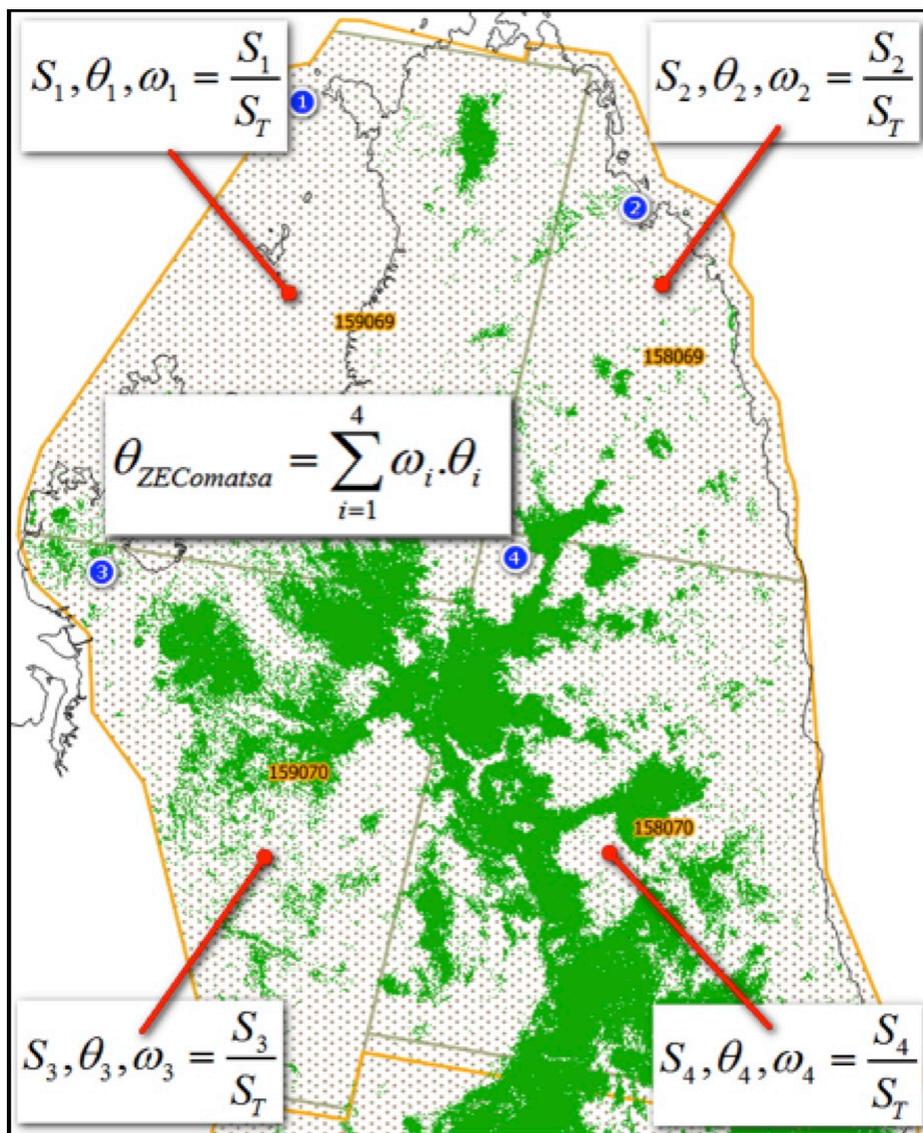
- θ_1 = le taux de déforestation de la région ;
- ST = l'ensemble de la surface forestière de la région (pour le temps t1) ;
- N = le nombre des scènes LANDSAT couvrant la région concernée ;
- S1...SN = la surface de forêt à l'instant t1 sur chaque scène (ST=S1+S2+...SN) ;

Le taux de déforestation de la région est obtenu par la formule suivante :

$$\theta_r = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \theta_i \tag{14}$$

Avec θ_i = taux de la déforestation pour une scène d'image i et $\omega_i = \frac{S_i}{S_r}$ son coefficient de pondération.

Figure 26: Exemple de calcul pondéré du taux de la déforestation sur une région (ici délimitée en orange)



4.3 Résultats

Le principal résultat de l'analyse de l'évolution du couvert forestier dans l'écorégion des forêts humides pour la période 2005 – 2010 – 2013 est la carte éco-régionale de la déforestation présentés dans la figure 27 ci-dessous.

Ces résultats de l'analyse de la déforestation pour la période 2005 – 2010 – 2013 ont en outre été interprétés par rapport aux trois différents critères spatiaux suivants :

- Résultats pour l'ensemble de l'écorégion des forêts humides ;
- Résultats par Région Administrative ;
- Spatialisation des principaux « *hotspots* » de la déforestation au niveau de l'éco-région des forêts humides.
- Résultats par catégorie d'altitude ;
- Résultats par rapport aux différents efforts de conservation de la biodiversité ;

Figure 27: Carte de l'historique de la déforestation dans l'écorégion humide de l'Est de Madagascar



4.3.1 Résultats pour l'écorégion des forêts humides

La couverture de forêts naturelles pour l'écorégion des forêts humides a été évaluée à 4'555'788 ha en 2005, à 4'457'184 ha en 2010 et à 4'345'093 ha en 2013. Plus de 22'000 ha de forêts par an ont donc été perdus pour la période 2005 - 2010 et environ 45'000 ha par an pour la période 2010 - 2013.

Le taux annuel de déforestation pour l'écorégion des forêts humides a quasiment doublé entre les deux périodes étudiées puisqu'il est passé de 0,50% par an pour la période 2005 - 2010 à 0,94% par an pour la période 2010 - 2013.

4.3.2 Résultats par Région administrative

4.3.2.1 Résultats généraux

Les résultats à l'échelle de l'écorégion montrent de fortes disparités spatiales comme le souligne le tableau 17 ci-après. Il est notamment important de noter que de manière générale, les dynamiques sont inversées entre les Régions du Nord-est (déforestation à la hausse) et celles du Sud-est (déforestation à la baisse) de l'écorégion, la limite se situant entre les régions Amoron'i Mania et Haute-Matsiatra.

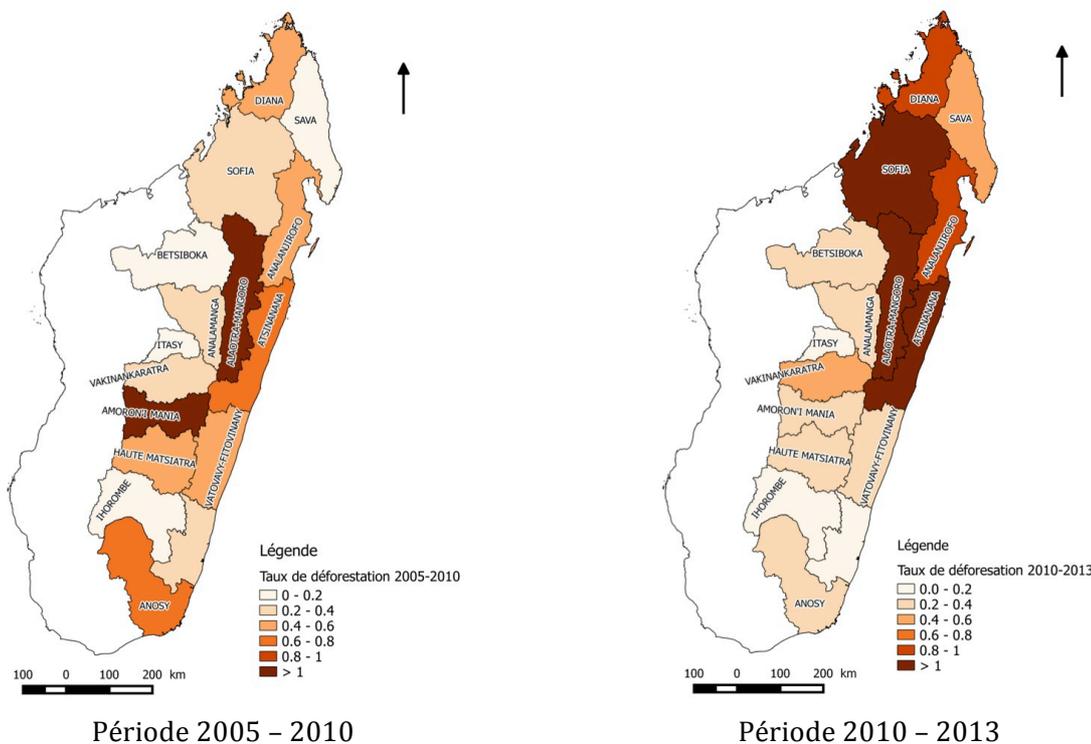
Au niveau régional administratif, les taux de déforestation les plus élevés ont été constatés en Alaotra-Mangoro (1,71% par an), Amoron'i Mania (1,22% par an) et Atsinanana (0,72% par an) pour la période de 2005-2010 et en Alaotra-Mangoro (2,13% par an), Atsinanana (1,65% par an) et Sofia (1,65% par an) pour la période 2010-2013. La seule Région de l'Alaotra-Mangoro a ainsi perdu en une période de seulement 8 ans près de 10% de sa couverture forestière. En termes de superficie de forêt perdue, les régions Alaotra-Mangoro, Analanjirofo et Sofia sont les plus touchées puisqu'elles ont respectivement perdu près de 21'000 ha, 23'000 ha et 24'000 ha entre 2010-2013, ce qui est considérable et très inquiétant pour l'avenir des forêts dans ces régions.

Tableau 17 : Superficie de la couverture forestière et taux annuel de déforestation par région pour l'écorégion des forêts humides

Région	Couverture forestière estimée (hectares)			Taux de déforestation (% par an)	
	2005	2010	2013	2005 - 2010	2010 - 2013
Alaotra-Mangoro	481'157	455'226	434'035	1,71	2,13
Amoron'i Mania	64'867	61'663	60'950	1,22	0,29
Analamanga	39'614	39'249	38'863	0,21	0,32
Analanjirofo	965'665	945'746	922'489	0,49	0,76
Anosy	225'428	220'826	217'427	0,68	0,37
Atsimo-Atsinanana	303'088	299'289	297'493	0,32	0,15
Atsinanana	372'611	362'507	349'719	0,72	1,65
Betsiboka	4'627	4'589	4'551	0,13	0,25
Diana	402'674	393'095	380'566	0,58	1,03
Haute Matsiatra	90'132	88'710	88'038	0,42	0,22
Ihorombe	139'111	138'464	138'380	0,12	0,02
SAVA	767'998	759'775	749'923	0,22	0,45
Sofia	500'108	493'151	468'956	0,28	1,65
Vakinankaratra	5'897	5'822	5'721	0,31	0,53
Vatovavy-Fitovinany	192'811	189'072	187'982	0,45	0,21
Total	4'555'788	4'457'184	4'345'093	0,50	0,94

La figure 28 ci-dessous présente ces différences entre Régions en matière de taux de déforestation de manière graphique séparément pour les deux périodes analysées.

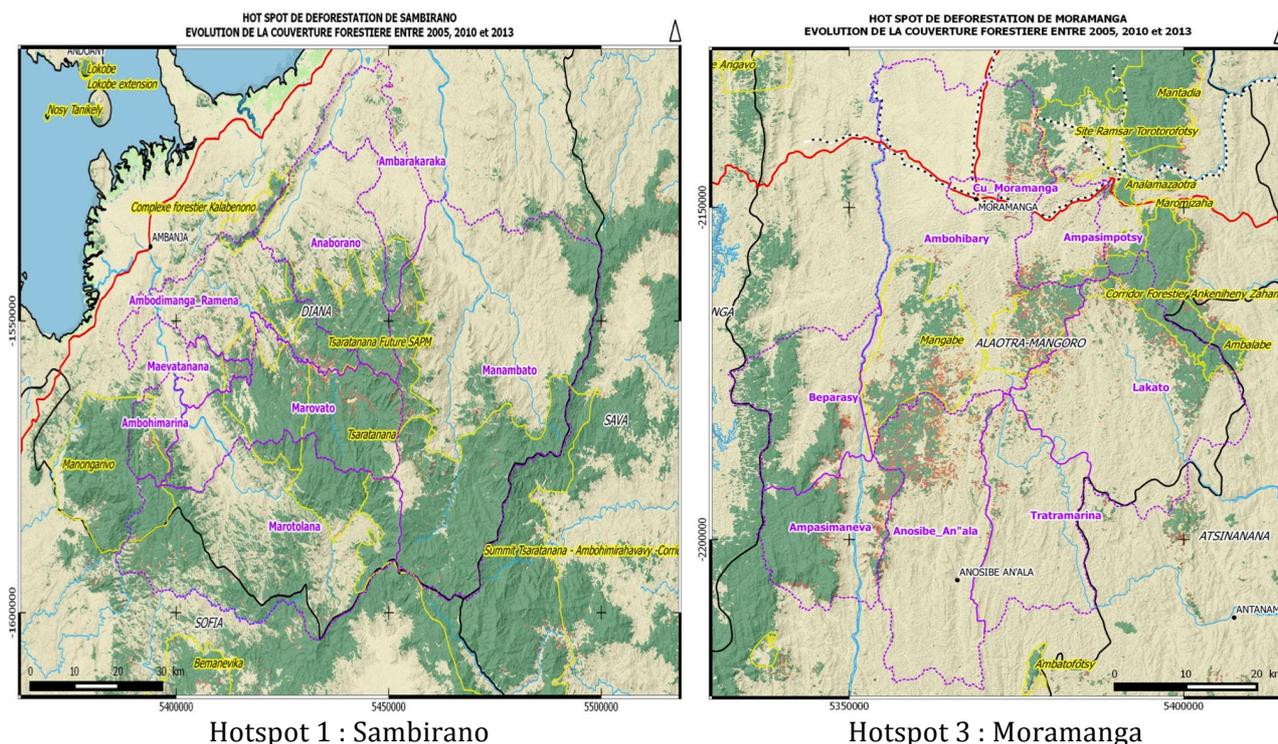
Figure 28 : Classification des taux annuels de déforestation par région et par période

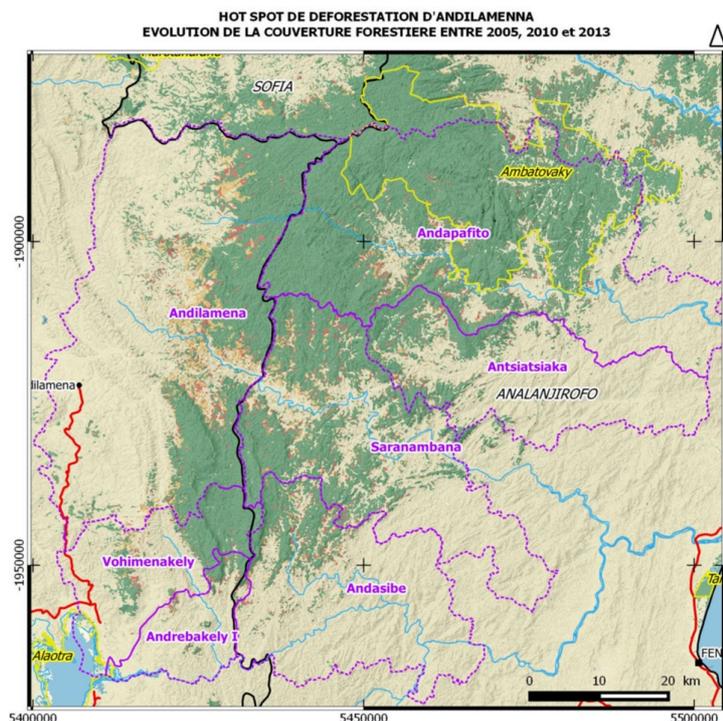


4.3.2.2 Les « hotspots » de la déforestation

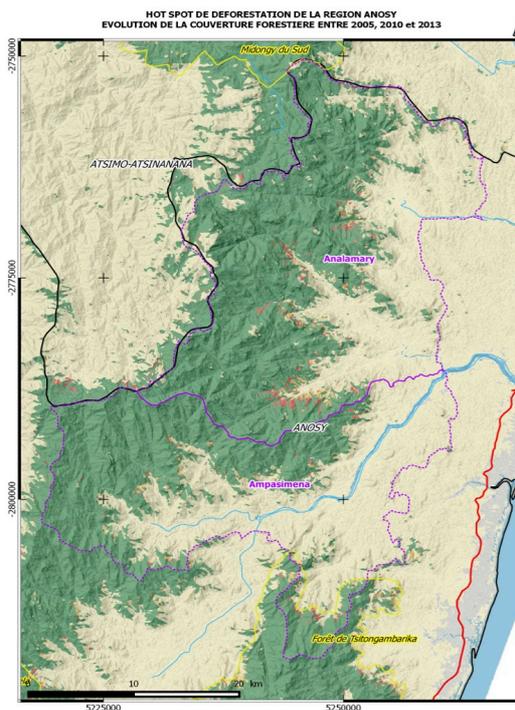
Comme c’était le cas au niveau de l’écorégion des forêts humides dans son ensemble, la déforestation n’est pas distribuée de manière homogène dans une même Région administrative. Une concentration de la déforestation en foyers ou « hotspots » de la déforestation peut être observée dans plusieurs Régions. Les plus importants de ces « hotspots » sont présentés dans la figure 29 ci-dessous.

Figure 29 : Les quatre « hotspots » de la déforestation dans l’écorégion des forêts humides





Hotspot 2 : Andilamena



Hotspot 4 : Anosy

4.3.3 Résultats par catégorie d'altitude

Dans le cadre du projet REDD+ écorégional PERR-FH, les forêts humides de l'Est ont été subdivisées en deux grandes strates (cf. justification de la stratification pour l'inventaire forestier dans la section 3.1.1) :

- **Forêts de basse altitude situées entre 0 et 800 m d'altitude** : Cette strate est clairement la plus touchée par la déforestation depuis plusieurs années. Le taux de la déforestation y a doublé de 0,60% pour la période 2005 – 2010 à 1,15% dans la période 2010 – 2013.
- **Forêts de moyenne et de haute altitude au-delà de 800 mètres** : Selon des études antérieures, cette strate est moins vulnérable à la déforestation. Néanmoins, les taux de déforestation y ont aussi doublés de 0,44% pour la période 2005 – 2010 à 0,82% pour la période 2010 – 2013 et présente aujourd'hui des statistiques assez proches de celles observées à basse altitude.

Le tableau 18 ci-après donne plus de détail sur les superficies et les taux de déforestation observés dans ces deux catégories d'altitude.

Tableau 18 : Superficies et taux annuels de déforestation par catégorie d'altitude pour les deux périodes observées

Catégorie d'altitude [m]	Couverture forestière estimée (hectares)			Taux de déforestation (% par an)	
	2005	2010	2013	2005 - 2010	2010 – 2013
0 – 800	1'712'011	1'666'217	1'615'882	0,60	1,15
800 et +	2'872 601	2'821'423	2'762'333	0,44	0,82

4.3.4 Résultats par rapport aux efforts de conservation

Outre les statistiques sur les régions et sur les strates d'altitude, d'autres statistiques ont été produites concernant les efforts de conservation effectuée dans l'écorégion des forêts humides de l'Est, à savoir :

- Les aires protégées incluses dans le réseau national géré par MNP ;
- Les nouvelles aires protégées, dont certains projets pilotes REDD+.

4.3.4.1 Résultats pour les Aires Protégées du réseau MNP

Comme le montre le tableau 19 ci-après, les aires protégées du réseau MNP ont généralement des taux de déforestation de loin inférieurs aux moyennes observées au niveau de l'ensemble de l'écorégion des forêts humides, mais avec une augmentation du taux de déforestation de 0,10 à 0,23% par an, le dédoublement des taux de déforestation observé au niveau de l'écorégion se montre également dans les aires protégées du réseau MNP. Certaines AP (ex. Ambatovaky, Mantadia, Maotandrano et Tsaratanana) montrent cependant une augmentation inquiétante de la déforestation pour la période 2010 - 2013 par rapport à la période 2005 - 2010, tout en restant en dessous des taux moyens pour cette période. Le taux de déforestation le plus élevé est observé dans l'AP de Tsaratanana avec un taux de 0,97% pour la période 2010 - 2013.

Tableau 19 : Superficies de la couverture forestière et taux annuels de déforestation pour les aires protégées du réseau MNP

Aire Protégée	Couverture forestière [hectares]			Taux de déforestation [% par an]	
	2005	2010	2013	2005 - 2010	2010 - 2013
Ambatovaky	70'432	70'056	68'836	0,19	0,45
Analamazaotra	845	845	845	0,00	0,00
Andohahela	57'428	57'084	56'483	0,20	0,25
Andringitra	15'042	15'017	15'015	0,05	0,00
Anjanaharibe Sud	27'328	27'315	27'299	0,01	0,02
Betampona	1'963	1'963	1'963	0,00	0,00
Forêt d'Ambre	2'318	2'318	2'312	0,00	0,09
Kalambatritra	13'711	13'711	13'711	0,00	0,00
Lokobe	686	686	686	0,00	0,00
Mananara - Nord	19'360	19'210	19'180	0,12	0,06
Mangerivola	10'820	10'743	10'673	0,18	0,35
Manombo	1'653	1'653	1'651	0,00	0,03
Manongarivo	44'199	44'061	43'546	0,06	0,36
Mantadia	14'279	14'271	14'147	0,01	0,47
Marojejy	52'109	52'085	52'069	0,01	0,01
Marotandrano	32'824	32'632	32'253	0,09	0,41
Masoala	208'171	207'463	207'212	0,06	0,04
Midongy du Sud	153'697	152'413	151'664	0,22	0,13
Montagne d'Ambre	22'397	22'374	22'300	0,03	0,11
Nosy Mangabe	522	522	522	0,00	0,00
Pic d'Ivohibe	3'130	3'130	3'130	0,00	0,00
Ranomafana	36'735	36'683	36'652	0,04	0,02
Tsaratanana	45'391	45'002	43'602	0,17	0,97
Zahamena	63'067	63'041	63'023	0,02	0,01
Total	898'161	894'278	888'774	0,10	0,23

4.3.4.2 Résultats pour les nouvelles aires protégées

Suite à la vision Durban proclamé par le Président de la République en 2003, le MEEF en étroite collaboration avec ses partenaires financiers et techniques, à réussi à tripler la superficie des aires protégées terrestres faisant passer ce réseau de moins de 2 millions d'hectares en 2003 à plus de 6 millions d'hectares à la fin 2014. Les résultats de l'analyse de la déforestation montrent que la situation dans les Nouvelles Aires Protégées (NAP) diffère assez fortement de celle dans les aires protégées du réseau MNP et est même assez inquiétante pour certaines d'entre elles.

Tableau 20 : Superficies de la couverture forestière et taux annuels de déforestation pour les nouvelles aires protégées

Nouvelle Aire Protégée	Promoteur	Couverture forestière [hectares]			Taux de déforestation [% par an]	
		2001	2010	2013	2005-10	2010-13
Ambalabe	MBG	2'861	2'786	2'697	0,65	1,75
Ambatofotsy	MAVOA	673	654	637	0,57	1,42
Ambatotsirongorongo	WCS	298	296	294	0,22	0,16
Ambohidray	ACCE	723	701	699	0,76	0,15
Analalava I - II	MAVOA	197	188	187	1,79	0,13
Andrafiarana-Andavakoera	FANAMBY	4'516	4'308	4'273	1,24	0,27
Anjozorobe Angavo	FANAMBY	25'644	25'325	25'284	0,31	0,05
Beampingaratsy	ETC/WWF	42'293	41'622	41'218	0,53	0,23
Bemanevika	TPF	23'166	23'144	21'434	0,19	2,36
Complexe forestier Kalabenono	MBG	4'045	3'957	3'711	0,58	2,10
Complexe forestier Makirovana- Tsihomanomby	MBG	2'824	2810	2'807	0,10	0,21
Corridor Forestier Ankeniheny-Zahamena	CI	333'356	326'987	318'722	0,56	1,10
Corridor Forestier Fandriana-Marolambo	MNP	134'476	131'586	131'038	0,51	0,16
Corridor forestier Fandriana-Vondrozo	CI	230'907	228'942	228'145	0,22	0,10
Fohisokina-Ambinanitelo	MATE	380	369	360	0,71	0,62
Forêt de Tsiotambarika	ASITY MADAGASCAR	48'104	46'489	45'537	1,13	0,49
Forêt de Vohipaho/Ankarabolava	MBG	1'468	1'456	1'446	0,18	0,18
Loky-Manambato	FANAMBY	10'114	10'054	9'938	0,14	0,22
Makira	WCS	357'336	356'642	354'769	0,13	0,19
Mangabe	MAVOA	11'943	10'350	8'958	3,51	7,77
Maromizaha	GERP	438	435	399	0,17	4,64
Sahavao	MAVOA	548	486	480	2,38	0,67
Site Ramsar de Torotorofotsy	MITSINJO	4'336	4'195	3'992	0,81	2,67
Corridor Marojejy Anjanaharibe-Sud Tsaratanana	WWF	197'193	196'218	192'164	0,11	0,75
Tsaratanana Future SAPM	KBA	75'293	72'082	69'217	1,07	1,29
Total		1'513'132	1'492'082	1'468'406	0,32	0,59

Le tableau 20 ci-dessus montre que dans les Nouvelles Aires protégées, le taux de déforestation moyen a également presque doublé, avec une augmentation de 0,32 à 0,59% par an. pour plusieurs NAP, le taux annuel de déforestation dans la période 2010 – 2013 était au dessus de la moyenne pour l'écorégion de 0,94% par an. C'est notamment le cas pour les NAP de Ambalabe, Ambatofotsy, Bemanevika, Kalabenono, CAZ, Mangabe, Maromizaha, Torotorofotsy et Tsaratanana. Certaines NAP (Ambohidray, Analalava et Andrafiarena-Andavakoera montrent une diminution importante de la déforestation, mais de manière générale il semble tout de même que la déforestation dans les NAP ait augmenté dans la période 2010 – 2013 par rapport à la période 2005 – 2010.

4.3.4.3 Résultats pour les transferts de gestion

Une autre forme de gestion des ressources forestières en lien avec la conservation de la biodiversité sont les transferts de gestion selon les procédures GELOSE (Gestion Locale Sécurisée) ou GCF (Gestion Contractuelle des Forêts de l'Etat). Grace aux efforts récents en matière de digitalisation des limites de tous les transferts de gestion du projet GESFORCOM (Alexio, 2014), il était possible de comparer les cartes de la déforestation développées avec les limites de ces transferts de gestion.

Les transferts de gestion dans l'écorégion des forêts humides couvraient en 2005 une superficie forestière de 761'887 ha. En 2010 les mêmes transferts ne comportaient plus que 748'342 ha de forêt et en 2013 plus que 734'236 ha, ce qui donne des taux de déforestation de 0,41 et 0,70% respectivement. Cela signifie que les taux de déforestation dans les transferts de gestion sont un peu plus élevés que dans les aires protégées du réseau MNP (0,10 et 0,23% respectivement) et dans les Nouvelles Aires Protégées (NAP, 0,32 et 0,59% respectivement), mais aussi que la déforestation y est toujours significativement moins prononcée que les moyennes de l'écorégion des forêts humides (0,50 et 0,94% respectivement). La tendance vers une augmentation considérable entre les deux périodes est cependant aussi confirmée dans les transferts de gestion existants, bien que cet accroissement semble légèrement moins prononcé que dans les autres zones forestières.

4.3.5 Validation des résultats de classification (validation externe)

Une matrice de confusion (cf. tableau 21) a été élaborée sur la base de 10 854 points photo-interprétés sur des images SPOT, indépendante des images utilisées pour la classification et correspondant approximativement aux dates de la deuxième période étudiée (2010-2013). Ces points se répartissent sur les foyers de déforestation (« hotspot ») et selon un maillage de points allant de 5 km à 500 m selon l'intensité de la déforestation. Le tableau suivant présente la matrice de confusion liée à cette validation.

Tableau 21 : Matrice de confusion externe pour la validation de la carte historique de déforestation.

Catégories	Observation par photo interprétation sur image SPOT				Erreur de commission	Précision producteur
	FF	FP	PP	Total		
FF	5154	145	542	5841	0,12	0,88
FP	34	273	58	365	0,25	0,75
PP	372	53	4223	4648	0,09	0,91
Total	5560	471	4823	10854		
Précision l'utilisateur	0,93	0,58	0,88			

L'indice Kappa est de 79 et la précision globale se situe à 89% (~90%) signifie que parmi les 10 854 points d'observations 90% sont bien classés contre 10% qui sont mal classés. La carte est donc précise à 90% et l'erreur marginale pour son utilisation est de 10%.

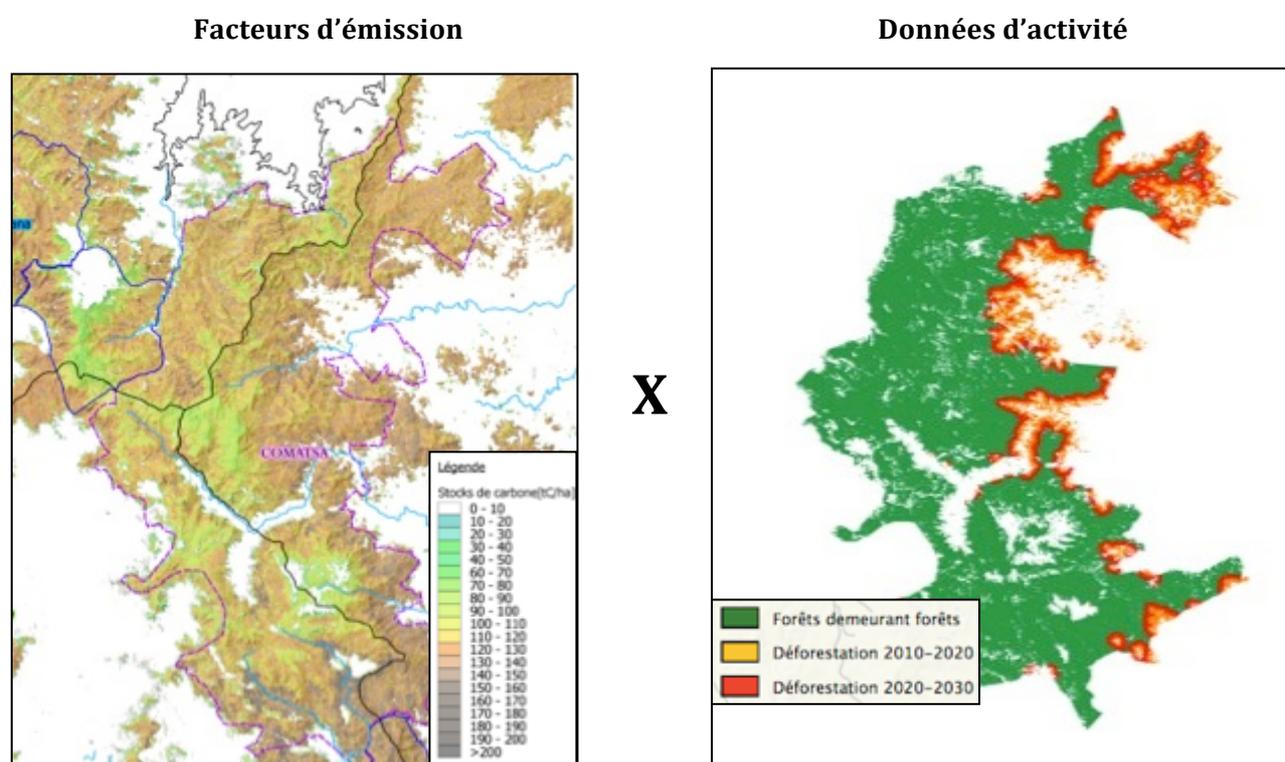
5 Scénarios de référence éco-régionaux

5.1 Introduction

Comme introduit dans la section 4.1, un scénario de référence est élaboré en combinant les deux types de données suivantes (cf. figure 30) :

- Facteurs d'émission issus :
 - de la cartographie des stocks de carbone de la biomasse aérienne telle que présentée dans la section 3.1 ci-dessus ;
 - de la cartographie des stocks de carbone du sol et des modèles de pertes associés tels que décrits dans la section 3.2 ci-dessus ;
- Données d'activités issues des projections de la déforestation future, tant en terme d'intensité que de localisation, établies sur la base de la déforestation historique présentée dans la section 4 ci-dessus.

Figure 30 : Représentation simplifiée des données à combiner pour élaborer un scénario de référence



Dans le cas du PERR-FH, compte tenu de la vaste étendue de forêts concernées et de la diversité des dynamiques de déforestation, il a par ailleurs été décidé, afin d'accroître la précision des résultats, d'élaborer des scénarios de référence à l'échelle d'éco-zones et de les agglomérer ensuite pour constituer le scénario de référence éco-régional ; étant entendu que des scénarios éco-régionaux ont été élaborés selon deux approches différentes pour tenir compte des cadres méthodologiques internationaux (cf. section 5.1.1 ci-dessous).

Méthodologiquement le consortium s'est orienté, comme pour tous les autres travaux de la composante 2 d'ailleurs, au cadre méthodologique pour l'établissement de niveaux de référence REDD+ validé lors de l'atelier méthodologique de décembre 2013. Le tableau 22 ci-après reprend les principaux éléments des méthodologies relatives à la projection de la déforestation future.

Tableau 22: Cadre méthodologique pour la projection de la déforestation future validé lors de l'atelier méthodologique REDD+ de décembre 2013

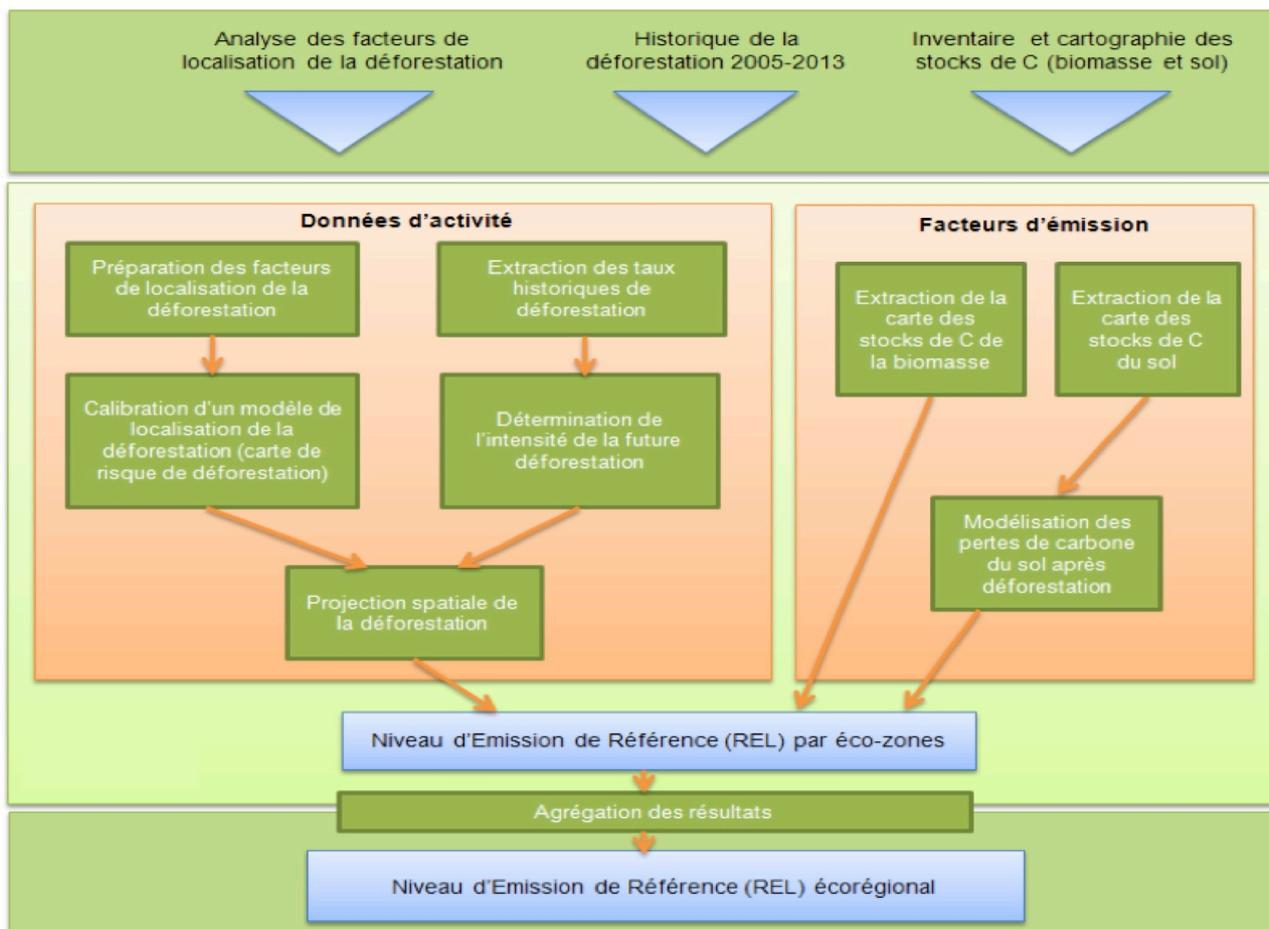
Projection de l'intensité de la déforestation future	<p>Les travaux devront se conformer aux 2 standards VCS et FCPF simultanément en développant 3 modèles : moyenne du taux historique (FCPF), projection linéaire (VCS) et projection modélisée (VCS) pour chaque zone de l'écorégion.</p> <p>Selon l'utilisation visée des résultats, l'ensemble des zones de l'écorégion utiliseront un seul modèle, selon une justification commune.</p>
Délimitation de la zone de référence à utiliser pour estimer le taux de déforestation	<p>Les projets REDD et les AP seront inclus dans la zone de référence qui sera utilisée pour estimer et pour mettre à jour le niveau de référence de la déforestation.</p> <p><i>NOTE : Cette démarche sera adaptée au fur et à mesure de l'évolution des exigences des standards internationaux.</i></p>
Etablissement du niveau d'émissions de référence	<p>Au moment T0, toutes les « circonstances nationales déjà existantes » pouvant influencer le niveau des émissions seront prises en compte. Les projets REDD+ et les AP « déjà existants » seront inclus, même si le risque de diminuer le niveau de déforestation est réel.</p> <p><i>NOTE : Cette démarche sera adaptée au fur et à mesure de l'évolution des exigences des standards internationaux.</i></p>
Pour la projection de la localisation	<p>La méthode par régression multiple sera utilisée, en conformité avec le contenu du R-PP.</p> <p>Processus : des itérations seront réalisées pour tester les différentes combinaisons des facteurs spatiaux, jusqu'à obtention d'un niveau acceptable de FOM supérieur au taux de déforestation dans la zone de référence durant la période de calibration (2005-2010).</p> <p>L'algorithme Random Forest sera utilisé sous réserve de disponibilité d'un autre algorithme plus performant.</p>
Mesure de la précision	Utilisation de l'indicateur FOM selon les directives de VCS

La figure 31 ci-dessous résume les différentes étapes qui ont été conduites pour chacune des éco-zones dans le cadre de ce travail sur la base du cadre méthodologique validé.

Ce cadre général ainsi posé, la présente section s'attache plus particulièrement à détailler les étapes suivantes qui ont permis d'aboutir à l'élaboration des scénarios de référence éco-régionaux :

- Analyse et choix méthodologiques ;
- Délimitation d'éco-zones homogènes ;
- Etablissement des niveaux d'émissions de référence éco-régionaux.

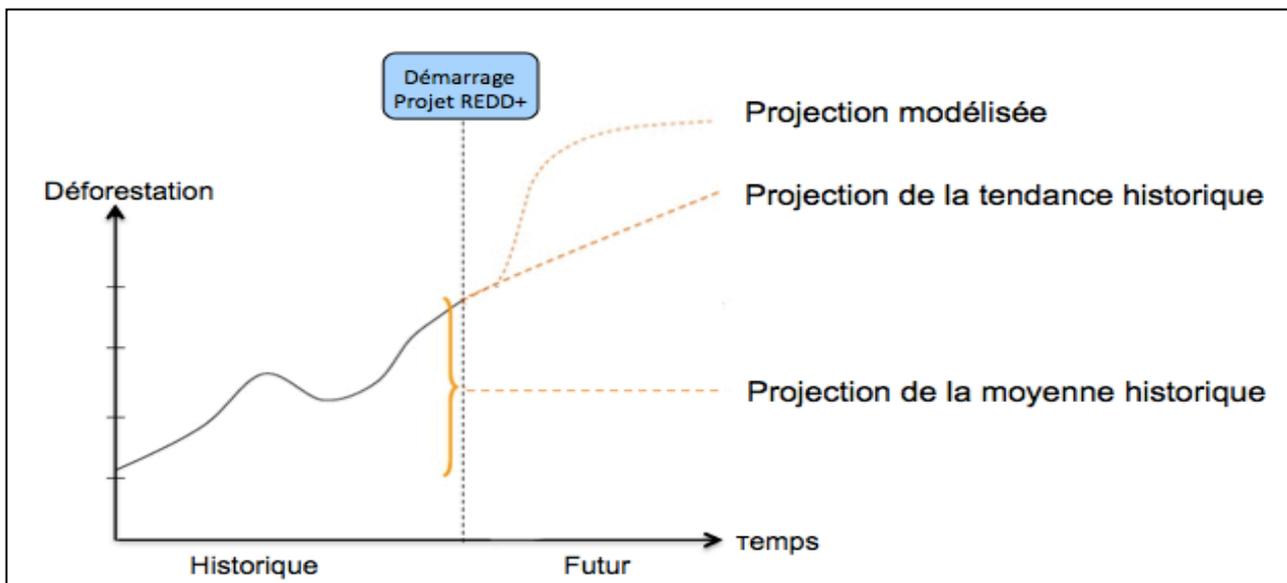
Figure 31 : Principales étapes de l’élaboration d’un scénario de référence par éco-zone



Ce cadre général ainsi posé, la présente section s’attache plus particulièrement à détailler les étapes suivantes qui ont permis d’aboutir à l’élaboration des scénarios de référence éco-régionaux :

- Analyse et choix méthodologiques ;
- Délimitation d’éco-zones homogènes ;
- Etablissement des niveaux d’émissions de référence éco-régionaux.

Figure 32 : Représentation simplifiée des différentes approches de projection de l’intensité de la déforestation autorisées par les cadres méthodologiques du VCS et FCPF



5.2 Analyse et choix méthodologiques

5.2.1 Analyse des cadres méthodologiques internationaux

Comme toutes les autres grandes étapes ayant fait l'objet du présent contrat, l'établissement des scénarios de référence s'est conformé aux cadres méthodologiques internationaux du VCS et du FCPF. Et les trois approches pour la définition de l'intensité de la déforestation qu'ils admettent (cf. figure 32 ci-dessus). A ce sujet, il convient de souligner que les cadres méthodologiques précités ont été mis à jour *a posteriori* de l'atelier national qui s'est tenu les 4 et 5 décembre 2013 et que le consortium en a bien entendu tenu compte dans ces travaux. Les principaux critères à respecter dans le cadre de l'élaboration d'un scénario de référence sont résumés dans le tableau 23 ci-dessous.

Tableau 23 : Critères de développement de scénario de référence

Cadre méthodologique	VCS	FCPF
	Version du 30 oct. 2014	Version du 20 déc. 2013
Approches autorisées (cf. Figure 32 ci-dessus)	<p>Au moins 2 approches alternatives doivent être développées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projection de la moyenne historique de déforestation - Projection de la tendance historique de déforestation <p>Il est également accepté de développer une projection modélisée pour prendre en compte les circonstances (sous)nationales, mais il faut alors démontrer que l'incertitude est réduite grâce à cette approche.</p>	<p>Une seule approche autorisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projection de la moyenne historique de déforestation
Région de référence	Pas de cadrage particulier* mais lors d'échanges avec VCS et FCPF il a été recommandé d'intégrer toutes les forêts répondant à la définition des forêts	
Unité	tCO ₂	tCO ₂ e/an
Période de la projection	5 ou 10 ans	Le niveau d'émission est estimé annuellement pour la période courant jusque fin 2020 (post 2020 en cours de négociation)
Spatialisation de la déforestation future	Possible mais non obligatoire	Pas de cadrage particulier
Incertainité	Pas de cadrage particulier. Il est seulement précisé que les développeurs JNR peuvent s'appuyer sur les méthodologies projets de VCS	Pas de niveau précis défini mais les diverses sources d'incertitude doivent être "regroupées en une seule estimation d'incertitude et notifiées à l'intervalle de confiance bilatéral à 90%".

5.2.2 Choix opérés au niveau de l'écorégion

Sur la base des cadres méthodologiques présentés dans les sections précédentes, le consortium a fait les choix méthodologiques suivants pour le développement du scénario de référence éco-régional :

- **Approches retenues :**

Comme présenté dans la section 5.2.1, le cadre méthodologique REDD+ national prévoit de tester toutes les trois approches autorisées par VCS. Cependant, consistant à introduire dans le modèle d'autres variables pouvant affecter l'intensité de la déforestation (PIB, démographie, décisions ou évènements politiques, évolution des prix agricoles ou des cheptels, etc.), l'approche « modélisée » a finalement été écartée car elle est très délicate à développer et de plus en plus critiquée, notamment pour les raisons suivantes :

- Il est peu évident de disposer de données solides et spatialisées quant à ces variables ou à ces « circonstances (sous-)nationales » et *a fortiori* d'en prédire le devenir. Pour ne citer que ces exemples, il est en effet très délicat de savoir si Madagascar a par exemple déjà amorcé sa transition démographique ou si le pays ne vivra pas de nouvelle perturbation politique avant 2023, terme des scénarios à développer ;
- De nombreuses hypothèses doivent donc être établies, il est par conséquent plus aisé de « falsifier » les scénarios de référence afin de générer d'importants volumes de réduction d'émissions.
- Le VCS, en exigeant que l'incertitude soit réduite par rapport aux autres approches requises, semble clairement chercher à dissuader les porteurs de projet d'avoir recours à cette approche.

Le consortium s'inscrit dans cette logique générale internationale qui consiste à rendre toujours plus crédibles et transparents les scénarios de référence et parmi les trois approches présentées, seules les projections de la tendance et de la moyenne historique ont finalement été retenues par le consortium. Le choix de l'approche utilisée dépendra entièrement du cadre méthodologique dans lequel s'inscrira l'écorégion des Forêts Humides de Madagascar. Si le cadre VCS-JNR est retenue, l'approche 1 « Projection de la tendance historique » sera utilisée puisqu'elle est autorisée et présente un potentiel de réduction des émissions plus important (cf. résultats ci-dessous). Si par contre les initiatives éco-régionales REDD+ s'inscriront dans le cadre FCPF, par exemple dans le cadre d'un programme de réduction des émissions (ER-Program) du Fonds Carbone du FCPF, l'approche 1 « Projection de la moyenne historique » s'impose étant la seule acceptée. Au final, cette décision appartient au MEEF.

- **Région de référence :**

En cohérence avec le cadre méthodologique REDD+ développé en décembre 2013, ni les Aires Protégées gérées par MNP ni les projets REDD+ en cours ont été exclus de l'analyse historique de la déforestation. Tout comme pour l'analyse de la déforestation présentée dans la section 4, l'intégralité des forêts de l'écorégion a donc été prise en compte lors du développement du scénario de référence des émissions.

- **Unités :**

Les deux unités (t CO₂-e/an et t CO₂-e/an) ont été retenues selon les recommandations du cadre méthodologique appliqué au développement des scénarios.

- **Période projetée :**

Concernant VCS, la plage temporelle retenue est de 10 ans, à savoir la période 2014-2023 mais puisque les émissions de référence sont calculées annuellement, il est très facile de développer un scénario de référence pour 5 ans également. Ces périodes de 5 ans ont été introduites pour maintenir la cohérence avec le cadre méthodologique REDD+ qui propose un ajustement du scénario de référence des émissions tous les 5 ans.

Au-delà du calcul des réductions d'émissions potentielles, le consortium a fait ce choix d'une période de 10 ans pour aider à la prise de décisions en terme d'activités de terrain à mettre en œuvre au regard des cartes de déforestation future.

- **Spatialisation de la déforestation future :**

Bien que cette étape ne soit pas obligatoire, le consortium a choisi de spatialiser la déforestation future pour chacune des deux approches retenues.

- **Incertainité :**

De ce point de vue, c'est clairement le cadre méthodologique du FCPF qui est le plus exigeant mais il ne comporte aucune préconisation précise quant à la manière de regrouper les diverses sources d'incertitude en une seule estimation d'incertitude.

Dans le cadre de ce contrat, les incertitudes ont été quantifiées à chaque étape de la chaîne de traitement (inventaires de terrain, cartographie des stocks, historique de la déforestation, cartographie du risque de déforestation, incertitude des modèles, erreurs géométriques, etc.). Cependant, il est difficile d'évaluer un niveau d'incertitude final avec une méthode de calcul qui combine toutes ces sources d'erreurs issues d'indicateurs différents : Overall Accuracy, RMSE, FOM. Le consortium avoue ne pas être suffisamment compétent en la matière et serait ravi de recevoir un appui des experts du FCPF en la matière.

5.3 Délimitation des éco-zones

Comme introduit précédemment, la déforestation est un processus très complexe dont les causes directes et surtout les facteurs sous-jacents peuvent varier fortement d'une région/localité à l'autre. Afin de pouvoir prendre en considération ces variations locales et afin de développer des modèles de déforestation future aussi robustes que possible, il était primordial de délimiter, au sein de l'écorégion des forêts humides, des éco-zones homogènes vis à vis de ces causes/facteurs de déforestation.

Ceci étant, il convient de bien distinguer ici les causes et/ou facteurs influençant d'une part, l'intensité de la déforestation et d'autre part, la localisation de la déforestation et de juger, au regard des types de modèles de déforestation à produire, de la pertinence de leur utilisation dans la délimitation de ces éco-zones.

Cette délimitation est ainsi passée par les trois étapes suivantes :

- Analyse des causes directes et facteurs sous-jacents influençant l'intensité de la déforestation ;
- Analyse des facteurs influençant la localisation de la déforestation ;
- Découpage de l'écorégion des forêts humides en éco-zones homogènes.

5.3.1 Analyse des facteurs sous-jacents influençant l'intensité de la déforestation

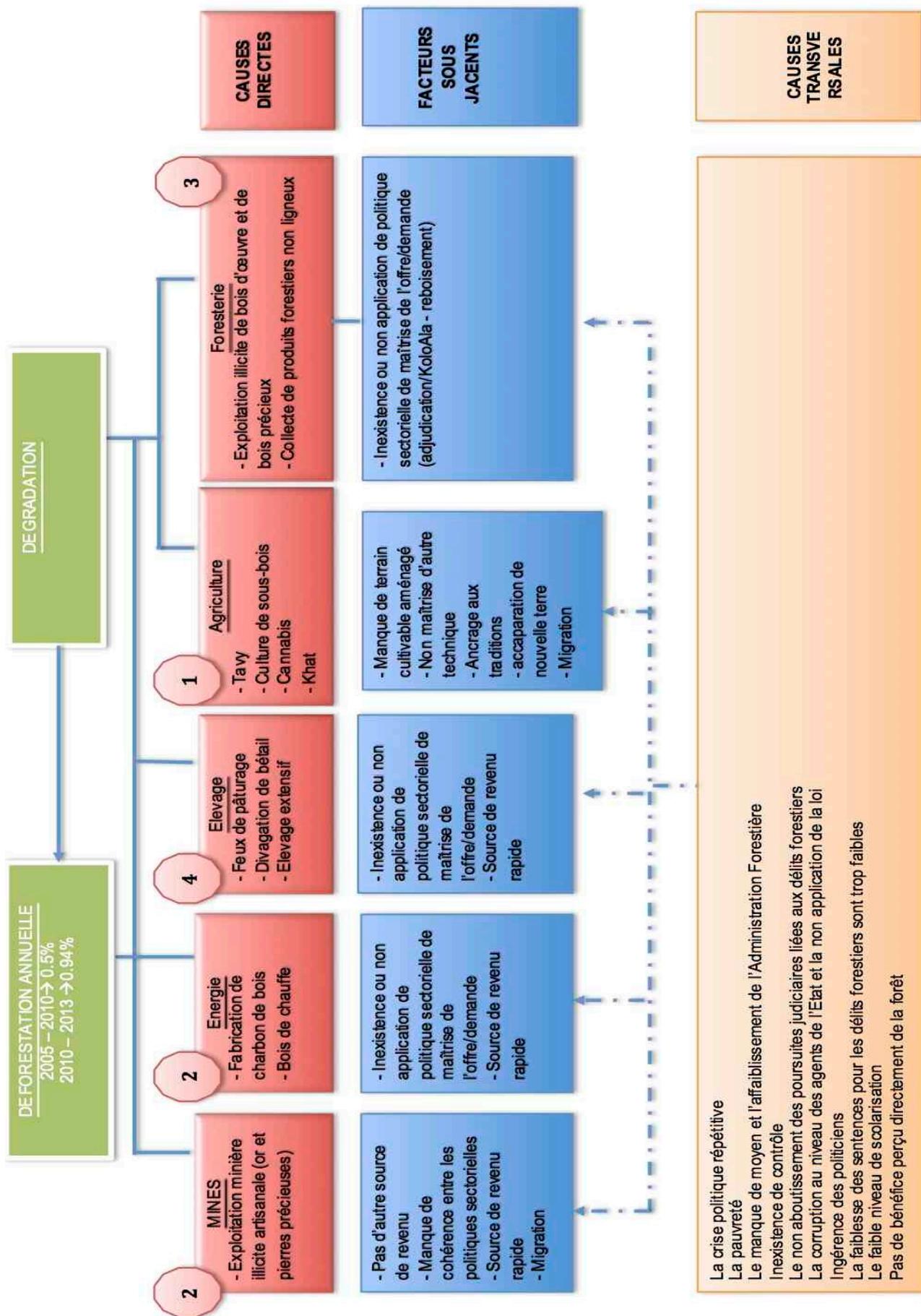
Cette étape a fait l'objet d'un important travail de consultation puisque le consortium a largement intégré cette analyse lors des dix ateliers organisés en région qui ont par ailleurs fait le choix de s'intéresser à la dégradation (cf. annexe 4 du rapport livrable 4 du consortium présentant le guide des travaux sur les causes/facteurs de la déforestation menées lors des ateliers régionaux).

En effet, même si la prise en compte de cette activité se situe en dehors du cadre du présent contrat et que les informations correspondantes n'ont pas été utiles à la définition des éco-zones, il a semblé pertinent au consortium d'optimiser ces rares moments de consultation régionale/locale pour contribuer également à une meilleure compréhension du phénomène et à une meilleure définition des activités pouvant l'enrayer.

Toutes les informations recueillies, tant sur la déforestation que sur la dégradation, ont ensuite été synthétisées pour aboutir à la Figure 33 présentée à la page suivante. De cette synthèse peuvent être notamment mis en avant les éléments suivants :

- Causes directes de la déforestation : l'agriculture sur brûlis constitue toujours, et de loin, la principale cause directe. Les exploitations minières ainsi que la fabrication de charbon présentent un niveau d'impact bien moindre et sensiblement équivalent suivis par la gestion/extension de pâturage. Il est cependant impossible d'un point de vue technique de quantifier précisément le poids de chaque cause directe dans la déforestation historique.
- Facteurs sous-jacents transversaux de la déforestation : au-delà des facteurs économiques (niveau de pauvreté) et sociaux (démographie) régulièrement cités, les consultations régionales, ont largement mis l'accent sur les facteurs politiques, institutionnels et de gouvernance qui ont pris une large ampleur avec la dernière crise politique que le pays a traversé de 2009 à 2014.

Figure 33 : Synthèse des causes directes et facteurs sous jacents influençant l'intensité de la déforestation et de la dégradation des forêts humides



Aussi intéressantes et pertinentes soient-elles, ces informations n'ont cependant pas été utiles à la délimitation des éco-zones et ont avant tout permis de définir le système de suivi des causes/facteurs de déforestation (cf. rapport livrable 4 fourni par le consortium, où figurent de nombreux détails quant à cette analyse) et de poser les bases de la définition d'activités pertinentes de lutte contre la déforestation/dégradation.

En effet, puisque l'approche « modélisée » de projection de la future déforestation n'a finalement pas été retenue par le consortium et que l'intensité des projections de la « tendance » et de la « moyenne » dépend uniquement de l'intensité de la déforestation passée, seuls certains facteurs influençant la localisation de la déforestation ont finalement été utilisés pour délimiter les éco-zones.

5.3.2 Analyse des facteurs influençant la localisation de la déforestation

L'importance des facteurs influençant la localisation de la déforestation peut être estimée quantitativement. Ces facteurs sont généralement regroupés selon les catégories suivantes :

- Facteurs paysagers : pente, altitude, type de végétation, type de sol, etc. ;
- Facteurs d'accessibilité : distance des forêts aux routes/pistes, aux cours d'eau, aux villes/villages, aux lisières, etc. ;
- Facteurs humains : état de fragmentation de la forêt, distance des forêts aux défrichements récents, etc. ;
- Facteurs de gouvernance : limites régionales et communales, aires protégées, forêts communautaires, etc.

Une pré-étude de l'importance de ces facteurs a été réalisée en amont sur l'ensemble de l'écorégion et est présentée dans le tableau 24 ci-après. Le résultat de cette analyse montre l'importance de la fragmentation de la forêt, de la distance aux rivières ainsi que de l'altitude qui constituent les trois facteurs principaux. Les autres facteurs contribuent également à expliquer la déforestation mais dans une moindre mesure. Cette étude préliminaire a ensuite été affinée en étudiant l'effet de chaque facteur sur la déforestation afin d'évaluer plus en détail leur influence.

Tableau 24 : Importance des facteurs influençant la localisation de la déforestation sur toute l'écorégion

Facteur	Importance relative
Indice de fragmentation	63,43
Distance aux rivières	57,07
Altitude	55,56
Distance aux lisières	49,17
Distance aux défrichements récents	45,03
Distance aux villes et/ou villages	37,80
Distance aux routes et/ou pistes	35,85
Aires protégées	31,67
Pente	26,74
Indice de convexité	26,05
Transfert de Gestion des Ressources Naturelles	23,75
Aspect	21,62

5.3.3 Découpage de l'écorégion en éco-zones homogènes

Afin d'améliorer les résultats et produire des statistiques à des échelles plus fines, un travail de délimitation de zone écologique ou « éco-zone » a été réalisé. Il a été nécessaire de développer un modèle mathématique mettant en relation ces paramètres biophysiques et socio-économiques environnants avec la dynamique spatio-temporelle de la déforestation. La complexité de cette relation fait que les règles d'interaction peuvent changer d'un endroit à un autre. Un bon modèle

mathématique (bonne corrélation et de faible résidu) n'est obtenu qu'en cas d'homogénéité des règles d'interactions. De ce fait, nous avons considéré l'éco-zone comme l'aire où ce critère d'homogénéité s'est trouvé optimisé.

Partant du principe que le bassin versant, par ses caractéristiques (altitude, pente, réseaux hydrographiques, etc.), joue une place importante tant sur le plan biophysique que socio-économique, il a été choisi comme unité de base pour la délimitation de ces éco-zones. A notre connaissance, c'est une approche très innovante qui pourrait parfaitement faire l'objet d'une publication scientifique et mériterait d'être creusée au-delà de l'écorégion des forêts humides de Madagascar car elle correspond bien mieux à la réalité de l'usage des terres par les populations locales dont les terroirs sont le plus souvent délimités selon des bassins versants.

L'ensemble du traitement est fait en plusieurs étapes :

- La délimitation des bassins versants ;
- La catégorisation des types de déforestation
- La classification des bassins versants selon les types de déforestation

5.3.3.1 Délimitation des bassins versants

Cette délimitation est basée essentiellement sur des critères hydromorphométriques des bassins versants ; ceux-ci étant extraits du Modèle Numérique de Terrain (MNT) après correction des artefacts dans ce dernier. L'extraction s'est effectuée en prenant comme exutoires les points de drainage se trouvant à la côte (cf. Figure 34 ci-après).

Figure 34 : Modèle de bassin versant et du réseau hydrographique extrait du Modèle Numérique de Terrain

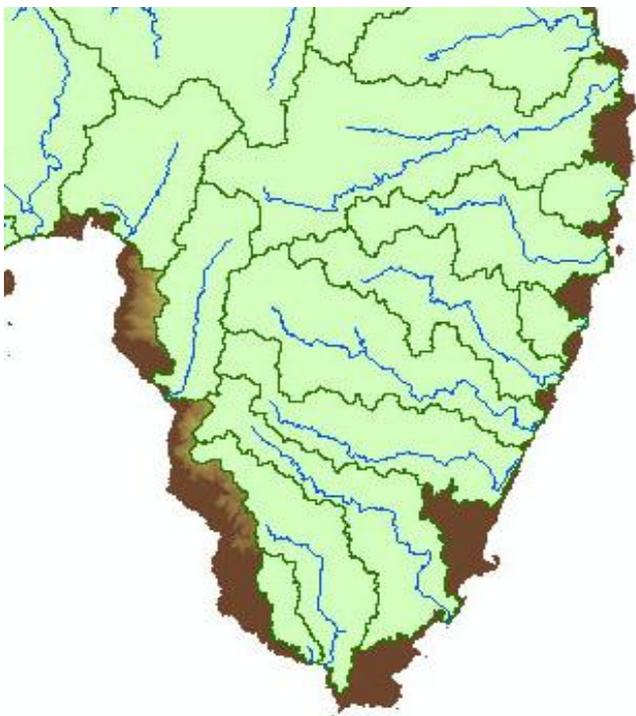
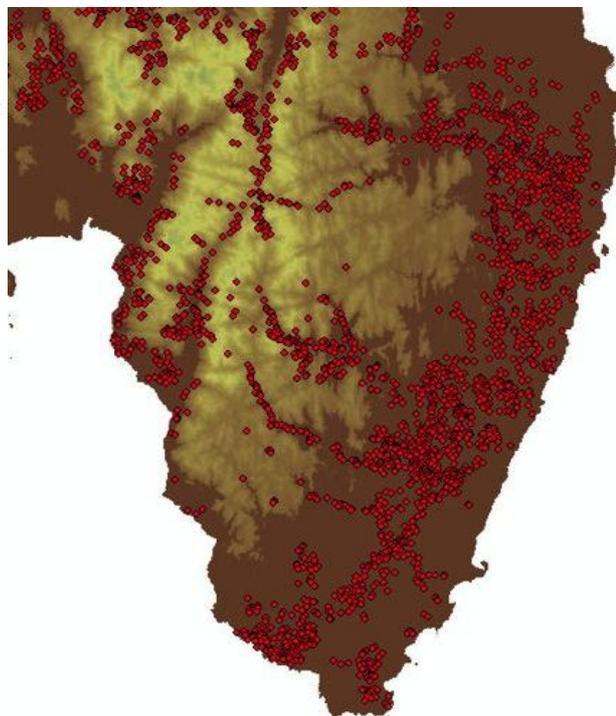


Figure 35 : Représentation en semis de point des zones de déforestation



5.3.3.2 Catégorisation des types de déforestation

Pour faciliter l'observation et l'analyse de la répartition spatiale des types de déforestation, il a été procédé à la « squelettisation » de ces informations en remplaçant chaque polygone de déforestation par leur « géo-centre » (cf. Figure 35). Ce passage vers le « semis de points » a pour but de faciliter la lecture cartographique et surtout l'analyse de sa structure spatiale (« spatial pattern »).

Les points de déforestation ont ensuite été classés en deux catégories, conformément aux spécifications du Verified Carbon Standard (pas de spécifications à ce sujet pour le FCPF) :

- La déforestation «frontière » intervenant en lisière des massifs forestiers (type I).
- La déforestation «mosaïque » davantage dispersée dans le paysage (type II).

Pour ce faire, on a fait un croisement de la couche « point déforestation » par rapport à la couche « fragmentation » en analysant la position de chaque point de déforestation relative aux patches et massifs forestiers alentour. Notons que pour la détermination de ces deux types de déforestation nous nous sommes basés sur les critères définis par le guide VCS REDD.

5.3.3.3 Classification des bassins versants selon les type de déforestation

Cette étape finale a permis la fusion des bassins versants de même type de déforestation et adjacents. L'ensemble des éco-zones ainsi délimitées au niveau de l'écorégion des forêts humides est présenté à la Figure 36, tandis que le tableau 25 montre les principales caractéristiques de chacune de ces éco-zones. Les réflexions suivantes sont à noter plus particulièrement :

- Bien qu'ils pourraient être classés parmi les zones de type I, vu leurs caractéristiques spécifiques (voir Figure 36 ci-dessous), nous avons séparé les bassins versants de Maroantsetra et de l'Anosy en deux éco-zones indépendantes.

Les éco-zones de Maroantsetra et d'Anosy présentent en effet une forte majorité des points de déforestation suivant la règle de répartition spatiale des zones de type I (le long de la lisière du massif forestier ou le long du réseau hydrographique). C'est presque une représentation parfaite de la définition des zones de type I, notamment en Anosy.

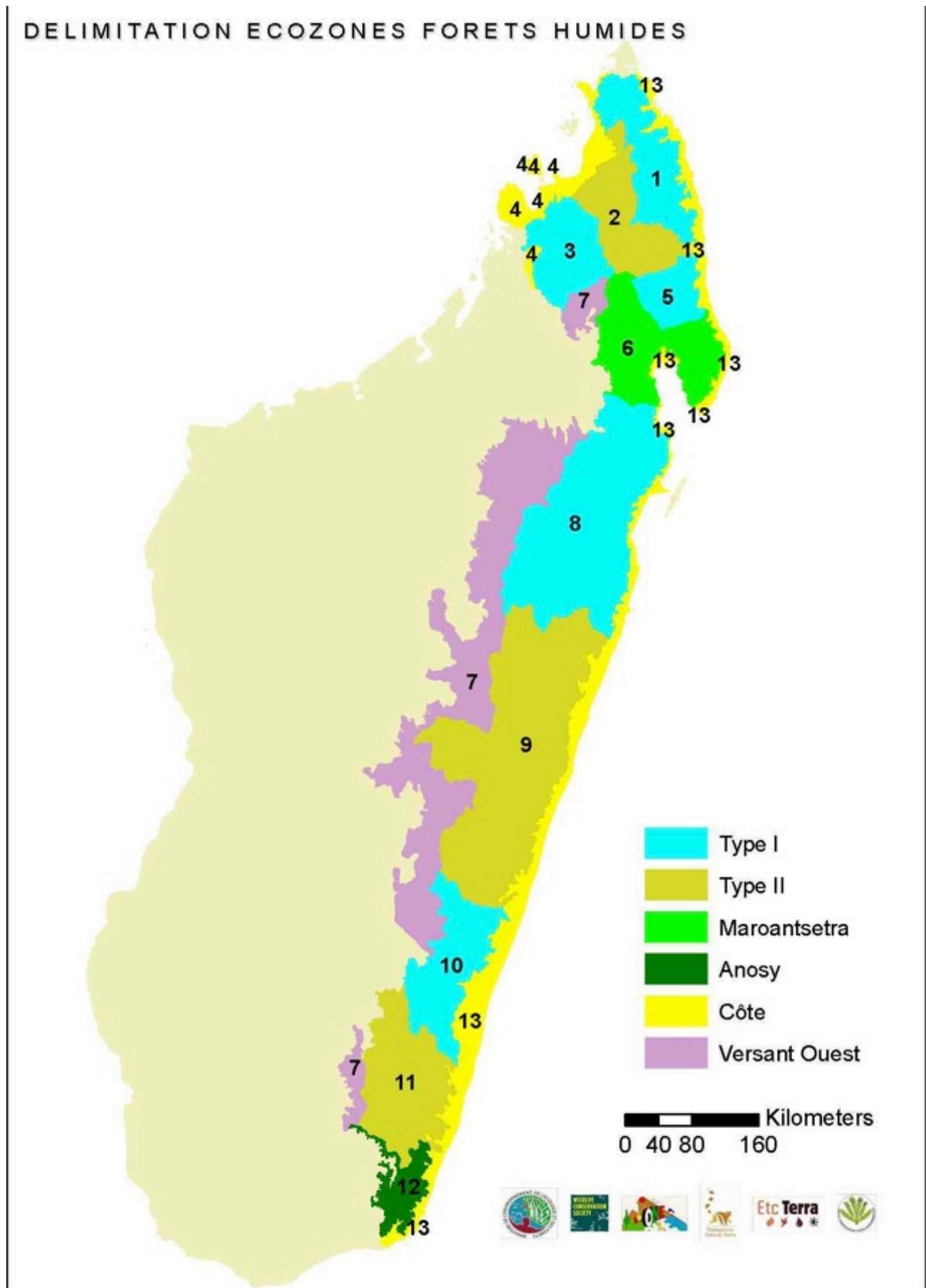
- Sans tenir compte de la délimitation basée sur le bassin versant précédent, la délimitation de l'éco-zone côtière s'est faite en reliant la bande côtière du Nord au Sud de la façade orientale de Madagascar.

En général, sur l'ensemble des bassins versants, on constate une rupture de mode de disparité spatiale au niveau des côtes (cf. figure précédente). Dans la recherche de l'homogénéité précédemment mise en avant, la partie aval (près de la côte) a ainsi été séparée de la partie amont ; cette règle de disparité spatiale semblant largement assez homogène le long de la côte.

Tableau 25 : Tableau statistique des éco-zones délimitées

Identifiant Eco-zone	Type Ecozones	Surface forêt	Surface forêt	Surface forêt	Taux déf.	Taux déf.	Altitude	Altitude	Altitude
		2005 [ha]	2010 [ha]	2013 [ha]	P1 [%]/an	P2 [%]/an	moy. [m]	min [m]	max [m]
1	Type I	127 494	125 198	122 203	0,44	0,68	351	0	1'790
2	Type II	336 936	329 812	321 410	0,55	0,89	760	15	2'825
3	Type I	349 633	346 122	330 750	0,21	1,41	970	20	2'845
4	Zone cotière ouest	35 405	33 827	31 804	1,14	1,97	85	0	1'083
5	Type I	203 165	202 781	202 261	0,05	0,10	494	11	2'074
6	Maroantsetra	886 439	879 071	866 561	0,15	0,52	695	0	2'160
7	Bassin Versant Ouest	145 538	143 688	140 400	0,30	0,72	1'237	266	2'593
8	Type I	898 262	861 535	827 011	0,97	1,41	677	6	1'565
9	Type II	684 971	658 819	635 483	0,93	1,90	769	5	2'497
10	Type I	255 789	254 135	253 605	0,18	0,07	479	14	2'569
11	Type I	336 185	332 522	330 721	0,28	0,14	705	10	2'146
12	Anosy	206 023	201 722	198 517	0,70	0,38	609	6	1'954
13	Zone cotière Est	61 055	59 374	58 200	0,50	0,86	28	0	750
Total		4 526 896	4 428 606	4 318 927	0,52	0,94			

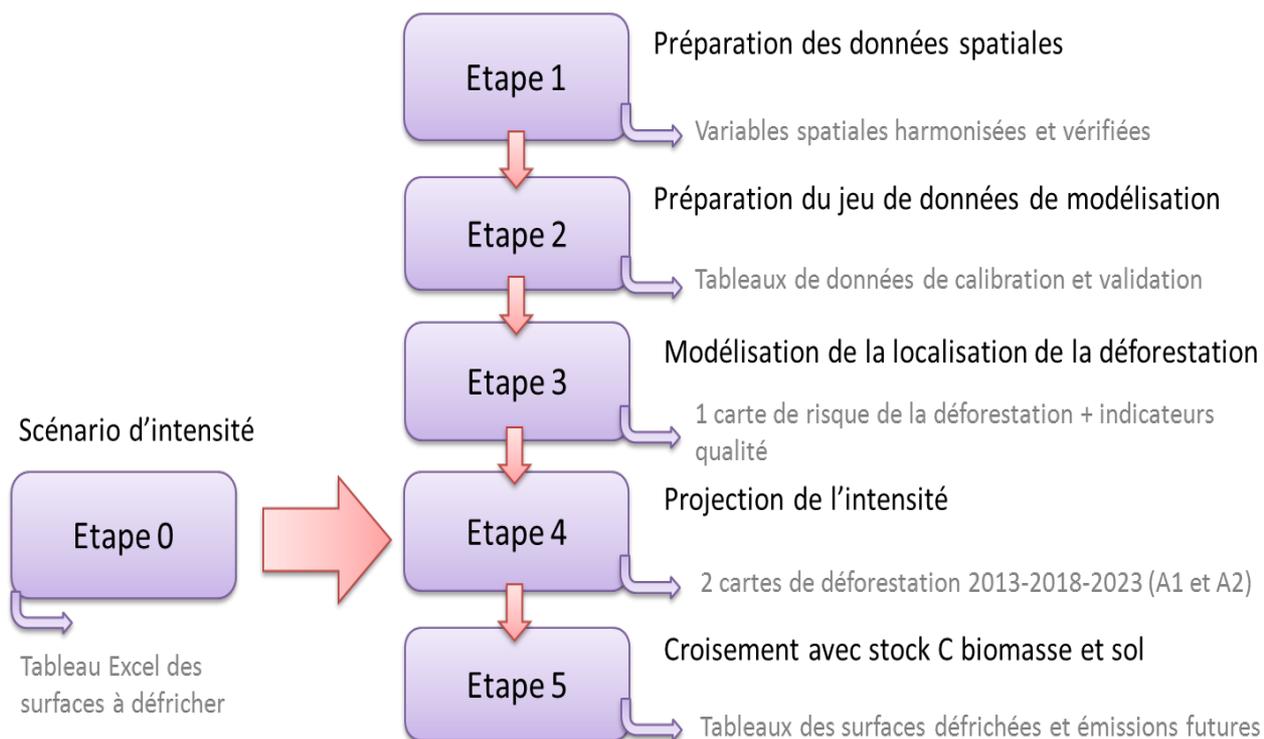
Figure 36 : Carte des 14 éco-zones délimitées dans l'écorégion des forêts humides



5.4 Etablissement des niveaux d'émissions de référence (REL) éco-régionaux

L'objectif est ici d'intégrer l'ensemble des résultats produits précédemment et connaissances acquises au cours de ce projet afin de déterminer les niveaux d'émissions de références (REL) pour l'éco-région et selon les approches précitées. Pour faire cela, une méthodologie ad-hoc a été développée, en procédant à des adaptations de la méthodologie utilisée par Vielledent et al (2013) afin d'intégrer les contraintes et spécifications techniques de cette étude PERR FH (grand volume de données, analyse par éco-zones, etc.). Elle est présentée dans le figure ci-dessous (cf. figure 37).

Figure 37 : Chaîne de traitement pour l'établissement de Niveaux d'émissions de Référence



Cette chaîne de traitement tient compte des éléments du cadre méthodologique (section 5.2) et s'appuie sur les outils logiciels Excel, QGis, GRASS-GIS et, R. Il existe d'autres solutions logicielles avec leur chaîne de traitement et hypothèses sous-jacentes propres, les deux logiciels leader pour l'établissement de niveaux de référence REDD+/AFOLU étant le Land Change Modeler (IDRISI Clarck Labs) et Dinamica EGO (REF). Les documents cadre méthodologiques (VCS ou FCPF) ne recommandent aucun logiciel/chaîne de traitement en particulier. Afin de choisir un outil adapté à l'objectif de ce projet, une analyse comparative a été réalisée (cf. tableau 26 ci-dessous). Certaines observations sont mises à titre indicatif car elles n'ont pas été testées (avec un « ? »).

Le choix s'est donc porté vers la méthodologie ad-hoc, principalement au regard de sa capacité à traiter des larges volumes de données et de pouvoir intégrer les calculs pour les 13 éco-zones et 2 scénarios retenus. Les autres logiciels ayant très peu de possibilités d'adaptation et d'évolution. Par ailleurs une partie de l'équipe technique a été formée à cette chaîne de traitement au cours la formation AT REDD+ de 2013 (Helvetas,-CIRAD, financement AFD). La suite de cette sous section présentera dans l'ordre les 6 étapes mentionnées dans la figure 37.

Tableau 26 : Analyse comparative de trois options logiciel/chaine de traitement pour l'établissement du scénario de référence des émissions

	Land Change Modeler (IDRISI Clarck Lab)	Dinamica Ego (REF)	Méthodologie ad-hoc (modifiée d'après Vielledent et al, 2013)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - « Clés en main » (interface utilisateur et tutoriels existants) - Convivial - Développement dynamique (porté aussi sur ArcGIS) 	<ul style="list-style-type: none"> - « Clés en main » (interface utilisateur et tutoriels existants) - Possibilité d'affecter les points des variables de manière empirique (weight of évidence) - Logiciel gratuit 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'adapter ou faire évoluer facilement la chaine de traitement - Capacité de traitement de large volume de données - Choix des facteurs de manière empirique - Solution gratuite (logiciels open source)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Solution payante - Chaine de traitement rigide avec peu de possibilité d'adaptation/évolution - Possibilité de traiter des grands volume de données ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en main complexe (nombreuses options et paramètres à renseigner) - Système de pondération empirique (weight of évidence) - Possibilité d'adaptation ou évolution ? - Possibilité de traiter de grands volume de données ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'interface utilisateur (ligne de commande) - Pas de tutoriel spécifique actuellement (méthodologie ad-hoc), uniquement sur les outils (R, GRASS)

5.4.1 Etape 0 : Scénario d'intensité de la déforestation

Suite au travail d'analyse de la déforestation historique et aux choix méthodologiques présentés précédemment (cf. section 5.2), deux approches distinctes doivent donc être élaborées et, en premier lieu, traduits en terme de taux et surface forestière (« intensité ») pour chaque année de la période de projection, (cf. figure 32).

- **Approche 1** : Projection de la moyenne historique des surfaces défrichées annuellement pour l'ensemble de la période de référence 2005 – 2013.
- **Approche 2** : Projection linéaire de la tendance historique sur la base de deux points formés par les moyennes des surfaces défrichées annuellement entre 2005 – 2010 et 2010 – 2013 ;

Ces scénarios d'intensité ont été établis pour chacune des 13 éco-zones, en commençant par extraire les statistiques forestières (surface et taux) historiques. Les valeurs historiques sont ensuite traitées dans Excel afin d'établir une régression linéaire (approche 2). A partir de ce modèle linéaire, les valeurs sont prédites pour chaque année dans le futur. Les valeurs de surface forestière et taux de déforestation sont dérivés enfin à partir des surfaces défrichées estimées ou prédites et des valeurs à année-1. Un exemple est présenté dans la figure 38 et tableau 26 pour l'éco-zone 1. L'ensemble des scénarios d'intensité pour chaque éco-zone est présenté en annexe X. Nous avons observé au cours de ce travail que 10 des 13 éco-zones présentent des tendances à l'accroissement de la déforestation et que 3 présentent à l'inverse des tendances à la diminution (éco-zone du sud, 10, 11 et 12).

Figure 38 : Illustration du travail de calcul des deux scénarios d'intensités pour l'écozone 1

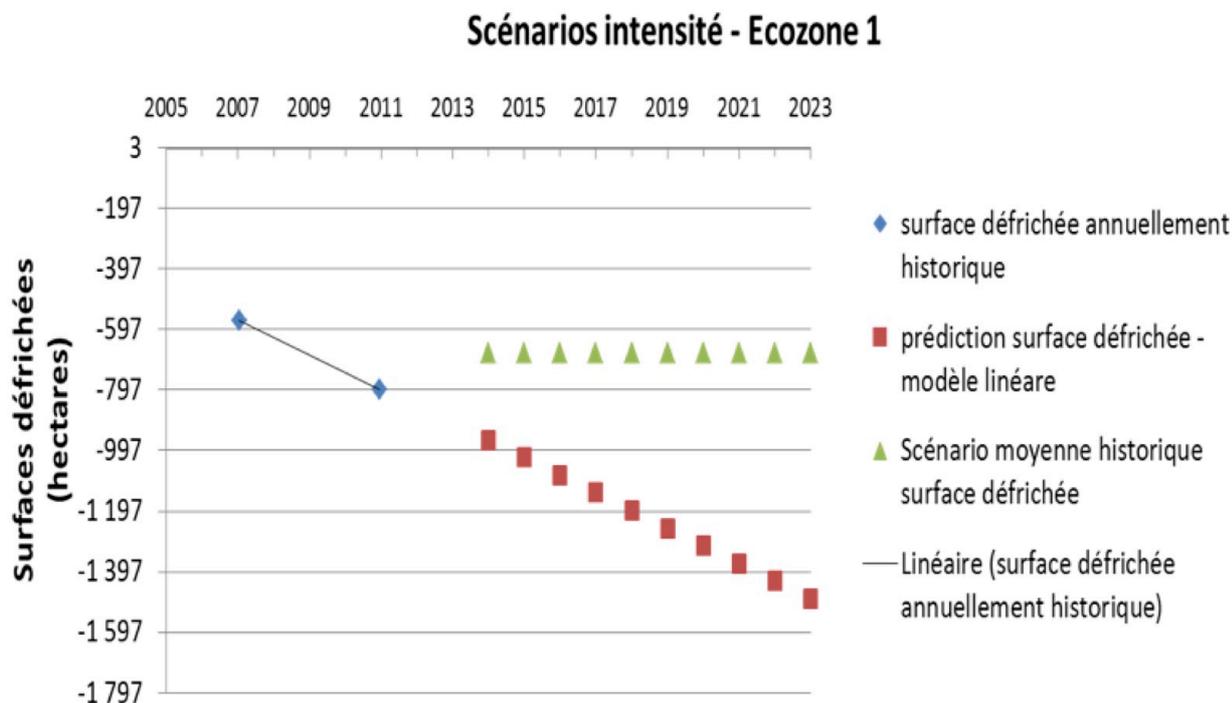


Tableau 26 : Résultats obtenus à l'issue de l'étape 0 pour l'écozone 1. Les cellules en orange foncé correspondent aux valeurs estimées/prédites. Les cellules en rose/rouge correspondent aux valeurs dérivées de ces premières valeurs. Les dates en rouge correspondent à l'année centrale par périodes historiques et par écozone.1.

Ecozone 1

S1 - Moyenne historique - surface défrichée

Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	127 494		
2010	125 198		
2013	122 203		
2013	122 203		-675
2014	121 528	-0,554	-675
2015	120 852	-0,557	-675
2016	120 177	-0,560	-675
2017	119 501	-0,564	-675
2018	118 826	-0,567	-675
2019	118 151	-0,570	-675
2020	117 475	-0,573	-675
2021	116 800	-0,577	-675
2022	116 124	-0,580	-675
2023	115 449	-0,583	-675
2024	114 773	-0,587	-675

S2 - Modèle linéaire - surface défrichée

Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2007,0	127 494	-0,447	-566
2010,9	125 198	-0,640	-794
2013	122 203		
2013	122 203		
2014	121 242	-0,790	-962
2015	120 222	-0,845	-1 020
2016	119 144	-0,901	-1 078
2017	118 007	-0,958	-1 136
2018	116 813	-1,017	-1 195
2019	115 560	-1,078	-1 253
2020	114 249	-1,141	-1 311
2021	112 879	-1,206	-1 369
2022	111 452	-1,273	-1 428
2023	109 966	-1,342	-1 486
2024	108 421	-1,414	-1 544

5.4.2 Etape 1 : Préparation des données spatiales

La modélisation spatialement explicite de la déforestation future se base sur des facteurs de localisation de la déforestation représentés spatialement par des cartes appelées « *factor maps* ». Ce sont des facteurs standards pour ce type de travail et ont été précédemment utilisées à Madagascar (Thomas, 2007, Gorenflo, 2011, Vieilledent et al, 2013). Dans le cadre de cette étude et comme introduit dans la section 5.3.2, 4 types de facteurs ont été retenus (cf. tableau 27 et figure 39) :

- Facteurs paysagers : facteurs décrivant les paramètres biophysiques du paysage ;
- Facteurs d'accessibilité : facteurs décrivant l'accès, c'est-à-dire les distances et la facilité de déplacement entre la ressource (forêt) et les agents (villages), le transport (routes) et l'usage final (marchés) ;
- Facteurs humains : facteurs décrivant les modifications de la ressource (forêt) liées aux activités humaines ;
- Facteurs de gouvernance : facteurs décrivant les statuts fonciers et contraintes d'usage du territoire.

Ces facteurs ont été dérivés à partir de plusieurs sources de données accessibles gratuitement (MNT GDEM) ou provenant de fournisseurs nationaux de données (FTM, INSTAT). D'autres facteurs ont enfin été compilés auprès de différents opérateurs de projet (cas des zones de transfert de gestion, DGF/CIRAD).

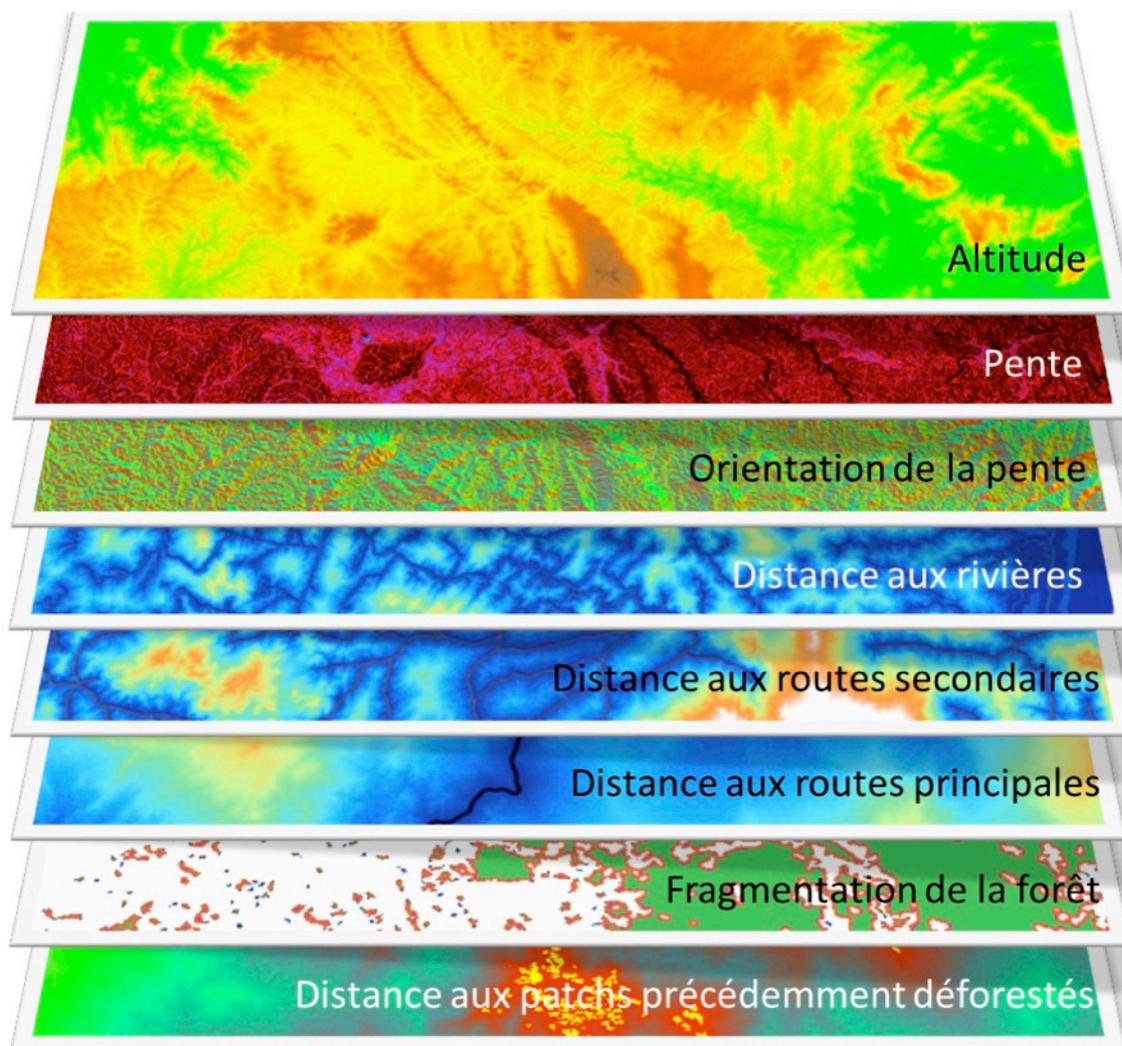
Tableau 27 : Facteurs influençant la localisation de la déforestation utilisés dans le cadre du développement du scénario de référence éco-régional

Type de facteurs	Nom du facteur	Unités	Source des données
Paysage	Altitude	m	MNT GDEM
	Pente	degré	MNT GDEM
	Orientation de la pente	degré	MNT GDEM
Accessibilité	Distance à la lisière forêt 2010 *	m ou s.u.	PERR-FH, 2014
	Distance à la rivière *	m ou s.u.	BD 200, FTM
	Distance aux routes principales *	m ou s.u.	BD 200, FTM
	Distance aux routes secondaires *	m ou s.u.	BD 200, FTM
	Distance aux localités principales *	m ou s.u.	BD 200, FTM
Activités humaines	Indice de fragmentation	indice de 1 à 5	PERR-FH, 2014
	Distance au patch de déforestation précédents (2005-2010) *	m ou s.u.	PERR-FH, 2014
Foncier et gouvernance	Aires Protégées et Nouvelles Aires Protégées	présence / absence	SAPM
	Zone de Transfert de gestion des ressources naturelles	présence / absence	DGF/CIRAD-DP/Lohanivo Alexio Clovis

* Calcul possible à vol d'oiseau ou avec friction/coût, avec unité (m) ou sans unité (s.u.)

Les outils d'analyses utilisées dans la spatialisation sont : QGIS, R, GRASS. Toutes les variables explicatives utilisées ont été converties en format RASTER pour faciliter leur manipulation dans la suite des traitements. La liste des facteurs explicatifs calculés pour expliquer la localisation de la déforestation future est présentée dans le tableau 27 ci-dessus.

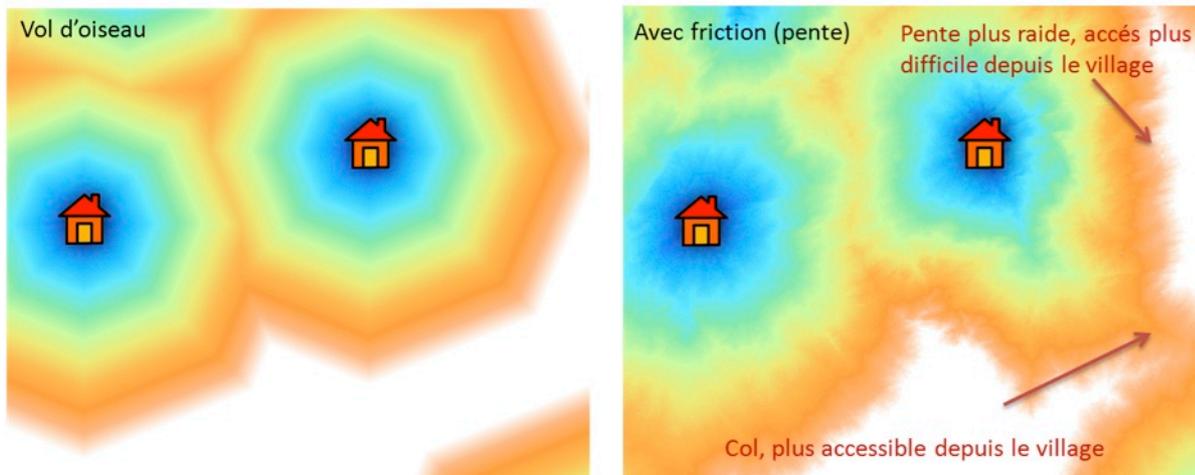
Figure 39 : Illustration des facteurs spatiaux utilisés pour expliquer la localisation de la déforestation. Ces facteurs ont été dérivés pour l'ensemble de l'écorégion



Par ailleurs, deux modes de calculs sont possible par rapport aux facteurs impliquant le calcul de distance : distance à vol d'oiseau ou distance intégrant un facteur de friction/coût. Des tests ont été réalisés afin de connaître le meilleur mode de calcul. La couche de pente a été intégrée comme couche de friction, ce qui signifie que si le trajet pour aller vers le point d'origine (village, route, rivières, etc.) passe par des pentes élevées, le calcul de coût augmentera plus vite que si le trajet passe uniquement sur des pentes faibles. Ces deux modes sont illustrés dans la figure 40. Les résultats du test ont montré (résultats non communiqués) que le modèle était meilleur avec le calcul de distance avec friction. Pour la suite des traitements, l'ensemble de facteurs de distance intègre le coût/friction lié à la pente.

Des études précédentes (Thomas 2007, Gorenflo, 2011, Vielledent et al, 2013) ont montré l'importance des systèmes des aires protégées pour expliquer une diminution de la déforestation. Dans cette étude nous avons intégré les aires protégées du réseau MNP (AP), les Nouvelles Aires Protégées (NAP) et les zones de Transfert de Gestion (TdG). Ces facteurs sont des modalités binaires (présence/absence) et se distinguent des autres facteurs avec des valeurs continues quantitatives. Par ailleurs la fragmentation est également un facteur à modalité qualitative (4 niveaux de fragmentation) et a été présenté par Vielledent et al (2013).

Figure 40 : Illustration des deux modes de calcul des facteurs de distance. Les plages de couleurs identiques correspondent à des valeurs numériques identiques



5.4.3 Etape 2 : Préparation du jeu de données de calibration/validation

Cette étape a consisté en la calibrer un modèle spatial de déforestation sur la base des observations de la déforestation déterminé pour la période historique étudié et des cartes représentant les facteurs de la déforestation. Ce travail à été réalisé à l'échelle de l'écorégion. Les observations de la déforestation ont concernés uniquement la période 2 historique (2010-2013) car certains facteurs nécessitent de connaître l'état de la forêt sur la période précédente. C'est le cas de la distance à la lisière et de la distance au patch précédemment défriché (ici 2005-2010). Aussi pour ce travail, l'algorithme Random Forests (RF) a été utilisé pour ses capacités à gérer des relations non linéaires. En effet la corrélation entre l'occurrence de la déforestation et le facteur de la déforestation suit rarement une relation linéaire. Cet algorithme non linéaire permet de tenir compte de la complexité des relations, s'il elles existent. Ensuite, le choix du nombre, la localisation et le ratio (non défriché/défriché) de points d'observation de la déforestation est important pour calibrer le modèle. Un choix de tirage aléatoire des points et de ratio 50/50 a été fait pour augmenter le nombre d'observation défriché. Pour la suite de la configuration de la modélisation, plusieurs tests ont été réalisés et ont porté sur :

- Quelle est l'intensité d'échantillonnage optimale ?
- Quel est le meilleur paramétrage de l'algorithme?
- Quel est la meilleur combinaison de facteur?

Pour répondre à ces questions, une procédure de validation a été mise en place. Une fois le tirage de points aléatoire réalisés, 70% des points sélectionnés aléatoires ont été utilisés pour construire le modèle et 30% laissés de côté pour construire une matrice de confusion et calculer les indicateurs de qualité du modèle. Quatre indicateurs ont été calculés et utilisés ;

- % variance expliqué par le modèle, donné par l'algorithme RF
- OA : Overall Accuracy, précision globale (REF)
- Kappa : Indice Kappa (REF)
- FOM : Figure of Merit, Chiffre du mérite (REF)

Les tests d'analyses de la qualité des résultats de la modélisation ont permis d'affiner la configuration de la modélisation. D'après la figure 41, on voit que les résultats ne s'améliorent pas significativement plus on augmente le nombre d'échantillons. Un choix de 60'000 points à été fait pour la suite des traitements. Ensuite dans la figure 42 on voit que le paramètre mtry (nombre de variables aléatoirement sélectionnées) n'a pas d'influence sur la qualité du modèle et qu'à partir ntree (nombre d'arbres utilisés dans le modèle) l'erreur est minimale. Enfin, l'effet de chaque variable sur la déforestation à été analysé à partir de graphique (cf. figure 43). Sur ce dernier graphique, on observe l'intensité de la déforestation en fonction de classe du facteur.

Figure 41 : Résultat du test 1 sur le choix du nombre optimal d'observations

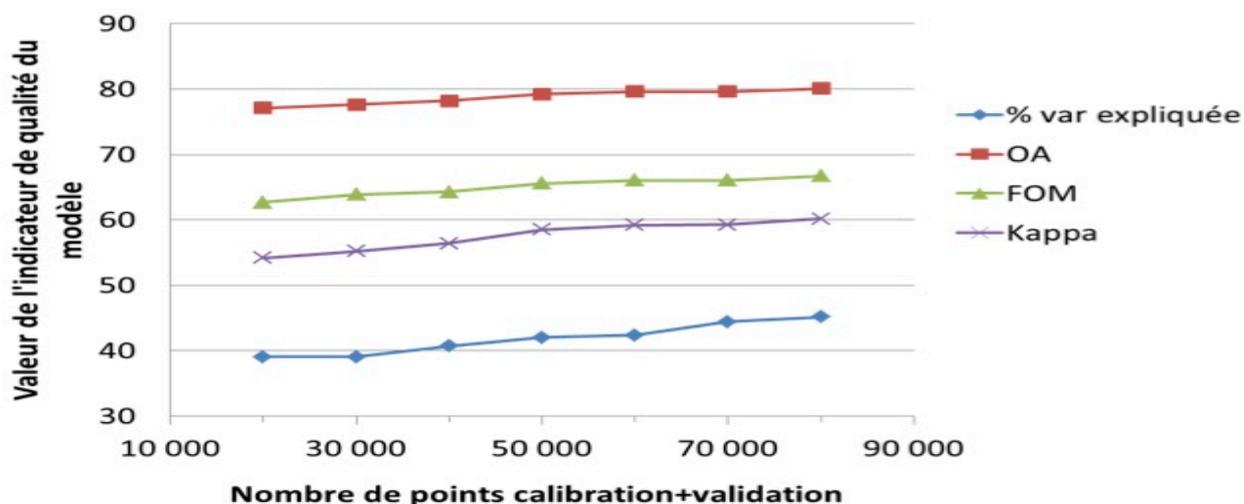


Figure 42 : Résultat du test 2 sur le choix des paramètres optimaux de RF

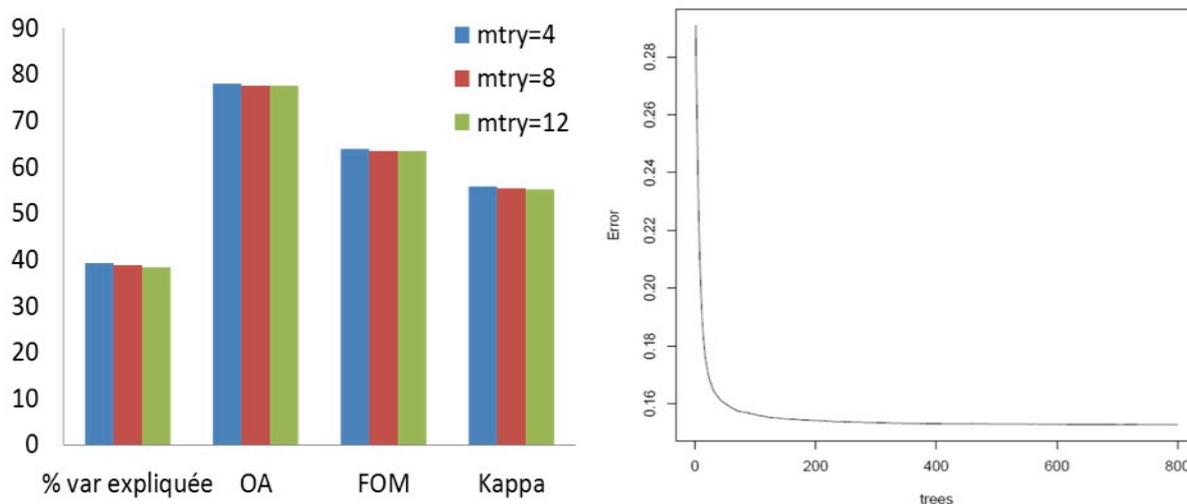
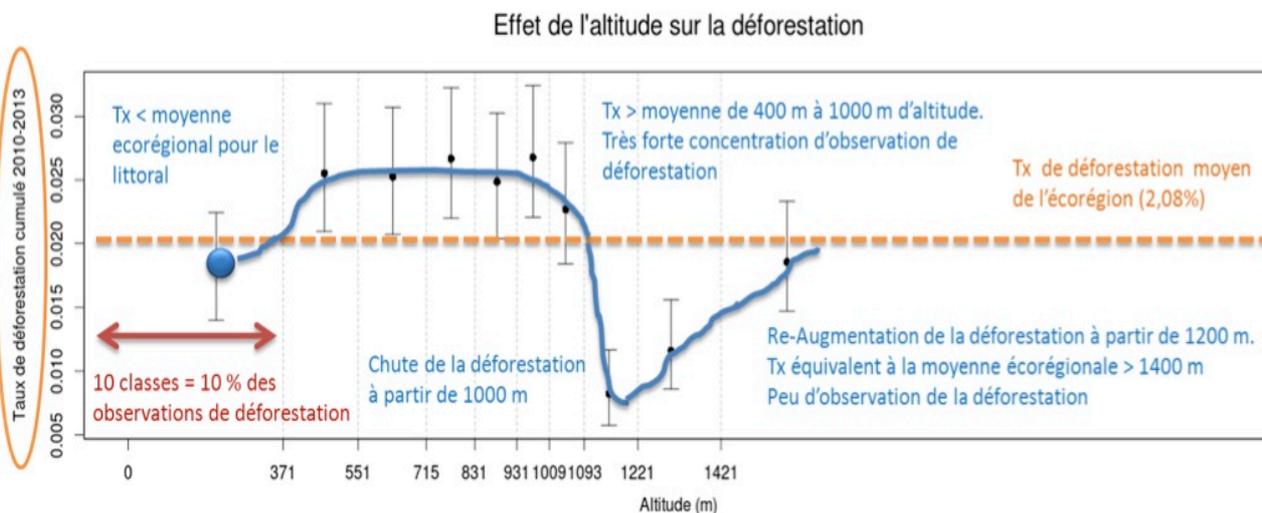


Figure 43 : Illustration de l'analyse au cas par cas de l'effet des facteurs sur l'occurrence de la déforestation



En regardant la courbe et notamment la variabilité (barre d'erreur) on peut déterminer si l'effet est significatif ou pas. On voit par ailleurs que la relation déforestation–facteur n'est pas linéaire. Ce travail a été réalisé pour l'ensemble des facteurs. Ces graphiques ont été interprétés plus en profondeur notamment d'un point de vue quantitatif, par exemple sur les effets des seuils (à partir de quelle distance la déforestation augmente ? diminue ? Le niveau de déforestation est plus élevé pour quelle catégorie de fragmentation ? etc.). Ces résultats graphiques et les interprétations de chaque facteur sont présentés dans l'annexe 5. Au final, un choix de facteurs déterminants à pu être réalisé. Le modèle de location de la déforestation peut s'écrire de la manière suivante :

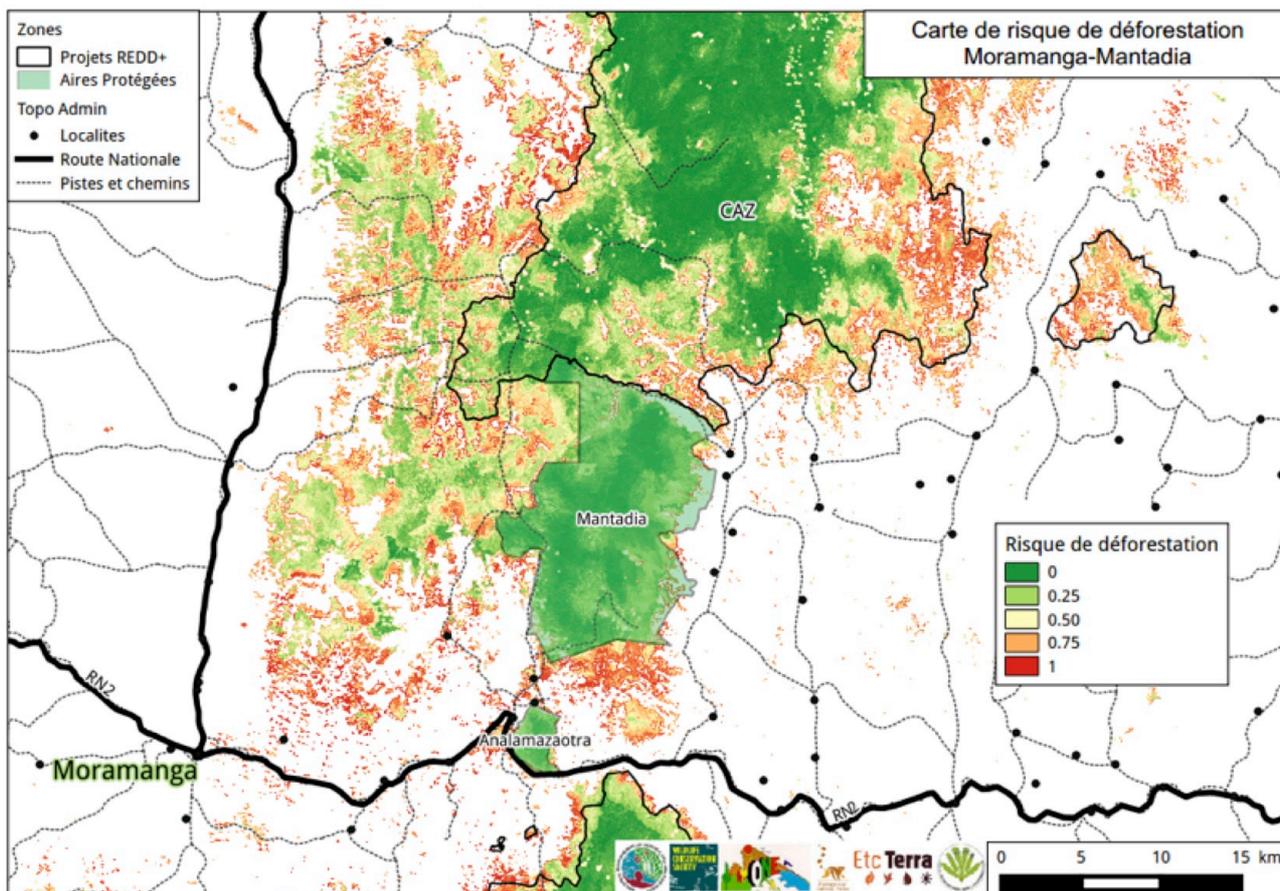
$$\text{Deforestation} = f(\text{Altitude} + \text{Pente} + \text{Dist. Patch précédemment déforestés} + \text{dist Route principales} + \text{dist Route Secondaires} + \text{dist village} + \text{Fragmentation de la forêt} + \text{dist Rivière} + \text{AP/NAP})$$

Ce modèle a donné les paramètres statistiques de qualité suivants :

- OA = 79,2
- FOM = 65,6
- Kappa = 58,4

C'est donc ce modèle qui a par la suite été appliqué sur l'ensemble de l'écorégion des forêts humides. Les facteurs d'explication sont restés constants, à l'exception des facteurs "distance à la déforestation 2010-2013" et "fragmentation de la forêt 2013", qui ont été adaptés annuellement selon la déforestation obtenue au cours de l'année précédente. Ce processus d'application du modèle a abouti à une carte éco-régionale de risque de déforestation, qui attribue à chaque pixel forestier en 2013 une probabilité (entre 0 = probabilité minimum et 1 = probabilité maximum) d'être défriché dans le futur. Un extrait de cette carte de probabilité de déforestation est présenté dans la figure 44.

Figure 44 : Illustration de la carte de risque de déforestation obtenu à l'issu de l'étape 3. Sources : PERR-FH, FTM BD 200, SAPM



5.4.4 Etape 4 : Projection de l'intensité

Cette étape a consisté à croiser les données de risque de déforestation avec les surfaces à défricher établies dans les scénarios d'intensité (étape 0). En effet les deux informations sont complémentaires, l'une apporte une hiérarchie de risque de déforestation pour chaque localisation (pixel), l'autre indique combien de pixels (surface) doivent être « enlevés » de l'étendue forestière initiale. Ce travail a été réalisé par éco-zone.

Pour ce faire, le tableau des surfaces à défricher correspondant à chaque approche et chaque éco-zone a été importé dans le logiciel R-GRASS. Ensuite, la carte de probabilité a été découpée par éco-zone et pour l'étendue de la forêt en 2013. Les valeurs des pixels c.à.d. les probabilités sont ensuite triées par ordre décroissant. Le nombre de pixels correspondant à la période ciblée (2014-2018 ou 2019-2023) est déterminé à partir des surfaces (surface en ha / surface du pixel=0,09 ha). Ce nombre est utilisé comme seuil pour identifier les pixels avec les plus fortes probabilités et sont ensuite identifiés comme étant « défriché ». Le reste des pixels étant classé comme « non-défriché ». Cette étape est répétée pour chaque période, chaque scénario. Au total ce sont 52 cartes intermédiaires qui ont été produites (13 éco-zones, 2 périodes, 2 scénarios) et combinées pour produire les deux cartes de projection de l'intensité (2 scénarios) présentées dans les figures 45 et 46.

Figure 45 : Illustration des résultats cartographiques pour les deux approches retenues. FCC=Forest Cover Change, les chiffres dans les titre de carte indiquent les années 2005, 2010, 2013, 2014, 2018 et 2023.

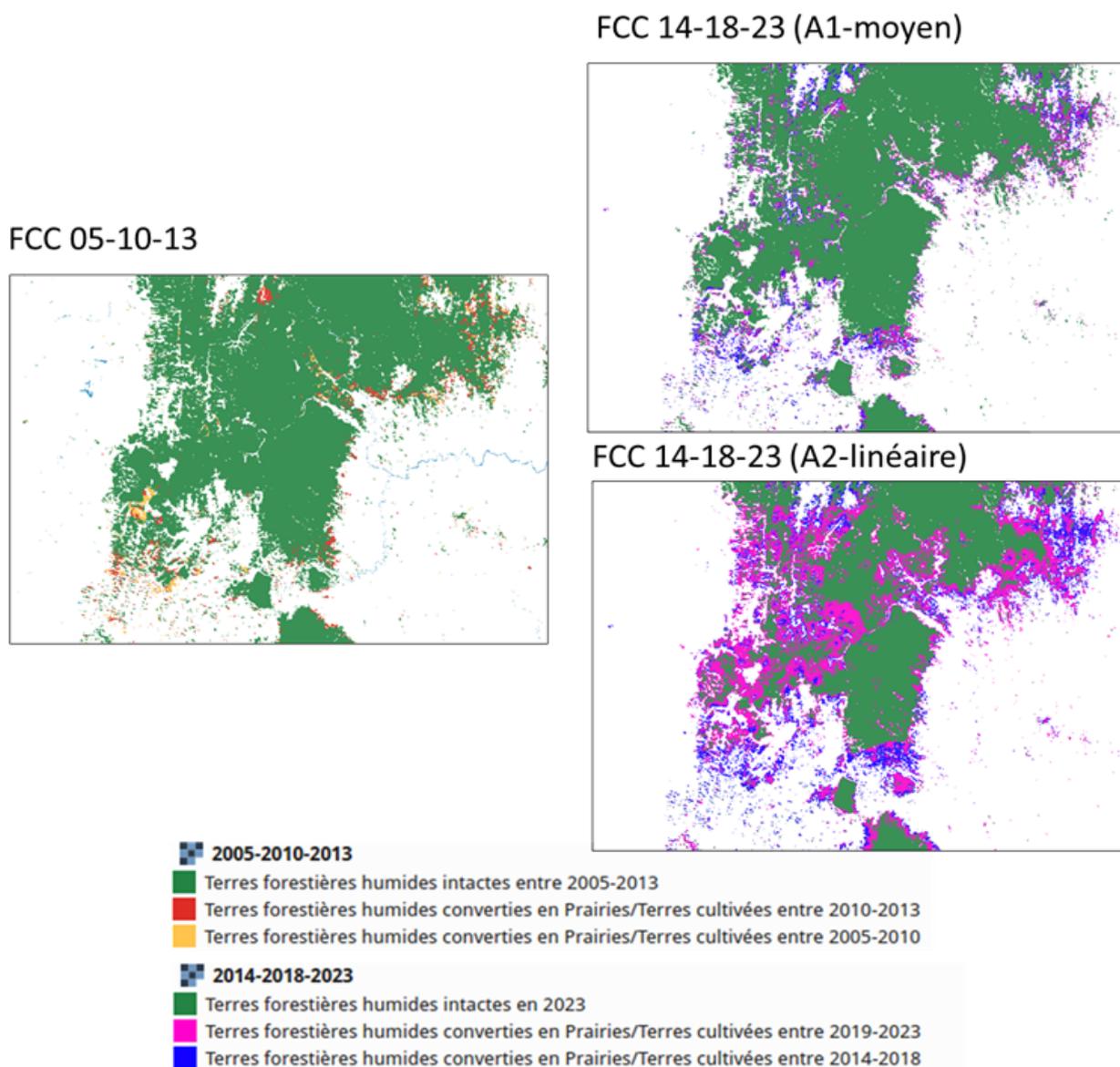
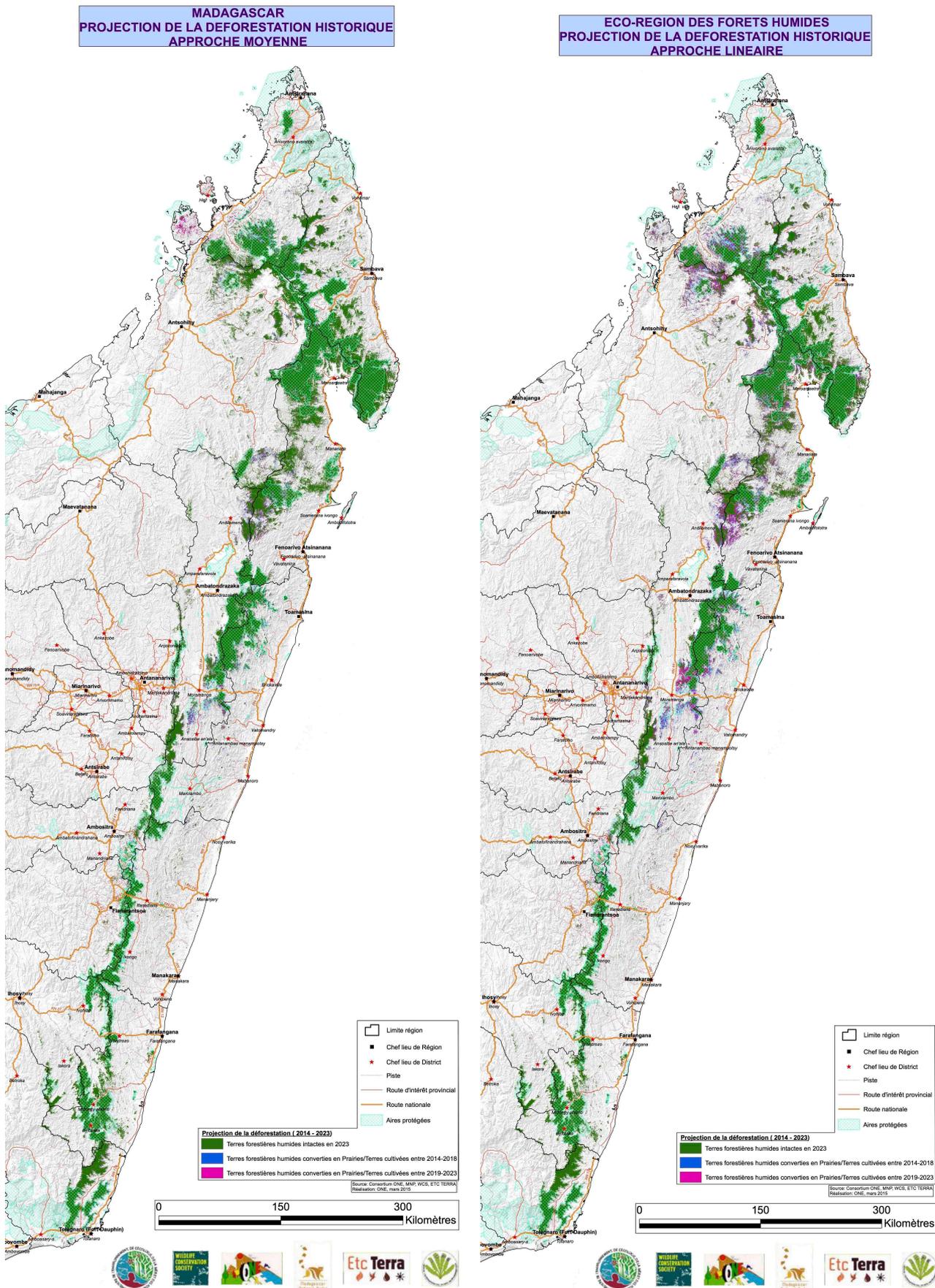


Figure 46 : Projections de la déforestation selon l'approche moyenne (gauche) et l'approche linéaire (droite) pour les périodes 2014 – 2018 et 2019 - 2023



5.4.5 Etape 5 : Croisement avec les stocks C de la biomasse et du sol

La dernière étape consiste à croiser les patches de surfaces défrichés historiques (cf. section 4.3) et futurs (cf. section 5.4.4 ci-dessus) avec les stocks de carbone dans la biomasse (cf. section 3.1.4) et les stocks de carbone du sol (cf. section 3.2.1.3). On extrait ici deux variables principales : la surface de la déforestation future et les stocks cumulés pour chacun des compartiments. Ces valeurs sont ensuite utilisées pour établir un tableau de rapportage détaillé des émissions de CO2 (cf. tableaux 29 et 30).

- **Pour les stocks de carbone de la biomasse aérienne :**

Les stocks de carbone sont convertis en tonnes de CO2-e et tonnes de CO2-e par an directement en appliquant le facteur de masse moléculaire ($CO_2 = (44/12) * C = 3,66 * C$). L'ensemble constitue les émissions vers l'atmosphère. Les stocks de carbone de la biomasse aérienne sont supposés être émis immédiatement lors de la pratique de défriche-brulis.

- **Pour les stocks de carbone du sol :**

Le calcul est le même que pour la biomasse sauf qu'une partie seulement du stock est émis vers l'atmosphère, l'autre reste en place dans le sol. La perte de carbone dépend du temps considéré après la défriche. Cette dynamique a été étudiée en détail dans la section 3.2. Cette section présente les fonctions utilisées pour la modélisation des émissions de carbone du sol après déforestation. Le meilleur modèle à l'échelle de l'écorégion obtenu a été utilisé pour le calcul des émissions à l'échelle de l'écorégion. Il s'exprime de la manière suivante :

$$y = a + b * e^{(-k*t)}$$

Avec :

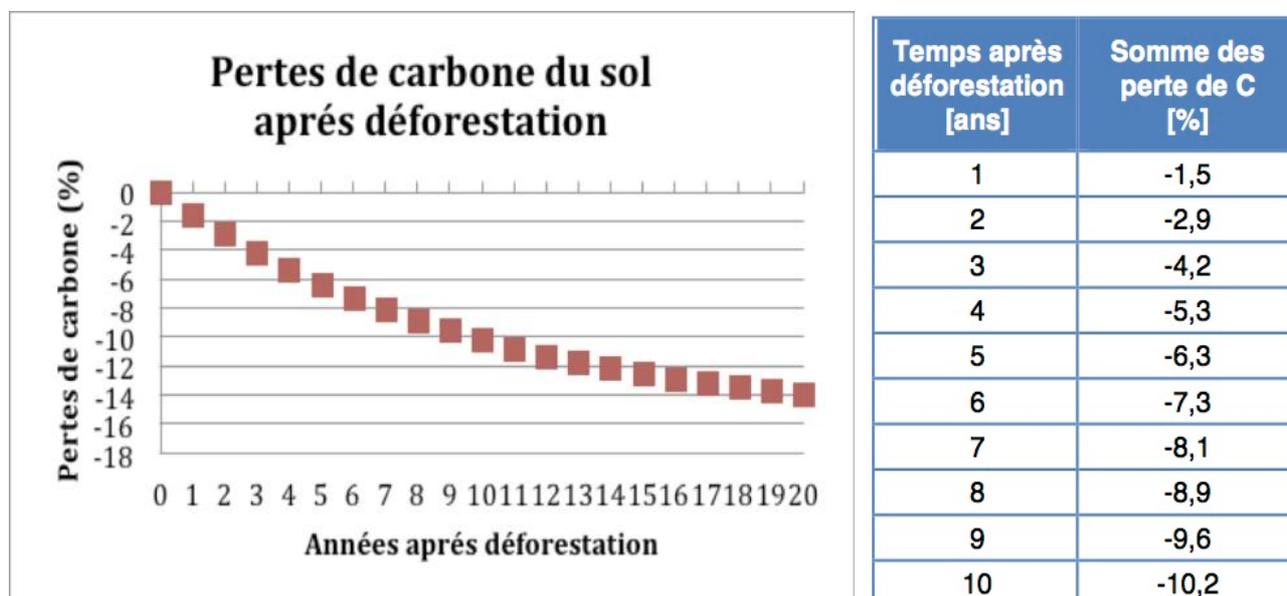
a = 90

b = 16,11

k = 0,1 (RMSE=39,71)

La figure 47 ci-après montre l'évolution des émissions de carbone du sol pendant la période du scénario en pourcentages du stock de carbone du sol initial estimé à partir de ce modèle. Ces valeurs de perte ont été appliquées en fonction de la période (nombre d'année) considérée. Ainsi par exemple sur les périodes futures de 5 ans, une perte de 6,3 % du stock estimées à partir de la carte est appliquée. Ce chiffre correspond donc à une perte potentielle car on sait que les parcelles correspondant à un intervalle de 5 ans n'ont pas été défrichées en même temps la première année.

Figure 47 : Perte estimées de carbone du sol en pourcentage des stocks initiaux de carbone du sol issus de la cartographie éco-régionale des stocks de carbone du sol (cf. section 3.2)



5.5 Résultats

Les tableaux de bords des émissions obtenus sont présentés en détail dans le tableau 29 et résumé dans le tableau 28.

- Le total des émissions pour la période 2014 – 2023 est de 117,1 et 279,3 millions de t CO₂-e pour les approches 1 et 2 respectivement ;
- Les émissions annuelles futures sont de 11,7 millions de t CO₂-e/an (approche 1) et 27,9 millions de t CO₂-e /an (approche 2).

Les émissions annuelles historiques sont de 9,4 millions de t CO₂-e/an. Cette légère différence avec le scénario moyen (approche 1) peut s’expliquer par la représentation spatiale des stocks de carbone de la biomasse et du sol. En effet dans ces deux cas, des données de résolution de 300 m (MODIS) ont été utilisées dans la chaîne de traitement. L’utilisation de données sur la végétation à ces résolutions tend à faire baisser la réponse végétation due à la présence de « mixel », pixel à cheval sur de la forêt et de zone non forêt. Par ailleurs la résolution de ces deux cartes est de 100 m, ce qui est différent de la résolution de la carte de déforestation à 30 m. Au final, beaucoup de pixels de déforestation en bordure de lisière (cas de la déforestation historique) sont localisés sur des zones avec des valeurs de stocks plus faibles comparés aux zones à l’intérieur des massifs (déforestation future).

Tableau 28 : Résumé des chiffres clés concernant les émissions historiques et futures de l’écorégion des forêts humides

Emissions GES			Période historique			Approche 1 - Moyenne surfaces défrichées			Approche 2 - Linéaire surfaces défrichées		
			Période	Unité	Biomasse	Sol	Biomasse+ Sol	Biomasse	Sol	Biomasse+ Sol	Biomasse	Sol	Biomasse+ Sol
Historique	2005-2010	TCOeq	36 571 027	1 893 894	38 464 921						
	2010-2013	TCOeq	41 558 597	1 659 113	43 217 710						
	2005-2013	TCOeq	78 129 624	3 553 008	81 682 632						
	2005-2013	TCOeq/an	8 681 069	801 483	9 482 553						
Période projetée	2014-2018	TCOeq				52 406 913	3 216 261	55 623 174	106 544 909	6 654 583	113 199 493
	2019-2023	TCOeq				53 962 912	3 482 249	57 445 160	147 305 066	9 197 739	156 502 805
	2013-2023	TCOeq				106 369 825	10 755 651	117 125 476	253 849 975	25 453 730	279 303 705
	2014-2023	TCOeq/an				10 636 982	1 075 565	11 712 548	25 384 998	2 545 373	27 930 370

6 Etats de référence socio-économique et de la biodiversité

Dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD+ au niveau éco-régional, une importance de plus en plus grande revient aux sauvegardes environnementales et socio-économiques. Le principal rôle de ces sauvegardes est d'analyser périodiquement les impacts des mesures de réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts sur l'environnement et le milieu socio-économique et de proposer des solutions en cas d'impacts négatifs.

Tout système de suivi part obligatoirement de l'état initial pour détecter d'éventuels changements dans le temps dans le sens positif ou négatif. Par conséquent, le présent chapitre présente les analyses conduites par le consortium par rapport aux deux aspects suivants :

- Un état de référence socio-économique au niveau de l'écorégion des forêts humides servant de point de départ au suivi socio-économique (cf. rapport livrable 4 du PERR-FH) ;
- Un scénario de référence pour la biodiversité analysant les impacts potentiels de la déforestation sur la biodiversité de l'écorégion des forêts humides afin de proposer des mesures de mitigation des impacts négatifs et de renforcement des impacts positifs.

6.1 Etat de référence socio-économique

Le rôle principal de l'état de référence socio-économique est de développer le point de départ pour le système de suivi socio-économique proposé par le consortium dans le cadre du rapport livrable 4 (systèmes éco-régionaux de suivi). A cet effet, le consortium WCS-ONE-MNP-ETC a recruté le bureau d'études Biodev pour réaliser les activités de collecte de données sur terrain, constituer la base de données socio-économiques et de développer l'état de référence socio-économique pour l'écorégion des forêts humides.

6.1.1 Méthodologies

Les méthodologies appliquées dans le cadre du développement de l'état de référence socio-économique se sont basées sur le rapport sur les systèmes de suivi hors carbone proposées par le bureau d'études Oréade-Brèche dans leur rapport fourni à l'UCPE. Deux approches différentes ont été utilisées pour l'établissement de la situation référentielle :

- La première approche a consisté à retranscrire les données quantitatives fournies par l'enquête nationale sur le suivi des Objectifs du Millénaire pour le Développement à Madagascar (désigné dans ce rapport par ENS_OMD_2012)
- La réalisation des enquêtes-ménages afin de disposer des indicateurs socioéconomiques retenus pour l'étude (que nous allons baptiser le PERR-FH_2014) constitue la deuxième approche.

6.1.1.1 Re-calcul des valeurs des indicateurs fournis par l'ENS_OMD_2012

Les termes de référence ont stipulé l'importance de la capitalisation des données existantes au niveau de l'écorégion des forêts humides. L'analyse des indicateurs socioéconomiques proposés par Oréade Brèche et FRM (en mai 2014 et qui sont relatifs à la méthodologie d'évaluation des impacts des efforts du projet de vente de crédits carbone aux populations riveraines aux forêts humides de l'Est de Madagascar) a permis d'inférer une grande analogie entre les indicateurs statistiques de l'ENS_OMD_2012 et ceux à obtenir par la présente étude (voir rapport de démarrage de octobre 2014).

En second lieu, l'ENS_OMD réalisée par l'INSTAT en 2012 a une couverture nationale et est reconnue fiable. Les valeurs fournies par l'ENS_OMD (pour l'année 2012) servent ainsi de point de référence et sont utilisées comme base de comparaison aux valeurs recueillies par l'enquête-ménage de notre enquête. Faut-il préciser que les enquêtes périodiques auprès des ménages (EPM) menées régulièrement par l'INSTAT (tous les deux ou trois ans en fonction des ressources financières disponibles) reprennent quasiment les mêmes thèmes et les mêmes données que l'ENS_OMD.

Cette étude n'extrait pas de façon exhaustive les indicateurs de l'ENS_OMD-2012. On a surtout travaillé sur les données issues des trois premiers tomes (le grand rapport compte au total huit volumes, dont le Tome 0 sur les caractéristiques sociodémographiques de la population ; le Tome 1 : Réduire

l'extrême pauvreté et la faim, et le Tome 2 : Assurer l'éducation primaire pour tous). On signale que les valeurs officielles de l'ENS_OMD 2012 ont été recalculées pour les rendre, de manière plus certaine, représentatives des zones de l'écorégion. Pour ce faire, on a procédé à deux opérations mathématiques : premièrement, il est évident que l'on ne considère que les valeurs correspondantes aux 15 régions touchées par les forêts humides de l'Est. Après, il a fallu décompter les valeurs correspondantes aux enquêtes dans les zones urbaines. Concrètement, la valeur «représentative de l'écorégion Est » de chaque indicateur de l'ENS_OMD est obtenue par la formule suivante :

$$\frac{\sum \text{Population rurale de la Région } i}{\sum \text{Population rurale de toutes les Régions de l'écorégion}} \times \text{Valeur de l'indicateur en milieu rural dans la Région } i$$

L'utilisation de cette formule qui n'est autre que la moyenne pondérée des indicateurs en milieu rural dans les Régions de l'écorégion, va permettre de faciliter le calcul des indicateurs dans le cadre de toute actualisation future (évaluation des impacts du projet de vente de crédits carbone mi-parcours et finale). Il y a en outre lieu de noter que certains indicateurs non disponibles par Région dans le rapport ENSOMD ont été calculés à partir de la base de données disponible au sein de l'INSTAT.

6.1.1.2 Méthodologie de l'enquête ménage

En ce qui concerne l'enquête ménage conduite dans le cadre de l'établissement de l'état de référence socio-économique, trois éléments méthodologiques doivent être distincts :

- **Plan de sondage :**

Dans la présente enquête, le principal objectif est de contribuer au développement d'un scénario de référence des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) au niveau de l'écorégion des forêts humides pour la période 2015-2024. Par conséquent, les données recueillies sont représentatives de cette écorégion et par population cible. Les paramètres suivants constituent le plan de sondage :

- **Population et unité statistique :** La population cible de l'enquête est l'ensemble des ménages et individus vivant dans les zones situées à proximité des zones forestières. L'unité statistique est le ménage vivant dans l'écorégion des forêts humides (FH) de l'Est. Le premier critère de choix des sites d'enquête a été sa proximité par rapport à la forêt. Autrement dit, on a priorisé le Fokotany le moins éloigné de la forêt (sur la base d'hypothèse que l'économie de cette localité serait fortement dépendante de l'utilisation des ressources forestières et naturelles). Dans un second temps, le facteur accessibilité du site a aussi pesé compte tenu de l'impératif de réaliser l'enquête dans un très court délai (moins de 20 jours).
- **Champ d'enquête:** La mission est axée principalement sur l'enquête socioéconomique dans les zones des forêts humides de l'Est de Madagascar. Ces dernières d'une superficie approximative de 4,2 millions Ha, touchent 15 Régions, 723 Communes et plus exactement 7'966 Fokontany. Ces Fokontany se situent dans un rayon de 5km à vol d'oiseau des lisières naturelles de la forêt (à partir de la base de données de l'INSTAT en 2010 et BD FTM en 2006).
- **Base de sondage :** La base de sondage utilisée pour cette enquête est issue de la base de sondage de l'INSTAT, plus précisément, celle établie dans le cadre de la cartographie préparatoire du troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 3). Pour pouvoir capitaliser les données existantes au sein de l'INSTAT (ENSOMD), la technique d'échantillonnage dans le cadre de cette enquête ménage adoptée a été similaire et comparable à l'enquête OMD.
- **Echantillonnage :** La méthodologie adoptée est celle de sondage aréolaire, stratifié à deux degrés. Le premier degré concernait le tirage des communes et celui de deuxième s'agissait du tirage des ménages enquêtés.

Au premier degré, c'est-à-dire le tirage des communes, elles ont été tirées à partir de la liste obtenue des zones de dénombrement (ZD) dans les zones situées à proximité des forêts (cf.

figure 48 et tableau 30). Pour ce premier degré, les villages/Hameau/quartier constituent les Unités Primaires de Sondage (UPS) et ont été choisis proportionnellement à leur taille, la taille étant le nombre de ménages du village/Hameau (plus précisément, sondage à probabilité inégale). Les villages sélectionnés ont fait l’objet de dénombrement.

Au deuxième degré, l’unité statistique adoptée est le chef de ménage ou un responsable du ménage, et la population statistique c’est l’ensemble des ménages enquêtés se trouvant dans les zones situées à proximité des zones forestières suivant la technique d’échantillonnage mentionnée ci-dessus. Dans ce deuxième degré de tirage, les ménages à interviewer ont été sélectionnés systématiquement, avec une probabilité égale, à l’intérieur du village (Hameau/quartier) faisant partie de l’échantillon. A noter que la technique de tirage systématique présente un avantage d’assurer une bonne répartition spatiale de l’échantillon car, elle a balayé toutes les parties de la base de sondage par saut à intervalle fixe. Le tirage des ménages à enquêter se fait aléatoirement sur la base d’un minimum de 32 ménages à enquêter par village. Ensuite les pas de tirage dans chaque cas ont été déterminés à partir de nombre précis de toits à tirer dans chaque village. Chaque pas a été proportionnel à la taille de chaque village. Notons que la taille de l’échantillon de 32 ménages par Fokontany a été déterminée en utilisant les formules présentées en détail dans le rapport fourni par Biodev. Cette taille de l’échantillon de 32 ménages par Fokontany a été déterminée en utilisant la formule ci-après.

$$\frac{2}{\bar{Y}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \leq e \text{ soit } n \geq \frac{4(CV)^2}{e^2}$$

Dans le cadre de cette étude, nous avons eu CV (Coefficient de variation du revenu dans l’Ecorégion) =19,75%, et e= erreur attendu=7%, donc nous avons n = 32.

- **Taille de l’échantillon et représentativité :** On a affecté une vingtaine d’agents enquêteurs sur le terrain pour une quinzaine de jours en moyenne (du 10 novembre au 22 novembre 2014, y compris les temps des déplacements). Au final, l’enquête a récolté des réponses auprès de 1’216 ménages. Les données de l’enquête sont représentatives de l’ecorégion des forêts humides de l’Est.

Figure 48 : Localisation des sites d’enquête socio-économique

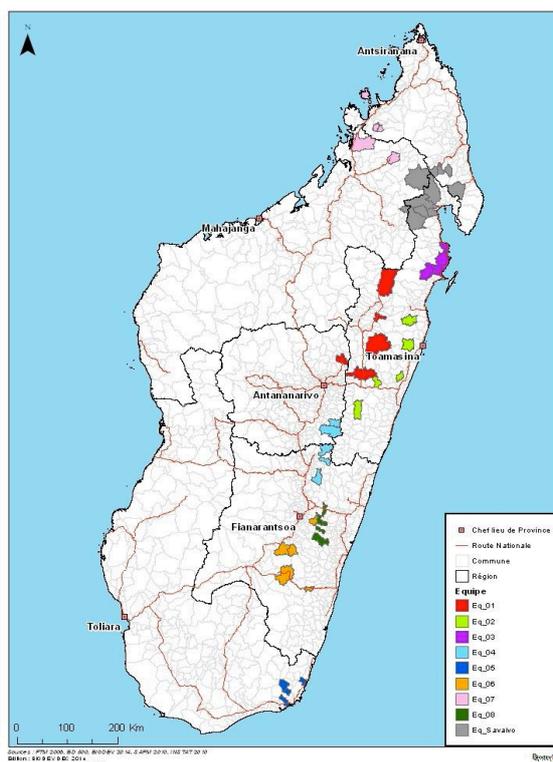


Tableau 30 : Répartition des ménages enquêtés au niveau de l'écorégion des forêts humides

Région	Commune	Fokontany	Nb. Ménages
Alaoatra Mangoro	Ambatosoratra	Ambatomasina	32
	Ambatovola	Fanovana	32
	Ampasimpotsy	Ambohibato	32
	Andilamena	Antsiradava	32
	Anosibe An'Ala	Faravohitra	32
	Didy	Sahafasenina	32
	Morarano	Sakalava	32
	Total Alaoatra Mangoro		224
Amaron'i Mania	Ambohimombo I	Ambohimanjaka	32
	Ankarinoro	Ampangabe	32
	Miarinavaratra	Iavomanitra	32
	Total Amoron'i Mania		96
Analamanga	Anjozorobe	Antsahabe Atsinanana	32
	Total Analamanga		32
Analanjirofo	Ambahoabe	Antanambao I	32
	Antanambe	Tsaratanana	32
	Imorona	Ambodivondrozona	32
	Manompana	Manompana	32
	Miarinarivo	Ambodiampaly	32
	Total Analanjirofo		160
Anosy	Enaniliha	Emanindry	32
	Iaboakoho	Antsotso	32
	Isaka Ivondro	Ivondro	32
	Manambaro	Malio	32
	Total Anosy		128
Atsimo Atsinanana	Vondrozo	Antevongo	32
	Total Atsimo Atsinanana		32
Atsinanana	Ambodilazana	Ambodinonoka	32
	Anivorano Est	Tanambao Sahaniveno	32
	Total Atsinanana		64
Diana	Ambohimarina	Ambohimarina	32
	Marovato	Marovato Ouest	32
	Nosy Be	Ambanoro	32
	Total Diana		96
Haute Matsiatra	Alatsinainy Ialamarina	Anjamave	32
	Sendrisoa	Namoly Est	32
	Vohitsaoka	Morarano	32
	Total Haute Matsiatra		96
Ihorombe	Ivohibe	Ivohibe Nord	32
	Total Ihorombe		32
Sofia	Bealanana	Antambato	32
	Maromandia	Antanandava I	32
	Total Sofia		64
Vakinankaratra	Ambohitompoina	Antamiana	32
	Tsinjoarivo	Antsapandrano Lovasoa	32
	Total Vakinankaratra		64
Vatovavy Fitovinany	Ikongo	Antsatrana	32
	Kelilalina	Ambodivoahangy	32
	Maromiandra	Anaviavy	32
	Tolongoina	Iladitra	32
	Total Vatovavy Fitovinany		128
Total Général			1'216

- **Fiche d'enquête ménage :**

Cet outil a été conçu pour obtenir des données et informations sur les cibles d'enquête. Il s'agissait premièrement de choisir les rubriques à retenir dans le feuillet du questionnaire. Chaque thème a été décliné en variables disposées en colonnes et auxquelles on a donné des numéros en ordre croissant. Les lignes correspondent aux réponses attendues pour chaque variable. En effet, un questionnaire a été établi, comportant toutes les informations nécessaires pour l'étude. Chaque variable a été codifiée pour faciliter l'enquête et la saisie des informations dans la base de données. Afin de mener à bien les activités sur le terrain, deux types de questionnaires ont été utilisés: fiche d'enquête ménage et questionnaire acteurs.

Cet outil regroupe les informations collectées exclusivement au niveau des ménages. Ce sont des données caractérisant principalement leurs conditions socio-économiques. Le questionnaire comporte plusieurs thèmes, dont :

- Santé
- Education
- Activités économiques
- Eau potable
- Finance et épargne
- Habitation
- Biens
- Etc.

Le questionnaire porte sur quatre catégories d'informations, structurées dans une logique permettant d'éviter les biais et les inexactitudes. Il s'agit :

- Des renseignements généraux sur le répondant et le ménage ;
- Des conditions de vie du ménage et les biens en sa possession (actifs de production et biens de commodité), les sources de revenus et les activités exercées par chaque membre de la famille (adultes et enfants), les modes de consommation, les pratiques agricoles étant donné la prédominance de l'économie agricole dans toutes les zones. Ces questions sont regroupées dans la catégorie de « capital financier » ;
- Des sujets concernant la situation sanitaire et d'éducation du ménage, lesquels sont classés dans la dimension de « capital humain » ;
- Enfin, du capital social qui s'interroge sur la vie associative, non limitative à celle des COBA, mais qui s'intéresse en outre à toutes autres formes d'associations ou organisations sociales au sein des communautés.

En conclusion, 86 questions ont été posées par ménage (auprès du chef de ménage ou de son conjoint en l'absence de celui-ci) ayant permis d'obtenir des valeurs des indicateurs de l'état référentiel. L'enregistrement et le traitement de ces données ont été effectués sous logiciel SPSS, dont la base de données sur les 1'216 enquêtés constitue un élément à part. On peut très bien envisager la construction d'un panel à partir de ces 1'216 ménages pour un meilleur suivi de l'évolution des impacts du projet de vente de crédits carbone.

- **Questionnaire acteurs :**

Etant donné l'ampleur et la diversification des données à collecter, une fiche d'enquête acteurs vient s'ajouter à celle du ménage. Les acteurs regroupent les autorités locales (Maire, Président du Fokontany, etc.), le COBA, le gestionnaire des Aires protégées, etc. Ainsi, le questionnaire s'oriente davantage sur les infrastructures communautaires.

6.1.1.3 Insertion des résultats de l'analyse des impacts du projet REDD Makira

A titre de rappel, Madagascar a débuté la vente de crédits carbone, à travers le projet Makira en 2002. Après plusieurs années de mise en œuvre de projets de développement au bénéfice des habitants, une évaluation d'impacts sur le milieu socioéconomique a été conduite en octobre 2014. Cette évaluation a donné des valeurs chiffrées de plusieurs indicateurs, dont certains sont équivalents aux indicateurs

retenus de la présente étude. Il a été convenu auprès de l'ONG WCS, d'intégrer dans la base de référence de l'enquête ménage (par Biodev), les données obtenues de cette étude d'impacts (par Savaivo), seulement pour les indicateurs communs auxquels on a utilisé exactement la même formule. Aussi en ressort-il des indicateurs ci-après :

- Le taux d'accès au microcrédit ;
- Le niveau d'instruction du chef de ménage ;
- Les indicateurs sur la sécurité alimentaire ;
- Ceux relatifs aux caractéristiques de logement.

6.1.2 Résultats des enquêtes socio-économiques

Le rapport d'Oréade Brèche en 2014³ fait mention de capital, ou plus exactement de quatre catégories de capital, au sein desquelles est répartie une batterie d'indicateurs de suivi d'impacts socioéconomiques à la suite de vente de crédits carbone. Mais la classification de CCBA comprenant 5 catégories de capital sera considérée pour la présente étude. On cite le capital financier, le capital social, le capital humain, le capital physique et le capital naturel. Une analyse de tous les indicateurs reliés à chaque catégorie de capital nous permet de caractériser les cinq types de capital :

- **Capital financier :**
Le capital financier fait référence à l'ensemble des ressources financières et productives, de biens et d'actifs que dispose un ménage pour subvenir à ses consommations propres. Exemple : source de revenu, revenu, épargne, crédit, commercialisation des produits, utilisation du revenu, biens.
- **Capital social :**
Ce type de capital correspond à une ressource sociale provenant des relations culturelles et sociales avec d'autres individus capables d'influencer positivement la situation économique ou sociale d'un individu. Exemple : vie associative, sécurité foncière, sécurité rurale, mécanisme de participation de la population dans la prise de décision collective, droit d'accès aux ressources naturelles
- **Capital humain :**
Le capital humain, qui est immatériel, se définit comme un ensemble de compétences, de connaissances et de qualifications personnelles ou d'autres qualités d'un individu contribuant à son bien-être social, économique et personnel et de son foyer. Concrètement, ce capital prend en compte l'éducation, le savoir-faire, les connaissances et la santé (y compris l'accès à l'eau potable et à l'assainissement et la sécurité alimentaire)
- **Capital physique :**
Cette catégorie fournit les données sur les infrastructures de développement telles que les écoles, les centres de santé, les routes et les pistes.
- **Capital naturel :**
Ce capital caractérise les ressources naturelles utilisées par la population locale. Ce capital comprend la disponibilité des produits forestiers (ligneux et non ligneux), la disponibilité des ressources en eau, les caractéristiques des terres arables (surface d'exploitation agricole, problèmes liés à l'agriculture, production et rendement).

Pour plus de clarté, ce même ordre sera respecté pour la structure de base du référentiel socioéconomique.

³ Rapport traitant l'analyse et la comparaison des méthodologies d'évaluation des impacts des efforts de projet REDD aux communautés riveraines partenaires et à la biodiversité appliquées par les projets pilotes à Madagascar par rapport aux standards internationaux

6.1.2.1 Capital financier

L'analyse du capital financier du ménage prend en compte trois sous-dimensions, à savoir : i) la sous-dimension 1 qui traite les activités économiques du ménage, les pratiques culturelles et d'élevage et la participation des enfants aux AGR ; ii) la sous-dimension 2 qui aborde les biens possédés par le ménage, lesquels englobent les moyens de communication et de télécommunication, les moyens de transport et de déplacement, ainsi que les actifs de production ; et iii) la sous-dimension 3 qui concerne les conditions de vie du ménage sont développées dans ce troisième point, et concernent les caractéristiques de l'habitation, la typologie des sources d'énergie utilisées, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement.

- **Activités économiques génératrices de revenus :**

Cette section analyse les activités économiques du ménage, les pratiques culturelles et d'élevage et la participation des enfants aux AGR dans l'écorégion des forêts humides.

- **Activités économiques :** L'emploi joue un rôle important dans la création de richesses et la répartition de revenus. C'est ainsi que cette question sur l'emploi, ou aussi sur l'activité génératrice de revenus doit être ressortie de manière systématique sur les enquêtes ménages. Pour 2012, le taux d'activité est de l'ordre de 62,6% dont 85% dans le secteur primaire. Les revenus salariaux moyens annuels des ménages agricoles sont de l'ordre de 981.800 Ariary, soit environ 1,20 USD par jour. Cette enquête 2014 a considéré uniquement les proportions des ménages agriculteurs et éleveurs comme référence, soient respectivement 92% et 74%. Ces grandes valeurs s'expliquent par le fait que les études ont été menées uniquement dans les fokontany situés à la lisière des forêts où les autres types d'activités se font rares (cf. tableau 31).

Tableau 31 : Référentiel des indicateurs relatifs aux activités économiques

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
01	Taux d'activité (%)	62,6	ND
02	Taux d'activité dans le secteur primaire (%)	84,4	ND
03	Taux de ménages agricoles (%)	85,9	92,7
04	Taux de ménages éleveurs (%)	67,5	74,41
05	Revenus salariaux moyens annuels (Ar)	1.658.400	ND
06	Revenus salariaux moyens annuels des ménages agricoles (Ar)	981.800	ND

- **Travail des enfants :** En comparant le taux d'incidence de travail des enfants de l'écorégion par rapport à la moyenne en Afrique subsaharienne (qui est la plus élevée au monde en 2006), ce taux (24,3%) est légèrement en deçà de cette moyenne subsaharienne (26,4%). L'écart du taux d'incidence selon le genre est quasi-insignifiant. La moyenne nationale est de 25%. Les tâches dans les champs restent la principale forme de travail. Généralement, la pauvreté incite les parents à faire travailler leurs enfants, pour justement compléter les revenus du ménage. Une des mesures dites incitatives est l'école (selon l'OIT). Mais la construction d'écoles (primaire et secondaire de premier cycle) ne saurait pas suffire pour véritablement faire baisser ce taux d'incidence en milieu rural. Pour que l'éducation devienne une alternative efficace contre le travail des enfants, il est recommandé de soutenir financièrement le ménage concerné (cf. tableau 32).

Tableau 32 : Référentiel des indicateurs relatifs au travail des enfants

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
07	Incidence de travail des enfants (Moins de 17 ans) (%)	24,3	6,16
08	Incidence de travail des enfants -Fille (%)	25,5	4,54
09	Incidence de travail des enfants – Garçon (%)	24,6	7,59
10	Secteurs d'activité de travail des enfants		
	- Agriculture /Primaire (%)	91,5	91,43
	- Travaux domestiques (%)	7,8	0,98
	- Activités minières(%)	0,6	0

- **Pratiques agricoles** : L'agriculture est la principale activité des populations avec un pourcentage de ménages agricoles à hauteur de 92,7% (cf. tableau 28). 83,6% d'entre eux cultivent le riz. La culture de riz fait l'objet de monoculture chez 10,3% des ménages ruraux. Mais cela reste sur des petites tailles de parcelle. Très souvent, les familles associent et font en rotation deux et parfois trois types de cultures (cf. tableau 33).

Tableau 33 : Référentiel des indicateurs relatifs aux pratiques agricoles

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
11	Taux de pratique de monoculture (%)	16,1	10,3
12	Taux de ménages riziculteurs (%)	78	83,6
13	Taux de ménages pratiquant deux types de cultures (%)	20,1	39,97
14	Taux de ménages pratiquant trois types de cultures (%)	18,7	20,56
15	Taux de ménages pratiquant quatre types de cultures (%)	15,4	10,27

- **Pratiques d'élevage** : Pour rappel, le pourcentage des ménages éleveurs s'élève à 74,41% (cf. tableau 28). Le secteur d'élevage de l'écorégion reste traditionnel et se caractérise par la coexistence d'au moins deux espèces d'animaux (bovin et/ou porcin et volailles). La pratique de l'élevage à cycle court caractérise une grande partie des ménages tandis que les élevages caprin et ovin demeurent quasi-insignifiants n'atteignant même pas 1% de l'ensemble des ménages enquêtés au niveau de l'écorégion. En revanche, l'apiculture commence à avoir sa place au niveau de certaines zones bien qu'encore très timide pour l'ensemble. Les deux autres types d'élevage, bovin et porcin, occupent respectivement 46% et 23% des ménages, une proportion en légère augmentation par rapport à la situation enregistrée en 2012 selon ENS_OMD (cf. tableau 34).

Tableau 34 : Référentiel des indicateurs relatifs aux pratiques d'élevage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR- FH 2014
16	Taux de ménages pratiquant élevage bovin (%)	40,2	46,53
17	Taux de ménage pratiquant élevage porcin (%)	19,2	23,33
18	Taux de ménage pratiquant aviculture (%)	63,7	56,77
19	Taux de ménage pratiquant élevage ovin (%)	2,1	0,34
20	Taux de ménage pratiquant élevage caprin (%)	2,3	0,62
21	Taux de ménage pratiquant apiculture (%)	0,3	5,15

- **Biens durables possédés par le ménage :**

La possession de biens reflète dans une certaine mesure les capacités financières d'un ménage. L'analyse des biens et des actifs durables d'un ménage peut indiquer la position sociale et économique de celui-ci.

- **Moyens de communication et de télécommunication :** La radio est le moyen de communication le plus commun, notamment en milieu rural. L'utilisation de la radio est assez répandue dans toutes les zones. Par contre, l'incidence de la télévision reste très faible à hauteur de 5,2% (inférieur par rapport aux données de l'ENS_OMD de 2012). Ce faible taux, qui ne surprend guère, reflète parfaitement la réalité, étant donné que la majorité des zones à la lisière des forêts sont des zones non-électrifiées. Les statistiques révèlent une concentration de ménages avec télévision dans les Régions respectives de Diana (30,6%), d'Atsinanana (12,5%) et d'Alaotra Mangoro (12,1%). Quant à la possession d'un téléphone mobile, le taux d'accès est de 22,1% selon les données d'enquête. (cf. tableau 35).

Tableau 35 : Référentiel des indicateurs relatifs aux moyens de communication possédés par le ménage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
22	Taux de ménage possédant au moins une radio (%)	40,8	60
23	Taux de ménage possédant au moins un poste TV (%)	9,8	5,2
24	Taux de ménage possédant au moins un poste téléphone (%)	18,8	22,1

- **Moyens de déplacement :** La bicyclette figure parmi les moyens de transports les plus utilisés en monde rural. 25,10% des ménages ont fait l'acquisition d'au moins une bicyclette pour son usage propre. Ce taux est légèrement en hausse par rapport à la moyenne donnée par l'enquête ENS_OMD en 2012. Le pourcentage des ménages possédant au moins une charrette à bœufs se trouve encore inférieur à ceux qui disposent de bicyclette. Il faut dire que ce pourcentage de 11,52% est relativement faible. Cela refléterait davantage la situation de précarité des ménages dans l'écorégion (cf. tableau 36).

Tableau 36 : Référentiel des indicateurs relatifs aux moyens de transports possédés par le ménage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
25	Taux de ménage possédant au moins une bicyclette (%)	15,8	25,10
26	Taux de ménage possédant au moins une mobylette (%)	1,1	0,80
27	Taux de ménage possédant au moins une charrette à bœufs (%)	ND	11,52
28	Taux de ménage possédant au moins une pirogue à pagaie (%)	ND	2,41
29	Taux de ménage possédant au moins une pirogue motorisée (%)	ND	0,36

- **Biens de commodité** : L'enquête a relevé une absence de commodité auprès d'environ 20% à 27% de ménages enquêtés, en se basant sur trois biens les plus fondamentaux dans un foyer soit le lit, la table et des chaises. A la place du lit, l'usage des nattes est très répandu chez les familles en situation de grande précarité (cf. tableau 37).

Tableau 37 : Référentiel des indicateurs relatifs aux biens domestiques possédés par le ménage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
30	Taux de ménage possédant au moins un lit (%)	70,9	81,2
31	Taux de ménage possédant au moins une table et une chaise (%)	48,8	72,8
32	Taux de ménage possédant au moins une machine à coudre (%)	6,7	8,2
33	Taux de ménage possédant au moins un groupe électrogène (%)	ND	3,58

- **Actifs productifs** : Au vu du fort pourcentage des ménages agricoles, l'enquête s'est interrogée sur la possession des matériels et outils agricoles les plus élémentaires, à savoir la bêche, la herse et la charrue. Si la quasi-totalité des ménages agricoles disposent d'au moins une bêche, seulement un peu moins du quart déclarent posséder au moins une charrue. L'effectif de ceux qui possèdent une herse est encore plus faible, soit à hauteur de 16,17%. Globalement, un ménage agricole (qualifié comme petit exploitant) dispose de deux bêches. Ces ménages représentent 40,13% de la population. Les ménages avec une seule bêche dans son actif de production comptent environ 22% de l'ensemble. En pratique, la charrue et la herse, qu'elles soient tirées par les zébus ou simplement poussées par l'homme, sont tous deux des outils les plus utilisés pour la préparation des sols et des rizières. Le faible effectif des ménages possédant au moins une charrue (22%) signifie une fois de plus la situation de précarité des paysans. Cette privation engendrerait implicitement des coûts supplémentaires au compte d'exploitation du ménage (à l'exemple de la rémunération de la main d'œuvre salariale), et par conséquent cela affaiblirait les revenus issus de la production agricole. (cf. tableau 38).

Tableau 38 : Référentiel des indicateurs relatifs aux actifs productifs possédés par le ménage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR- FH 2014
34	Taux de ménage possédant au moins une bêche (%)	ND	95,67
35	Taux de ménage possédant au moins une herse (%)	ND	16,17
36	Taux de ménage possédant au moins une charrue (%)	ND	22,51

- **Type de logement** : Les caractéristiques des lieux d'habitation reflètent de la grande précarité des ménages ruraux. Plus de 3/4 des habitats ne sont pas construits avec de matériaux durables(en parlant du mûr, du plancher et du toit). La plupart des maisons est fabriquée avec les bois de la forêt et les matières végétales (cf. tableau 39).

Tableau 39 : Référentiel des indicateurs relatifs aux caractéristiques de l'habitat

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
37	Taux de ménage logeant dans une maison dont les murs sont en matériaux non durables (%)	53,4	75,1
38	Taux de ménage logeant dans une maison dont le plancher est en matériaux non durables (%)	66,1	53,1
39	Taux de ménage logeant dans une maison dont le toit est en matériaux non durables (%)	34,1	69,2
40	Taux de ménage dont au moins trois personnes dorment dans une pièce	82,5	48,48

- **Sources d'énergie utilisées :**

- **Pour la cuisson** : A l'instar des populations rurales de Madagascar, le bois (sec et/ou humide) constitue la source d'énergie principale pour la cuisson des ménages. Le taux d'utilisation du bois atteint 97%, tandis que la pratique de charbon n'est pas très importante, de l'ordre de 3,91% des habitants. Avec cette pratique très ancrée et généralisée, la forêt est grignotée pour assurer les besoins en bois de chauffe d'une population toujours croissante (cf. tableau 40).

Tableau 40 : Référentiel des indicateurs relatifs aux sources d'énergie utilisées pour la cuisson

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
41	Taux de ménage utilisant les combustibles solides pour la cuisson (%)	99,6	99,96
42	Taux de ménage utilisant les bois pour la cuisson (%)	80,9	97,34
43	Taux de ménage utilisant le charbon de bois (%)	14,5	3,91

- **Pour l'éclairage** : La quasi-totalité des communes rurales à la lisière des forêts humides ne sont pas électrifiées. Le pétrole lampant sert d'éclairage pour 83,2% des populations. Avec le prix de pétrole qui ne cesse d'augmenter d'année en année, le monde rural s'assombrit de plus en plus. En outre, 20,74% des ménages utilisent les piles voltaïques. Or, ni le pétrole lampant ni les piles ne sont commodes et ne respectent l'environnement en général. Une infime proportion seulement se met au solaire (0,04% dans la Région Alaotra Mangoro). En conclusion, les localités à la lisière des forêts humides se trouvent encore très loin de l'utilisation des énergies renouvelables (hydraulique ou solaire), et pourtant ce ne sont pas les potentialités qui manquent (cf. tableau 41).

Tableau 41 : Référentiel des indicateurs relatifs aux sources d'énergie utilisées pour l'éclairage

Réf	Indicateur	ENS OMD	Enquête PERR-FH
		2012	2014
44	Taux de ménage utilisant l'électricité (%)	6,8	1,6
45	Taux de ménage utilisant le pétrole lampant (%)	81,2	83,2
46	Taux de ménage utilisant les bougies (%)	2,8	7,8
47	Taux de ménage utilisant la suie(%)	ND	0,26
48	Taux de ménage utilisant les piles voltaïques (%)	ND	20,74
49	Taux de ménage utilisant l'énergie solaire (%)	ND	0,04

- **Accès aux institutions de micro-finance (IMF) :**

Seulement 4,1% de la population majeure dans la zone d'étude adhèrent aux IMF. Les différentes IMF existantes dans la zone d'étude sont: OTIV, CECAM, FIVOY et TIAVO (cf. tableau 42).

Tableau 42 : Référentiel de l'indicateur relatif à l'accès aux instituts de micro-finance

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH
		2014
50	Taux d'adhésion aux IMF (%)	4,1
51	Taux de ménage ayant épargné auprès d'IMF (%)	1,48
52	Taux de ménage ayant obtenu de crédit auprès d'IMF (%)	2,34

Le principal indicateur utilisé par le secteur de la microfinance est le « taux de pénétration IMF », qui donne le rapport entre le nombre de ménages ayant eu recours aux services microfinanciers (crédit et épargne) par rapport à la population totale. L'objectif de la stratégie nationale de la finance inclusive (2013-2017) est un taux national de 37% en 2017 (aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain). Les données officielles de la Coordination Nationale de la Microfinance (CNMF) affichent un taux de pénétration de l'ordre de 24,61% pour l'année 2013⁴. Les résultats de l'enquête PERR-FH révèlent combien même ce taux est extrêmement faible pour l'écorégion. Cette faible pénétration s'explique par l'absence de couverture des IMF dans plusieurs zones.

Les Communes touchées par l'enquête dans 5 régions ne disposent pas de services microfinanciers, à savoir Haute Matsiatra, Ihorombe, Amoron'i Mania, Analamanga, et Atsimo

⁴ Source : Statistiques consolidées du siteweb www.madamicrofinance.mg

Atsinanana. En marge de cela Atsinanana, Anosy et Alaotra Mangoro sont les seules régions qui affichent respectivement un taux de pénétration supérieur à 10%.

Nul n'est besoin de commenter ici du rôle de la micro-finance dans la stratégie de réduction de la pauvreté, notamment en milieu rural. Toutefois, la seule implantation d'un guichet IMF ne saurait être tenue comme une solution parmi tant d'autres dans cette initiative. Il importe de l'accompagner, ou plus exactement de l'intégrer dans un ensemble de mesures (solutions intégrées), telles que l'installation de guichet foncier (sécurisation foncière de parcelles), les programmes d'appui technique pour l'intensification agricole, la diversification des AGR, le développement de marchés locaux ou régionaux des produits agricoles, la sécurisation en générale de la zone, l'aménagement des terrains agricoles et des bassins versants (micro-barrage), etc. Ce sont autant de pistes d'intervention qui pourraient intéresser le projet de vente de crédits carbone.

6.1.2.2 Capital social

Le capital social englobe d'une part les structures organisationnelles et institutionnelles existantes dans la zone. Nous considérons particulièrement les structures intervenant dans le domaine socio-économique et environnemental. D'autre part, le capital social concerne des aspects relationnels au sein de la communauté.

- **Organisations paysannes :**

Au total, la moitié des fokontany visités disposent d'au moins une organisation paysanne. Cependant 66,7% de ces OP seulement sont encore actives. Le reste est soit en veilleuse soit en voie de disparition. Cette statistique prouve que la pérennisation des OP dont la plupart ont été créées lors de la mise en œuvre de nombreux projets de développement en milieu rural n'est pas toujours assurée. Le manque de suivi et/ou la dépendance totale aux projets en seraient les principales causes (cf. tableau 43).

Tableau 43 : Référentiel relatif aux organisations paysannes

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
53	Pourcentage de Fokontany disposant d'au moins une organisation paysanne(%)	50
54	Pourcentage des OP actives (%)	66,7

- **Communauté Locale de base (CLB) ou Vondron'Olona Ifotony (VOI) :**

La structure VOI est présente dans 70% des Fokontany étudiés. L'adhésion des populations aux VOI est mesurée ici par le pourcentage des réponses positives à la question « êtes-vous membre d'un VOI ? » dans un fokontany donné. Ce taux d'adhésion est de 39,5% pour les 38 fokontany sites d'enquête, avec une disparité régionale prononcée. Les régions de SOFIA, Analamanga et DIANA se distinguent par un faible taux en deçà de 10%, tandis que la région Atsimo Atsinanana affiche un taux très élevé de 90% (cf. tableau 44).

Tableau 44 : Référentiel relatif aux CLB ou VOI

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
55	Pourcentage des Fokontany couverts par VOI (%)	70
56	Pourcentage des membres VOI (%)	39,5

En écartant les valeurs extrêmes (les plus grandes et les plus petites), on peut dire que dans son ensemble l'adhésion n'est plutôt ni bonne ni mauvaise. On peut apporter plusieurs explications à telle situation : lacune de l'Administration dans le suivi régulier des actions du VOI, faible voire

absence totale d'intérêt des communautés locales à la conservation de la biodiversité, concentration ou monopolisation des activités et des bénéfices sur un petit groupe au sein des communautés, résistance au changement faute d'approche participative lors de la mise en place de la structure locale, etc.

Il convient pour le projet de vente de crédits carbone de fournir des efforts conséquents dans la redynamisation des VOI autour des forêts humides. Cette redynamisation importe au plus haut point dans la mesure où la mise en œuvre des interventions du Projet devrait se faire à travers des structures formelles existantes et dont la pérennité serait plus ou moins certaine. On peut soumettre dans le cadre de cette redynamisation les actions suivantes : restructuration des comités, sensibilisation pour une meilleure et bonne gestion des ressources naturelles, davantage de responsabilisation des femmes dans certaines fonctions, etc.

A la question « comment évaluez-vous rapidement le dynamisme des membres de la communauté à la conservation de l'environnement et de la forêt ? », plus de la moitié (53,9%) des réponses n'ont émis aucun avis. 20% des répondants pensent que les populations s'appliqueraient activement à la protection de l'environnement, contre 23,4% dont le degré de participation et le sentiment d'appartenance seraient plutôt moyens (cf. tableau 45).

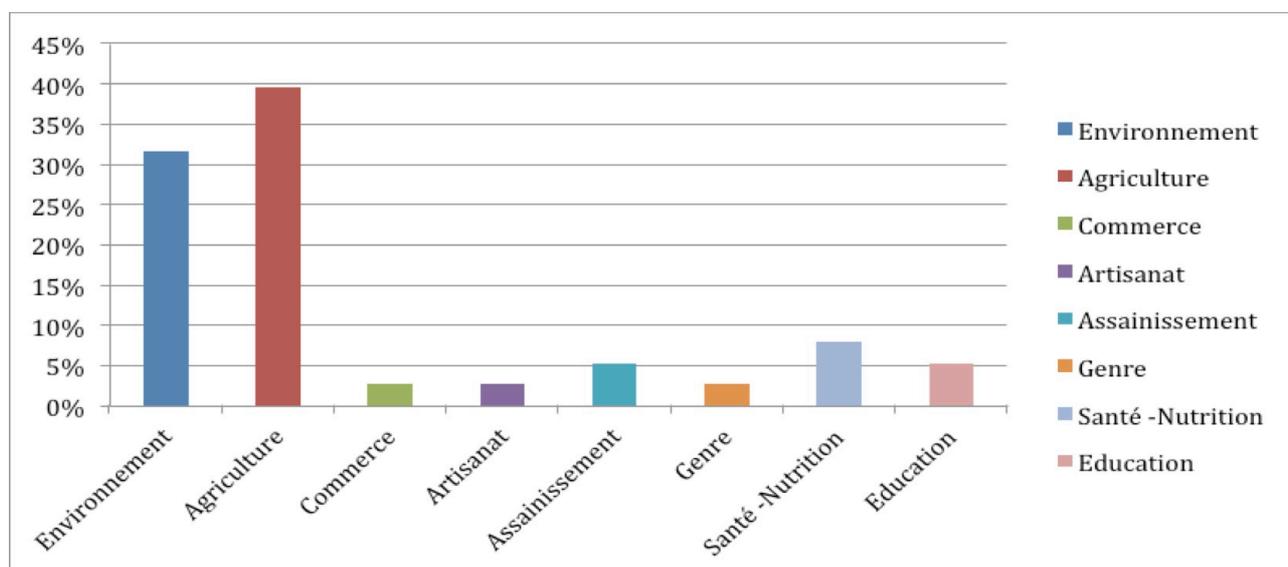
Tableau 45 : Référentiel relatif aux CLB ou VOI

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
57	Caractéristiques du dynamisme des populations à la préservation de l'environnement (%)	
	Bon	20,7
	Mauvais	2
	Moyen	23,4
	Sans réponse	53,9

• **Associations et ONG intervenant dans la zone :**

Le recensement dans les 38 Fokontany d'intervention fait état de 35 associations ou ONG intervenant dans de domaines d'activités très variés. La figure 48 ci-dessous montre les divers domaines d'interventions de ces associations et ONG.

Figure 49 : Différents domaines d'interventions des associations et ONG



D'après ce graphe, les domaines d'intervention les plus fréquents sont l'agriculture et l'environnement. A ces domaines s'ensuit la santé-nutrition. Les intervenants dans les autres

secteurs comme le commerce, l'artisanat, l'assainissement, l'approche genre et l'éducation existent mais sont relativement rares.

- **Conflits fonciers :**

Comme partout à Madagascar, les conflits fonciers n'épargnent pas l'écorégion FHE, où environ 70% des Fokontany sont concernés. Les autorités locales annoncent un nombre moyen de 3 à 4 conflits à gérer (cf. tableau 46).

Tableau 46 : Référentiel relatif aux conflits fonciers

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
58	Nombre de Fokontany ayant enregistré des conflits fonciers(%)	69
59	Nombre moyen de conflits enregistrés par Fokontany	3-4

Après superposition de la cartographie de la couverture des guichets fonciers avec le territoire de l'écorégion FHE, on s'aperçoit que les communes couvertes par les guichets fonciers qu'ils soient des GF standards ou papiers ne sont guère nombreuses (Indicateur N° 60 : 25,47%).

Nombreux ont été les profits tirés par la création de ces guichets fonciers communaux (à la suite de la réforme foncière de 2005), si on ne regarde que les seuls avantages pour les paysans. D'autre part, la réforme a permis d'avancer dans l'immatriculation foncière des zones à régime foncier spécifique, telles que les aires protégées (nouvellement créées, etc.). A la suite de la délimitation de ces zones, les populations riveraines sont dorénavant privées d'accès à l'utilisation de certaines ressources, entre autres à l'exploitation des terres à l'intérieur de la zone. Face à la croissance démographique accentuée par une faible productivité agricole, les conflits fonciers sont récurrents. Aussi, convient-il d'accorder une priorité à la sécurisation foncière au profit des communautés locales autour des forêts humides de l'Est, pour justement concilier la conservation de la biodiversité et le développement local.

6.1.2.3 Capital humain

Le concept de capital humain embrasse deux dimensions : l'éducation et la santé de tous les membres de la famille (y compris l'accès à l'eau potable et à l'assainissement et la sécurité alimentaire).

- **Education :**

Le taux net de scolarisation des enfants est de 75%. Autrement dit, le quart des enfants en âge de fréquenter l'école primaire ne sont pas scolarisés dans les zones rurales de l'écorégion FHE. L'écart entre les genres est quasi-insignifiant. Par ailleurs, comparé à la moyenne nationale en milieu rural de 66,1%, ce taux est assez élevé. Ce taux est encore loin d'atteindre la cible des objectifs du millénaire pour Madagascar, à savoir l'universalisation de l'éducation primaire.

De nombreuses analyses s'accordent à dire que cette faible scolarisation ne s'explique pas seulement par la pauvreté, ni par l'économie familiale. Une autre explication vient des dysfonctionnements dans le système scolaire rural comme par exemple le temps d'enseignement, l'éloignement des écoles primaires, l'offre scolaire existante mais souffrant de manque de moyens logistiques et matériels, etc. Les enfants doivent marcher en moyenne pendant 24 mn (Indicateur N°67) par jour en moyenne selon l'enquête, pour aller en, et aussi revenir de la classe (cf. tableau 47).

Pour notre enquête, on a déterminé le taux d'alphabétisme en utilisant les deux méthodes conventionnelles suivantes : indication par le chef de ménage (ou son conjoint en l'absence de celui-ci), du niveau d'alphabétisme des membres de sa famille et du nombre d'années de scolarisation de l'enquêté.

Chez les adultes, la proportion des chefs de ménages non instruits est tout aussi élevée, de l'ordre de 13,2%. Un adulte sur deux (soit 51,4%) se sont arrêtés au niveau primaire. Les

proportions diminuent au fur et à mesure que le niveau d’instruction augmente. Le pourcentage de ceux ayant atteint le lycée et plus est de 6,9% (Indicateur N°66).

Tableau 47 : Référentiel des indicateurs relatifs à l’éducation des membres du ménage

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
61	Taux net de scolarisation des enfants (%)	65,5	75,08
62	Taux net de scolarisation des enfants - filles (%)	64,8	75,44
63	Taux net de scolarisation des enfants – garçons (%)	66,2	74,74
64	Taux d’alphabétisme des adultes (%)	66,6	75,68
65	Taux d’adultes sans instruction (%)	31,9	13,2
67	Durée de trajet pour aller à l’école (mn)	ND	24

- **Santé :**

Les données d’enquête révèlent un taux de prévalence de (toutes) maladie(s) de 52,6%. Ce taux est largement supérieur par rapport à la prévalence au niveau de l’écorégion qui avoisine 11,5% selon enquête ENS_OMD 2012. Parmi les maladies répandues de l’écorégion figure le paludisme, avec un taux de prévalence de 12,03% (sensiblement supérieur aux taux correspondants à l’IRA et à la diarrhée). Notons que cette prévalence du paludisme de la côte Est se révèle être la plus haute à l’échelle nationale (15% dans cette zone contre respectivement 1% à 2% dans les Hautes Terres Centrales et la zone Sud) (cf. tableau 48).

Sur les répondants ayant déclaré une maladie durant les 30 derniers jours (précédant l’enquête), trois ménages sur quatre ont effectué au moins une consultation médicale (40,4% parmi l’ensemble représenté par 52,6%). Tandis que l’automédication est une pratique plus courante, adoptée par une part de 45,40% de la population. Quant aux explications évoquées relatives à la non-consultation médicale, la faible capacité financière du ménage prévaut dans la plupart des cas (65%). L’éloignement par rapport au centre de soins est un autre facteur explicatif assez fréquent (12,8%).

Tableau 48 : Référentiel des indicateurs relatifs à la santé du ménage

Réf	Indicateurs	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
68	Taux de prévalence de maladie (%)	11,5	52,6
69	Taux de prévalence des IRA	ND	8,93
70	Taux de prévalence de paludisme (%)	ND	12,03
71	Taux de prévalence de la diarrhée (%)	ND	8,15
72	Taux de consultation médicale (%)	34,4	40,40
73	Taux de ménage pratiquant l’automédication	82,7	45,40
	Motifs de non consultation médicale		
74	Taux de ménage non faisant de consultation médicale à cause de l’éloignement (%)	10,6	12,8
76	Taux de ménage non faisant de consultation médicale pour des raisons financières (%)	36,5	65,1
74	Taux de ménage non faisant de consultation médicale à cause de manque de confiance à la médecine (%)	3,9	2,0

- **Accès à l'eau potable et à l'assainissement :**

Selon les normes à Madagascar, l'eau potable peut être obtenue à partir des ouvrages-types dont les différentes composantes sont construites de façon très étanche, ainsi à ne permettre aucune infiltration, ni aucune contamination. Selon les sources de l'eau brute (après son captage souterrain ou en surface), l'eau peut ou non subir des traitements physico-chimiques, pour la rendre potable (cf. tableau 49).

Dans le cadre de notre enquête, sont considérés comme ouvrages d'approvisionnement en eau potable (AEP), les bornes fontaines et les puits couverts (ou puits protégés) et les forages. Force est de constater que 69% de la population de l'écorégion n'a pas accès à l'eau potable. C'est un taux assez élevé, par rapport à la moyenne nationale en milieu rural (à 42% en 2012). D'un autre côté, cette situation est quelque peu paradoxale dans la mesure où les forêts humides constituent une principale source d'eau potable. A défaut d'infrastructures AEP, la population récupère directement les eaux de surface pour la consommer.

Quant à l'assainissement, 61,7% de la population sont privés d'infrastructures d'assainissement améliorées, dont le taux de pratique de défécation à l'air libre est de l'ordre de 37,9%. Il s'avère que la ressource en eau, potentiellement abondante dans les zones de l'étude, ne soit pas utilisée de façon efficiente, au bénéfice des populations locales.

Tableau 49 : Référentiel des indicateurs relatifs à l'accès à l'eau potable et à l'assainissement

Réf	Indicateur	ENS OMD 2012	Enquête PERR-FH 2014
77	Taux de ménage accédant à une source d'eau potable non améliorée (%)	83,5	68,9
78	Taux de ménage utilisant l'eau de pluie comme première source d'eau potable (%)	0,1	0
79	Taux de ménage utilisant le puits traditionnel comme première source d'eau potable (%)	24,5	14,4
80	Taux de ménage utilisant les eaux de surface comme première source d'eau potable (%)	26,5	33,4
81	Taux de ménage accédant à une structure d'assainissement non améliorée (%)	45,5	61,7
82	Taux de ménage pratiquant la défécation dans la nature (%)	51,1	37,9
83	Nombre de mois dans l'année sans eau potable (mois)	ND	3

- **Sécurité alimentaire :**

La sécurité alimentaire est souvent liée à la suffisance des aliments de base. Habituellement, il s'agit du riz pour les malgaches. Dans l'ensemble, l'insécurité alimentaire est quasi-permanente et généralisée auprès des ménages ruraux de l'écorégion. La production agricole, plus exactement rizicole, ne permet pas d'assurer durant toute l'année l'autosuffisance alimentaire pour 77,9% des ménages. Celle-ci permettrait seulement de couvrir convenablement les besoins et les réserves alimentaires pendant 06 mois (au grand maximum 11 mois pour les réponses recueillies). Trois familles sur quatre (71%) sont contraintes de diminuer la ration alimentaire pendant les périodes difficiles, lesquelles peuvent s'étaler en moyenne sur 5 mois. En plus de cela, recourir à la vente de petit bétail touche 43,9% des ménages pour traverser cette période (cf. tableau 50).

Tableau50 : Référentiel des indicateurs relatifs à l'accès à la sécurité alimentaire

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
84	Taux de ménages n'ayant pas une autosuffisance alimentaire (%)	77,9
85	Nombre moyen de mois d'autosuffisance alimentaire	06
86	Taux de ménages contraints de diminuer la ration alimentaire en période de soudure (%)	71
87	Taux de ménages contraints de vendre du petit bétail pour acheter du riz en période de soudure (%)	43,9

Pour comprendre cette question d'insécurité alimentaire récurrente, il faut admettre que premièrement les superficies agricoles sont tout aussi insuffisantes dans les localités à la lisière des forêts. En second lieu, ces petits exploitants n'adoptent aucune pratique d'intensification agricole. Seulement 56,3% (Indicateur N°88) des riziculteurs déclarent apporter des fertilisants, que ce soit organique ou minérale, à leurs rizières. L'utilisation de semences améliorées, encore moins certifiées, pour la riziculture est adoptée par une petite frange de 29,8% (Indicateur N°89) d'exploitants. Généralement, on utilise les semences triées issues des récoltes très lointaines. Les agriculteurs ne bénéficient pratiquement pas d'appuis techniques permettant d'améliorer leur productivité agricole. Or il est admis que c'est à cause de cette insécurité alimentaire renforcée par la croissance démographique que les populations riveraines grignotent dangereusement les forêts humides. Il devient tout aussi incontournable que capital de trouver des solutions durables aux problèmes posés par cette insécurité alimentaire.

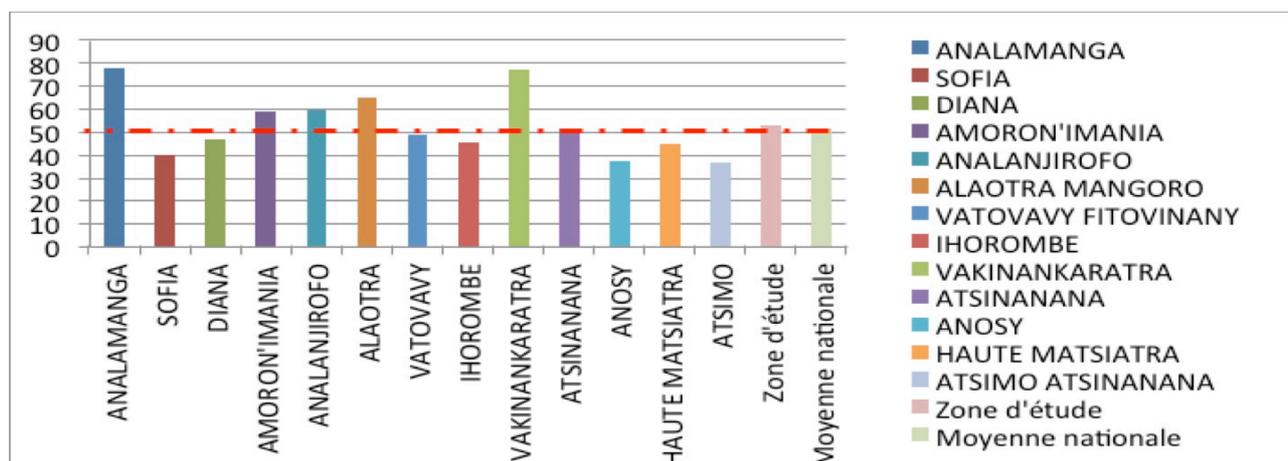
• **Couverture vaccinale des enfants :**

Le taux de couverture vaccinale des enfants dans la zone d'étude est de 52,8% ce qui est légèrement au dessus de la moyenne nationale de 51,1% (cf. tableau 51 et figure 50). Aussi, le taux de couverture vaccinale varie selon la Région comme l'illustre le graphe suivant. Comme pour le TNS, le taux de couverture vaccinale des enfants est toujours le plus élevé à Analamanga (77,4%). En revanche, la Région Atsimo Atsinanana enregistre le taux le plus bas (36,6%).

Tableau 51 : Référentiel des indicateurs relatifs à la santé du ménage

Réf	Indicateur	Enquête PERR-FH 2014
90	Taux de couverture vaccinale des enfants	52,8%

Figure 50 : Taux de couverture vaccinale des enfants par Région



6.1.2.4 Capital physique

Le capital physique informe principalement sur les différentes infrastructures de développement existantes dans la zone d'étude.

- **Nombre d'infrastructures de base :**

Au total, 82 écoles ont été recensées, réparties sur les 36 Fokontany ayant fourni des réponses. En moyenne, chaque Fokontany dispose de deux (02) établissements scolaires dont la plupart sont des écoles primaires publiques. Toutefois, 36,1% des Fokontany étudiés sont pourvus de collèges secondaires; et 41,7% d'écoles privées (cf. tableau 52).

Tableau 52 : Référentiels relatifs au taux de Fokontany disposant des infrastructures et du nombre des celles-ci

Réf	Indicateur	Ecole	Centre de santé	Barrages hydro-agric.	Place de marché	AEP
	Effectif	82	10	61	4	46
	Nombre d'enregistrements	36	36	33	23	24
92	Pourcentage des Fokontany disposant des infrastructures de base (%)	100	22	61	17,4	29,2

Les zones d'enquête sont également dotées de 10 centres de santé répartis dans seulement 8 Fokontany, ce qui représente 22% des Fokontany ayant fourni des réponses. 60% de ces centres sont publics tels que les centres de santé de base I et II et le dispensaire. Tandis que les services de santé privés sont assurés par les centres SECALINE et les médecins libres. Au total, on a dénombré 61 barrages hydro-agricoles répartis dans 20 Fokontany, soit 61% des Fokontany ayant fourni des réponses contre 17,4% pour les places de marchés (04 places de marché). Enfin, les 46 ouvrages AEP sont répartis sur 7 Fokontany, ce qui donne un taux de 29,2% des Fokontany ayant fourni des réponses.

- **Etat de fonctionnalité des infrastructures de base :**

Les entretiens avec les acteurs ont permis de connaître l'état fonctionnel des différentes infrastructures recensées au niveau de chaque Fokontany. En effet, tous les barrages hydro-agricoles des zones visitées sont encore fonctionnels, contre 96% pour les infrastructures scolaires de base. Ces taux diminuent respectivement à 83% et 78% pour les centres de santé et les ouvrages AEP (cf. tableau 53).

Tableau 53 : Etat de fonctionnalité des infrastructures de base par type

Réf	Indicateur	Ecole	Centre de santé	Barrages hydro-agric.	Place de marché	AEP
93	Etat de fonctionnalité des infrastructures (%)	96,3	83,3	100	50	77,8
	Nombre d'enregistrements	36	17	27	15	15

Par contre, la plupart des infrastructures routières et les places de marché sont surtout jugées en mauvais état voire non fonctionnels par les populations, soit un taux de fonctionnalité de 62% pour la première et 50% pour la seconde.

- **Caractéristiques des infrastructures :**

Afin d'avoir plus d'idées sur les caractéristiques de ces infrastructures, il a été demandé aux acteurs les matériaux utilisés pour leur construction. Environ la moitié des écoles recensées sont construites en dur, contre un tiers seulement respectivement pour les centres de santé, les

barrages et les marchés. Le cas des routes est particulièrement alarmant et reflète le niveau élevé d'enclavement des zones visitées. En effet, seules 3% des routes d'accès sont bitumées, le reste étant des routes en terre (cf. tableau 54)

Tableau 54 : Proportion des infrastructures en dur

Réf	Indicateur	Ecole	Centre de santé	Barrages hydro-agric.	Place de marché	Routes
94	Pourcentage des infrastructures en dur (%)	51	33,3	31,1	33,3	3
	Nombre d'enregistrements	35	24	33	21	30

6.1.2.5 Capital naturel

Le capital naturel apporte une contribution durable à la production et au bien être, au même titre que les autres formes de capitaux. Dans le cadre de notre étude, le capital naturel fait surtout référence au sol et leur impact sur la productivité agricole. Pour ces indicateurs, la situation de référence n'a considéré que les valeurs recalculées issue des données du rapport ENS_OMD_2012 (cf. tableau 55). Quant aux ressources en eau (qui est normalement comprise dans le capital naturel), elle est traitée dans le capital humain, du fait qu'elle est plus liée avec d'autres indicateurs relatifs aux conditions de vie.

Tableau 55 : Référentiel des indicateurs relatifs au capital naturel

Réf	Indicateurs	ENS OMD2012
95	Rendement moyen rizicole (T/Ha)	1,3
96	Rendement moyen en maïs (T/Ha)	0,6
97	Rendement moyen en manioc (T/Ha)	1,3
98	Rendement moyen en patate douce (T/Ha)	1,1
99	Production rizicole par ménage (T)	1,05
100	Superficie moyenne d'exploitation agricole (Ha)	1,6
	Proportion des ménages selon leur déclaration des problèmes liés à l'agriculture (%) :	
	- <i>Environnement</i>	54,8
	- <i>Enclavement</i>	13,6
	- <i>Insécurité</i>	15,3
	- <i>Intrants</i>	11,7
	- <i>Financement</i>	38,5
	- <i>Technique</i>	22,8
	- <i>Foncier</i>	41,6

Comparé avec le rendement moyen national de 2,7 t/ha le rendement rizicole de l'écorégion de seulement 1,6 t/ha est nettement faible. Les causes de ces rendements faibles sont nombreuses, mais les plus importantes sont l'absence de techniques d'intensification agricole, les petites tailles de parcelles, les conditions climatiques non favorables (certaines campagnes sont très difficiles à cause de la pluviométrie). A noter que la superficie moyenne exploitée pour l'ensemble de l'écorégion donne 1,6 Ha. Force est de constater que cette superficie est relativement grande, qu'il faut garder une certaine réserve : les bas-fonds rizicoles et petits périmètres irrigués à la lisière des forêts bordent généralement les petits cours d'eau, voire ruisseau, souvent sans barrage hydro-agricole, il est alors difficile de concevoir que les ménages puissent posséder plus d'un hectare à cultiver.

6.2 Scénario de référence de la biodiversité

L'approche méthodologique appliquée pour le développement d'une méthodologie d'établissement d'un scénario de référence de la biodiversité au niveau de l'écorégion "Forêt-humide" se focalise sur une superposition des projections de la déforestation future avec les modèles de distribution de la biodiversité.

6.2.1 Données utilisées et/ou collectées

Le développement du scénario de référence de la biodiversité s'est principalement basé sur deux types de données :

- Des données relatives à la biodiversité au niveau de l'écorégion des forêts humides ;
- Des données concernant l'évolution future de la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides.

6.2.1.1 Données sur la biodiversité:

Les données sur la biodiversité sont des données d'occurrence des espèces disponibles au niveau du portail de données de REBIOMA (<http://data.rebioma.net>). Les données collectées et/ou partagées au niveau du portail sont des données des chercheurs, des institutions qui ont voulu partager leurs données en ligne et qui seront disponibles pour la communauté de conservation à Madagascar. Ces données sont mises en ligne à travers le portail et dans le portail, ces données passent par des processus de validation. La première validation des données est la validation automatique qui consiste à vérifier si les données ont des coordonnées géographiques, la date de collecte et le nom scientifique de l'espèce. Ensuite, les données qui ont été validées automatiquement par le système seront vérifiées par des experts taxonomiques qui regarde non seulement la distribution de l'espèce dans l'espace mais aussi le nom scientifique de l'espèce. Le tableau 56 ci-après récapitule les par rapport à la biodiversité utilisées dans les analyses.

Tableau 56 : Récapitulatif des données sur la biodiversité utilisées

Taxon	Nombre d'espèces	Nombre d'occurrences
Oiseaux	184	28 028
Amphibiens	9	101
Mammifères	118	22 776
Reptiles	20	1 562
Total	331	52 467

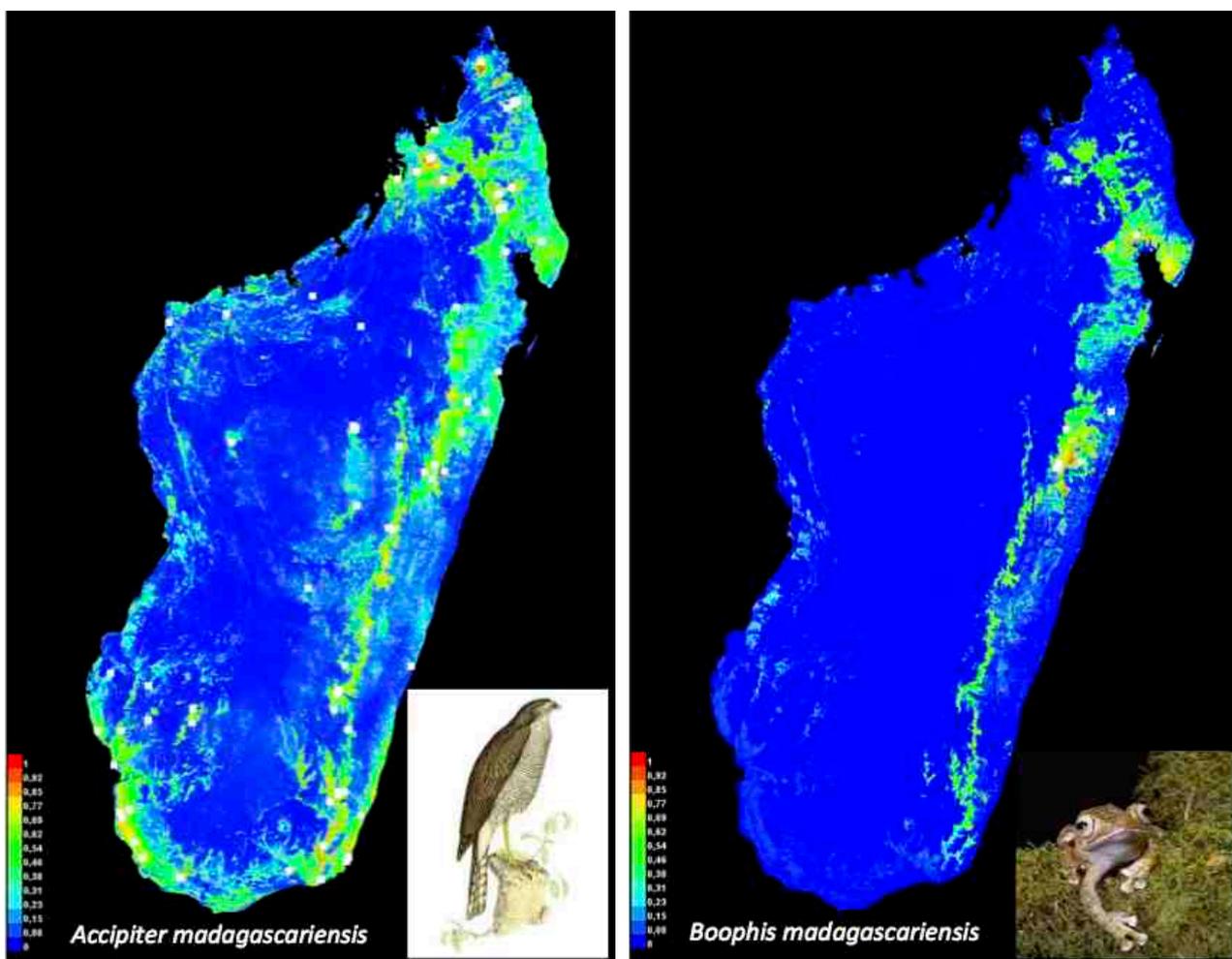
Ces groupes taxonomiques ne correspondent pas aux groupes proposés dans le cadre de la proposition d'un système de suivi des impacts de la REDD sur la biodiversité (cf. section 7 et rapport livrable 4 soumis par le consortium). Effectivement, des données sur d'autres espèces comme les invertébrés et les plantes n'étaient pas disponibles comme données validées au niveau du portail de données de REBIOMA pour pouvoir développer des modèles de distribution de ces espèces lors de la mise en œuvre de la méthodologie du scénario de référence.

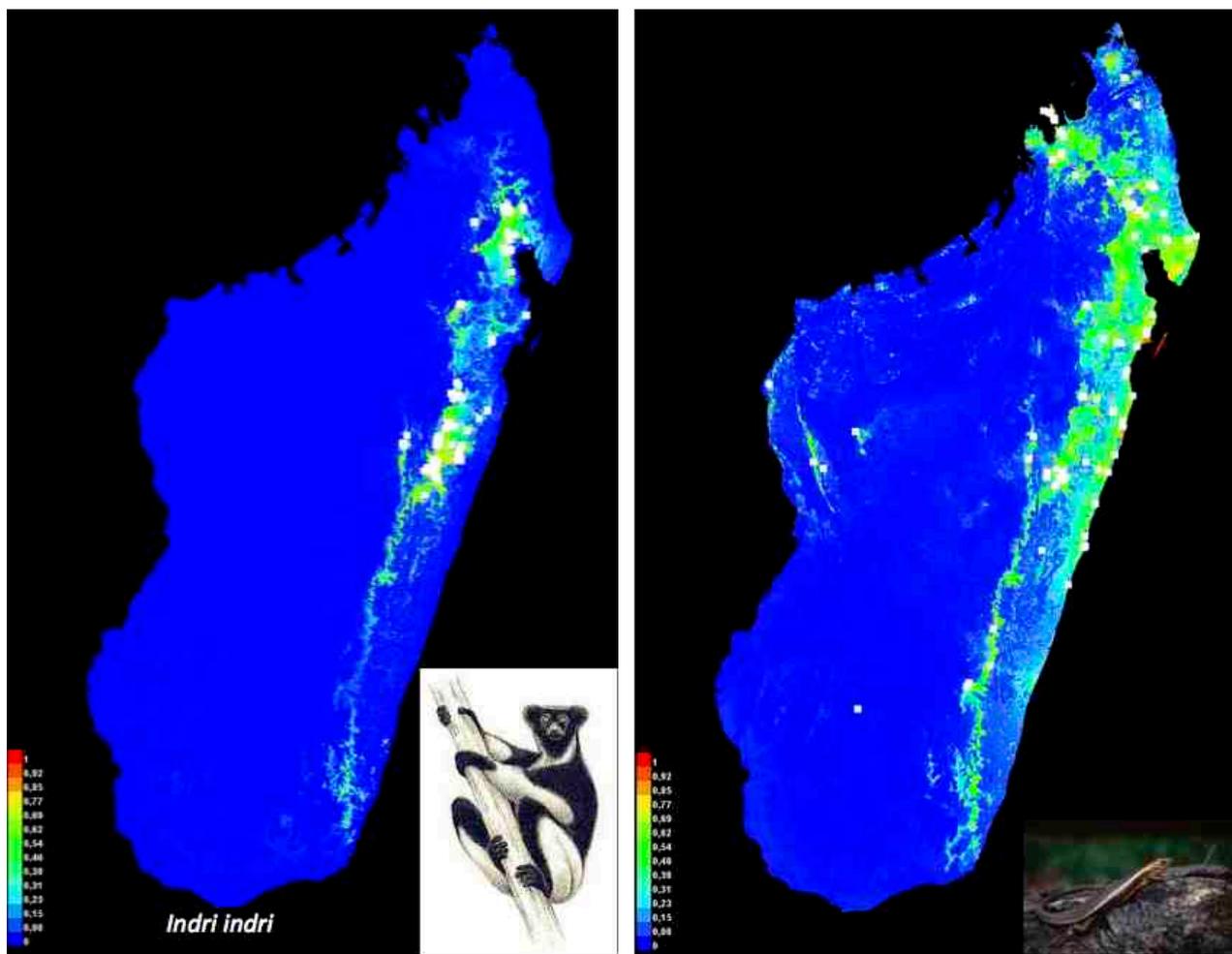
Comme l'analyse a été faite comme application/mise en œuvre de la méthodologie, on a montré comment on pourrait réaliser le suivi. Les espèces clés, qui seront identifiées par le groupe d'expert taxonomique en étant indicatrices de l'état de santé de la forêt seront priorisées et suivies dans le cadre du scénario de référence biodiversité.

Une fois que les données sont vérifiées par les experts, elles ont pu contribuer à la production des modèles de distribution des espèces en utilisant l’approche « Maximum Entropy » proposée par le logiciel MAXENT. Des modèles de distribution des espèces utilisant un logiciel statistique (MAXENT ou Maximum Entropy) sont disponibles sur le portail de données de REBIOMA (<http://data.rebioma.net>). La figure 51 ci-dessous en donne également quelques exemples.

Seules les données qui ont passées par les différents processus de validation et/ou de vérification sont considérées dans la production des modèles de distribution des espèces. Les données des détenteurs de droits d’auteurs peuvent par la suite être mises en ligne avec des statut à caractères publics ou privés. Les données à statut privées sont visibles et accessibles seulement par leur propriétaire. Néanmoins, le portail utilise toutes les données, publiques ou privées et qui sont vérifiées dans la production des modèles de distribution des espèces.

Figure 52 : Modèles de distribution spatiale d’une espèce d’oiseau (*Accipiter madagascariensis*), d’une espèce d’amphibien (*Boophis madagascariensis*), d’une espèce de mammifère (*Indri indri*) et d’une espèce de reptile (*Zonosaurus madagascariensis*)





6.2.1.2 Données sur la déforestation future:

Pour établir un scénario de référence sans interventions REDD+ pour la biodiversité, l'approche utilisée par le consortium s'est basée essentiellement sur les projections par rapport à la déforestation future au niveau de l'écorégion développées dans le cadre de la sous-composante 2.6 du projet. Les aspects techniques de ces modélisations de la déforestation future sont présentés dans la section 6.1.4 et les projections de la déforestation future sur les périodes de projection 2014-2018 et 2019-20123 qui en résultent sont présentées dans la figure 45 ci-dessus (cf. section 5.4.4).

6.2.2 Analyses effectuées

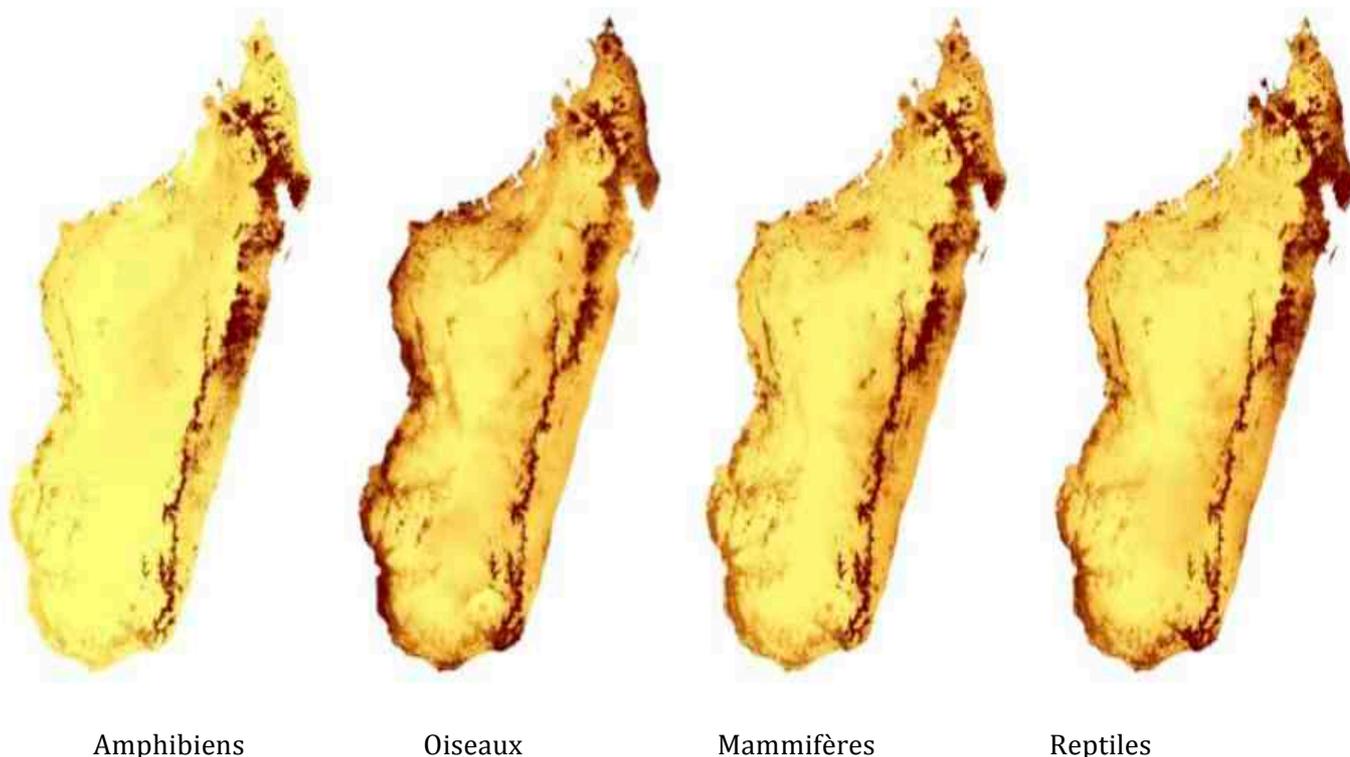
L'approche utilisée pour le développement du scénario de référence de la biodiversité est une simple approche de superposition et de comparaison des données existantes sur la distribution de la biodiversité (données biodiversité) avec les données développées sur la déforestation future au niveau de l'écorégion des forêts humides. Cette approche permettra de développer des projections par rapport aux pertes potentielles en biodiversité si aucune mesure de réduction de la déforestation n'est prise, mais surtout d'identifier des zones d'intérêt ou de menaces particulières sur lesquelles les mesures de mitigation de la déforestation pourront par la suite se concentrer.

Cette analyse peut évidemment se faire par espèce, mais une analyse par groupe taxonomique est nettement plus prometteuse puisqu'elle est plus large et ainsi plus représentatif de l'ensemble de la biodiversité touchée. Il convient également de noter que les données par rapport à la biodiversité animale sont spatialement mieux définies que les données sur la biodiversité végétale. Par conséquent ce sont principalement des données sur les groupes taxonomiques animaux qui ont été utilisées dans le cadre des analyses présentés ci-dessous.

6.2.2.1 Biodiversité:

Les modèles de distribution des espèces produites et existantes au niveau du portail de données de REBIOMA ont été sélectionnés par rapport à leur distribution au niveau de l'écorégion de forêt humide. Un modèle de richesse spécifique (*species richness*) pour quelques groupes taxonomiques a été produit (cf. figure 53). On s'est focalisé sur 04 groupes: à savoir, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux ainsi que les mammifères. Ce sont les groupes qui ont des données suffisantes pour produire la modélisation de distribution des espèces. Ces groupes taxonomiques ne sont pas tout à fait les mêmes que ceux proposés dans le système de suivi de la biodiversité dans le cadre de la REDD, parce que pour certains d'entre eux les données disponibles actuellement sont insuffisantes.

Figure 53 : Représentation spatiale de la richesse spécifique pour quatre groupes taxonomiques à Madagascar



6.2.2.2 Modèle de la déforestation future :

Le modèle de la déforestation future pour la période de 2014 à 2023 (cf. figures 45 et 46 dans la section 5.4.4 ci-dessus) a été utilisé comme base pour faire une superposition des richesses spécifiques pour les quatre groupes taxonomiques choisis avec les projections par rapport à la déforestation future.

En dehors de la disponibilité des projections pour cette période, cette période était également très appropriée parce qu'on dispose de données de modélisation de distribution des espèces dans le futur par rapport aux modèles d'évolution des impacts du changement climatique sur la biodiversité d'ici 2020.

6.2.2.3 Superposition par groupe taxonomique

Comme mentionné plus haut, cette superposition des données sur la distribution de la richesse de la biodiversité avec les données sur la déforestation future s'est déroulée dans les étapes suivantes :

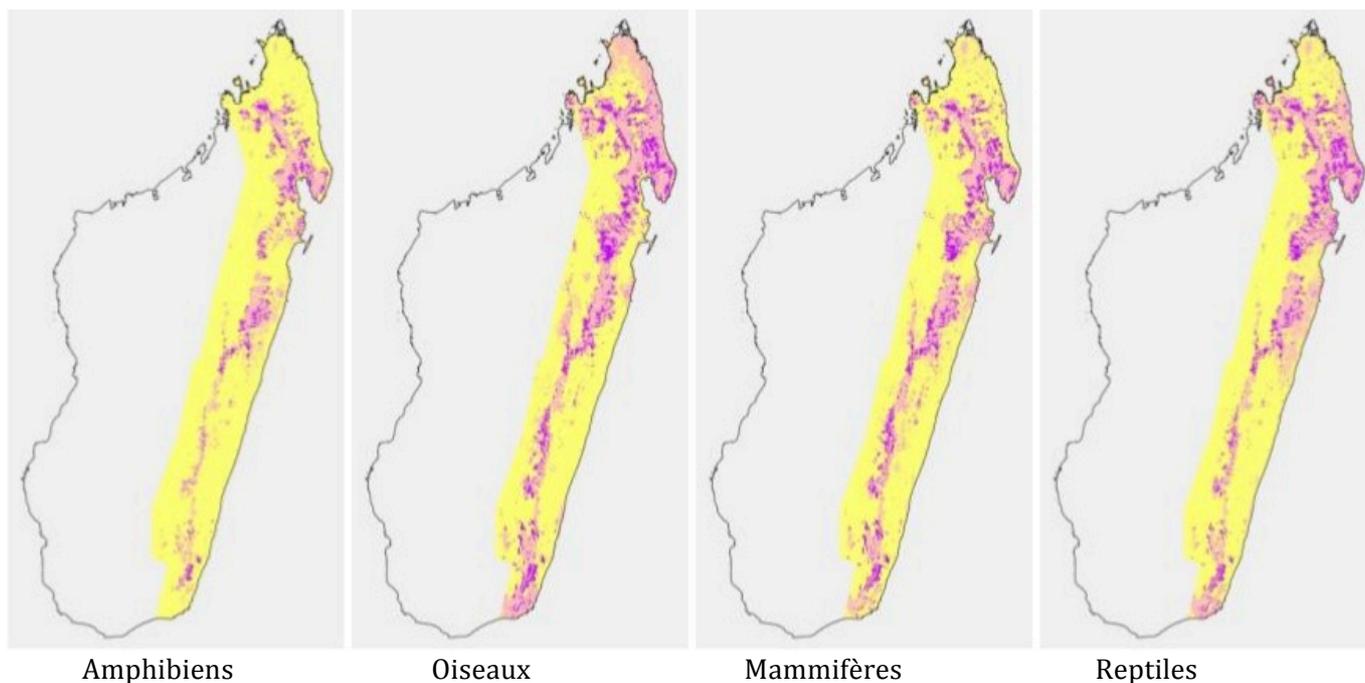
- Préparation des données: Avant la superposition des différentes données, une mise en cohésion de ces données était indispensable. Une mise en référence unique pour chaque groupe de données spatiales a été effectué en adoptant le système de référence WGS84 avec des coordonnées géographiques (latitude, longitude) en degré décimal.

- On a ensuite procédé au découpage de toutes les données selon les limites de l'écorégion des forêts humides (cf. section 2). Toutes les données par rapport à la richesse spécifique ont été découpées avec la même limite de l'écorégion afin de permettre une superposition avec les données sur la déforestation future pour cette même écorégion.
- Comme les modèles de distribution des espèces sont présentés sous forme continus et à valeurs extrêmement variables, on a du normalisé les valeurs par rapport à la richesse spécifique en continu entre 0 et 1. Un seuil de 30% a été défini pour avoir une probabilité de présence et d'absence et de ce fait avoir une superficie normalisée de la richesse spécifique des différents groupes taxonomiques considérés.

6.2.3 Résultats

Il est aujourd'hui largement reconnu que la déforestation entraîne une perte d'habitat pour les espèces. Une superposition de la richesse spécifique de chaque groupe taxonomique avec la déforestation en 2023 décrite dans les sections précédentes a ainsi permis d'isoler l'impact de cette déforestation sur la richesse spécifique des groupes taxonomiques sélectionnés et d'isoler des zones spatiales distinctes particulièrement affectées (cf. figure 54). Les résultats nous montrent le pourcentage de la probabilité de perte de distribution de la richesse spécifique par groupe taxonomique sans projet REDD+ de réduction de la déforestation.

Figure 54 : Cartes du résultat de la superposition déforestation et biodiversité



Ces cartes nous montrent en violet les parties avec une forte probabilité de perte de biodiversité pour le groupe taxonomique en question si la déforestation n'est pas réduite par des mesures spécifiques REDD+. Le tableau 57 ci-après donne des estimations de pourcentage de perte de biodiversité dans le cas du scénario « business as usual » et représente ainsi le scénario de référence écorégional pour la biodiversité.

Ces chiffres permettent d'estimer les pertes en diversité biologique des quatre groupes taxonomiques considérés au cours de la période de projection de 2014 à 2024 à environ 6%. La déforestation semble affecter les quatre groupes taxonomiques de manière assez similaire, mais les pertes au niveau des mammifères sont les plus élevées avec 6,66%, et les moins élevées pour les Oiseaux avec 5,89%.

Tableau 57 : Pertes potentielles en biodiversité au cours de la période de validité du scénario de référence dans le cas du scénario non-projet

Groupe taxonomique	Probabilité de perte "sans projet"
Amphibiens	6,17%
Oiseaux	5,89%
Mammifères	6,66%
Reptiles	5,94%

7 Systèmes de suivi éco-régionaux

Dans le cadre de la composante 4 du PERR-FH et sur la base des expériences faites dans la mise en œuvre des activités de la composante 2, le consortium a développé des propositions relatives aux systèmes de suivi éco-régionaux. Ces propositions portaient sur les aspects suivants :

- Systèmes de suivi des émissions liées à la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides, y compris le suivi des fuites d'émission de l'écorégion vers d'autres zones (plus particulièrement la zone des fuites) ;
- Systèmes de suivi des sauvegardes socio-économiques et environnementales :
 - Suivi des impacts sur le milieu socio-économique au niveau de l'écorégion des forêts humides y compris les systèmes de recueil des plaintes et les stratégies de communication par rapport à la REDD+ ;
 - Suivi des impacts sur la biodiversité et le milieu écologique de l'écorégion des forêts humides, y compris la biodiversité en générale et les forêts à haute valeur de conservation en particulier.
- Système de suivi des principales causes de la déforestation, y compris notamment les facteurs sous-jacents influent l'intensité de la déforestation.

Les chapitres ci dessous donnent un bref résumé de ces propositions émises par le consortium, tandis que les détails des systèmes de suivi proposés figurent dans le rapport spécifique livrable 4 fourni par le consortium.

7.1 Suivi des émissions liées à la déforestation

Les propositions du consortium par rapport au suivi des émissions liées à la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides (cf. section 2) s'appuient principalement sur les composantes 3 et 4 de la R-PP approuvée en juillet dernier par le FCPF, ainsi que les méthodologies REDD+ validées lors de l'atelier méthodologique de décembre 2013. Par la suite, ces méthodologies ont été détaillées d'avantage lors des analyses de l'évolution du couvert forestier dans l'écorégion des forêts humides (cf. section 4 du rapport livrable 5 soumis par le consortium), de l'établissement des facteurs d'émission (cf. rapports livrables 2 et 3 soumis par le consortium), ainsi que le développement du scénario de références des émissions proprement dit (cf. sections 5 et 6 du rapport livrable 5 soumis par le consortium).

7.1.1 Suivi des données d'activité

7.1.1.1 Emprise géographique

Pour le standard VCS, il est possible d'exclure de l'analyse les forêts « non gérées », à savoir les forêts localisées à plus de 50 km d'une route, d'une voie navigable ou d'une parcelle de forêt précédemment défrichée. Comme ces forêts, si elles existent, sont d'une surface très limitée à Madagascar, le choix est fait d'assurer un suivi intégral des forêts humides répondant à la définition des forêts.

7.1.1.2 Définition des forêts

La définition adoptée pour l'Ecorégion des Forêts Humides est cohérente avec celle adoptée pour les Mécanismes pour un Développement Propre à Madagascar, à savoir :

- Surface > 1ha
- Hauteur > 5m
- Couvert > 30%

7.1.1.3 Sources de données

A l'image de ce qui est écrit dans la R-PP, trois options peuvent être envisagées :

- Imagerie optique à haute résolution (30 m) : c'est le système Landsat géré conjointement par la NASA et l'USGS qui reste le principal fournisseur gratuit de ce type d'images. En dehors de cet avantage de prix, les images LANDSAT présentent également la résolution la plus proche de la superficie minimum d'une forêt d'un hectare (cf. définition de la forêt ci-dessus) et une emprise importante permettant de couvrir l'ensemble du pays avec un nombre raisonnable d'images. Finalement, l'analyse d'images LANDSAT sont connues par la plupart des intervenants à Madagascar et ont été appliquées au niveau national à plusieurs reprises et par conséquent cette option a été retenue par le consortium pour les analyses de la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides et est recommandé comme étant la solution la plus appropriée.
- Imagerie optique à très haute résolution (2,5 à 10 m) : jusqu'en mars 2015 (date à laquelle le satellite sera désorbité), les images SPOT 5 seront mises gratuitement à disposition par le système SEAS-OI (Surveillance Environnementale Assistée par Satellite dans l'Océan Indien) dont la station de réception multi-satellites est basée à la Réunion. Malheureusement, au-delà de cette date, SEAS-OI ne prévoit pas d'acquérir les images SPOT 6-7 et les prix du marché de ce type d'image ne permettront pas leur utilisation dans le cadre d'un système MRV national. Il faut en outre mentionner que l'emprise des images SPOT est considérablement moindre comparée aux images LANDSAT, ce qui nécessite un très grand nombre d'images et par conséquent augmente considérablement les travaux d'analyse, surtout dans le cadre d'un système national. Il est cependant recommandé de suivre l'évolution de la disponibilité et des techniques d'analyses de ces images dans le cadre de la mise en œuvre de la R-PP.
- Imagerie optique à très haute résolution (10 m et 20 m) : prochainement acquise par les satellites SENTINEL 2A et 2B dont les lancements sont programmés en 2014-2015. Ces images seront mises à disposition librement et gratuitement sur la base de la politique de diffusion des données Landsat. Les caractéristiques techniques de ces images sont largement suffisantes pour détecter la déforestation. Leur fauchée, bien supérieure aux images Spot (290 km contre 60 km pour SPOT), rend également plus accessible le traitement des données. Contrairement aux images SPOT, ces images ont une emprise supérieure à celle des images LANDSAT, mais la résolution très élevée pourrait poser des problèmes lors des travaux d'analyse. Les prix pour ces images ne sont pas encore connus, mais il est recommandé de suivre l'évolution de la disponibilité et des prix de ces images et de tester leur utilisation dans le cadre de la préparation à la REDD afin de les intégrer dans les système MRV national si jamais ce serait jugé utile et faisable.

Selon ces réflexions, les images provenant des satellites SENTINEL semblent présenter le meilleur compromis entre prix, emprise et résolution, mais cela restera à confirmer, notamment vis à vis de l'effectivité de la politique annoncée de mise à disposition gratuite des images et les techniques d'analyse de ce type d'images à large échelle. D'ici là, le suivi des données d'activité continuera de s'appuyer sur les images LANDSAT, enrichies de l'acquisition d'images à très haute résolution provenant de SEAS-OI pour valider les données/cartes produites sur des zones de contrôle.

7.1.1.4 Méthodologie appliquée

Les cadres méthodologiques du VCS et du FCPF insistent logiquement sur la cohérence et la comparabilité des méthodes à déployer entre l'établissement du Niveau d'Emissions de Référence et le suivi de la déforestation future.

La méthodologie ici retenue est donc celle d'une classification supervisée d'images Landsat multi dates via l'algorithme Random Forests.

Le manuel de procédures établi pour l'analyse historique de la déforestation sera donc également suivi scrupuleusement pour le suivi de la déforestation future. Pour mémoire, les principaux éléments de ce manuel peuvent être synthétisés comme suit :

- **Pré-traitement :**
 - Taux de couverture nuageuse < à 20% ;
 - Décalage géométrique < à 1 pixel ;
 - Classification selon les catégories d'occupation du sol du GIEC ;
 - Délimitation des parcelles d'entraînement : selon manuel de procédures et en s'appuyant sur les images à Très Haute Résolution (ex. Google Earth).
- **Classification :**
 - Logiciel : algorithme Random Forests sous R, sous réserve qu'aucun autre logiciel plus performant ne soit disponible à date ;
 - Calibration du modèle via 2/3 du jeu de données des parcelles d'entraînement.
- **Post traitement**
 - Elimination des ombres et nuages : selon la mise à jour du Global Forest Watch et/ou la mise à disposition de toute autre source de données utile ;
 - Filtrage :
 - 1 hectare pour la forêt (soit environ 3x3 pixels avec des images LANDSAT),
 - 0,36 hectare pour la déforestation (soit 2x2 pixels).
- **Evaluation de la classification :**
 - Via les 1/3 (30%) restants étant utilisé pour la validation (matrice de confusion et indicateurs) ;
 - Indices retenus : Indice global (*Overall Accuracy*) et Indice Kappa.
- **Validation externe :**
 - Via l'acquisition d'images à Très Haute Résolution sur les deux dernières dates des trois dates
 - Photo-interprétation de points d'échantillonnage distribués systématiquement selon la pression locale de déforestation au sein de carrés de 20 x 20 km :
 - < 20 ha/an : points observés tous les 5 x 5 km
 - 20-50 ha/an : points observés tous les 1 x 1 km
 - > 50 ha/an : points observés tous les 0,5 x 0,5 km

7.1.1.5 Fréquence de suivi

Dans sa Décision 14/CP.19 (Article 6⁵), la CCNUCC autorise les Pays les Moins Avancés à adapter le rythme de rapportage biennal imposé aux Parties. Il nous semble particulièrement important pour Madagascar de bénéficier de ces possibilités d'assouplissement et le consortium propose par conséquent de porter la fréquence de suivi des émissions liées à la déforestation à 5 ans.

En effet, les expériences montrent qu'il est assez complexe de réunir les moyens financiers, matériels et humains pour réaliser le suivi de la déforestation au niveau national et réaliser cela à une fréquence plus soutenue semble difficilement réalisable. Au-delà de ces aspects techniques, il convient également de rappeler qu'en-deçà de cette fréquence, la détection de la déforestation est largement handicapée par la petite taille des parcelles annuellement déboisées par les agents de déforestation.

⁵ Conformément à la décision 1/CP.16 et à l'annexe III de la décision 2/CP.17, les données et les informations mentionnées ci-dessus au paragraphe 3 devraient être communiquées dans le cadre des rapports biennaux actualisés des Parties, une plus grande latitude étant laissée aux pays les moins avancés et aux petits États insulaires en développement ”

7.1.1.6 Unité Minimale Cartographiée (MMU)

Les cartographies de la déforestation qui seront produites combineront deux MMU différentes :

- 1 ha (correspondant à environ 3 x 3 pixels sur des images Landsat) pour les Terres Forestières demeurant comme telles et pour respecter la définition des forêts retenue ;
- 0,36 ha (correspondant à 2 x 2 pixels sur des images Landsat) pour les Terres Forestières converties en d'autres types d'utilisation des terres pour permettre une détection fine de parcelles de déforestation qui peuvent souvent être de taille inférieure à l'hectare.

7.1.1.7 Précision des cartes forestières et des cartes de la déforestation

Pour l'une ou l'autre des cartographies, il est choisi d'atteindre un objectif commun de 75% de précision. à mesurer en ayant recours à des images Spot à Très Haute Résolution spatiale (ex. 10m) acquises gracieusement via la station SEAS-OI sur les spots de déforestation les plus importants.

7.1.2 Suivi des facteurs d'émission

7.1.2.1 Facteurs d'émissions utilisables

Les cadres méthodologiques du VCS et du FCPF insistent logiquement sur la cohérence et la comparabilité entre les facteurs d'émissions ayant conduit à l'élaboration du Niveau d'Emissions de Référence et ceux qui feront l'objet du suivi.

7.1.2.2 Compartiments carbone et gaz à effet de serre pris en compte

- **Compartiments carbone** : conformément à la R-PP, les compartiments carbone retenus au niveau de l'écorégion des Forêts Humides sont les suivants :
 - Biomasse aérienne ligneuse (i.e. biomasse aérienne non ligneuse (ex. lianes) exclue ;
 - Biomasse souterraine ;
 - Carbone organique du sol ;

Concernant la biomasse souterraine et le carbone organique du sol, VCS précise que les émissions associées à ces compartiments ne peuvent avoir lieu instantanément et qu'il faut prendre en compte leur étalement dans le temps.

Concernant les autres compartiments éligibles, la litière sera éventuellement intégrée à la lumière de prochaines études scientifiques alors que le bois mort est exclu compte tenu des travaux déjà menés sur ce compartiment à Madagascar.

- **Gaz à effet de serre** : seul le CO₂ est pour le moment considéré. La prise en compte des autres gaz (CH₄, N₂O, NO_x) émis lors de la combustion de la biomasse et de la décomposition de la biomasse épargnée par le feu (à l'occasion des abattis-brûlis comme des feux non contrôlés de renouvellement ou d'extension de pâturages) doit encore faire l'objet d'une réflexion nationale quant à l'adoption de la méthode de calcul la plus appropriée⁶. D'ici là, il semble relativement aisé de démontrer que leur exclusion conduit à une sous-estimation du total des réductions d'émissions.

7.1.2.3 Niveau minimal de précision par compartiment

Conformément à la R-PP, la définition des niveaux de précision pour les compartiments carbone considérés est définie comme présenté dans le tableau 58 ci-dessous.

⁶ Les deux méthodes proposées par le GIEC sont présentées ici : GIEC, 2003. *Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry, Chapitre 3, p.3.48 à 3.50 et Tables IPCC Annexe 3 A.1.*

Tableau 58 : Choix des niveaux de précision par compartiment à court et moyen terme (R-PP 2014)

Echéance	Biomasse aérienne	Biomasse souterraine	Carbone organique du sol
A court terme (3 ans)	Tier II	Tier I	Tier II
A long terme (3-10 ans)	Tier III	Tier I (voire II)	Tier II voire III

- Biomasse aérienne : dans le cadre du présent contrat, et toujours en conformité avec la R-PP, c'est le Tier III avec cartographie au niveau du pixel Landsat (30 x 30 m) qui sera directement visé pour la biomasse aérienne de l'écorégion des forêts humides.
- Biomasse souterraine : Le Tier I sera appliqué car ce compartiment représente moins de 15% du stock total moyen de carbone de l'écosystème selon les travaux de recherche déjà conduits à ce sujet à Madagascar (cf. Annexe 3).
- Carbone du sol : le consortium en charge de l'établissement de la cartographie des stocks de ce compartiment se conformera à ce niveau de précision (Tier II) en proposant également une cartographie à l'échelle du pixel Landsat.

Comme pour les données d'activité, le suivi des facteurs d'émissions, et particulièrement celui de la biomasse aérienne, s'appuiera sur le manuel d'inventaire forestier élaboré par le Ministère de l'Environnement, des Forêts et du Tourisme en 2009, manuel utilisé dans le cadre du présent contrat et enrichi d'un Aide-Mémoire de terrain (cf. Annexe 4). Ce suivi de la biomasse aérienne aura recours à la participation effective des populations locales⁷, sur les mêmes bases techniques que la campagne d'inventaires menée en 2014.

En ce qui concerne les techniques de cartographie des stocks (biomasse ou sol), compte tenu de l'évolution très rapide des méthodes et outils à disposition des praticiens, il ne semble pas pertinent de s'arrêter aujourd'hui sur une méthode bien précise qui sera certainement obsolète d'ici 10 ans mais plutôt d'assurer une veille méthodologique permettant de mobiliser les méthodes et outils les plus appropriés le moment venu.

7.1.2.4 Unité de l'indicateur

Dans son paragraphe 4, la décision 14 de la 19^e Conférence des Parties de la CCNUCC « *convient que, (...) les résultats de la mise en œuvre par les Parties des activités visées au paragraphe 70 de la décision 1/CP.16, mesurés par rapport aux niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou aux niveaux de référence pour les forêts, devraient être exprimés en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone par an* »

7.1.2.5 Fréquence de mise à jour

La période retenue est conforme à celle de VCS, à savoir 10 ans. D'ici là, d'autres inventaires et travaux de recherche permettront certainement d'actualiser et d'améliorer le niveau de précision de certains facteurs d'émissions, en particulier en ce qui concerne le carbone du sol et la biomasse souterraine.

7.1.2.6 Précision

Comme requis par les cadres méthodologiques examinés ci-dessus, le niveau d'incertitude sera clairement documenté, en respectant les consignes du FCPF, beaucoup plus explicite en la matière que VCS (cf. extrait du cadre méthodologique du FCPF - § 3.2 : Incertitude). Pour ce qui concerne l'incertitude des seuls facteurs d'émissions (biomasse aérienne et sol à 30 cm de profondeur), c'est l'erreur par rapport à la moyenne (exprimée en % et calculée en divisant la RMSE par la moyenne) que le consortium propose de retenir avec une limite supérieure fixée à 30%, en cohérence avec certains travaux de cartographie ayant déjà été réalisés à Madagascar (Asner 2011).

⁷ Une étude menée, entre autres, à Madagascar a confirmé tout l'intérêt d'une telle approche (Danielsen 2010 : *At the heart of REDD+ : a role for local people in monitoring forests?*, *Conservation letters*).

7.1.3 Suivi des fuites

Il est proposé que le système de suivi des fuites s'appuie sur le cadre méthodologique le plus exigeant en la matière (i.e. VCS) mais sur son option la moins contraignante, à savoir la délimitation d'une ceinture de fuites dans laquelle un Niveau d'Émissions de Référence sera établi et suivi dans le temps pour juger à posteriori du niveau de fuites généré par les activités menées au sein de l'écorégion des forêts humides. Pour le consortium, le recours au *JNR Leakage Tool* ne semble en effet pas encore accessible à Madagascar tout comme à la grande majorité des pays du Sud. Rien qu'en terme d'identification préalable des catégories de fuites, il s'agit en effet de conduire une analyse visant à discriminer les fuites juridictionnelles en trois grandes catégories selon que les agents/facteurs de déforestation sont associés :

- Aux marchés internationaux ;
- Aux marchés domestiques et/ou à des activités de subsistance ;
- A des activités de Dégradation issues du déplacement d'activités de déforestation.

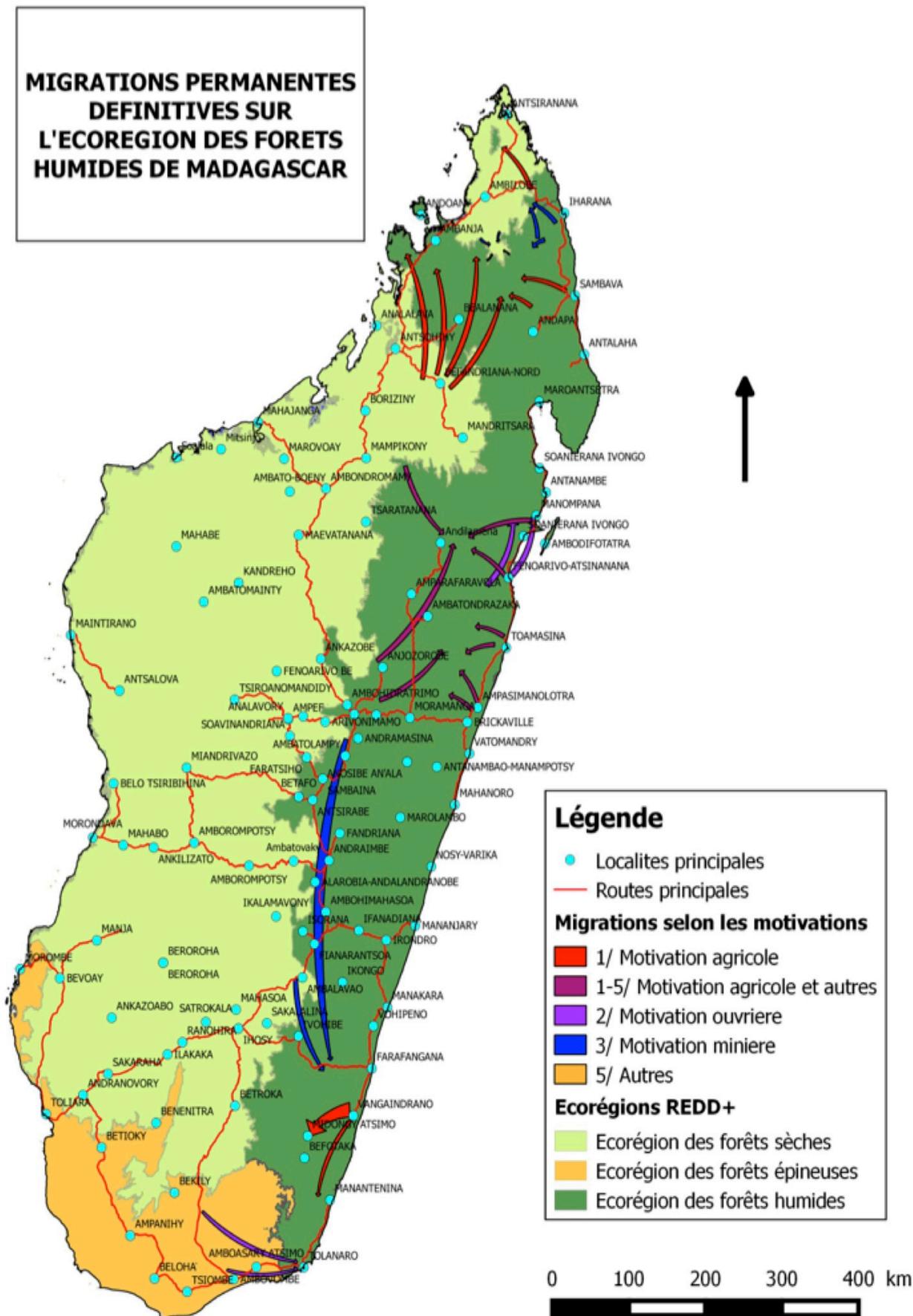
Après examen des exigences de ce *JNR Leakage Tool*, il a ainsi semblé bien plus raisonnable de recourir à la première option proposée par VCS. De manière plus détaillée, les étapes suivantes devront donc être conduites :

- Délimitation d'une zone de fuites (*leakage belt*) adjacente à l'écorégion des forêts humides sur la base des agents/facteurs pouvant créer des fuites, les mesures de réduction de réduction de la déforestation préconisées au niveau de l'écorégion des forêts humides et les analyses des fuites potentielles de l'éco-région vers la ceinture des fuites ;
- Développement d'un scénario de référence des émissions pour l'ensemble de la zone des fuites montrant les émissions liées à la déforestation sans interventions REDD+, c'est à dire sans potentiel de fuites vers l'extérieur de l'écorégion des forêts humides ;
- Suivi des émissions liées à la déforestation au niveau de la ceinture des fuites au cours d'une période de suivi déterminée et comparaison avec les émissions prévues par le scénario de références hors fuites ;
- Calcul des émissions dues à des fuites de l'écorégion des forêts humides vers la zone des fuites en déduisant les émissions du scénario de référence des émissions réelles (

Le travail de délimitation de la zone des fuites pourra notamment s'appuyer sur la cartographie des principales migrations menée à l'occasion des 10 ateliers régionaux organisés dans le cadre du présent contrat (cf. section 4.2.2 et annexe 5). Ces résultats montrent entre autres que pour le moment l'écorégion des forêts humides est plutôt une zone des destination de migrants (cf. figure 55), ce qui limite fortement le potentiel de fuites vers d'autres écorégions et signifierait que la zone des fuites pourrait être relativement étroite.

Ces analyses ne prennent cependant pas encore en considération des interventions REDD+ spécifiques au niveau de l'écorégion des forêts humides, mesures qui pourraient considérablement augmenter le potentiel de fuites de l'écorégion des forêts humides vers d'autres zones forestières. Il est par conséquent recommandé de reprendre ces analyses du potentiel de fuites une fois ces mesures REDD+ éco-régionales déterminées, comme cela pourrait se faire dans le cadre d'un programme éco-régional ou juridictionnel de réduction des émissions liées à la déforestation avec différents bailleurs potentiels (voir par exemple l'idée préliminaire d'un tel programme éco-régional de réduction des émissions soumise au Fonds Carbone du FCPF en juin 2014 focalisant sur quatre « hotspots » de la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides et intégrant des mesures REDD+ dans les domaines de la planification de l'utilisation des terres, l'agriculture, la gestion durable des ressources forestières et la gouvernance des ressources naturelles).

Figure 55 : Cartographie écorégionale des principales migrations permanentes définitives (sans retour ultérieur au point de départ) historiques et actuelles

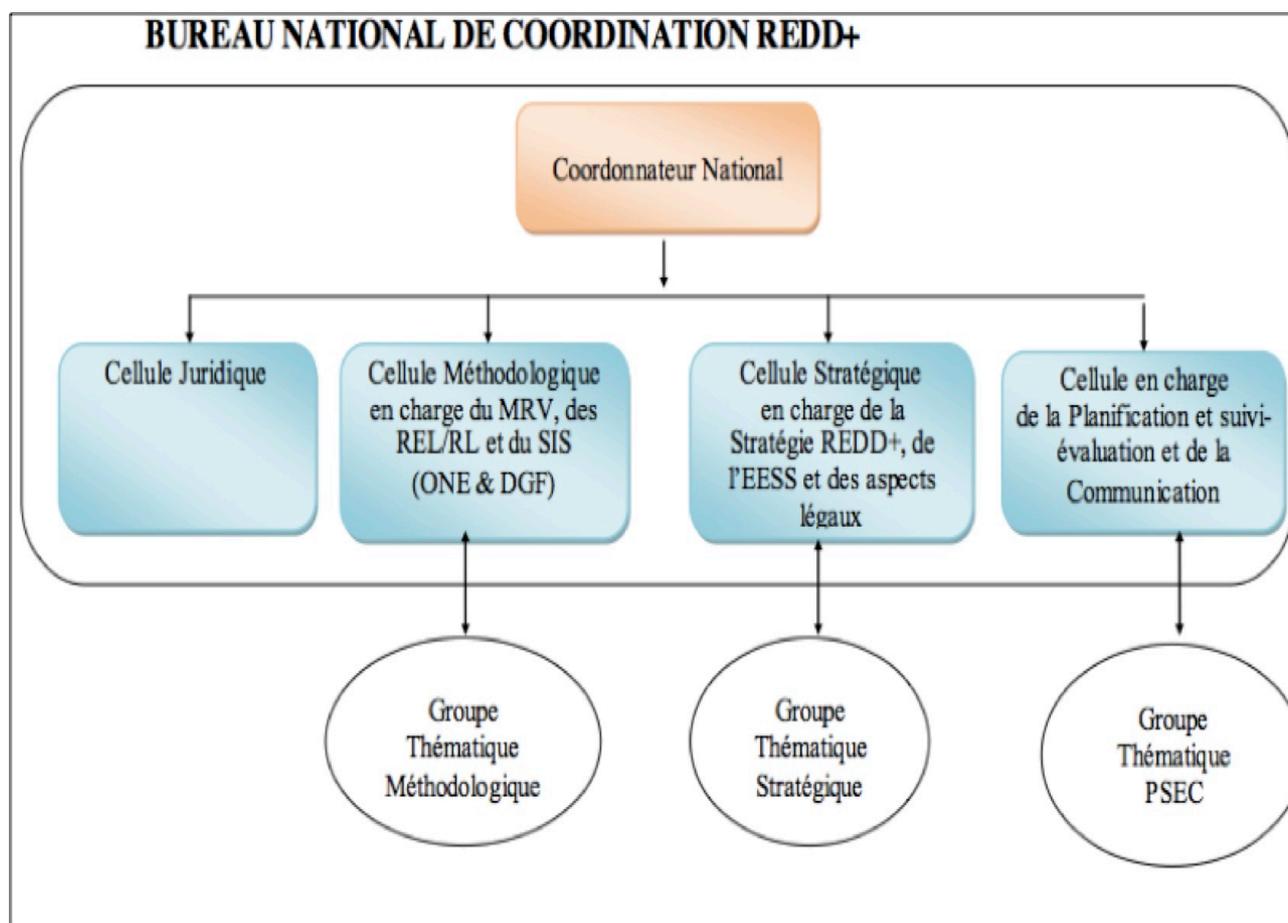


7.1.4 Institutions en charge du suivi des émissions

L'arrêté n° 8090/2014 portant création du Bureau National de Coordination REDD+ (BNC-REDD+) rattaché à la Direction Générale des Forêts (DGF) est entré en vigueur le 3 Février 2014. Selon l'article 4 de cet arrêté, le BNC-REDD+ est l'organe de coordination et de gestion technique des activités REDD+ au niveau national, engage les dépenses et assure que les activités et les études respectent les normes reconnues.

Selon l'article du même arrêté, « le BNC-REDD+ est constitué d'un bureau permanent et de 4 cellules qui sont responsables de la coordination des activités techniques qui leurs sont assignées » (cf. figure 56 ci-dessous). La Cellule Méthodologique sera en charge du système de Monitoring, de Rapportage et de Vérification (MRV), de l'établissement des niveaux de référence des émissions (REL/RL) et du Système d'Information sur les Sauvegardes (SIS).

Figure 56 : Organigramme du Bureau National de Coordination REDD+ (selon R-PP 2014)



La R-PP, approuvée par le FCPF en juillet 2014, précise par ailleurs les attributions de la Cellule Méthodologique comme suit (cf. annexe 1a-1 de la R-PP Madagascar version finale 2014) :

- « *Unique responsable du Monitoring Reporting (MR) au niveau national, cette Cellule Méthodologique est une entité composée de l'ONE et de la Direction Générale des Forêts et a pour attribution de faire le suivi des activités liées à l'évolution de la couverture forestière et les extras carbonés ainsi que de faire le rapportage à qui de droit. Eventuellement, la cellule peut recourir à d'autres compétences en cas de besoin.* »
- « *Pour la Vérification (V) et le Système d'information sur les Sauvegardes (SIS), ils pourront relever de l'ONE qui est une entité externe indépendante ayant la compétence en la matière.* »
- « *A cet effet, un Protocole d'Accord entre la DGF et l'ONE est en cours d'élaboration afin de déterminer les rôles et responsabilités des deux parties dans le Système National MRV, des REL et du SIS.* »

Toujours selon la R-PP, ces responsabilités des quatre cellules du BNC-REDD+, ainsi que les modalités participation et de consultation des différentes parties prenantes dans la mise en œuvre des activités REDD+ (dont plus particulièrement l'accord de collaboration entre la DGF et IONE) restent à être définies d'avantage dans le cadre du processus national de préparation à la REDD+. Comme les principaux membres du BNC-REDD+, dont notamment le coordinateur et les responsables des quatre cellules, n'ont pas encore été nommés par le Ministère en charge des forêts, ces négociations n'ont pas encore pu être lancées officiellement et le consortium se voit dans l'impossibilité d'émettre des propositions concrètes et politiquement correctes à ce sujet.

Pour faciliter le lancement de ces négociations, le consortium se propose néanmoins d'intégrer ce thème des structures en charge du suivi des émissions dans les événements de présentation et de discussion des résultats du PERR-FH prévus pour le mois de mars 2015 (cf. section 1.3.5).

7.2 Suivi des sauvegardes

Le système de suivi des sauvegardes environnementales et sociales joue un rôle important dans le processus REDD+. Il vise à démontrer que la mise en œuvre de la REDD+ n'a pas d'impacts négatifs sur la biodiversité et le milieu humain, mais également à identifier les bénéfices multiples environnementaux et socio-économiques du projet. Le système et les mécanismes à mettre en place devraient également permettre d'améliorer la gouvernance REDD+.

Ainsi, Le système de suivi des sauvegardes environnementales et sociales comprend au moins quatre principaux éléments : i) le suivi des impacts et des co-bénéfices socio-économiques et environnementaux ; ii) les mécanismes d'information et de plaintes par rapport au programme éco-régional ; iii) les critères et les procédures de distribution des revenus REDD+ aux différentes parties prenantes ; et iv) le suivi de la gouvernance forestière.

Pour des raisons pratiques, les mécanismes d'informations et de plaintes par rapport au programme éco-régional sont intégrés dans le système de suivi des impacts et des co-bénéfices socio-économiques et environnementaux. Par contre, la détermination des critères et l'élaboration de procédures pour la distribution des revenus REDD+ ne fera pas l'objet de ce rapport, car la partie de l'étude y afférente a été annulée de commun accord avec le Client, l'étude préalable prévue à être lancée par le Client n'ayant pas eu lieu. Le système présenté ci-dessous ne concerne donc qu'une partie du système de suivi des sauvegardes.

Il faut cependant mentionner que les expériences faites à ce sujet dans d'autres pays montrent que la mise en place d'un Système d'Information sur les Sauvegardes (SIS) complet se fait en plusieurs années et nécessite des consultations approfondies avec les parties prenantes, notamment les populations susceptibles d'être touchées ou affectées par les activités et mesures de réduction des émissions proposées dans le cadre d'un programme éco-régional REDD+. De plus, ces activités REDD+, qui ne seront définitivement connues que lorsque la stratégie nationale REDD+ et/ou des programmes éco-régionaux/juridictionnels sera arrêtés, peuvent aussi avoir des dimensions nationales et impliqueront un cadre dépassant celui de l'écorégion. En outre, compte tenu de la diversité et de la multiplicité des domaines concernés, le SIS est nécessairement complexe sur le plan institutionnel car il demande une bonne coordination entre les différents organismes qui fourniront les données.

Les systèmes de suivi développés pour les impacts socio-économiques et environnementaux pour l'écorégion forêts humides de l'Est ont pour objectifs de vérifier les évolutions dans ces deux domaines par rapport aux lignes ou scénarios de référence établis préalablement. Dans le présent rapport, nous esquissons deux systèmes : le système de suivi socio-économique et le système de suivi de la biodiversité. Ils seront présentés aux parties prenantes et acteurs potentiels du système lors de l'atelier prévu se tenir en mars 2015 ; ce sera l'occasion également de les discuter et d'entamer les réflexions sur le SIS.

7.2.1 Le système de suivi des impacts et bénéfices socio-économiques

Le système de suivi des impacts et bénéfices socio-économique fait partie intégrante du système de suivi des sauvegardes environnementales et sociales. Ce système devra permettre de démontrer que les activités REDD+ n'ont pas d'impact socio-économique négatif sur les communautés vivant dans ou

à proximité des zones de projets. Les méthodologies seront similaires à celles utilisées pour établir la ligne de référence (état socio-économique zéro). L'objectif est de mettre en place un système robuste, transparent, efficace et qui soit cohérent avec le cadre de Varsovie pour la REDD+, notamment en ce concerne les décisions 12/CP19 et 14/CP19. La fréquence des mesures sera donc alignée à celle de la production de la communication nationale; quant au contenu, le système est conçu de façon à aider le pays à fournir un résumé des informations relatives à la manière dont toutes les garanties de Cancun sont prises en compte et respectées.

7.2.1.1 Les étapes d'élaboration du système

Dans une étude commanditée et validée par l'UCPE, le consultant Oréade-Brèche & FRM a procédé à une analyse et comparaison des méthodologies d'évaluation des impacts des efforts de projet REDD sur les communautés riveraines partenaires et sur la biodiversité appliquées par les projets pilotes à Madagascar par rapport aux standards internationaux. Cette étude a eu pour objectif de proposer un système de suivi des impacts commun à l'écorégion des forêts humides de l'Est en vue d'harmoniser les méthodologies utilisées dans les différents projets et en faciliter le suivi et le reporting à l'échelle régionale. De cette analyse a découlé une proposition d'un ensemble de critères et d'indicateurs jugés appropriés pour traduire les co-bénéfices environnementaux et socio-économiques ainsi qu'une proposition d'outils à mobiliser pour la réalisation des inventaires et le suivi des indicateurs.

Un paquet d'une centaine d'indicateurs a été proposé dans le rapport de cette analyse, voir Oréade-Brèche & FRM (2014). La proposition consiste à suivre les impacts potentiels des projets REDD+ sur cinq catégories de capitaux : financier, social, humain, physique et naturel.

Sur la base de cette étude, le projet PERR-FH a fait faire une étude par le bureau d'étude Biodev dont l'objet était l'établissement d'un état de référence socio-économique et du système MRV au niveau de l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar. Dans ce cadre, Biodev a d'abord développé des méthodologies pour le suivi des impacts socio-économiques, notamment en définissant les indicateurs à mesurer et à suivre. Cette étape a été conduite à travers une analyse critique des indicateurs proposés par OREADE-Brèche et une capitalisation des indicateurs socio-économiques disponibles. Il a ensuite rassemblé les données disponibles auprès des différents acteurs de la REDD+ dans l'écorégion des forêts humides et collecté des données complémentaires sur terrain ; et enfin, il a établi un état de référence socio-économique sur la base de ces données.

Les bureaux d'études, notamment Biodev, ont travaillé en concertation avec le Consortium WCS-ONE-MNP-ETCterra. Les méthodologies ainsi que les indicateurs ont donc été identifiés de commun accord. Néanmoins, un atelier national de validation sera organisé afin de soumettre et faire adopter définitivement les méthodologies et la liste d'indicateurs du système par l'ensemble des parties prenantes, y compris et notamment les administrations forestières et territoriales.

Par ailleurs, la liste des indicateurs à suivre devra être mise à jour quand la stratégie nationale REDD+ sera élaborée définitivement. En effet, l'évaluation environnementale et sociale stratégique (ESS) pourra déceler d'autres impacts potentiels à mitiger et à contrôler, ces impacts de la REDD+ pouvant varier selon les actions identifiées dans la stratégie, les conditions et le cadre sa mise en œuvre.

7.2.2 Les indicateurs

7.2.2.1 La liste des indicateurs

Les détails sur les indicateurs du suivi socio-économique sont présentés dans les tableaux 5 à 9 du rapport livrable 4 soumis par le consortium.

7.2.2.2 Les fiches descriptives des indicateurs

A chaque indicateur correspond une fiche descriptive qui sert de base méthodologique à laquelle se réfèrent tous travaux de collecte, de traitement, de diffusion et même d'utilisation ultérieure de l'indicateur. Le rapport d'Oréade-Brèche & FRM comprend un set de fiches pour tous les indicateurs qu'il a proposés. Il s'est basé en fait sur les fiches descriptives utilisées par l'ONE.

Cette fiche, dans sa version Oréade-Brèche & FRM, précise le nom exact de l'indicateur, l'unité de mesure, une description, les sources de données, la méthode de collecte des données, les moyens

techniques nécessaires, le niveau de difficulté, la fréquence et périodicité des mesures, la valeur initiale du scénario de référence et la méthode de valorisation (qualitatif, tableaux, graphiques, carte). Les fiches originales du TBE comprennent en plus les concepts de base nécessaires pour la compréhension de l'indicateur et les limites de son utilisation. De toute façon, les informations qui devraient y figurer feront aussi l'objet de discussion et d'accord lors de l'atelier de validation cité plus haut.

Une fois la liste définitive des indicateurs arrêtée, les fiches doivent être nettoyées, complétées et mises jour notamment concernant la valeur initiale du scénario de référence (état 0). Les fiches descriptives avec les valeurs initiales de référence (résultats des travaux de biodev) font partie intégrante du système de suivi socio-économique.

Un manuel de suivi peut être conçu pour guider et faciliter l'utilisation des fiches afin d'assurer l'utilisation d'outils standards et de méthodologies identiques et ainsi garantir la cohérence des données collectées par différentes institutions. Un système de contrôle qualité des relevées des données et une autoévaluation de l'ensemble du système seront également indispensables.

7.2.3 Méthodologie de suivi

La méthodologie de suivi s'inspire de celle du TBE. Le système sera alimenté de plusieurs façons :

- A travers les enquêtes EPM (enquête permanente auprès des ménages) de l'Institut National de Statistique (INSTAT) ou les autres enquêtes du type ENSOMD toujours menées par l'INSTAT ;
- Par les mesures ou observations effectuées par les acteurs sur terrain, soit les VOI, soit les organismes porteurs de projets ou les CTD ;
- Par une campagne de collecte de données organisée par l'organisme en charge de système MRV de l'écorégion ;
- Par la compilation d'études ou de recherches indépendantes.

7.2.3.1 Enquêtes régulières de l'INSTAT

La majorité des indicateurs proposés font parties des questionnaires usuels de l'INSTAT. Ainsi, il suffit d'établir une convention avec cette institution pour pouvoir utiliser les données brutes issues des enquêtes. Une autre façon de travailler serait de confier entièrement à l'INSTAT la gestion de ces indicateurs, c'est-à-dire que l'INSTAT se chargera de mesurer régulièrement les indicateurs et communiquer directement les résultats. Sinon, il faudra négocier avec l'INSTAT pour inclure un maximum de questions supplémentaires relatives aux indicateurs du présent système de suivi.

En tous cas, la fréquence de ces mesures sera déterminée par le rythme des enquêtes de l'INSTAT. La fréquence théorique des EPM est de 2 ans, mais tout dépend de la disponibilité de financement pour les réaliser. Les méthodologies (plan de sondage, échantillonnage, questionnaire, modes de collecte des données, etc.) sont celles de l'INSTAT.

7.2.3.2 Collecte de données par les acteurs REDD+ et suivi communautaire

Les porteurs de projets REDD+ et les organisations socio-organisationnelles qui travaillent avec eux, telles les VOI, les organisations paysannes, les associations, et même les individus auront des rôles importants à jouer dans la collecte et la remontée de certaines données. Les types de données collectées sous cette méthode sont multiples :

- Les activités et les résultats des projets, ainsi que les impacts de leurs interventions notamment sur le plan économique et social
- L'implication des communautés, leur participation, leurs capacités et leur dynamisme
- l'utilisation des terres ainsi que les droits traditionnels que ces groupes exercent sur les ressources naturelles dans leurs terroirs
- Le suivi des activités illégales en forêt (chasse, feux, tavy etc.).

L'idée est d'incorporer dans les cahiers de charge de ces acteurs des activités de collecte de données ou de prise de note ou de compte rendu sur leurs observations de certains paramètres. Un sous-système de suivi devra ainsi être installé au niveau de chaque projet REDD+ travaillant dans l'écorégion des forêts humides. Ces informations peuvent être recueillies et intégrées dans le système sur un rythme annuel. Le responsable du projet sera chargé de remonter les résultats de sous-systèmes de suivi à un niveau supérieur, commune, région et écorégion.

7.2.3.3 Campagne de collecte et de rassemblement de données par le responsable MRV de l'écorégion

L'entité de gestion de la mise en œuvre de la REDD+ dans l'écorégion confiera l'opérationnalisation du système MRV au BNC-REDD+. Ce dernier pourra, selon les besoins, ordonner des études pour rassembler certaines informations, que ce soit à travers une enquête d'envergure éco-régionale ou une analyse destinée à rassembler et à compiler les résultats de recherches ou de mesures. Ces études pourront porter sur une partie ou sur l'ensemble des indicateurs selon la disponibilité des enquêtes INSTAT. Elles peuvent être menées de la même façon que l'étude réalisée par Biodev pour établir l'état de référence (cf. section 7.1 ci-dessus). De toute façon, le questionnaire restera le même.

Aucune fréquence ne peut être précisée car ces études seront effectuées en complémentarité des enquêtes régulières de l'INSTAT. Il faudra toutefois que les indicateurs soient mis à jour au moins tous les 4 ans (fréquence de la remise de la communication nationale dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques) ou au pire tous les 5 ans (fréquence proposée dans ce document pour le suivi de la déforestation). En cas d'absence d'enquête de l'INSTAT dans cet intervalle le Programme doit réaliser une enquête d'envergure éco-régionale pour l'ensemble des indicateurs. Le coût d'une telle enquête est estimé à près de 150 millions d'ariary, soit environ US\$ 60.000 si l'on se base par exemple sur les propositions établies par le bureau d'études Biodev en août 2014 pour la collecte des données socio-économiques au niveau de l'ensemble de l'écorégion des forêts humides pour l'établissement d'un état de référence socio-économique (cf. section 7.1 ci-dessus).

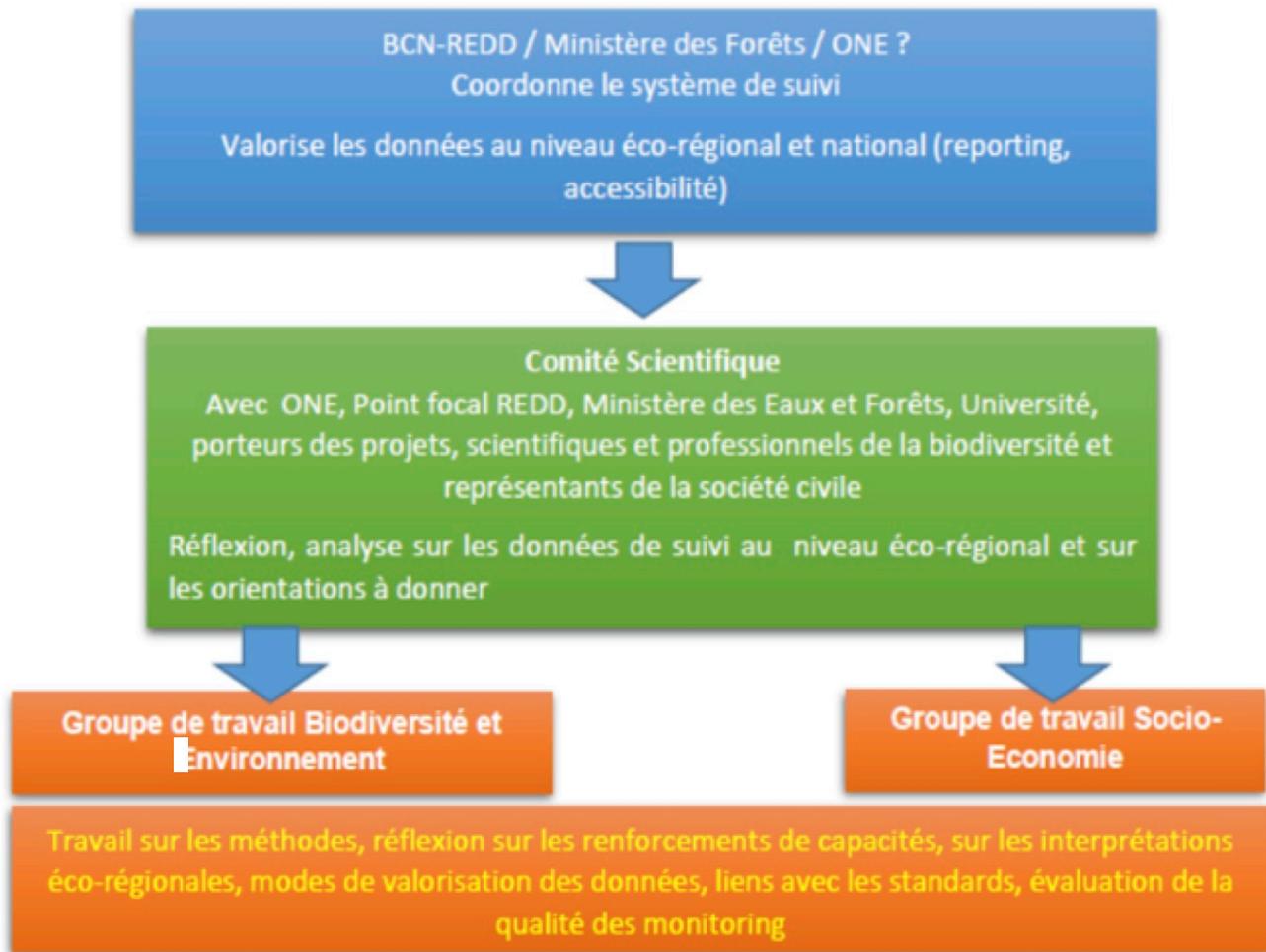
En tous cas, des collectes d'informations supplémentaires sont toujours nécessaires vu que certains indicateurs ne figurent dans aucun questionnaire de l'INSTAT ou ne font l'objet d'aucune étude particulière. En tous cas, la méthodologie de travail se base sur la consultation directe des groupes concernés à travers des enquêtes ou des entretiens.

7.2.3.4 Cadre de gouvernance pour la valorisation de données

Conformément à la proposition du R-PP, le BNC-REDD+ pourrait confier à l'Office National pour l'Environnement (ONE) la gestion du système de suivi des impacts socio-économiques de la REDD+ dans l'écorégion, étant donné que l'ONE fait partie intégrante de ce BNC-REDD+ et qu'il est aussi le gestionnaire du Tableau de bord Environnemental national. Un accord sur ces aspects devrait figurer dans le protocole en cours de finalisation entre le Ministère en charge des forêts et l'ONE. Le R-PP préconise également de bâtir les systèmes à partir de l'existant et insiste pour que le TBE soit à la base du système de suivi des impacts socio-économiques de la REDD+.

Comme suggéré par Oréade-Brèche & FRM, il sera nécessaire d'avoir une base commune de mutualisation des données au niveau de l'écorégion des forêts humides de l'Est. Elle devra permettre l'agrégation de l'ensemble des données des différents projets afin de pouvoir évaluer les co-bénéfices environnementaux à cette échelle. Pour ce faire, il faudra concevoir un langage commun et créer une base de données commune. La base de données sera gérée au niveau du BNC-REDD+ et son développement pourra s'inspirer par la base de données développée par le consortium dans le cadre du développement de l'état de référence socio-économique (cf. section 7.1 ci-dessus) et qui sera transmise à l'administration forestière dans le cadre des événements de communication et de discussion des résultats du PERR-FH.

Figure 57 : Proposition d'organisation pour la concentration des données au niveau éco-régional et leur valorisation



Oréade-Brèche & FRM a proposé aussi un cadre institutionnel au niveau de l'écorégion pour collecter, traiter et diffuser les données (cf. figure 57 ci-dessus). Ce cadre définit aussi l'organisation pour ajuster les méthodes, réfléchir en vue de l'amélioration et la maintenance du système du suivi, renforcer les capacités valoriser les outputs et évaluer la performance du système. Il est construit autour du BNC-REDD+ qui sera renforcé par un comité scientifique et deux groupes de travail dont l'un sera en charge du volet socio-économique.

7.2.4 Mécanisme de feedback et de gestion des plaintes

Outre les données qui sont remontées et traitées régulièrement, une composante supplémentaire est ajoutée au système de suivi. Il s'agit d'un mécanisme de feed-back et de gestion des plaintes qui permettront à tous les acteurs, qu'ils soient intéressés, concernés, touchés ou affectés par les activités REDD+, de s'exprimer librement et systématiquement (cf. figure 58). Le mécanisme de gestion des plaintes (MGP) proposé ici s'intègre directement dans les systèmes et outils existants aux niveaux régional, national et international. Des procédures pour la gestion des plaintes sont utilisées dans le cadre de l'application du décret MECIE aussi bien par l'ONE que par les investisseurs. C'est ainsi que les grands projets miniers comme Ambatovy et QMM ont mis en place des systèmes internes de gestion des doléances.

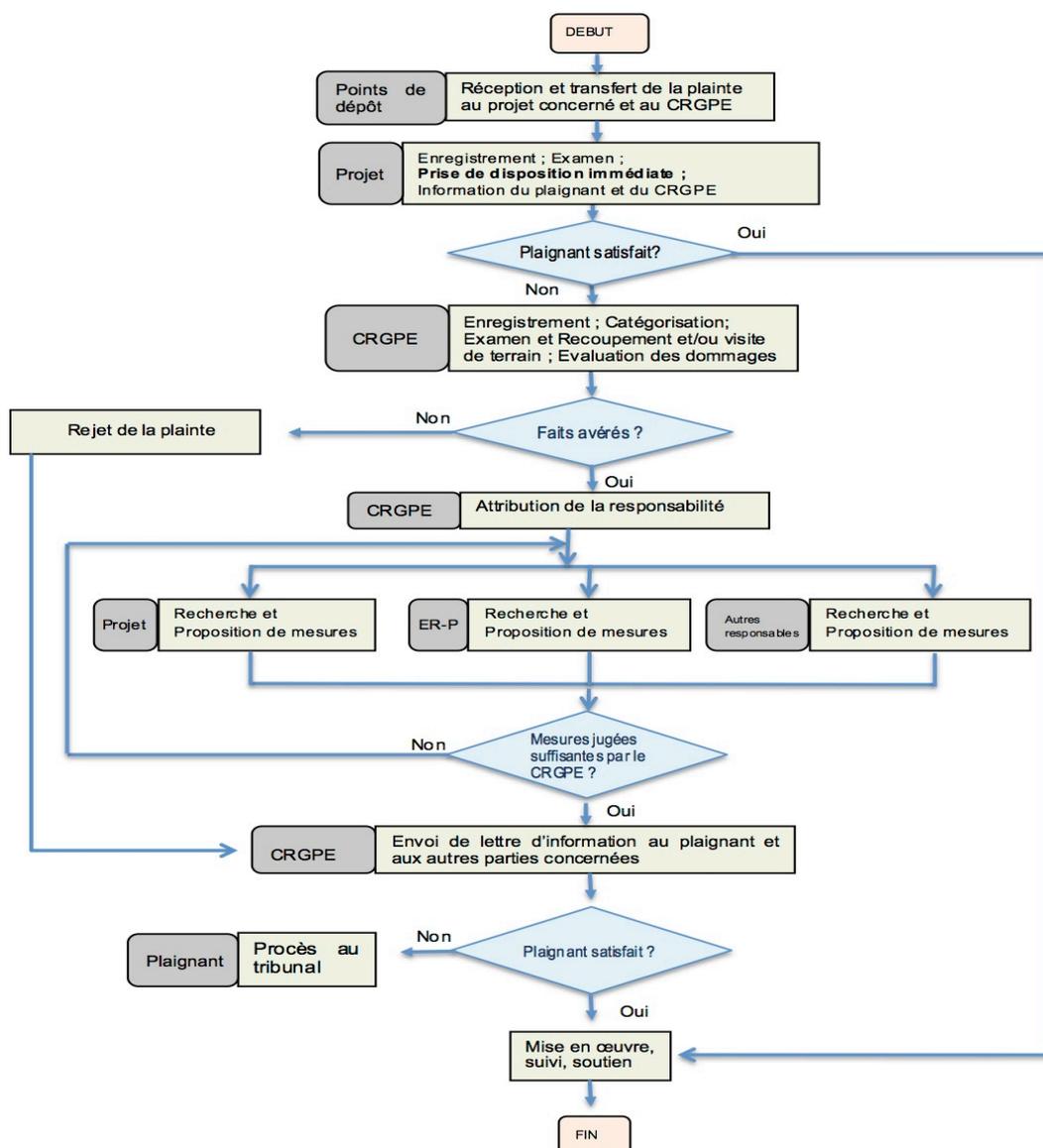
Des comités régionaux ont été créés et sont opérationnels dans la plupart des régions de Madagascar appuyés par le Service de Gestion de Plaintes et de Contrôle Environnemental au sein du Ministère de l'environnement, de l'écologie et des forêts. Un **registre des plaintes** est installé au niveau de chaque commune pour permettre au public de transmettre leurs doléances, plaintes ou autres messages par rapport aux activités REDD+. Lorsque les infrastructures de télécommunication le permettent, un

numéro vert sera aussi utilisé pour faciliter les communications orales. Le suivi de proximité, sera mis en œuvre à travers la responsabilisation du public, de la société civile et des autorités décentralisées (communes, régions). Des renforcements de capacités à tous les niveaux seront réalisés pour y arriver.

Selon le principe de subsidiarité, les problèmes doivent être traités et résolus autant que possible au niveau le plus proche. Par conséquent, un **comité spécial** sera mis en place dans chaque région et au niveau de l'écorégion pour ce faire. Vue l'importance du rôle de ce comité, sa composition, pouvant varier d'une région à l'autre, sera précisée après une sérieuse consultation des parties prenantes. Il aura pour mission de rassembler, étudier et solutionner les doléances et suggestions qui lui sont soumises. Il est appelé à évaluer les éventuels dommages, établir les responsabilités et prendre ou faire prendre les mesures d'intervention appropriées, tout en informant les autorités ou instances compétentes. Il peut aussi renvoyer les problèmes qu'il n'est pas en mesure de résoudre aux instances supérieures.

Les autorités compétentes et autres instances supérieures dont on parle ici concernent les autorités administratives (régions) et, le cas échéant, l'entité gestionnaire ou le maître d'ouvrage du programme de réduction des émissions à l'échelle régionale. Le service de gestion des plaintes au sein du Ministère de l'environnement, de l'écologie et des forêts doit aussi être destinataire des copies des plaintes et des mesures y afférentes. Et enfin, en cas de nécessité, le CIME ou la Médiature de la République pourront être saisis ou consultés.

Figure 58 : Schéma directeur pour un mécanisme de feedback et de traitement des plaintes



Des **mécanismes de compensation** ainsi que des règles en matière de responsabilité et de réparation pour dommage causé seront conçus et mis en place. Mais encore une fois, il est difficile d'aller plus loin dans la description de ce mécanisme à ce stade. Le mécanisme doit être un mécanisme national et non quelque chose qui sera adaptée seulement à l'écorégion des forêts humides. Une démarche plus participative et plus inclusive dans le cadre des consultations prévues dans le R-PP nous semble plus appropriée.

Par ailleurs, le consortium propose aussi que l'on développe une stratégie de communication performante. Cette stratégie prévoit un mécanisme de feedback et de dialogue permanent ainsi qu'un système de diffusion des informations relatives au projet éco-régional REDD à tous les niveaux afin de renforcer la transparence et l'équité qui sont des caractéristiques essentielles de la REDD+. La stratégie de communication se basera essentiellement sur les propositions dans le R-PP. Dans tous cas, elle ne pourra pas se détacher de la stratégie nationale de communication sur la REDD+ si l'on veut assurer la cohérence nationale.

La stratégie de communication comprendra au moins 3 éléments : i) L'information et la sensibilisation ; ii) La consultation des parties prenantes ; et iii) la mise à disposition et la dissémination des informations et des résultats de la REDD+. Elle vise en outre quatre grands types de publics cibles : i) Le **grand public** qui sera informé sur les orientations de la REDD+ ; ii) Le **public intéressé** (stakeholders), dont les feedbacks sont attendus pour harmoniser les intérêts en cause ; iii) Le **public concerné**, dont l'engagement est suscité ; et iv) Le **public touché** (shareholders) pour une négociation finale en vue de l'atteinte d'un consensus et de partenariat.

Comme au niveau national, chaque consultation doit cibler une forte proportion de femmes, de groupes vulnérables et marginaux ; les populations affectées par la stratégie REDD, notamment ceux dont les activités génèrent des conflits dans l'utilisation des terres devront être inclus dans toutes les consultations. En tant que vecteurs de la communication, les projets REDD+, les structures de concertation telles que les commissions forestières régionales, les Plates-formes Régionales de Planification et de Suivi-Évaluation, les réunions périodiques des équipes communales, les projets, les ONG et associations œuvrant sur le terrain seront sollicités pour les actions de sensibilisation et de consultation. Cependant, le contenu détaillé de la communication se précisera seulement quand la stratégie nationale sera en place et que les activités de réduction de la déforestation seront arrêtées à différentes échelles. Le calendrier sera déterminé en fonction de la mise en œuvre de la R-PP.

Pour rendre ce mécanisme de feedback et de dialogue permanent effectif, il serait impératif de : i) renforcer les capacités afin de permettre et faciliter les participations ; ii) donner des suites concrètes aux plaintes ; iii) donner des réponses (des retours d'informations) qu'elles soient négatives ou positives ; iv) appliquer les textes notamment quand il s'agit des sanctions ; et v) mettre en place les conditions pour des dialogues francs et transparents

7.2.5 Le système de suivi des impacts sur la biodiversité

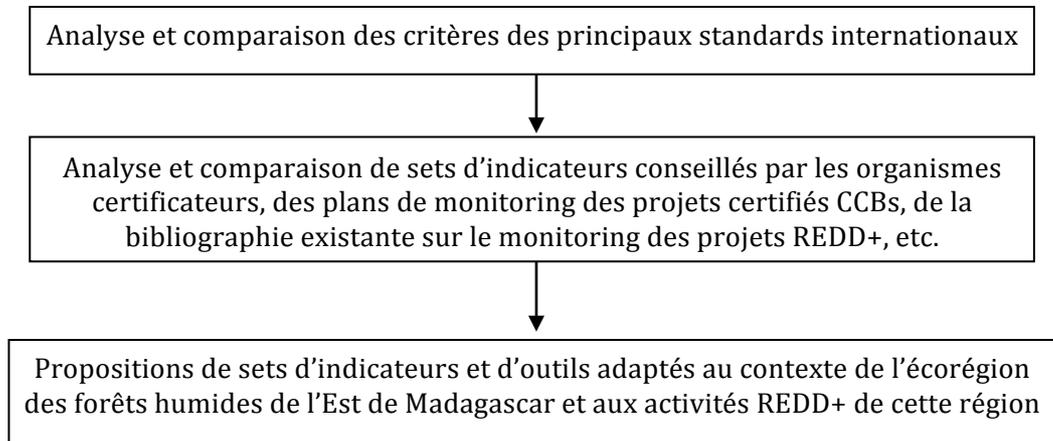
L'objectif du suivi environnemental est de démontrer clairement que la mise en œuvre de la REDD+ n'a pas d'impact négatif sur la biodiversité, mais qu'au contraire elle génère des co-bénéfices en renforçant la conservation de la biodiversité. Un scénario de référence pour la biodiversité a été établi en superposant les projections de la déforestation avec des données sur la biodiversité. Dans le cadre du suivi environnemental, il faudra donc collecter périodiquement des données spécifiques dans des zones identifiées comme étant critique par le scénario de référence. Les méthodologies de suivi ont été établies par le consortium sur la base du rapport de consultance d'Oréade Brèche sur les méthodologies hors-carbone avec l'implication des spécialistes en la matière travaillant dans les aires protégées gérées par certains de ses membres.

7.2.5.1 Introduction

La démarche de l'étude effectuée par Oréade-Brèche s'est articulée autour de l'analyse des exigences des standards de certification en termes de critères et d'indicateurs d'impact, dans la mesure où l'objectif poursuivi par l'harmonisation des méthodologies est la vente de crédits carbone, et dans le cas des bénéfices extra-carbone, d'apporter de la valeur ajoutée à ces crédits carbone. Après avoir réalisé cette analyse des critères des standards internationaux, une étude et comparaison des

indicateurs conseillés par ces standards, des indicateurs mobilisés dans les projets REDD+ existants dont le plan de monitoring est disponible en ligne et de la bibliographie sur les indicateurs, ont été réalisées. Ces analyses ont abouti à des propositions de sets d'indicateurs et d'outils adaptés au contexte de l'écorégion des forêts humides de l'Est de Madagascar et aux projets REDD+ de cette région.

Figure 59 : Démarche en matière de suivi de la biodiversité proposée par l'étude d'Oréade-Brèche:



7.2.5.2 Bases méthodologiques pour les indicateurs environnementaux et biodiversité

Dans la section suivante, on va présenter succinctement la méthodologie de suivi décrite dans le rapport du consultant et ensuite on va proposer une solution adaptée pour une application au niveau de l'écorégion des forêts humides. Le suivi de la biodiversité pour évaluer les co-bénéfices environnementaux peut être séparé en différents groupes d'indicateurs :

Indicateurs relatifs à l'évolution de l'éco-paysage ;

- Indicateurs mesurant les pressions exercées sur les différents écosystèmes ;
- Indicateurs relatifs à la biodiversité ;
- Indicateurs concernant les Forêts de Haute Valeur pour la Conservation (FHVC).

Utilisation des images satellitaires

Les images satellitaires apportent un avantage manifeste pour suivre l'évolution du territoire forestier, en permettant une vue globale avec un coût très bas compte tenu de la gratuité des images. Les images satellites seront naturellement très utiles pour effectuer un suivi global de la déforestation sur l'ensemble du corridor des forêts humides afin de démontrer que l'impact des activités de conservation sur les forêts humides dans les zones des projets, n'est pas réduit par une réduction de la connectivité sur l'ensemble du corridor entre les noyaux durs de conservation

Pour le cas du projet, une étude sur l'évolution de la couverture forestière utilisant les images satellites est effectuée, les données issues de cette étude servira de base pour répondre aux indicateurs de l'évolution de l'éco-paysage.

Choix des espèces indicatrices

Le choix des espèces indicatrices sur lequel doit porter le suivi est donc complexe. Ces espèces devront montrer une sensibilité aux variations de leurs habitats suffisamment significative. Elles doivent également être le plus facilement observable sans nécessité de protocoles complexes ou d'outillage sophistiqué. Le suivi ne se limitera donc pas à l'observation d'espèces rares ou protégées mais doit intégrer des espèces communes caractéristiques des habitats présents dans les zones de pression anthropique. Il est également important que l'ensemble des sites des projets REDD+ ait une base commune d'espèces de la faune ou de la flore observées pour le suivi afin de pouvoir rassembler et analyser les données au niveau de l'écorégion. Cela n'exclut pas de prendre en compte des spécificités de chaque aire protégée.

Les groupes d'espèces pouvant servir d'indicateurs sont les suivants :

- **Lémuriens :**

Selon le rapport d'étude de ZICOMA en 1999 sur les effets de la fragmentation de forêt humide sur les populations des oiseaux et des lémuriens dans le corridor Mantadia-Zahamena, ce sont surtout les espèces d'animaux de grande taille qui sont surtout affectées par l'état de la forêt.

- **Les insectes aquatiques:**

Dans la région des forêts humides de l'Est, l'eau est un élément fréquent du paysage. Les insectes aquatiques sont très sensibles aux variations des conditions micro-climatiques (éclairage, température de l'eau, etc.) et environnementales (transparence, turbidité/sédimentation, etc.). Le passage d'un cours d'eau d'un stade forestier fermé à un stade de dégradation plus ou moins avancé, voire à un stade ouvert, peut s'accompagner de profondes modifications du cortège d'insectes aquatiques. Outre leur sensibilité aux variations du milieu, les insectes aquatiques sont relativement faciles à récolter et à identifier, ce qui serait avantageux pour la mise en œuvre pratique du système de suivi environnemental.

- **Les papillons (rhopalocères) :**

Comme les insectes aquatiques, ils sont très sensibles aux ouvertures et fermetures de l'espace forestier et au degré de couverture de la canopée. Le passage de l'un à l'autre peut s'accompagner de la régression de certaines espèces au profit d'autres plus inféodées aux espèces des milieux ouverts. Cette sensibilité à la dégradation des forêts a été montrée pour les papillons du groupe Hétéropsis.

- **Oiseaux :**

Certaines espèces pourraient être utilisées, mais il restent des questions :

- Réponse de la communauté des oiseaux forestiers à la fragmentation ;
- Cortèges d'espèces à retenir pour les observations ;
- Variabilité de la composition en espèces en fonction de l'altitude et du nord au sud ;
- Nombre d'oiseaux à retenir pour une liste commune et représentative ?

Voir en annexe 3 une proposition de liste d'oiseaux indicatrices

- **Chiroptères :**

Les chauvesouris montrent également une grande sensibilité à la dégradation des milieux forestiers et pourraient être utilisées dans le cadre du suivi REDD+ au niveau de l'écorégion des forêts humides. La contrainte de ne pouvoir observer que la nuit et qu'avec un matériel spécifique (détecteurs ultra-son, filets pour capture, etc.). Si l'identification est complexe, les opérations de captures peuvent se faire avec l'appui d'équipes locales.

- **Autres animaux :**

D'autres groupes pourraient être à considérés tels que les insectes pollinisateurs.

- **Plantes :**

Outre les espèces animales, certaines espèces (ou associations d'espèces) de la flore peuvent être caractéristiques de l'évolution du milieu et des changements induits par les activités humaines (en particulier apparition d'espèces typiques de l'ouverture du milieu, des zones incendiées ou de dynamique de fermeture).

Le choix des espèces pour le suivi se fera en concertation avec les porteurs de projets et les naturalistes spécialisés dans les différents groupes pouvant être retenus. Pour le projet, une demande a été formulée auprès des experts taxonomiques de REBIOMA pour établir une liste des espèces indicatrices de l'état de santé des forêts humides dans le cadre du REDD+. La demande a été axé sur les informations suivantes pour quelques espèces (4 ou 5 pour chaque groupe taxonomique) dont la particularité est d'être facile à suivre et surtout indicatrice de l'état de santé de la forêt:

- - Nom de l'espèce ;
- - Caractéristiques de l'espèce en rapport avec l'état de santé des forêts humides ;
- - Méthodologie globale de suivi. (voir un exemple pour les oiseaux dans l'annexe 3).

Les espèces indicatrices identifiées serviront de base pour répondre aux indicateurs de suivi de la biodiversité.

Les forêts à haute valeur pour la conservation (FHVC)

Les FHVC sont des forêts qui revêtent une importance exceptionnelle et cruciale en raison de leur diversité biologique et de leurs valeurs environnementales, socio-économiques et paysagères très élevées. L'approche basée sur les Hautes Valeurs de Conservation (HVC) est une clef de voûte de nombreuses normes internationales pour le développement durable, notamment des référentiels FSC, RSPO, RTRS, de certaines normes pour le REDD+ (carbone forestier), et de nombreuses politiques commerciales d'investissement et d'achat.

Les standards Carbone recommandent le suivi de ces forêts dans les projets REDD+ qui devront donc être clairement identifiés dans les scénarios de référence. Les FHVC comportent 6 types. Les surfaces de Forêts à Haute Valeur de Conservation sont celles contenant un ou plusieurs des attributs suivants :

- HCV1. Forêts contenant des concentrations de valeur de biodiversité importantes au niveau global, régional ou national.,
 - HVC 1.1 : Aires protégées.
 - HVC 1.2 : Concentrations d'espèces vulnérables, menacées ou en danger d'extinction.
 - HVC 1.3 : Concentrations d'espèces endémiques
 - HVC 1.4 : Concentrations saisonnières d'espèces
- HCV2. Grandes forêts, à l'échelle du paysage,
- HCV3. Aires forestières contenues dans les écosystèmes rares, menacés ou en voie de disparition ou les contenant,
- HCV4. Aires forestières qui fournissent des services de base dans des situations critiques (par exemple, protection de bassins hydrographiques, contrôle d'érosion),
- HCV5. Aires forestières fondamentalement nécessaires à la satisfaction des besoins élémentaires des communautés locales (par exemple besoins de subsistance, de santé),
- HCV6. Aires forestières fondamentalement nécessaires à leur identité culturelle traditionnelle (aires d'importance culturelle, écologique, économique ou religieuse, telles qu'identifiées en coopération avec lesdites communautés locales).

Actuellement, il n'existe pas de définition des hautes valeurs de conservation au niveau national à Madagascar. Les différents projets ont caractérisé leurs FHVC dans le cadre de la rédaction des PDD. Cependant, il serait bien, préalablement à la mise en œuvre du monitoring et à l'établissement des scénarios de référence, qu'une harmonisation de la définition des FHVC soit recherchée au niveau national et au moins au niveau de l'écorégion. Une cartographie des FHVC devra être réalisée selon les différents types présents.

La méthode de définition des FHVC au niveau national proposée par le FSC pourra être suivie de manière à suivre un processus consultatif réunissant les services de l'Etat, l'ONE, les principales ONG impliquées dans les projets REDD+ et dans le domaine de la biodiversité, les ONG impliquées au niveau social, des représentants des populations et des parties prenantes concernées par la définition des HVC. Il faudra également s'assurer que le réseau de placettes permanentes « carbone » étendu à l'observation de la biodiversité soit représentatif des différents types de FHVC.

Méthode générale de recueil des données sur le terrain

Les méthodes de suivi des indicateurs de biodiversité doivent être un compromis entre une nécessaire rigueur scientifique et la simplicité de mise en œuvre. Comme cela est déjà pratiqué et recommandé, le suivi participatif avec les communautés locales sera autant que possible favorisé.

Cette méthode a montré dans de nombreux cas qu'elle apportait des données fiables et économiques. La durabilité des équipes formées au contrôle et au suivi de terrain ainsi que la qualité de leur travail sont liées aux primes allouées pour ces activités. (voir l'exemple de Makira en 2.3.2 pour les paramètres suivis, la fréquence de collecte, ainsi que les types de données collectés par les communautés dans les Transferts de gestion pour le suivi écologique participatif (SEP). Le suivi participatif permet de valoriser les savoirs locaux et les compétences de la population dans leur connaissance du territoire.

Echantillonnage : transects et placettes permanentes

Un réseau de placettes permanentes pour le suivi des stocks de carbone va être mis en œuvre sur l'ensemble du périmètre des projets des forêts humides de l'Est. Ce réseau apparaît comme une intéressante opportunité, à la fois technique et économique, pour profiter de le compléter par des placettes "biodiversité". Il serait cependant nécessaire de compléter ce réseau par de nouvelles grappes, installées dans les secteurs à forte pression anthropique. Le nombre de placettes complémentaires est à déterminer en concertation avec les porteurs de projet.

Comme cela est noté dans la bibliographie (Dickson et Kapos-2012, Gardner et al - 2011), il y a une forte liaison entre les modifications de la structure et de la composition des peuplements forestiers et les modifications des autres groupes d'espèces (faune ou flore). Cette relation doit être utilisée pour cibler la position des nouvelles grappes de placettes dans des secteurs à forte pression humaine pour en déduire les évolutions de la biodiversité

Il pourrait être important de disposer les grappes de placettes selon un transect allant des secteurs les plus impactés par les activités humaines vers les zones les moins touchées. Le passage d'une grappe à l'autre peut également constituer un transect pour réaliser des observations (présence de traces d'activités, faune, etc.).

Le réseau "biodiversité" pourrait ainsi être constitué de :

- 3 placettes permanentes pour la flore à partir des placettes carbone.
- 3 transects de 200 m pour la faune dont les points de départ et d'arrivée seraient les placettes "carbone"
- Une autre option serait de remplacer les 3 placettes « flore » par une grande placette correspondant à l'intérieur de l'espace compris entre les 3 placettes de la grappe.

7.2.5.3 Méthodologie pour l'écorégion

Suite aux recommandations de l'étude effectuée par le consultant, la méthodologie pour le suivi environnemental de l'écorégion est décrite ci-après.

Indicateurs

D'après les analyses et concertations avec le consortium et les experts, il en est sorti de prendre en compte des indicateurs qui sont pertinente et faisable en terme de collecte et analyse des données.

Pour faciliter la collecte des données de suivi, il faut intégrer les espèces indicatrices identifiées à suivre dans:

- Le suivi écologique existantes déjà effectué par les gestionnaires des Aires Protégées ;
- Le suivi des plots permanents pour le stock de carbone ;
- Le suivi effectué par les communautés dans le différents transfert de gestion.

Evolution de l'éco-paysage :

Il est proposé que l'évolution des éco-paysages soit suivie à travers l'observation des quatre paramètres suivants :

- Evolution de la richesse en biodiversité en fonction de l'évolution des stocks de carbone :
 - Unité: à définir en fonction des études préliminaires qui seront réalisées : ratio entre les 2 observations, indice de biodiversité ou portant sur un groupe en particulier (mammifères, insectes, etc.).
 - Cet indicateur cherche à établir une relation entre la richesse en espèces (faune, flore) des différentes formations forestières et l'évolution de leur stock de carbone.
- Surface totale défrichée :
 - Unité: hectare
 - Aires de forêts dans les périmètres des projets qui sont passées de l'état de forêt au sens de la définition retenue pour Madagascar, au stade d'espace ouvert destiné à l'agriculture ou à la riziculture.
- Evolution de la surface des Zones Clés de la Biodiversité (ZCB ou Key Biodiversity Areas, KBA) :
 - Unité: hectare
 - Les ZCB sont des sites d'importance mondiale pour la conservation de la biodiversité. Elles sont identifiées en utilisant des critères et des seuils normalisés sur le plan mondial, basés sur les besoins de la biodiversité qui nécessite une sauvegarde à l'échelle du site. Ces critères se fondent sur le cadre de vulnérabilité (probabilité qu'un site perde la valeur de sa biodiversité dans le futur) et d'irremplaçabilité (un site est totalement irremplaçable s'il contient une ou plusieurs espèces qui n'existent nulle part ailleurs) largement utilisé dans la planification systématique de la conservation.(IUCN, 2011). Les ZCB peuvent aussi bien être à l'intérieur des aires protégées qu'à l'extérieur.
- Evolution de la connectivité entre aires protégées Importance de la déforestation hors site :
 - Unité: Surface (ha) d'aires naturelles permettant la connectivité entre les aires protégées. Cet indicateur peut également se traduire en % d'écosystèmes naturels entre 2 aires protégées.

L'objectif des projets REDD+ est à la fois d'éviter la déforestation vis-à-vis des enjeux sur le changement climatique et d'assurer des co-bénéfices : conservation de la biodiversité et développement local. L'impact de ces co-bénéfices au sein des aires protégées du corridor des forêts humides de l'Est peut être réduit si la pression de la déforestation est importante entre les aires protégées. Cela peut conduire non seulement à une réduction des surfaces forestières et à une forme d'ilotage des aires protégées si rien n'est fait pour également réduire la pression agricole entre les parcs nationaux et ainsi réduire la fragmentation des écosystèmes. La notion de connectivité entre les aires protégées (voir figure ci-dessous) peut se faire grâce à des corridors continus ou en "pas japonais" (corridor discontinu). Certaines espèces peuvent être également de bons indicateurs de la fragmentation.

Les pressions exercées sur les différents écosystèmes :

Par rapport aux pressions exercées sur les différents écosystèmes, le système de suivi proposé prévoit les paramètres suivants :

- Nombre d'indices d'activités anthropiques (agricoles, chasses, coupes, miniers) dans l'aire protégée :
 - Unité: nombre ;
 - La périphérie des aires protégées est marquée par la présence de nombreux villages qui sont à l'origine d'activités anthropiques dans les aires protégées. La quantification et la localisation de ces activités illégales à l'intérieur de l'aire protégée sont importantes pour comprendre l'évolution de la pression sur les aires protégées

- Absence d'espèces rares, endémiques, menacées ou migratrices chassées :
 - Unité: nombre d'espèces ;
 - Cet indicateur vise à évoluer la pression de la chasse sur les espèces menacées, migratrices ou endémiques afin de différencier la pression de chasse sur les espèces communes de celles sur les espèces à enjeu (Lémuriens par exemple) ;
 - Nombre d'activités menées pour réduire la pression sur les espèces en danger, endémiques et rares (unité: nombre) ;
 - Cet indicateur vise à caractériser les efforts réalisés par les projets pour accroître la protection de la biodiversité par des actions de sensibilisation. L'indicateur vise aussi à observer l'évolution des activités mises en œuvre par les projets.

La biodiversité :

En matière de suivi de la biodiversité proprement dite au niveau de l'éco-région des forêts humides, les indicateurs suivants paraissent appropriés :

- Diversité d'espèces indicatrices de la faune :
 - Unité: nombre ou %
 - Les espèces protégées ou rares sont fréquemment suivies. Cependant, elles ne sont pas les uniques espèces, ni les plus sensibles pour rendre compte de la dégradation des espaces forestiers de l'aire protégée. D'autres espèces peuvent être retenues telles que les insectes aquatiques, certaines espèces de papillons, l'avifaune (y compris des espèces communes), les chiroptères (bien que c'est un groupe plus compliqué techniquement à identifier), etc. Le choix de ces espèces indicatrices devra être fait par un groupe de travail d'experts locaux. La concentration en espèces invasives peut également être un bon indicateur.
- Diversité d'espèces indicatrices de la flore (essences arborescentes) :
 - Unité: nombre ou ratio (nombre d'espèces/ha)
 - Chaque type de forêt est caractérisé par une association d'essences qui la compose. Naturellement, la composition typique peut connaître quelques variations en fonction de la dynamique du peuplement. Les écosystèmes forestiers ont une résilience leur permettant de revenir vers le stade optimal de l'écosystème en fonction de l'intensité des perturbations qu'ils ont rencontrées. Seules les perturbations intenses réduisent la capacité des écosystèmes à revenir rapidement à leur état d'origine et sans l'intervention d'actes de gestion. Cet indicateur porte sur la diversité en essences forestières des différents types de peuplements présents dans l'écorégion. Les observations seront faites dans le réseau de placettes permanentes.
- Nombre d'espèces rares endémiques et menacées Faune et flore :
 - Unité: nombre
 - Cet indicateur porte sur le nombre d'espèces rares, endémiques et menacées présentes lors des inventaires faunistiques qui seront réalisés dans le réseau de grappes de placettes permanentes.
- Présence d'espèces invasives :
 - Unité: point, surfaces ou linéaire (m)
 - L'ouverture de l'espace forestier peut conduire à la colonisation de l'espace par des espèces invasives. Elles sont à l'origine d'importantes perturbations des écosystèmes forestiers par les pertes de biodiversité locale qu'elles induisent (réduction de la richesse spécifique) ou par les perturbations des fonctions des écosystèmes (par exemple introduction d'espèces végétales très consommatrice en eau ou espèces de la faune agressives).

Les Forêts de Haute Valeur pour la Conservation (FHVC) :*FHVC de Type 1 :*

Le suivi des FHVC de type 1 ne nécessite pas un indicateur spécifique. Les données issues des indicateurs "évolution du couvert forestier" et "biodiversité" renseigneront sur le bon état de conservation des hautes valeurs de conservation de ce type.

FHVC de Type 2 :

Le FHVC de type 2 concerne les grandes forêts à l'échelle du paysage. C'est un indicateur qui se rapporte à l'intégrité du paysage des forêts humides de l'Est de Madagascar. Les indicateurs sur l'évolution du couvert forestier (niveau de déforestation, de dégradation, de fragmentation) permettront de qualifier le niveau de conservation des hautes valeurs de conservation de type 2.

FHVC de Type 3 :

L'évaluation de la conservation des FHVC de type 3 sera renseignée par les données issues des indicateurs portant sur l'évolution de la conservation des habitats critiques et des KBA (Key Biodiversity Areas).

FHVC de Type 4 :

Dans le cas des FHVC de Type 4, l'évaluation considérera les aspects suivants :

- HVC 4.1 : Protection des bassins hydrographiques:
 - Surface des bassins versants conservée
 - Unité: hectare
 - L'indicateur est en lien avec les FHVC de type 4
 - Surface ou linéaire d'habitats aquatiques en bon état de conservation
 - Unité: hectare ou mètre
 - Cet indicateur apporte des informations sur la conservation des FHVC de type 4.
 - Nombre de sources asséchées de façon permanente, temporaire ou occasionnelle
 - Unité: nombre
 - La déforestation entraîne la perturbation du fonctionnement hydraulique ce qui peut se traduire par un assèchement des sources
- HVC 4.2 : Contrôle de l'érosion :
 - Surface de zones érodées
 - Unité: hectare
 - Cet indicateur donne une estimation des zones marquées par des phénomènes d'érosion suite à la déforestation
- HVC 4.3 : Protection contre les incendies :
 - Nombre de feux de forêt
 - Unité: hectare
 - Les feux sont à l'origine d'une importante altération de la résilience des écosystèmes forestiers et à des pertes majeures d'espèces. Le système de détection automatique par satellites des dépôts de feux de forêts permet d'obtenir des synthèses

FHVC de Type 5 :

L'évaluation des FHVC de Type 5 sera informée par :

- Diversité, nombre et si possible quantité de PFNL récoltés
 - Unité: nombre / kilogramme
 - Les populations locales prélèvent des PFNL en forêt ce qui contribue à leur économie. L'évolution de la diversité de ces produits et des quantités récoltées est un indice du bon état de conservation des forêts

FHVC de Type 6:

- Nombre de sites sacrés protégés / Nombre de sites sacrés perturbés par les activités humaines
 - Unité: nombre

7.2.6 Fiches descriptives des indicateurs

Les tableaux 10 à 14 du rapport livrable 4 soumis par le consortium présentent les principales caractéristiques des indicateurs proposés pour le suivi de la biodiversité.

7.2.7 Exemple méthodologique de Makira

Des suivis des pressions ainsi que de la biodiversité sont effectués dans et autour de l'Aire Protégée de Makira: comme décrit dans la figure 60 et le tableau 59 ci-après.

Figure 60 : Carte de suivi-écologique de Makira

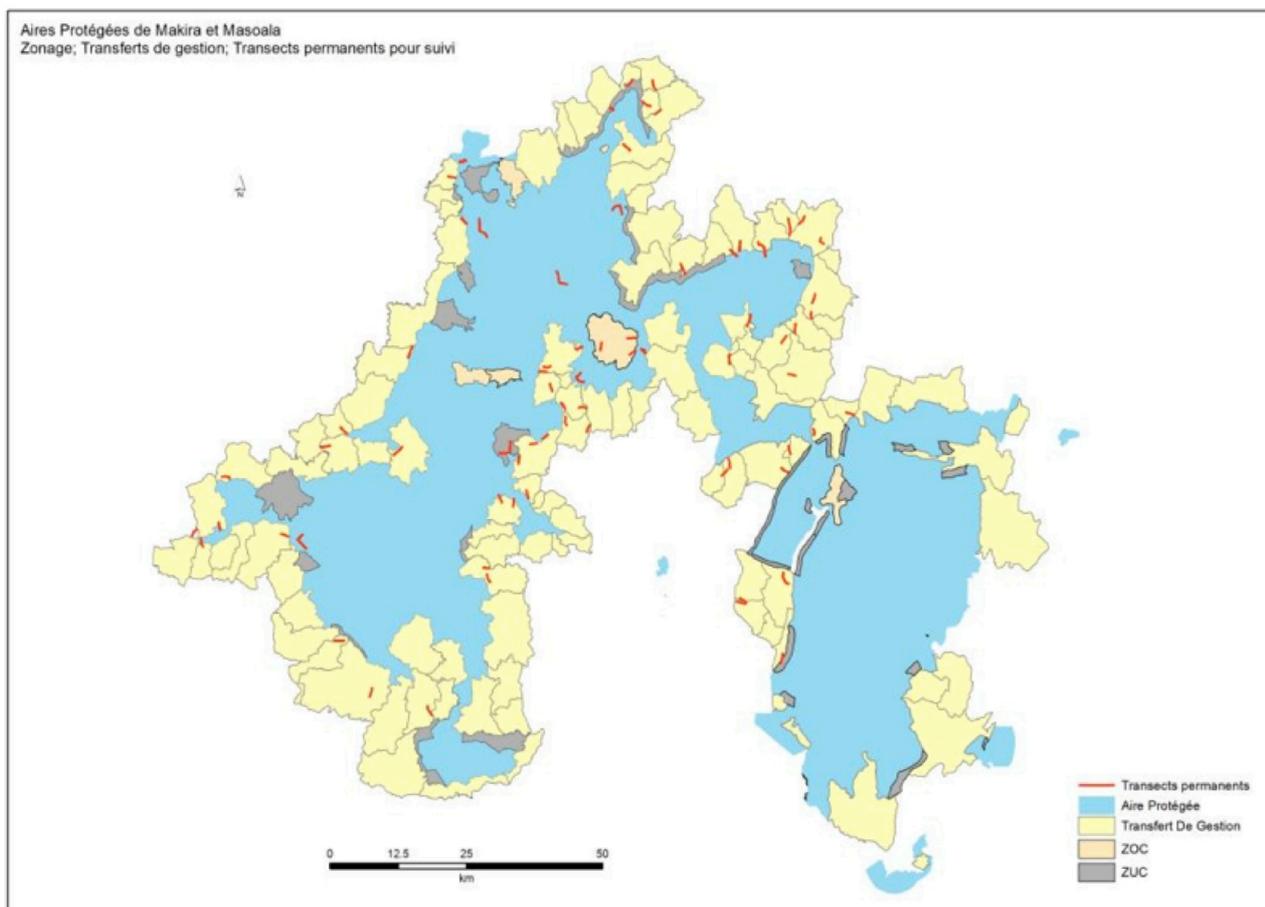


Tableau 59 : Suivi de la biodiversité et des pressions pratiqué dans et autour du Parc naturel Makira

Paramètre	SEP	SES Lémurien	SES Pont forestier
Localisation	69 sites TDG et 5 ZOC Makira (Secteur I, II, III, IV, V et VI) + 10 TDG Masoala	6 sites (Secteur I, II, IV et V)	6 sites (Secteur, II, IV, V et VI)
Taux de couverture	100% par rapport aux TDG mise en place	100% par rapport aux sites mise en place	100% par rapport aux sites mise en place
Fréquence	2 fois / an	1 fois / an	1 fois / an
Paramètres suivis	Pression, Faune, Flore	Lémurien, Pression	Limite pont forestier, Inventaire Savoka, Pression
Données collectées	<u>Pression</u> : Type de pression avec repère sur piste permanente/ <u>Faune</u> : espèce (méthode d'observation), nombre et composition, habitat (Sur transect permanent) / <u>Flore</u> :Nom vernaculaire, DBH, Hauteur, phénologie (sur plot botanique permanent) : non utilisation de GPS	<u>Lémurien</u> : espèce (méthode d'observation) nombre et composition, habitat (Sur transect perpendiculaire permanent)/ <u>Pression</u> : Type de pression, superficie estimative (sur transect permanent) : utilisation de GPS lors de suivi	<u>Limite pont forestier</u> : contour pont forestier par GPS (tracklog)/ <u>Inventaire Savoka</u> : Type savoka, Type relief, age approximative, grandeur (approximatif), coordonnées GPS / <u>Pression</u> : Type de pression sur un transect permanent : utilisation de GPS lors de suivi
Utilisation de données	Restitution au niveau communauté pour améliorer leur gestion	SMART, rapport annuel	SMART, rapport annuel
Personnes impliquées	WCS, COBA	WCS	WCS

7.2.7.1 Mise en œuvre

Etapas de la mise en œuvre

Les principales étapes de la mise en œuvre du système de suivi de la biodiversité et de l'évolution des écosystèmes sont les suivantes :

- Recueil/collecte des informations sur le suivi écologique effectué par les gestionnaires des Aires Protégées: espèces suivies (faune et flore), méthodologie de suivi et la fréquence.
- Renforcement de la compilation de la liste des espèces (faune et flore) à suivre fournie par les experts taxonomiques.
- Intégration des espèces identifiées à suivre dans les systèmes de suivis déjà effectués par les gestionnaires des parcs ainsi que les suivis participatifs faites par les communautés locales.
- Mise en place du groupe de travail Biodiversité et Environnement pour la gestion des impacts et bénéfiques de la biodiversité et de l'environnement (Proposition d'organisation pour la concentration des données au niveau éco-régional et leur valorisation, décrite précédemment dans le volet socio-éco).

Responsabilités pour la mise en œuvre

A partir des étapes de mise en œuvre de la suivi environnementale décrites précédemment, on s'appuiera sur les gestionnaires des parcs pour les données à collecter au sein des aires protégées. Pour les transferts de gestions, l'objectif est de pouvoir intégrer le suivi de la biodiversité dans la collecte de données pour le suivi écologique participatif effectué par la population locale. Finalement, le suivi environnemental dans les placettes permanents "carbone" incombera au responsable de la suivi "carbone" en intégrant l'aspect biodiversité dans leur suivi.

7.3 Suivi des causes de la déforestation

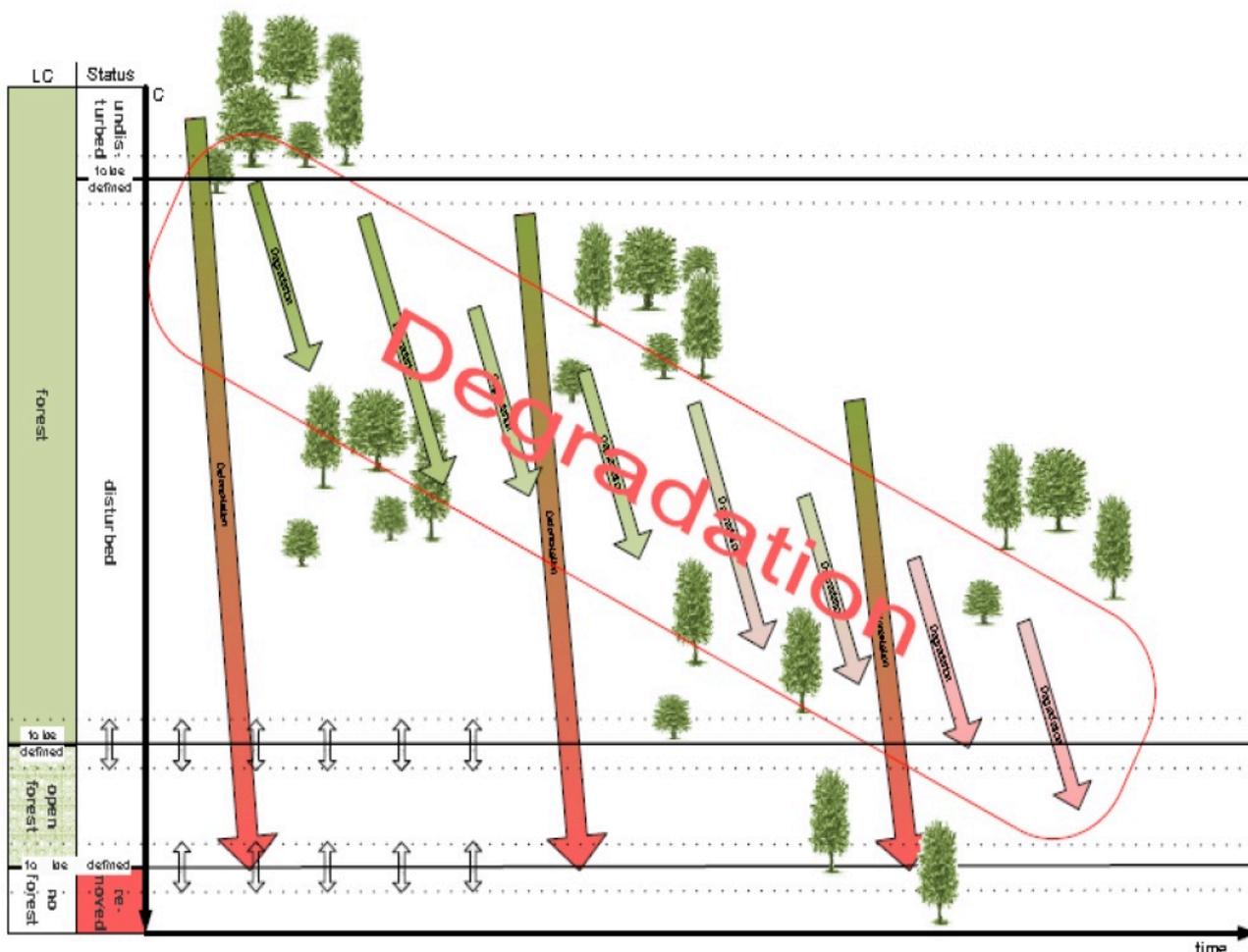
7.3.1 Introduction

Les causes de la déforestation et de la dégradation des forêts peuvent varier d'un pays à un autre, entre régions d'un même pays ou même d'une localité à une autre dans une région donnée. Il y a une multitude de paramètres et de facteurs qui peuvent influencer les principales causes de la déforestation et de la dégradation des forêts et en matière de système de suivi de ces causes, il faut donc faire attention de ne pas trop se focaliser sur une vision superficielle des choses. Un système de suivi ne peut ainsi se baser uniquement sur les causes directes de la déforestation et de la dégradation des forêts, mais doit aller bien au-delà de ces causes directes et creuser dans les facteurs qui contribuent à leur intensification ou à leur diminution.

Ainsi, le système de suivi des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts proposé dans ce document essaie de descendre plus dans les détails en analysant à la fois les causes directes et les facteurs sous-jacents de la déforestation et de la dégradation des forêts, car les stratégies qui se focalisent uniquement sur les facteurs directs pour démontrer des réductions quantifiables d'émissions risquent d'accorder moins d'importance aux forces sous-jacents plus vastes qui sont à l'origine de la perte forestière.

L'analyse des causes faite ici se réfère à la fois à la déforestation (passage d'un état forêt à un état de non-forêt) et à la dégradation (maintien d'un état forêt, mais réduction progressive des stocks de carbone de cette forêt et diminution des services environnementaux associés). La déforestation affecte l'état de la forêt en terme de surface alors que la dégradation l'affecte essentiellement en terme de structure (cf. figure 61 ci-après).

Figure 61 : Différences entre le processus de dégradation des forêts et le processus de déforestation



Les agents de la déforestation et de la dégradation des forêts sont généralement des individus ou des ménages, mais parfois ils peuvent être des entreprises ou des institutions, qui, par leurs activités, affectent le couvert forestier. Les causes directes peuvent être classées par catégories d'activité (agriculture, mines, foresterie, élevage, énergie, etc.) comme détaillé dans les chapitres ci-dessous.

Un système efficace de suivi des causes de la déforestation doit donc obligatoirement distinguer les causes directes qui sont plutôt des répercussions de ce qui sont les causes indirectes ou facteurs qui sont des moteurs sous-jacents de la déforestation et qui vont jouer sur l'occurrence et l'intensité des causes directes. Les causes directs agissent sur une échelle locale alors que les facteurs sous-jacents peuvent bien aller de l'échelle locale à une échelle plus vaste comme nationale ou internationale. Parmi les causes indirectes, on peut mentionner des causes sociales, politiques et institutionnelles, économiques, technologiques et culturelles. La déforestation et la dégradation résultent généralement d'une combinaison de causes directes et des facteurs sous-jacents opérant simultanément à différentes échelles géographiques et temporelles, mais également de rétroactions entre ces différentes causes.

7.3.2 Analyse de la déforestation

7.3.2.1 Les causes directes de la déforestation

Suite à l'analyse de l'évolution de la couverture forestière au niveau de l'écorégion des forêts humides dans la période 2005 – 2010 – 2013, le consortium du PERR-FH a organisé 10 ateliers régionaux pour présenter les résultats de cette analyse de la déforestation et discuter avec les parties prenantes de terrain ses principales causes et les facteurs sous-jacents. Pour l'écorégion des forêts humides, le tableau suivant résume les principales causes de la déforestation, données issues des ateliers régionaux du projet PERR-FH menés dans 10 régions.

Comme le démontre le résumé des résultats des ateliers régionaux dans le tableau 60, avec une ration de 100%, la pratique de l'agriculture de subsistance sur brûlis est la première cause directe de la déforestation au niveau de l'écorégion des forêts humides. Les diverses exploitations minières ainsi que les exploitations forestières pour des fins énergétiques (bois de feu et fabrication de charbon de bois) sont ensemble au deuxième rang avec 80%, suivi par l'exploitation illicite de bois et par la gestion de pâturage.

Tableau 60 : Causes directes de la déforestation relevées lors des ateliers régionaux REDD+

Région	Causes directes de la déforestation				
	Agriculture	Mines	Elevage	Foresterie	Energie
Diana	Culture de subsistance sur brûlis ; Culture de rente (cannabis et khat).	Exploitation de terre rare			Charbon de bois
Sava	Culture de subsistance sur brûlis ; Culture de rente.	Exploitation minière artisanale (or, cristal)	Feux de pâturage	Exploitation illicite de bois	Production de charbon de bois Exploitation et collecte de bois de feu
Sofia	Culture de subsistance sur brûlis ;		Feux de pâturage	Exploitation illicite de bois	Production de charbon de bois
Analanjirifo	Culture de subsistance sur brûlis ; Culture de rente.	Exploitation minière artisanale (or, cristal)	Feux de pâturage	Exploitation illicite de bois précieux	
Atsinanana	Culture de subsistance sur brûlis ; Culture de rente (cannabis)	Exploitation minière illicite	Feux de pâturage	Exploitation illicite de bois d'œuvre	Production de charbon de bois Exploitation et collecte de bois de feu
Alaotra Mangoro	Culture de subsistance sur brûlis ;	Exploitation minière artisanale (or, pierres précieuses)		Exploitation illicite de bois	Exploitation et collecte de bois de chauffe

Ihorombe	Culture de subsistance sur brûlis ;	Exploitation minière artisanale (or)			Production de charbon de bois
Vatovavy Fitovinany	Culture de subsistance sur brûlis ;	Exploitation minière artisanale (or, pierres précieuses)	Feux de pâturage	Exploitation illicite de bois	Production de charbon de bois
Atsimo Atsinanana	Culture de subsistance sur brûlis ;	Exploitation minière artisanale (or)		Charbon de bois	
Anosy	Culture de subsistance sur brûlis ; Culture de rente (cannabis)		Pâturage de zébus en forêt Feux de pâturage		Production de charbon de bois
Ratios	10/10	8/10	6/10	7/10	8/10

Conversion des terres forestières en terrain de culture

La première cause de perte de forêt dans l'écorégion est l'agriculture dont en particulier le « Tavy » ou culture sur brûlis. Cette technique culturale se pratique surtout dans les forêts humides de l'Est et se caractérise par une coupe suivi d'incinération. Les paysans pratiquent le « tavy » pour diverses raisons dont (sans hiérarchisation) :

- La recherche de terre cultivable plus fertile, les terres forestières sont réputées de bonne qualité et de ce fait très prisée par les paysans quoique cette fertilité se tarit vite à cause des pratiques culturales non respectueuses de l'environnement et les paysans pratiquant le tavy ont tendance à abandonner les anciens « tavy » au bout de 3 ans et se mettent au défrichage de nouveaux terrains.
- Le manque de terrain de culture et de bas-fonds aménagés qui est étroitement lié à l'accroissement démographique non maîtrisé : Il existe bien des terres exploitables pour des fins agricoles mais l'absence d'aménagement adéquat et d'infrastructure comme les barrages d'irrigation ne permettent pas une exploitation propice de ces terrains.
- Le relief du paysage Est de Madagascar est marqué par la grande falaise de l'Est. Le terrain est ainsi accidenté ne permettant pas la pratique de l'agriculture. Les paysans sont obligés de s'attaquer aux surfaces forestières pour l'agriculture
- S'ajoute à ces problèmes la non maîtrise de pratiques culturales productrices et plus respectueuses de l'environnement comme les cultures sous couverts végétaux, le zéro labour.
- La pratique du « tavy » constitue un moyen pour l'acquisition de nouvelle terre plus fertile. Selon le droit coutumier malgache, celui qui aura travaillé la terre en premier en sera le propriétaire. Ainsi, la pratique du « tavy » est devenue un moyen pour les paysans pour faire valoir ce droit au sein de la communauté, un droit qui est juste légitime et non légal.
- Les paysans ne perçoivent pas directement des revenus de la forêt sur pieds et ils préfèrent exploiter la terre autrement.

Les exploitations minières illicites artisanales

L'exploitation minière illicite s'est beaucoup développée dans l'écorégion. Cette activité apporte de l'argent facile et à court terme pour les exploitants. Son amplification est causée par les fortes potentialités des zones forestières plus précisément dans les Aires Protégées comme le cas de Ranomafana ; ainsi qu'une forte demande sur le marché qui ne cesse de s'accroître. Il y a aussi l'exploitation de pierres précieuses comme le béryl et le cristal à part l'exploitation aurifère.

L'inexistence de contrôle systématique ne fait que favoriser ces exploitations illicites. Une fois en place ces exploitants découpent les forêts en dessus pour pouvoir extraire les ressources minières en dessous causant ainsi une déforestation rapide avec des gros trous.

La superposition des carreaux miniers avec les forêts et plus spécifiquement avec les Aires Protégées constitue un problème majeur auquel la Commission Inter Ministérielle Mines – Forêts tente tant bien que mal de résoudre au cas par cas.

Dans certain cas aussi, la mise en place des NAP (Nouvelle Aire Protégée) a limité l'accès des populations locales à la forêt les obligeant ainsi à abandonner les activités forestières et à se convertir vers d'autres activités dont en premier lieu l'exploitation minière illicite.

L'exploitation abusive de bois d'œuvre et de bois précieux

La prolifération des exploitations forestières illicites est due à l'inexistence de stratégie de maîtrise de l'offre et de la demande au niveau national. En 2009, seuls les VOI de Didy ont eu des permis légaux d'exploitation forestière à Madagascar. Le développement ainsi que la mise en œuvre du système d'octroi de permis d'exploiter par voie d'adjudication est restée en veille depuis la crise de 2009. Il en est de même pour la mise en concession de certains massifs forestiers prévus dans le cadre des sites KoloAla ou Système de Gestion Forestière Durable (SGFD) qui justement était prévu pour équilibrer l'extension des Aires Protégées suite à la vision Durban. Toutefois, force est de constater que le marché n'a jamais connu de pénurie ni de problème pour leur approvisionnement.

La crise politique de 2009, a par la suite, amplifié l'exploitation de bois précieux comme le bois de rose dans le nord de la grande île et dans la plupart des cas dans les Aires Protégées où il y a encore de forte potentialité.

Les artisans Zafimaniry de la zone Ambositra - Antoetra se sont attaqués aux forêts d'Ifanadiana et d'Ivongo qui se trouvent dans la Région de Vatovavy Fitovinany pour s'approvisionner en matière première. Ceci est dû à l'épuisement du stock dans leur forêt. Dans un premier temps il n'y a que de la dégradation, mais une fois que la forêt est ouverte d'autre personne en profite pour défricher.

La production de charbon de bois

La production de charbon de bois constitue une source de revenu rapide pour les paysans se trouvant dans les zones forestière ou à leur proximité. Elle est accentuée par l'augmentation sans cesse des besoins des centres urbains. De plus les ménages préfèrent de loin les charbons issus des forêts naturelles par leur bon pouvoir calorifique. Les techniques de carbonisation utilisées sont très archaïques engendrant d'énormes pertes. L'inexistence de stratégie pour la maîtrise de l'offre et de la demande favorise cette pratique. En effet, les Réserves Forestières pour le Reboisement stipulées dans la Politique Forestière fut mise en veille depuis quelques années. Les reboisements destinés à cette fin sont rares et parfois il n'y a pas de suivi après les plantations.

7.3.2.2 Les facteurs sous-jacents de la déforestation

La connaissance des facteurs sous-jacents à ces causes de la déforestation permet de développer un système de suivi plus pertinent. Ces facteurs peuvent être subdivisés en deux grandes catégories :

- Les facteurs transversaux qui ont des impacts généralisés sur la vie de la population en générale comme la pauvreté, les crises politiques, l'accroissement démographique,...
- Les facteurs sectoriels spécifiques qui sont des facteurs bien propres à un secteur d'activité (cause directe)

Le tableau 61 ci-dessous démontre les liens entre les causes directes de la déforestation et les facteurs sous-jacents influant sur leur intensité.

Tableau 61 : Facteurs sous-jacents sectoriels et transversaux des causes directes de la déforestation

Causes directes	Facteurs sous-jacents sectoriels	Facteurs sous-jacents transversaux
AGRICULTURE	<ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance de terre cultivable - Relief accidenté - Manque d'infrastructure et d'aménagement agricole - Ancrage aux techniques culturelles traditionnelles - Non maîtrise d'autres pratiques culturelles - Accaparement de nouvelle terre - Manque d'accompagnement pour la sédentarisation des agriculteurs - Méconnaissance de l'importance de la forêt 	<p><u>POLITIQUE</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crise politique répétitive - Ingérence des politiciens - Politique forestière pas à jour - Absence ou non application de politique nationale/régionale d'aménagement du terroir en cohérence avec la politique forestière et environnementale <p><u>ECONOMIQUES</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pauvreté - Fort taux de chômage - Forte demande sur le marché de certains produits aussi bien forestiers que non forestiers (régional, national, international) <p><u>INSITUATIONNELS</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de bénéfice perçu directement de la forêt - Pas d'autre source de revenu (manque d'AGR) - Manque de moyen et affaiblissement de l'Administration Forestière - Manque de collaboration entre le secteur Forêt et Justice <p><u>GOUVERNANCE</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inexistence de contrôle - Corruption et Non application de la loi <p><u>SOCIAUX</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de bénéfice perçu directement de la forêt (autre qu'économique) - Fort taux de chômage - Accroissement démographique non maîtrisé - Faible niveau de scolarisation
MINES	<ul style="list-style-type: none"> - Incohérence des politiques sectorielles - Source d'argent facile 	
ENERGIE	<ul style="list-style-type: none"> - Charbon argent facile - Inexistence d'alternative - Inexistence ou non application de politique sectorielle pour la gestion de l'offre/demande - Charbon des forêts naturelles très prisé pour sa bonne combustibilité 	
FORESTERIE	<ul style="list-style-type: none"> - Argent facile - Inexistence ou non application de politique sectorielle pour la gestion de l'offre/demande - Produits forestiers plus accessibles que les autres matériels de construction 	
ELEVAGE	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de technique de gestion des pâturages 	

Dans les prochains paragraphes nous allons détailler chacune des causes et facteurs identifiés ci-dessus.

Les facteurs sous-jacents sectoriels de la déforestation

Les résultats de l'analyse des différents facteurs sectoriels influant sur l'intensité des causes directes de la déforestation réalisée dans les ateliers régionaux est présentée ci-après séparément pour chacune des causes directes.

- **L'agriculture, la pratique du Tavy**

La première cause de perte de forêt dans l'écorégion est l'agriculture dont en particulier le « Tavy » ou culture sur brûlis. Cette technique culturelle se pratique surtout dans les forêts humides de l'Est et se caractérise par une coupe suivi d'incinération. Les paysans pratiquent le « tavy » pour diverses raisons dont (sans hiérarchisation) :

- L'insuffisance de terres cultivables :
On observe un manque de terre cultivable et fertile. Les terres forestières sont réputées de bonne qualité et de ce fait très prisée par les paysans quoique cette fertilité se tarît vite à cause des pratiques culturales non respectueuses de l'environnement et les paysans *tavy-istes* ont tendance à abandonner les anciens « tavy » au bout de 3 ans et se mettent au défrichement de nouveaux terrains.
- Le manque d'infrastructure et d'aménagement agricole :
Il existe bien des terres exploitables pour des fins agricoles mais l'absence d'aménagement adéquat et d'infrastructure comme les barrages d'irrigation ne permettent pas une exploitation propice de ces terrains. Ces infrastructures peuvent être des barrages agricoles, des bassins d'irrigations de plaine,...
- Un relief accidenté :
Le relief du paysage de l'Est de Madagascar est marqué par la grande falaise. Le terrain est ainsi accidenté ne permettant pas la pratique de l'agriculture. Les paysans sont obligés de s'attaquer aux surfaces forestières pour l'extension de leur activité agricole.
- La non maîtrise d'autres pratiques culturales et ancrage aux pratiques culturales traditionnelles :
La pratique continue de la culture sur brûlis est surtout due à l'attachement aux traditions. Couper et brûler ne demandent pas beaucoup de travail comparé aux travaux de la terre (labour). Tout d'abord, il y a la paresse caractérisée par les solutions de facilité. Puis, il faut reconnaître que les paysans *tavy-istes* ne maîtrisent pas les techniques culturales améliorées, plus respectueuses de l'environnement comme les cultures sous couverts végétaux ou le zéro labour.
- L'accapement de nouvelles terres :
La pratique du « tavy » constitue un moyen pour l'acquisition de nouvelle terre plus fertile. Selon le droit coutumier malgache, celui qui aura travaillé la terre en premier en sera le propriétaire. Ainsi, la pratique du « tavy » est devenue un moyen pour les paysans pour faire valoir ce droit au sein de la communauté, un droit qui est juste légitime et non légal.
- Le manque d'accompagnement pour la sédentarisation des agriculteurs
L'inexistence de stratégie de sédentarisation des agricultures pratiquant le tavy favorisent l'extension des forêts défrichées. Il n'y a pas de mesure pour fixer les paysans *tavy-istes* sur une même parcelle afin d'arrêter des nouveaux défrichements. Cette fixation est basée sur l'adoption de nouveau itinéraire technique amélioré comme l'utilisation de semences améliorées et des engrais biologiques, la rotation culturale, etc.
- **Les exploitations minières illicites artisanales**
 - Une source d'argent facile :
L'exploitation minière illicite s'est beaucoup développée dans l'écorégion. Cette activité apporte de l'argent facile et à court terme pour les exploitants. Son amplification est causée par les fortes potentialités des zones forestières plus précisément dans les Aires Protégées comme le cas de Ranomafana ; ainsi qu'une forte demande sur le marché qui ne cesse de s'accroître. Il y a aussi l'exploitation de pierres précieuses comme le béryl et le cristal à part l'exploitation aurifère.
 - L'incohérence des politiques sectorielles :
La superposition des carreaux miniers avec les forêts et plus spécifiquement avec les Aires Protégées constitue un problème majeur auquel la Commission Inter Ministérielle Mines – Forêts tente tant bien que mal de résoudre au cas par cas. Dans certains cas, la mise en place des NAP (Nouvelle Aire Protégée) a limité l'accès des populations locales à la forêt les obligeant ainsi à abandonner les activités forestières et à se convertir vers d'autres activités dont en premier lieu l'exploitation minière illicite.

- **L'exploitation non-durable et irrationnelle de bois d'œuvre et de bois précieux**

- L'inexistence ou la non-application des politiques sectorielles pour la gestion de l'offre/demande :

La prolifération des exploitations forestières illicites est due à l'inexistence de stratégie de maîtrise de l'offre et de la demande au niveau national. En 2009, seuls les VOI de Didy ont eu des permis légaux d'exploitation forestière à Madagascar. Le développement ainsi que la mise en œuvre du système d'octroi de permis d'exploiter par voie d'adjudication est restée en veille depuis la crise de 2009. Il en est de même pour la mise en concession de certains massifs forestiers prévus dans le cadre des sites KoloAla ou Système de Gestion Forestière Durable (SGFD) qui justement était prévu pour équilibrer l'extension des Aires Protégées suite à la vision Durban. Toutefois, force est de constater que le marché n'a jamais connu de pénurie ni de problème pour leur approvisionnement.

La crise politique de 2009, a par la suite, amplifié l'exploitation de bois précieux comme le bois de rose dans le nord de la grande île et dans la plus part des cas dans les Aires Protégées où il y a encore de forte potentialité.

Les artisans Zafimaniry de la zone Ambositra - Antoetra se sont attaqués aux forêts d'Ifanadiana et d'Ivongo qui se trouvent dans la Région de Vatovavy Fitovinany pour s'approvisionner en matière première. Ceci est dû à l'épuisement du stock dans leur forêt.

- Des produits forestiers plus accessibles que les autres matériels de construction :

Le prix des produits forestiers est largement plus abordable que les autres matériaux de construction comme le ciment ou le fer à béton. Les ménages, dont les pouvoirs d'achat sont limités, sont obligés de se contenter des produits issus de la forêt pour la construction de leur maison.

- **La production de charbon de bois**

- Une source d'argent facile :

Cette activité constitue une source de revenu rapide pour les paysans se trouvant dans les zones forestière ou à leur proximité. L'activité de charbonnage ne demande pas beaucoup d'investissement que ce soit en terme de temps ou en terme d'argent. De ce fait, elle est très rentable. Dans la plus part du temps les gens font du charbon parce qu'ils n'ont pas d'autre source de revenu.

- L'inexistence ou la non -application des politiques sectorielles pour la gestion de l'offre/demande :

L'inexistence de stratégie pour la maîtrise de l'offre et de la demande favorise cette pratique. En effet, les Réserves Forestières pour le Reboisement stipulées dans la Politique Forestière fut mise en veille depuis quelques années. Les reboisements destinés à cette fin sont rares et parfois il n'y a pas de suivi après les plantations.

Les ménages préfèrent de loin les charbons issus des forêts naturelles par leur bon pouvoir calorifique. Les techniques de carbonisation utilisées sont très archaïques engendrant d'énormes pertes.

- L'inexistence d'alternatives :

Les sources d'énergie alternatives au charbon de bois sont encore très limitées et leurs coûts ne sont généralement pas, accessibles aux grand publique. La sensibilisation et les vulgarisations sur leur utilisation se font surtout dans les zones où il y a des intervenants techniques.

- **Le système d'élevage extensif**

- Pas de technique de gestion des pâturages :

Le système d'élevage adopté par les éleveurs est basé sur la divagation des bétails dans la nature. On note alors un manque de pâturage pendant les saisons sèches et les éleveurs ont l'habitude d'utiliser les feux pour le renouvellement des pâturages. Ces feux constituent un réel danger car ils ne sont souvent pas maîtrisés et peuvent causer des incendies en forêt.

Les facteurs sous-jacents transversaux de la déforestation

Certains facteurs sous-jacents des causes de la déforestation et dégradation sont difficilement mesurables toutefois on reconnaît que ces facteurs sont pertinents et ont des conséquences sur l'intensité de la déforestation et la dégradation. La crise politique et la pauvreté par exemple font partie de ces facteurs. La crise politique s'enchaîne toujours d'une paupérisation généralisée de la population. Les populations qui vivent à proximité des forêts n'ont pas d'autre moyen pour survivre que de s'attaquer aux ressources naturelles. Dans les paragraphes suivants, on va développer ces facteurs qui indirectement ont des impacts sur la déforestation.

- **Les facteurs politiques**

- La crise politique répétitive :

La crise politique répétitive qui sévit le pays a des impacts sur la gestion en générale de l'Etat. Pendant ces périodes de crises on note effectivement un laisser-aller de la part des dirigeants favorisant la prolifération des activités illicites. De plus, ces crises politiques engendrent généralement des pertes d'emplois et réduisent donc les sources de revenu.

- L'ingérence des politiciens :

Beaucoup de cas ont pu être relevés sur le comportement des politiciens, plus particulièrement des candidats aux différentes élections. Ils promettent d'autoriser les défrichements et la pratique du tavy pendant leur propagande. Ainsi, une fois élu, ils tiennent leurs promesses et on note une forte augmentation des défrichements et l'administration reste incompétente face à ce genre de situation. Il y a également les interventions des différents responsables que ce soit au niveau local, régional ou national pour faire pression afin de libérer les délinquants forestiers.

- Une politique forestière pas à jour :

Les textes appliqués actuellement dans le cadre des délits forestiers sont très anciens. Certains datent encore de 1960. Les sentences appliquées sont trop légères ce qui fait par la suite que les délinquants ne se soucient guère des peines encourues. Bref, les délits forestiers ne sont pas punis comme il se doit. Passer quelque mois en prison ou payer une amende (presque symbolique) ne posent plus de problème aux délinquants, tout au contraire, bien conscient que la sentence ne sera pas sévère, ils deviennent récidivistes.

- Absence ou non application de politique nationale/régionale d'aménagement du terroir en cohérence avec la politique forestière et environnementale :

Le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) et les Schéma Régional National d'Aménagement du Territoire (SRAT) sont les documents cadre de l'utilisation et la valorisation des terres à Madagascar dans un objectif de développement en harmonie avec le respect des normes environnementales et sociales. Dans la politique forestière et environnementale, le zonage forestier un élément de base pour la prise de décision sur l'affectation des terres. Le Zonage Forestier au niveau national est déjà finalisé, la plus part des régions ont également finalisées leurs documents de zonage forestier régional. Toutefois, leur intégration dans les SRAT est très superficielle. Il en est de même de leur application, raison pour laquelle le thématique zonage forestier est en veilleuse que ce soit au niveau national qu'au niveau régional.

- **Les facteurs économiques**

- La pauvreté :

La pauvreté est un enchaînement logique de la crise politique sus citée. Plus de $\frac{3}{4}$ des malgaches vivent en dessous du seuil de pauvreté. La pauvreté peut être évaluée à partir du revenu moyen perçu par chaque individu actif par jour. Toutefois, il a beaucoup d'indicateur qui la reflète indirectement comme le taux de mortalité infantile, l'accès aux soins de base, le taux de scolarisation, l'accès à l'eau potable,...

- Le fort taux de chômage :

Comme mentionner dans le paragraphe 1.3.1.1, une crise politique cause toujours une perte d'emploi pour un grand nombre de personne active. Cette situation conduit à la hausse du taux de chômage national. Ces nouveaux chômeurs développent des activités illicites dont en premier lieu celles qui sont sources d'argent facile et à court terme comme l'exploitation forestière, le charbonnage, l'exploitation minière.

- La forte demande sur le marché de certains produits aussi bien forestiers que non forestiers :

La demande exponentielle de certains produits sur le marché pousse les gens à chercher de nouvelle terre. Le développement de nouvelle spéculation s'observe alors et leur échelle est très variable:

- au niveau local, on note l'augmentation sans cesse des besoins en bois d'œuvre et de construction ainsi qu'en charbon de bois des centres urbains, il en est de même pour les bois précieux comme le palissandre (cas de la zone Zafimaniry-Ambositra) ;
- au niveau régional et national, on observe la montée de certaine spéculation sur le marché comme le khat dans la région Diana, le cannabis pour la région Diana et Anosy; ou l'or presque dans toute l'écorégion ;
- au niveau international, on observe la forte demande en bois précieux comme le bois de rose, le palissandre mais également.

La naissance de ces spéculations constitue une menace permanente aux forêts.

- Pas de bénéfice perçu directement de la forêt :

Il y a une perception qui prétend que l'arbre abattu coûte plus cher que quand il est sur pieds. La forêt n'apporte pas de revenu tangible pour les gens donc ils ne trouvent ni l'intérêt ni la motivation de la conserver, tout au contraire ils ont intérêt à abattre les arbres pour en faire une source de revenu. Cette réaction est le fruit d'une méconnaissance des intérêts, autre que monétaire, que peut procurer la forêt comme les services écologiques et sociaux.

- Pas d'autre source de revenu (manque d'AGR) :

La prolifération des activités illicites que ce soit les activités minières ou les activités forestières est le fruit de l'inexistence d'autre source de revenu pour les ménages. Les activités se limitent à l'agriculture et une fois qu'il n'y a plus de terre cultivable ou de catastrophe naturelle les paysans n'ont plus de source d'argent. Les activités telles que l'exploitation de bois précieux ou de bois d'œuvre, le charbonnage, l'exploitation aurifère sont les premiers recours des paysans.

- **Les facteurs institutionnels**

- Le manque de moyen et l'affaiblissement de l'Administration Forestière :

L'Administration forestière n'arrive plus à honorer son rôle régalien. Ceci est notamment dû au manque de moyen aussi bien humain, matériels que financier. La décentralisation du pouvoir par la mise en place des Directions Régionales n'était pas suivie de la mise à disposition des moyens nécessaires pour faire tourner le système. Le nombre des agents forestiers forestier est trop faible par rapport à la surface gérée (un chef cantonnement pour un District) de plus il ne dispose pas de moyen pour mener à bien ses missions.

- Le manque de collaboration entre le secteur Forêt et Justice :
Ceci se caractérise par le non aboutissement des poursuites judiciaires liées aux délits forestiers. En effet, un grand nombre de délinquants forestiers sont relâchés une fois au niveau de la gendarmerie et du tribunal. Ce fait décourage les agents forestiers car ils n'ont plus de valeur aux yeux des gens. Parfois même, ces délinquants reviennent vers eux une fois relâchés pour les insulter. Il y a beaucoup d'explication à cette situation mais nous pouvons en citer ici le manque de dialogue entre les deux entités, la non maîtrise des procédures judiciaires par les agents forestiers, le vice de forme dans la rédaction des PV, le manque de charges dans les PV, et finalement la corruption.
- **Les facteurs de gouvernance**
 - L'inexistence de contrôle :
Les agents forestiers dépendent des partenaires techniques et financiers pour pouvoir effectuer des missions de contrôle et dans la plus part du temps à la demande et moyennant les prises en charges nécessaires. Ainsi, les zones où il n'y a pas d'intervenant restent incontrôlées et les délinquants, en connaissance de cette situation, en profitent. De plus, les zones forestières sont enclavées et reculées.
 - La corruption au niveau des agents de l'Etat et la non application de la loi
La corruption constitue un obstacle majeur dans l'application de la loi. Elle touche non seulement les agents forestiers mais également les agents des autres corps comme la gendarmerie et le tribunal. La corruption affaiblit tout le système de contrôle. Elle favorise également la culture de l'impunité. C'est un indicateur difficile à mesurer et l'utilisation d'indices de perception de la corruption (Transparency international ou Banque Mondiale) est recommandé.
- **Les facteurs sociaux**
 - L'accroissement démographique non maîtrisée :
La densité de la population est mal répartie à Madagascar. Il y a des zones à forte concentration comme les centres urbains et il y a des zones très peu peuplée. Cette répartition est en fait fonction de la disponibilité des ressources vitales (eau, terre,...). On note une forte augmentation du nombre de population dans les zones forestières or les conditions physiques et pédologiques ne permettent pas une extension des terres cultivables. Les paysans n'ont pas d'autre choix que de défricher de nouvelles zones forestières pour subvenir à leur besoin.
 - Le faible niveau de scolarisation :
La partie où il reste encore de la forêt se trouve le plus souvent dans des endroits isolés et enclavés. Le taux de scolarisation est relativement faible rendant ainsi les gens ignorants et empêchant toute forme de développement. Les écoles se trouvent loin des villages d'habitation et les écoliers doivent parcourir des heures à pieds pour y aller. De plus, il y a un manque de personnel enseignant.

7.3.3 Analyse de la dégradation des forêts

Comme mentionné plus haut (section 4.1 et figure 5), la dégradation des forêts est caractérisée par une perte progressive d'espèces, de nombre de tiges et/ou de biomasse forestière, sans que le degré de couverture tombe en dessous du seuil minimum de la définition des forêts (30% dans el cas de Madagascar). Dans le cadre du suivi des émissions (section 2), la dégradation avait été exclue, notamment parce que les émissions de carbone liées à la déforestation sont faibles comparées à celles de la déforestation et donc négligeables. Dans le cadre dus suivi des causes il semble tout de même important d'inclure les causes et facteurs sous-jacents de la dégradation des forêts pour deux raisons :

- La dégradation des forêts est en lien étroit avec la biodiversité et le suivi de ses causes directes et de ses facteurs sous-jacents permettra de faciliter le suivi des impacts sur la biodiversité ;

- De nombreux facteurs influant l'intensité de la déforestation ont également des impacts sur l'intensité de la dégradation des forêts et ils seront par conséquent suivis de toute manière dans le cadre du suivi des facteurs de la déforestation.

7.3.3.1 Les causes directes de la dégradation des forêts

Il faut différencier la déforestation de la dégradation car leur impact sur le stock de carbone est différent. Lors des ateliers régionaux conduits par le PERR-FH, trois causes directes principales ont pu être identifiées dans l'écorégion des forêts humides :

- Les cultures agricoles sous couvert forestier ;
- Les prélèvements irrationnels ou carrément illicites de produits forestiers ligneux (bois d'œuvre, bois précieux, bois de construction) ;
- Les collectes de produits forestiers secondaires ;
- Le pâturage en forêt.

Cultures agricoles sous couvert forestier

Cette pratique est surtout utilisée pour les cultures de rente comme le café et le cacao qui donnent de meilleurs rendements ou doivent obligatoirement être cultivés sous un couvert forestier plus ou moins dense. L'installation à grande échelle de ces plantes détruit le sous-bois naturel donc la régénération naturelle, limitant ainsi le renouvellement de la forêt. A plus long terme, cette technique de culture peut ainsi complètement détruire la forêt naturelle, mais il faut également noter que ces cultures sont constituées par des plantes ligneuses permanentes (arbuste pour le café et arbre pour le cacao) et par conséquent les impacts sur les stocks de carbone sont assez limités au départ.

Les facteurs influençant l'intensité de ces techniques agricoles sont les suivants :

- **Prix des spéculations agricoles concernées sur les marchés :**
Si les prix des spéculations agricoles cultivées en milieu forestier (surtout le cacao et le café) sont élevés, les paysans vont essayer d'étendre ces cultures, tandis qu'en cas de baisse des prix les cultures sont souvent abandonnées du moins temporairement.
- **Cultures de rentes alternatives :**
Si les paysans ont des cultures de rente alternatives qui rapportent aussi bien que le café ou le cacao, ils sont plus motivés d'abandonner ces cultures en forêt et ainsi de réduire la dégradation des forêts y associée. Dans le cas de la vanille c'est certainement une évolution positive qui mène à des réductions nettes de la dégradation, mais souvent les cultures en forêt sont remplacées par des cultures de rente hors forêt qui contribuent à la déforestation.

Exploitation illicite de produits forestiers ligneux

A l'heure actuelle, la majorité des exploitations de bois de Construction, d'œuvre et de Service (bois COS), sont réalisées par de petits opérateurs forestiers et sont généralement irrationnelles et non durables et souvent carrément illicites. Ces exploitations concernent un grand nombre d'essences surtout des catégories 2, 3 et 4, mais les bois précieux sont les premiers sur la liste dont le bois de rose, l'ébène et le palissandre. L'ébène et le bois de rose sont surtout destinés à l'exportation, tandis que le palissandre est également vendu sur les marchés nationaux et locaux. La forte demande en constante augmentation ne fait qu'aggraver la situation.

Les principaux facteurs sous-jacents ayant un impact sur l'intensité des exploitations illicites sont les suivants :

- **Prix des produits forestiers ligneux sur les marchés :**
Ce sont principalement les prix très élevés des bois précieux de Madagascar sur les marchés internationaux qui ont provoqué cette vague d'exploitations illicites dans le Nord-ouest du pays. Mais les prix des bois de moindre valeur ont bien entendu également un impact sur le niveau des exploitations illicites ou irrationnelles. Un suivi de ses prix sur les marchés nationaux et

internationaux permettrait par conséquent de déduire certaines tendances en ce qui concerne la dégradation des forêts par les exploitations ligneuses.

- **Taux de transformation du bois exploité :**

Comme c'est le cas pour d'autres produits forestiers (ex. charbon de bois), les activités d'exploitation et de transformation du bois COS sont caractérisés par des pertes très importantes à tous les niveaux de la chaîne de valeur. Certaines études estiment que seulement 15% du volume fût exploitable arrivent effectivement sur les marchés. Suite à la très forte fragmentation de la chaîne de valeur des produits forestiers ligneux et le très grand nombre d'opérateurs (souvent informels ou illégaux) un suivi efficace du taux de transformation (ou des pertes lors de la transformation) du bois sera difficile, mais les résultats permettraient de tirer des conclusions par rapport au potentiel de dégradation des forêts.

- **Manque de contrôle des activités forestières :**

Comme déjà mentionné à maintes reprises, les moyens financiers et humains limités de l'administration forestière ne permettent pas un contrôle approprié des activités forestières. Cela empêche souvent une réduction des activités d'exploitation illicites.

Collecte de produits forestiers non ligneux

L'utilisation de certaine pratique pour collecter des produits forestiers non ligneux a des impacts majeurs sur l'état de la forêt. Pour le cas du miel, par exemple, certain paysan coupe l'arbre en entier pour extraire le miel. Il a aussi le problème de l'utilisation des feux non maîtrisés pour les collectes qui engendre des grands dégâts après.

Les facteurs sous-jacents influençant l'intensité des activités de collecte de produits forestiers non-ligneux mentionnés lors des ateliers régionaux sont les suivants :

- **Prix des produits non-ligneux sur les marchés :**

Comme c'est le cas pour les produits forestiers ligneux (cf. section 4.3.1.2), les prix des produits forestiers non-ligneux en question sont le facteur le plus important pour l'intensité des activités de collecte et d'exploitation de ces produits. Une augmentation de ces prix a par exemple de bonnes chances d'intensifier les exploitations correspondantes et ainsi d'augmenter la dégradation des forêts concernées.

Pâturage en forêt

Dans beaucoup de régions de Madagascar, les paysans ont l'habitude de laisser le bétail se nourrir en forêt pendant certaines périodes, surtout si les pâturages hors forêt ne sont pas suffisants ou de mauvaise qualité. Le bétail préfère évidemment les jeunes pousses, ce qui empêche un rajeunissement de la plupart des espèces ligneuses et peut à long terme même détruire les forêts concernées. En outre, le bétail peut blesser les arbres plus vieux et les rendre ainsi plus vulnérables aux attaques de diverses maladies.

Les facteurs les plus importants ayant une influence sur l'intensité des pâturages en forêt sont les suivants :

- **Qualité et étendue des pâturages hors forêt :**

Comme mentionné plus haut, le pâturage en forêt est surtout une stratégie de compensation en cas de superficies de pâturages hors forêt insuffisantes ou si ces pâturages hors forêt ne sont pas de bonne qualité. Un suivi de ces facteurs permettrait donc de tirer des conclusions sur l'intensité du pâturage en forêt dans une zone donnée.

- **Taux de charge des pâturages hors forêt :**

Il a été démontré plus haut que les paysans passent au pâturage en forêt si les pâturages hors forêt ne sont pas suffisants. Un suivi des taux de charge (nombre de bétail par ha de pâturage) de ces pâturages hors forêt permettra certainement d'évaluer le potentiel pour le pâturage boisé et ainsi la dégradation des forêts concernées.

7.3.4 Gestion des données du suivi des causes de la déforestation et de la dégradation

Certaines sources de données ont déjà été citées dans la R-PP comme montrer par le tableau 62 ci-dessous (source R-PP version finale 2014).

Tableau 62 : Sources de données pour le suivi des causes selon la R-PP

Outils	Institutions en charge	Type de données collectées	Fréquence de collecte	Dernière mise à jour	Emprise géographique
Système d'Informations Rurales et de Sécurité Alimentaire (SIRSA)	EPP/PADR	Socio-économiques rurales	Ponctuelle 2008-2011	2011	9 régions du sud
Réseau d'Observatoires Ruraux (ROR) - Observatoire du Riz (OdR)	EPP/PADR	Prix du riz, maïs et manioc, et PPN	Mensuelle	Janvier 2012	22 régions / 114 Districts
Schémas Régionaux d'Aménagement du Territoire (SRAT)	MDAT	Relatives à l'aménagement du territoire	Ponctuelle	SRAT DIANA août 12	Nationale
Tableau de Bord Social (TBS*)	INSTAT	Socio-économiques	Ponctuelle	2004	Nationale
Tableau de Bord de l'Economie	INSTAT	Economiques	Trimestrielle	Octobre 2012	Nationale
Tableaux de Bord Environnementaux (TBE*)	ONE	Indicateurs environnementaux	Mise à jour progressive (région par région)		Nationale et Régionale

Ces données pourront servir efficacement au suivi de la déforestation et de la dégradation, toutefois leur mise à jour s'avère indispensable pour plus de cohérence.

Il a également les données issues des Enquête Périodique auprès Ménage (EPM) de l'INSTAT qui est une série d'enquêtes statistiques sur les conditions de vie microéconomiques des ménages. Il a l'avantage de traiter différents thèmes à la fois, de la démographie à la consommation en passant par les activités et les opinions, et dont les résultats sont représentatifs au niveau national, régional.

En ce qui concerne la fréquence de mise à jour, certains indicateurs utilisés dans le système de suivi de la déforestation et de la dégradation sont déjà utilisés pour le suivi des sauvegardes, il est donc préférable de s'aligner sur une période de cinq ans pour la fréquence de collecte.

La mise à jour des indicateurs communs entre le suivi des sauvegardes et des causes de la déforestation et de la dégradation se fera en même temps. Le tableau 60 ci-après résume ces indicateurs :

Tableau 63 : Indicateurs communs entre le système de suivi de sauvegarde et le système de suivi des causes de la déforestation

Indicateur	Données nécessaires
1. Source de revenus des ménages	Liste des sources de revenu des ménages
2. Nombre de spéculations agricoles	Liste des spéculations agricoles des ménages
3. Taux de chômage	Pourcentage de personnes en chômage
4. Incidence de la pauvreté	Proportion de ménages pauvres
5. Taux Net de Scolarisation (TNS) au collège, par sexe et ratio filles/garçons	Proportion des enfants de 11 à 14 ans au collège dans l'ensemble des enfants de ce même tranche d'âge
6. Taux de scolarisation des autres enfants âgés de 6 à 17 ans	Rapport entre les enfants scolarisés et les enfants non scolarisés
7. Rendement	Rendement par hectare de chaque spéculation
8. Production rizicole	Quantité du riz produite
9. Superficie moyenne	Superficie de l'exploitation par ménage

Bibliographie

- (1) **Andriampiolazana M. (2014)** : *Etude de la variabilité spatio-temporelle du carbone du sol à l'échelle régionale, cas d'Antsirabe* . Mémoire DEA, ESSA, option Foresterie- Développement – Environnement.
- (2) **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.
- (3) **Aster GDEM v2** : Global Digital Elevation Map, MNT GDEM : <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>
- (4) **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
- (5) **Besairie 1969-1971** : Cartes géologiques de Madagascar à l'échelle de 1/500 000. Tananarive, Service géologique de Madagascar.
- (6) **Breiman, L. (2001)** : Random Forests, Machine Learning 45(1), 5-32, <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324#page-1>
- (7) **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,
- (8) **Chang (2011)** C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J. & Hurburg, C.R. 2001. Near- infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. Soil Science Society of America Journal, 65, 480–490
- (9) **Chave et al (2005)** : Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87–99.
- (10) **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, Wellington 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.
- (11) **Delaunois A. (2006)** : *Guide simplifié pour la description des sols*. Guide pédologique. Chambre d'agriculture TARN.
- (12) **DVI, EVI et VCF** : <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- (13) **Ellert B. H. et Bettany J. R. (1995)** : Calculation of organic matter and nutrients stored. In soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529-538.
- (14) **FAO (1995)** : Forest resources assessment 1990, Global Synthesis <http://www.fao.org/docrep/007/v5695e/v5695e00.htm>
- (15) **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.
- (16) **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,

- (17) **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.
- (18) **Global Forest Change, Hansen (2012)** : <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download.htm>
- (19) **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”.
- (20) **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
- (21) **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>.
- (22) **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.
- (23) **IEFN (1994)** : 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
- (24) **Liaw and Wiener (2002)** : “Classification and Regression By randomForest » ftp://131.252.97.79/Transfer/Treg/WFRE_Articles/Liaw_02_Classification%20and%20regression%20by%20randomForest.pdf
- (25) **Maignien, R. (1969)** : *Manuel de prospection pédologique*. ORSTOM. Documentations Techniques N°11.
- (26) **MEF, ONE, CI (2013)** : Evolution de la couverture des forêts naturelles à Madagascar
- (27) **MEFT et USAID (2009)** : Manuel d’inventaire forestier. Ministère de l’Environnement, des Forêts et du Tourisme et United States Agency for International Development ; Antananarivo
- (28) **Menon, S., Bawa, K.S., (1997)** : Application of geographic information systems, remote sensing, and landscap ecology approche to biodiversity conservation in Western Ghats. *Curr. Sci.* 75, 228 - 285
- (29) **Minasny, B., A. B. McBratney, B. P. Malone and I. Wheeler (2013)** : *Digital Mapping of Soil Carbon*. *Advances in Agronomy*. Volume 118, 2013.
- (30) **MODIS (2013)** : Image à 500m de résolution pour le calcul des Indices de végétation (NDVI et EVI) et du Vegetation Cover Fraction ou VCF, NDVI, EVI et VCF: <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- (31) **Narendra Prasad, S. (1998)** : Conservation planning for the Western Ghats of Kerala. II. Assessment of habitat loss and degradation. *Curr. Sci.* 75, 228 - 285.
- (32) **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>
- (33) **Rakotonarivo, O. (2010)** : Les stocks de carbone de la biomasse aérienne et du sol selon la distribution altitudinale et les modes d’usages des terres en climat tropical humide et semi-aride. Cas de la région de Taolagnaro, Madagascar. Mémoire DEA, ESSA, option Foresterie-Développement –Environnement.

- (34) **Rakotovao (2011)** : Atlas des Bois de Madagascar, Rakotovao, G., A. Rabevohitra, J. Gerad, and P. Collas de Chatelperron. 2011. Technical report. Cirad and Fofifa, Montpellier, France.
- (35) **Ramboatiana, N. (2014)** : *Modélisation des émissions de CO₂ des sols après déforestation: estimations à l'échelle d'un paysage*. Cas de la forêt de Beampingaratsy, Région Anosy. Mémoire DEA, ESSA, option Foresterie- Développement – Environnement. 93 p.
- (36) **Ramifehiarivo, N. (2014)** : *Evaluation du stock de carbone du sol après déforestation: cas de Moramanga*. ESSA, Département agriculture, Université d'Antananarivo. Mémoire de fin d'études. 95p.
- (37) **Randrianandrasana, L. (en cours)** : *Spatialisation des stocks de carbone et d'azote des sols de la zone de production laitière de Vakinankaratra*. Mémoire DEA, ESSA, option Foresterie- Développement – Environnement.
- (38) **Razafimahatratra, H. (2011)** : *Sols malgaches et spectroscopie dans le moyen infrarouge*. Thèse de doctorat, ESSA, Université d'Antananarivo.
- (39) **Riquier 1968** : Carte pédologique de Madagascar, ORSTOM, Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, Service cartographique, 1:1'000'000 (03 feuilles : nord, centre, sud).
- (40) **Saatchi et al (2011)** : Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. / Saatchi, Sassan S.; Harris, Nancy L.; Brown, Sandra; Lefsky, Michael; Mitchard, Edward T. A.; Salas, William; Zutta, Brian R.; Buermann, Wolfgang; Lewis, Simon L.; Hagen, Stephen; Petrova, Silvia; White, Lee; Silman, Miles; Morel, Alexandra. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS, Vol. 108, No. 24, 14.06.2011, p. 9899-9904.
- (41) **Saneho, H. (2014)** : Séquestration de carbone et disponibilité des nutriments (P et N) des sols des différents agroécosystèmes dans le cadre de la REDD+ à Madagascar. Mémoire M2, ISSEDD, Université de Toamasina.
- (42) **Simard 2009** : Estimation de la hauteur de la canopée : Marc Simard, Naiara Pinto, Joshua B. Fisher & Alessandro Baccini, 2011. Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. Journal of Geophysical Research, vol. 116, G04021, doi:10.1029/2011JG001708, 12p.
- (43) **Vågen, T.-G., L.A. Winowiecki, A. Abegaz et K.M. Hadgu (2013)** : Landsat-based approaches for mapping of land degradation prevalence and soil functional properties in Ethiopia. Remote Sens. Environ. 134, p. 266–275.
- (44) **Vågen, T.-G., L.A. Winowiecki, A. Abegaz et K.M. Hadgu (2013)** : *Mapping of soil organic carbon stocks for spatially explicit assessments of climate change mitigation potential*. Environmental research letters. IOP Science. 10 p.
- (45) **Vieilledent, G., Grinand, C., & Vaudry, R. (2013)** : Forecasting deforestation and carbon emissions in tropical developing countries facing demographic expansion: A case study in Madagascar. Ecology and Evolution, <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.550> (Article first published online: 3 MAY 2013)
- (46) **Walkley, A. and I. Black (1934)** : An Examination of Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science 63, 251-257.
- (47) **WCS (2012)** : The Makira Forest Protected Area Project in Madagascar. Project Description Document for VCS certification. Wildlife Conservation Society, Antananarivo
- (48) **WorldClim (Hijman 2005)** : <http://www.worldclim.org/>
- (49) **Yoro, G. et G. Godo (1990)** : Les méthodes de mesure de la densité apparente : Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. ORSTOM, Abidjan, Côte-d'Ivoire.

- (50) Zafindrabenja, A. (2014) :** Analyse comparative des méthodes de prélèvements de sol pour la comptabilisation du stock de carbone organique du sol dans le cadre de la R.E.D.D à Madagascar : Cas de la région Didy. Mémoire DEA, ESSA, option Foresterie- Développement – Environnement.

ANNEXES

- **Annexe 1** : Stocks de carbone par placette d'inventaire
- **Annexe 2** : Modèles d'émission de carbone du sol
- **Annexe 3** : Exemple de calcul des taux de déforestation
- **Annexe 4** : Résumé des indicateurs socio-économiques
- **Annexe 5** : Détails de la modélisation de la déforestation future

Annexe 1 : Stocks de carbone par placette d'inventaire

Résultats par échantillon par strate**Strate 1 : Forêt dense humide de basse altitude (0 – 800 m)****Projet Ecorégional REDD+ dans les Forêts Humides (PERR-FH)****Inventaire forestier et des stocks de carbone de la biomasse aérienne****Forêts Denses Humides de Basse Altitude (FDH-BA); 0 à 800m****Données brutes avant vérification**

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
MNP	1	101	A	18	104'243	148.30
MNP	1	101	B	13	100'848	117.00
MNP	1	101	C	21	101'136	168.40
MNP	1	103	A	20	33'082	127.50
MNP	1	103	B	20	53'403	136.50
MNP	1	103	C	20	31'354	138.30
ETC Terra	1	204	A	16	62'669	64.30
ETC Terra	1	204	B	19	55'144	53.20
ETC Terra	1	204	C	16	71'983	43.50
ETC Terra	1	205	A	14	26'772	35.30
ETC Terra	1	205	B	15	27'644	62.90
ETC Terra	1	205	C	12	43'252	38.40
ETC Terra	1	206	A	17	47'399	84.70
ETC Terra	1	206	B	14	37'637	66.40
ETC Terra	1	206	C	12	27'090	95.70
ETC Terra	2	215	A	19	54'890	207.90
ETC Terra	2	215	B	19	64'990	163.00
ETC Terra	2	215	C	22	37'256	154.40
ETC Terra	2	224	A	26	62'513	167.90
ETC Terra	2	224	B	14	52'154	122.30
ETC Terra	2	224	C	15	50'357	96.10
WCS	1	301	A	24	53'441	157.40
WCS	1	301	B	31	19'790	101.30
WCS	1	301	C	20	66'448	139.70
WCS	1	302	A	22	19'384	33.40
WCS	1	302	B	17	4'602	42.50
WCS	1	302	C	19	35'070	29.80
WCS	1	306	A	15	40'862	97.30
WCS	1	306	B	15	20'977	38.40
WCS	1	306	C	15	22'303	53.80
WCS	1	307	A	16	38'013	86.80
WCS	1	307	B	17	33'261	67.30
WCS	1	307	C	33	83'161	87.00
WCS	1	308	A	36	26'714	162.50
WCS	1	308	B	27	20'404	105.50
WCS	1	308	C	16	30'095	144.60
WCS	1	309	A	20	44'920	173.00
WCS	1	309	B	19	32'710	131.40
WCS	1	309	C	24	31'432	220.60
WCS	1	311	A	19	36'432	58.90

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
WCS	1	311	B	15	51'418	44.90
WCS	1	311	C	16	38'209	97.40
WCS	1	312	A	10	58'665	88.70
WCS	1	312	B	14	113'422	54.70
WCS	1	312	C	15	54'781	39.40
WCS	1	313	A	12	65'341	105.20
WCS	1	313	B	11	80'204	80.50
WCS	1	313	C	15	51'493	112.20
WCS	1	314	A	15	71'130	115.90
WCS	1	314	B	15	70'937	107.70
WCS	1	314	C	14	67'591	92.00
WCS	1	315	A	12	53'508	55.00
WCS	1	315	B	13	68'562	40.00
WCS	1	315	C	11	88'128	45.60
WCS	1	317	A	22	26'896	104.40
WCS	1	317	B	17	38'131	107.80
WCS	1	317	C	20	60'936	200.20
WCS	1	318	A	15	33'264	76.80
WCS	1	318	B	23	21'240	114.20
WCS	1	318	C	30	16'796	88.00
WCS	1	319	A	19	17'882	127.90
WCS	1	319	B	15	16'958	45.80
WCS	1	319	C	21	37'294	102.20
WCS	1	320	A	15	22'443	101.50
WCS	1	320	B	6	74'668	58.30
WCS	1	320	C	18	36'975	102.00
WCS	1	321	A	17	35'187	106.50
WCS	1	321	B	20	30'916	114.20
WCS	1	321	C	15	44'435	87.00
WCS	1	322	A	18	43'659	89.90
WCS	1	322	B	21	24'365	115.10
WCS	1	322	C	29	38'222	33.00
WCS	1	325	A	29	65'759	132.00
WCS	1	325	B	27	23'938	64.90
WCS	1	325	C	22	31'842	131.50
WCS	1	328	A	19	55'735	168.80
WCS	1	328	B	23	69'973	156.00
WCS	1	328	C	26	40'550	91.90
WCS	2	329	A	15	75'451	77.60
WCS	2	329	B	18	91'056	166.60
WCS	2	329	C	17	60'977	109.00
WCS	2	330	A	14	52'981	54.30
WCS	2	330	B	15	34'160	61.40
WCS	2	330	C	19	40'494	89.30
WCS	1	331	A	15	102'837	107.50
WCS	1	331	B	16	267'775	89.00

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
WCS	1	331	C	14	116'132	104.40
WCS	1	334	A	26	94'689	236.10
WCS	1	334	B	29	44'521	282.40
WCS	1	334	C	27	36'991	145.20
WCS	1	335	A	18	96'563	227.80
WCS	1	335	B	21	47'873	189.70
WCS	1	335	C	19	61'292	68.80
WCS	1	336	A	16	70'627	139.70
WCS	1	336	B	19	166'618	250.80
WCS	1	336	C	29	84'906	239.00
WCS	2	337	A	24	44'391	167.20
WCS	2	337	B	25	55'857	80.20
WCS	2	337	C	12	44'494	63.40
WCS	2	338	A	28	43'125	106.80
WCS	2	338	B	21	72'983	99.30
WCS	2	338	C	18	62'669	84.40
WCS	1	341	A	21	118'377	178.50
WCS	1	341	B	21	149'379	185.10
WCS	1	341	C	23	57'193	167.70
WCS	1	342	A	18	250'524	154.60
WCS	1	342	B	19	108'871	181.70
WCS	1	342	C	28	84'182	199.00
WCS	2	347	A	14	70'716	93.20
WCS	2	347	B	16	67'270	117.90
WCS	2	347	C	13	136'356	136.30
WCS	2	348	A	19	70'504	162.90
WCS	2	348	B	12	69'386	68.10
WCS	2	348	C	14	80'300	105.50
ONE	3	401	A	16	241'622	187.90
ONE	3	401	B	15	226'968	117.40
ONE	3	401	C	17	177'058	155.30
ONE	4	402	A	13	336'744	139.40
ONE	3	402	B	14	383'959	151.90
ONE	3	402	C	14	290'487	138.10
ONE	3	405	A	18	164'296	116.00
ONE	3	405	B	14	201'070	82.30
ONE	3	405	C	16	202'000	100.00
ONE	3	406	A	14	269'593	124.60
ONE	3	406	B	15	302'990	86.80
ONE	3	406	C	14	149'758	117.80
ONE	3	407	A	14	510'786	129.80
ONE	3	407	B	14	427'505	103.50
ONE	3	407	C	18	949'911	112.60
ONE	3	408	A	22	159'721	124.00
ONE	3	408	B	18	148'604	76.20
ONE	3	408	C	22	137'592	127.80

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ONE	3	409	A	19	134'121	141.00
ONE	3	409	B	17	150'852	113.80
ONE	3	409	C	15	149'761	82.60
ONE	3	410	A	14	354'844	122.30
ONE	3	410	B	15	235'294	107.60
ONE	3	410	C	12	254'826	115.70
ONE	1	411	A	19	113'843	224.10
ONE	1	411	B	12	139'957	125.30
ONE	1	411	C	10	59'539	98.00
ONE	1	412	A	17	86'032	175.60
ONE	1	412	B	18	85'686	196.40
ONE	1	412	C	17	65'634	100.30
ONE	1	413	A	24	78'415	174.50
ONE	1	413	B	26	62'113	161.50
ONE	1	413	C	22	126'062	170.40
ONE	1	414	A	13	140'568	150.40
ONE	1	414	B	11	145'529	127.60
ONE	1	414	C	16	158'721	164.80
ONE	1	417	A	16	70'520	143.70
ONE	1	417	B	13	96'941	214.40
ONE	1	417	C	13	63'607	113.60
ONE	1	418	A	17	89'412	159.80
ONE	1	418	B	16	95'376	180.70
ONE	1	418	C	15	171'496	107.20
ONE	1	419	A	11	109'061	133.50
ONE	1	419	B	18	91'058	158.10
ONE	1	419	C	13	169'893	154.00
ONE	1	420	A	12	266'948	182.10
ONE	1	420	B	12	96'479	130.80
ONE	1	420	C	15	144'806	174.00
ONE	2	427	A	18	30'766	104.20
ONE	2	427	B	19	31'340	121.20
ONE	2	427	C	24	24'552	107.40
ONE	2	428	A	23	29'934	124.50
ONE	2	428	B	17	30'881	106.30
ONE	2	428	C	17	25'306	99.40
ONE	3	429	A	17	25'674	144.20
ONE	2	429	B	18	21'820	128.20
ONE	2	429	C	19	34'928	146.70
ONE	2	430	A	18	31'038	120.80
ONE	2	430	B	18	34'579	118.90
ONE	2	430	C	18	31'549	140.30
ONE	2	434	A	18	32'057	155.40
ONE	2	434	B	19	41'197	141.00
ONE	2	434	C	19	34'804	126.70
ONE	2	436	A	16	37'938	106.90

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ONE	2	436	B	17	37'177	96.10
ONE	2	436	C	19	37'704	133.80
ONE	3	503	A	16	420'527	181.30
ONE	3	503	B	17	248'237	192.90
ONE	3	503	C	15	422'127	152.90
ONE	2	504	A	17	24'588	88.50
ONE	2	504	B	17	34'531	136.20
ONE	2	504	C	19	38'253	150.40
ONE	2	505	A	11	41'189	90.30
ONE	2	505	B	18	44'465	147.70
ONE	2	505	C	18	28'277	130.30
ONE	2	509	A	15	48'166	108.30
ONE	2	509	B	18	38'119	147.90
ONE	2	509	C	18	44'082	142.10
ONE	2	513	A	17	31'095	117.60
ONE	2	513	B	15	27'871	102.30
ONE	2	513	C	14	44'204	85.50
ONE	4	520	A	16	148'256	170.00
ONE	4	520	B	19	66'213	164.80
ONE	4	520	C	15	130'503	132.60
ONE	1	701	A	26	43'499	165.70
ONE	1	701	B	30	23'608	189.50
ONE	1	701	C	27	51'538	136.40
ONE	4	706	A	16	68'561	72.60
ONE	4	706	B	16	81'806	75.10
ONE	4	706	C	18	65'057	57.20
ONE	3	709	A	13	75'677	85.70
ONE	3	709	B	12	107'428	76.40
ONE	3	709	C	15	69'478	82.90
ONE	1	711	A	18	81'633	139.90
ONE	1	711	B	18	77'010	194.90
ONE	1	711	C	14	114'627	122.20
MNP	1	801	A	13	64'355	78.30
MNP	1	801	B	16	102'527	78.50
MNP	1	801	C	18	31'964	124.20
MNP	1	802	A	15	220'149	97.40
MNP	1	802	B	21	207'015	107.20
MNP	1	802	C	18	182'084	124.80
MNP	2	804	A	18	39'908	87.10
MNP	2	804	B	20	65'962	145.50
MNP	2	804	C	16	63'421	109.40
MNP	2	806	A	15	63'531	130.90
MNP	2	806	B	15	28'559	88.30
MNP	2	806	C	15	60'709	119.70
MNP	1	808	A	16	232'955	72.10
MNP	1	808	B	19	258'066	86.40

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
MNP	1	808	C	17	183'301	91.80
ETC Terra	3	902	A	23	37'170	76.70
ETC Terra	3	902	B	19	41'825	91.30
ETC Terra	3	902	C	13	70'456	103.40
ETC Terra	3	903	A	23	53'424	142.20
ETC Terra	3	903	B	23	64'099	175.10
ETC Terra	3	903	C	19	50'800	107.30
ETC Terra	3	905	A	28	37'224	134.40
ETC Terra	3	905	B	26	41'295	158.70
ETC Terra	3	905	C	33	39'113	125.90
ETC Terra	3	906	A	26	36'400	95.70
ETC Terra	3	906	B	30	36'626	153.40
ETC Terra	3	906	C	28	52'275	147.00
ETC Terra	3	907	A	25	38'049	176.00
ETC Terra	3	907	B	24	51'364	204.30
ETC Terra	3	907	C	25	33'607	131.50
ETC Terra	3	909	A	31	29'514	103.10
ETC Terra	3	909	B	23	49'313	128.50
ETC Terra	3	909	C	23	47'776	165.70
ETC Terra	3	910	A	24	59'291	143.70
ETC Terra	3	910	B	20	47'426	114.50
ETC Terra	3	910	C	27	40'738	149.40
ETC Terra	3	911	A	25	52'975	135.70
ETC Terra	3	911	B	28	30'401	84.10
ETC Terra	3	911	C	23	49'410	116.40
ETC Terra	3	912	A	26	30'737	130.10
ETC Terra	3	912	B	25	38'511	149.90
ETC Terra	3	912	C	25	36'435	110.40
ETC Terra	1	913	A	21	98'598	108.80
ETC Terra	3	913	B	56	140	50.70
ETC Terra	3	913	C	17	61'066	93.30

Nombre d'Echantillons	255	
Moyenne	88'401	120.86
Maximum	949'911	282.40
Median	57'193	117.40
Minimum	140	29.80
Ecart Type	97'228	44.20
Coefficient de Variation (%)	109.98	36.57
Erreur Standard	6'089	2.77
Erreur Standard Relative (%)	6.89	2.29
Erreur Standard 95%	12'007	5.46
Intervalle de Confiance	Sup. 100'408	126.32
	Inf 76'394	115.40
Estimation Minimale de Confiance	78'337	116.28

Strate 2 : Forêt dense humide de moyenne et haute altitude (> 800 m)**Projet Ecorégional REDD+ dans les Forêts Humides (PERR-FH)****Inventaire forestier et des stocks de carbone de la biomasse aérienne****Forêts Denses Humides de Moyenne Altitude (FDH-MA); supérieur à 800m****Données brutes avant vérification**

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
MNP	1	102	A	17	158'540	127.20
MNP	1	102	B	21	43'989	119.00
MNP	1	102	C	22	82'065	186.20
ETC Terra	2	201	A	19	23'194	147.30
ETC Terra	2	201	B	17	25'557	116.20
ETC Terra	2	201	C	24	63'381	157.20
ETC Terra	1	203	A	15	36'950	49.40
ETC Terra	1	203	B	24	53'331	99.50
ETC Terra	1	203	C	12	36'192	44.20
ETC Terra	1	207	A	15	75'947	80.20
ETC Terra	1	207	B	19	20'487	72.30
ETC Terra	1	207	C	16	79'679	85.00
ETC Terra	1	208	A	10	44'076	49.90
ETC Terra	1	208	B	17	37'534	64.20
ETC Terra	1	208	C	21	53'162	143.40
ETC Terra	1	209	A	12	47'731	56.10
ETC Terra	1	209	B	19	43'884	95.80
ETC Terra	1	209	C	18	34'361	108.90
ETC Terra	1	210	A	17	37'823	108.00
ETC Terra	1	210	B	17	29'118	146.30
ETC Terra	1	210	C	16	40'605	134.80
ETC Terra	1	211	A	19	61'997	135.80
ETC Terra	1	211	B	15	44'618	110.90
ETC Terra	1	211	C	17	60'457	160.40
ETC Terra	2	212	A	23	49'606	158.50
ETC Terra	2	212	B	23	36'814	126.20
ETC Terra	2	212	C	25	22'902	62.40
ETC Terra	2	213	A	17	33'520	94.30
ETC Terra	2	213	B	16	66'666	119.00
ETC Terra	2	213	C	14	39'574	48.30
ETC Terra	2	214	A	23	63'525	205.90
ETC Terra	2	214	B	20	34'403	154.70
ETC Terra	2	214	C	30	42'964	126.80
ETC Terra	1	216	A	22	62'136	82.10
ETC Terra	1	216	B	17	47'249	110.70
ETC Terra	1	216	C	24	72'633	133.60
ETC Terra	1	217	A	19	84'452	111.30
ETC Terra	1	217	B	22	53'349	76.40
ETC Terra	1	217	C	23	74'867	103.00
ETC Terra	1	218	A	18	56'847	104.20

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ETC Terra	1	218	B	20	53'042	99.30
ETC Terra	1	218	C	18	28'467	93.00
ETC Terra	1	219	A	17	51'843	64.30
ETC Terra	1	219	B	11	42'713	86.90
ETC Terra	1	219	C	17	40'768	90.10
ETC Terra	1	220	A	23	58'901	141.40
ETC Terra	1	220	B	24	39'788	131.50
ETC Terra	1	220	C	16	58'979	92.60
ETC Terra	1	221	A	13	40'018	115.60
ETC Terra	1	221	B	19	33'304	93.90
ETC Terra	1	221	C	18	47'120	121.20
ETC Terra	2	222	A	20	31'739	134.30
ETC Terra	1	222	B	19	60'525	173.70
WCS	2	222	C	26	28'789	172.10
ETC Terra	2	223	A	16	38'555	138.40
ETC Terra	2	223	B	9	46'468	35.80
ETC Terra	2	223	C	14	27'303	58.50
ETC Terra	2	225	A	16	42'113	153.20
ETC Terra	2	225	B	14	70'319	102.40
ETC Terra	2	225	C	16	27'746	66.90
ETC Terra	1	227	A	15	41'994	127.50
ETC Terra	1	227	B	11	50'150	53.40
ETC Terra	1	227	C	14	60'719	84.50
ETC Terra	1	228	A	20	69'332	125.90
ETC Terra	1	228	B	18	79'352	108.20
ETC Terra	1	228	C	26	99'837	103.30
ETC Terra	2	229	A	28	33'717	181.20
ETC Terra	2	229	B	24	46'417	159.50
ETC Terra	2	229	C	18	46'635	143.70
ETC Terra	2	230	A	17	43'289	79.50
ETC Terra	2	230	B	16	32'142	124.00
ETC Terra	2	230	C	18	49'423	156.90
ETC Terra	2	231	A	13	34'217	75.70
ETC Terra	2	231	B	27	19'017	167.40
ETC Terra	2	231	C	20	33'149	87.90
WCS	2	232	A	21	18'652	104.40
ETC Terra	2	232	B	42	35'506	98.00
ETC Terra	2	232	C	14	61'685	120.50
ETC Terra	3	233	A	26	65'444	209.60
ETC Terra	3	233	B	22	66'574	215.30
ETC Terra	3	233	C	21	184'283	213.60
ETC Terra	3	234	A	17	73'129	116.90
ETC Terra	3	234	B	32	34'908	309.50
ETC Terra	3	234	C	23	33'716	148.90
ETC Terra	3	235	A	17	83'644	168.60
ETC Terra	3	235	B	18	48'570	211.40

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ETC Terra	3	235	C	22	50'669	227.60
WCS	1	303	A	34	25'742	86.40
WCS	1	303	B	27	21'183	125.30
WCS	1	303	C	17	69'120	98.60
WCS	1	304	A	24	53'400	191.20
WCS	1	304	B	40	10'287	131.40
WCS	1	304	C	28	57'187	325.20
WCS	1	305	A	21	45'840	73.40
WCS	1	305	B	27	40'846	175.90
WCS	1	305	C	38	23'896	180.60
WCS	1	310	A	19	38'481	145.70
WCS	1	310	B	18	37'536	164.30
WCS	1	310	C	20	40'226	103.50
WCS	1	316	A	13	46'887	32.50
WCS	1	316	B	24	32'378	46.10
WCS	1	316	C	14	28'555	83.20
WCS	1	323	A	16	178'184	108.50
WCS	1	323	B	18	149'943	135.50
WCS	1	323	C	17	181'575	147.60
WCS	1	324	A	23	78'513	131.80
WCS	1	324	B	28	150'780	77.50
WCS	1	324	C	25	100'641	113.90
WCS	1	326	A	30	59'044	125.80
WCS	1	326	B	26	52'376	145.10
WCS	1	326	C	23	96'851	85.10
WCS	1	327	A	13	48'126	100.30
WCS	1	327	B	15	133'722	153.70
WCS	1	327	C	11	72'996	67.10
WCS	1	332	A	27	24'967	203.00
WCS	1	332	B	16	439'434	141.10
WCS	1	332	C	27	52'662	140.60
WCS	1	333	A	20	62'770	184.60
WCS	1	333	B	27	63'201	217.00
WCS	1	333	C	32	68'573	230.70
WCS	1	339	A	17	125'243	197.90
WCS	1	339	B	25	63'359	273.80
WCS	1	339	C	20	60'844	179.10
WCS	1	340	A	18	76'969	161.80
WCS	1	340	B	21	47'247	142.10
WCS	1	340	C	15	63'876	126.00
WCS	2	343	A	13	112'649	138.60
WCS	2	343	B	14	41'270	137.90
WCS	2	343	C	13	76'279	115.40
WCS	2	344	A	14	94'674	107.40
WCS	2	344	B	15	147'627	92.10
WCS	2	344	C	14	66'848	113.00

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
WCS	1	345	A	14	38'793	106.90
WCS	2	345	B	19	24'475	102.80
WCS	2	345	C	17	44'265	97.40
WCS	2	346	A	14	60'692	121.70
WCS	2	346	B	12	68'508	101.50
WCS	2	346	C	14	123'709	173.60
ONE	3	403	A	16	227'060	138.10
ONE	3	403	B	18	263'520	144.50
ONE	3	403	C	16	177'863	120.30
ONE	3	415	A	17	388'368	113.70
ONE	3	415	B	19	201'312	131.90
ONE	3	415	C	16	493'316	121.00
ONE	3	416	A	15	581'494	104.40
ONE	3	416	B	12	351'284	95.50
ONE	3	416	C	9	304'768	64.00
ONE	3	421	A	16	275'206	103.30
ONE	3	421	B	13	379'832	111.10
ONE	3	421	C	13	493'354	149.30
ONE	3	422	A	25	318'107	252.80
ONE	3	422	B	14	302'799	107.40
ONE	3	422	C	21	313'982	163.00
ONE	4	423	A	19	43'004	99.20
ONE	4	423	B	22	43'690	127.90
ONE	4	423	C	21	96'831	110.70
ONE	4	424	A	18	44'021	111.60
ONE	4	424	B	18	57'211	140.60
ONE	4	424	C	21	56'177	99.60
ONE	4	425	A	13	103'982	112.70
ONE	4	425	B	15	86'849	130.90
ONE	4	425	C	22	40'796	115.70
ONE	2	426	A	26	33'570	124.80
ONE	2	426	B	18	40'048	89.30
ONE	2	426	C	18	52'455	114.30
ONE	4	431	A	19	121'101	103.90
ONE	4	431	B	14	72'810	101.10
ONE	4	431	C	16	41'760	104.10
ONE	4	432	A	28	33'276	107.30
ONE	4	432	B	23	26'855	101.90
ONE	4	432	C	24	44'658	124.00
ONE	4	433	A	19	24'653	102.90
ONE	4	433	B	15	65'159	70.20
ONE	4	433	C	14	66'844	109.00
ONE	2	435	A	19	30'896	110.40
ONE	2	435	B	21	34'384	121.00
ONE	2	435	C	20	34'028	117.70
ONE	3	501	A	16	155'882	166.10

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ONE	3	501	B	20	187'831	151.40
ONE	3	501	C	18	152'942	138.30
ONE	3	502	A	15	389'867	177.10
ONE	3	502	B	17	305'853	179.60
ONE	3	502	C	18	256'138	190.80
ONE	3	506	A	16	240'828	171.20
ONE	3	506	B	18	393'255	116.50
ONE	3	506	C	14	146'586	145.30
ONE	3	507	A	17	288'025	186.90
ONE	3	507	B	15	179'291	223.50
ONE	3	507	C	17	272'208	237.30
ONE	2	508	A	21	31'070	128.60
ONE	2	508	B	17	31'544	117.80
ONE	2	508	C	19	34'273	106.80
ONE	1	510	A	14	49'773	142.40
ONE	1	510	B	12	76'466	130.80
ONE	1	510	C	14	28'841	100.00
ONE	2	511	A	16	37'258	92.40
ONE	2	511	B	16	30'173	82.70
ONE	2	511	C	17	31'164	118.80
ONE	2	512	A	17	50'499	114.20
ONE	2	512	B	16	40'339	94.50
ONE	2	512	C	17	23'913	72.40
ONE	1	514	A	9	109'114	98.40
ONE	1	514	B	15	50'446	198.20
ONE	1	514	C	18	41'505	186.80
ONE	1	515	A	24	17'358	127.60
ONE	1	515	B	13	41'447	143.40
ONE	1	515	C	22	33'141	219.80
ONE	4	516	A	26	23'357	138.40
ONE	4	516	B	15	53'493	95.40
ONE	4	516	C	20	80'998	70.30
ONE	1	517	A	10	237'852	89.10
ONE	1	517	B	13	357'332	95.00
ONE	1	517	C	11	187'924	94.20
ONE	1	518	A	17	13'671	59.80
ONE	1	518	B	11	90'464	106.60
ONE	1	518	C	13	67'579	129.30
ONE	4	519	A	13	113'833	82.10
ONE	4	519	B	23	46'814	138.70
ONE	4	519	C	16	76'952	122.10
MNP	1	601	A	17	58'436	114.60
MNP	1	601	B	17	73'948	125.60
MNP	1	601	C	17	97'043	164.40
MNP	2	602	A	23	44'744	126.20
MNP	1	602	B	23	50'198	104.60

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
MNP	1	602	C	19	31'986	74.60
MNP	1	603	A	25	69'691	133.90
MNP	1	603	B	25	37'295	109.30
MNP	1	603	C	18	59'938	117.50
MNP	1	604	A	21	37'752	104.50
MNP	1	604	B	20	57'430	104.70
MNP	1	604	C	30	44'485	117.10
MNP	2	605	A	10	42'624	73.20
MNP	2	605	B	13	65'542	48.20
MNP	2	605	C	14	43'099	57.70
MNP	2	606	A	14	40'065	72.00
MNP	2	606	B	18	52'342	70.40
MNP	2	606	C	12	47'411	70.50
MNP	1	607	A	17	89'667	160.60
MNP	1	607	B	15	44'415	150.10
MNP	1	607	C	13	44'600	101.60
MNP	1	608	A	17	67'201	157.10
MNP	1	608	B	16	163'919	197.60
MNP	1	608	C	21	48'626	202.10
MNP	1	609	A	17	52'616	71.80
MNP	1	609	B	15	88'460	113.90
MNP	1	609	C	20	68'606	108.00
MNP	1	610	A	26	40'103	172.00
MNP	1	610	B	26	43'118	141.40
MNP	1	610	C	22	27'909	123.80
MNP	1	611	A	17	609'423	166.10
MNP	1	611	B	22	62'966	131.80
MNP	1	611	C	21	130'837	179.80
MNP	1	612	A	13	524'394	140.20
MNP	1	612	B	17	47'645	99.60
MNP	1	612	C	14	80'767	127.10
MNP	1	613	A	15	51'755	117.80
MNP	1	613	B	15	50'462	87.80
MNP	1	613	C	12	64'824	106.30
MNP	1	614	A	15	42'483	164.10
MNP	1	614	B	14	50'872	116.00
MNP	1	614	C	22	49'395	148.10
MNP	1	615	A	18	39'634	100.30
MNP	1	615	B	19	55'783	130.30
MNP	1	615	C	18	104'578	151.90
MNP	1	616	A	23	37'025	148.60
MNP	1	616	B	16	33'464	57.70
MNP	1	616	C	24	40'582	190.80
ONE	1	702	A	21	24'239	160.10
ONE	1	702	B	13	99'921	124.10
ONE	1	702	C	16	131'652	212.70

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
ONE	1	703	A	21	23'766	104.30
ONE	1	703	B	13	101'040	115.20
ONE	1	703	C	23	51'014	245.70
ONE	4	704	A	15	80'097	111.90
ONE	4	704	B	15	53'021	68.90
ONE	4	704	C	9	56'166	45.40
ONE	4	705	A	16	44'091	71.30
ONE	4	705	B	11	42'797	35.90
ONE	4	705	C	13	16'870	30.60
ONE	4	707	A	17	43'215	79.50
ONE	4	707	B	15	56'239	75.10
ONE	4	707	C	15	100'670	80.90
ONE	3	708	A	14	25'731	80.10
ONE	3	708	B	21	20'153	48.40
ONE	3	708	C	19	27'965	84.90
ONE	3	710	A	13	64'514	99.10
ONE	3	710	B	12	64'649	106.40
ONE	3	710	C	10	54'829	74.70
MNP	1	803	A	17	52'212	117.00
MNP	1	803	B	17	56'440	103.20
MNP	1	803	C	16	63'006	99.00
MNP	2	805	A	17	35'727	111.90
MNP	2	805	B	15	48'442	89.90
MNP	2	805	C	15	40'860	93.60
MNP	2	807	A	14	50'705	100.30
MNP	2	807	B	23	40'702	174.80
MNP	2	807	C	17	51'251	142.80
MNP	2	809	A	17	51'466	143.70
MNP	2	809	B	29	43'421	106.40
MNP	2	809	C	20	53'835	176.00
MNP	2	810	A	21	49'650	142.20
MNP	2	810	B	24	37'465	153.60
MNP	2	810	C	21	61'692	227.80
ETC Terra	3	901	A	18	43'955	99.80
ETC Terra	3	901	B	25	66'245	159.30
ETC Terra	3	901	C	23	40'030	117.60
ETC Terra	3	904	A	23	69'554	107.40
ETC Terra	3	904	B	25	51'256	167.20
ETC Terra	3	904	C	22	48'679	173.70
ETC Terra	3	908	A	21	59'558	108.00
ETC Terra	3	908	B	28	59'352	176.50
ETC Terra	3	908	C	22	56'439	125.30

Organisation	Equipe	Grappe	Echantillon	DHP moy [cm]	n/ha	Stock C [t/ha]
			Nombre d'Echantillons		312	
			Moyenne		83'441	124.17
			Maximum		609'423	325.20
			Median		51'799	116.95
			Minimum		10'287	30.60
			Ecart Type		93'449	45.44
			Coefficient de Variation (%)		111.99	36.59
			Erreur Standard		5'291	2.57
			Erreur Standard Relative (%)		6.34	2.07
			Erreur Standard 95%		10'433	5.07
			Intervalle de Confiance		Sup. 93'874	129.25
					Inf 73'008	119.10
			Estimation Minimale de Confiance		74'696	119.92

Annexe 2 : Modèles d'émission de carbone du sol

Annexe 3 : Exemple de calcul des taux de déforestation

Illustration de calcul de taux déforestation dans le bloc d'étude COMATSA (ici limité en orange) qui est constitué de 04 scènes images mosaïquées

Scènes	Dates des scènes d'images			Intervalles de temps pour chaque périodes		Surfaces des forêts pour chaque années de références (2005-2010-2013)		
	t ₁	t ₂	t ₃	I ₁ [an]	I ₂ [an]	A ₁ [Ha]	A ₂ [Ha]	A ₃ [Ha]
158 - 070	27/08/2006	5/10/2010	19/06/2013	4,11	2,71	828'810	824'356	811'150
159 - 070	25/04/2005	10/06/2010	07/09/2013	5,13	3,25	409'095	405'460	386'854
158 - 069	02/06/2004	09/08/2008	28/12/2013	4,19	5,39	64'030	61'722	60'035
159 - 069	18/08/2006	10/06/2010	26/06/2013	3,81	3,05	128'668	122'594	117'266
				Σ		1'430'603	1'414'132	1'375'305

Scènes	Coefficients de pondérations		Taux annuels de déforestations par dates [%/an]		Intervalles pondérées par dates sur les 2 périodes		Taux annuels de déforestations pondérés [%/an]		
	ω ₁	ω ₂	θ ₁	θ ₂	ω ₁ * I ₁	ω ₂ * I ₂	ω ₁ * θ ₁	ω ₂ * θ ₂	
158 - 070	0,58	0,58	0,13	0,6	2,38	1,57	0,08	0,35	
159 - 070	0,29	0,29	0,17	1,45	1,49	0,94	0,05	0,42	
158 - 069	0,05	0,04	0,88	0,51	0,21	0,22	0,04	0,02	
159 - 069	0,09	0,09	1,27	1,46	0,34	0,27	0,11	0,13	
				Σ		4,38	3,01	0,28	0,91

Comparaison des taux de déforestations dans le bloc COMATSA selon différent bibliographies.

Référence	Taux de déforestation [%/an]	
	2005 - 2010	2010 - 2013
WRI (1995), Menon and Bawa (1997), Ramesh et al.(1997), Narendra Prasad (1998)	0,230	0,915
FAO (1995)	0,231	0,924
Vieilledent et al (2013), Grinand et al (2013)	0,263	0,912
PERR - FH (2014)	0,279	0,912
WRI (1995), Menon and Bawa (1997), Ramesh et al.(1997), Narendra Prasad (1998)	0,230	0,915

Annexe 4 : Résumé des indicateurs socio-économiques

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
CAPITAL FINANCIER				
1	Taux d'activité (%)	62,6	ENS-OMD_2012	
2	Taux d'activité dans le secteur primaire (%)	84,4	ENS-OMD_2012	
3	Taux de ménages agricoles (%)	92,7	PERR-FH 2014	Remplace l'indicateur ' Source de revenus des ménages » et
4	Taux de ménages éleveurs (%)	74,41	PERR-FH 2014	
5	Revenus salariaux moyens annuels (Ar)	1.658.400	ENS-OMD_2012	
6	Revenus salariaux moyens annuels des ménages agricoles (Ar)	981.800	ENS-OMD_2012	
7	Incidence de travail des enfants (Moins de 17 ans) (%)	6,16	PERR-FH 2014	
8	Incidence de travail des enfants - Fille (%)	4,54	PERR-FH 2014	
9	Incidence de travail des enfants – Garçon (%)	7,59	PERR-FH 2014	
10	Secteurs d'activité de travail des enfants			
	Agriculture	91,43	PERR-FH 2014	
	Travaux domestiques	0,98	PERR-FH 2014	
	Activités minières	0	PERR-FH 2014	
11	Taux de pratique de monoculture (%)	10,3	PERR-FH 2014	
12	Taux de ménages riziculteurs (%)	83,6	PERR-FH 2014	
13	Taux de ménages pratiquant deux types de cultures (%)	39,97	PERR-FH 2014	
14	Taux de ménages pratiquant trois types de cultures (%)	20,56	PERR-FH 2014	
15	Taux de ménages pratiquant quatre types de cultures (%)	10,27	PERR-FH 2014	
16	Taux de ménages pratiquant élevage bovin (%)	46,53	PERR-FH 2014	
17	Taux de ménage pratiquant élevage porcin (%)	23,33	PERR-FH 2014	
18	Taux de ménage pratiquant aviculture (%)	56,77	PERR-FH 2014	
19	Taux de ménage pratiquant élevage ovin (%)	0,34	PERR-FH 2014	
20	Taux de ménage pratiquant élevage caprin (%)	0,62	PERR-FH 2014	
21	Taux de ménage pratiquant apiculture (%)	5,15	PERR-FH 2014	
22	Taux de ménage possédant au moins une radio (%)	60	PERR-FH 2014	L'indicateur d'Oréade-Brèche « Type de biens possédés par le ménage » est désassemblé pour donner plusieurs indicateurs
23	Taux de ménage possédant au moins un poste TV (%)	5,2	PERR-FH 2014	
24	Taux de ménage possédant au moins un poste téléphone (%)	22,1	PERR-FH 2014	
25	Taux de ménage possédant au moins une bicyclette (%)	25,10	PERR-FH 2014	
26	Taux de ménage possédant au moins une mobylette (%)	0.80	PERR-FH 2014	

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
27	Taux de ménage possédant au moins une charrette à bœufs (%)	11,52	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	L'indicateur d'Oréade-Brèche « Type de biens possédés par le ménage » est désassemblé pour donner plusieurs indicateurs
28	Taux de ménage possédant au moins une pirogue à pagaie (%)	2,41	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
29	Taux de ménage possédant au moins une pirogue motorisée (%)	0,36	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
30	Taux de ménage possédant au moins un lit (%)	81,2	PERR-FH 2014	
31	Taux de ménage possédant au moins une table et une chaise (%)	72,8	PERR-FH 2014	
32	Taux de ménage possédant au moins une machine à coudre (%)	8,2	PERR-FH 2014	
33	Taux de ménage possédant au moins un groupe électrogène (%)	3,58	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
34	Taux de ménage possédant au moins une bêche (%)	95,67	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
35	Taux de ménage possédant au moins une herse (%)	16,17	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
36	Taux de ménage possédant au moins une charrue (%)	22,51	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
37	Taux de ménage logeant dans une maison dont les murs sont en matériaux non durables (%)	75,1	PERR-FH 2014 avec données de Makira	En remplacement de l'indicateur d'Oréade brèche : « Type de logement des ménages »
38	Taux de ménage logeant dans une maison dont le plancher est en matériaux non durables (%)	53,1	PERR-FH 2014 avec données de Makira	
39	Taux de ménage logeant dans une maison dont le toit est en matériaux non durables (%)	69,2	PERR-FH 2014 avec données de Makira	
40	Taux de ménage dont au moins trois personnes dorment dans une pièce	48,48	PERR-FH 2014	
41	Taux de ménage utilisant les combustibles solides pour la cuisson (%)	99,96	PERR-FH 2014	
42	Taux de ménage utilisant les bois pour la cuisson (%)	97,34	PERR-FH 2014	
43	Taux de ménage utilisant le charbon de bois (%)	3,91	PERR-FH 2014	

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
44	Taux de ménage utilisant l'électricité (%)	1,6	PERR-FH 2014	Indicateur Oréade-brèche : « Source d'éclairage des ménages »
45	Taux de ménage utilisant le pétrole lampant (%)	83,2	PERR-FH 2014	
46	Taux de ménage utilisant les bougies (%)	7,8	PERR-FH 2014	
47	Taux de ménage utilisant la suie(%)	0,26	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
48	Taux de ménage utilisant les piles voltaïques (%)	20,74	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
49	Taux de ménage utilisant l'énergie solaire (%)	0,04	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
50	Taux d'adhésion aux IMF (%)	4,1	PERR-FH 2014 avec données de Makira (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	Indicateur d'Oréade-Brèche : « Nombre de personnes ayant recours au microcrédit »
51	Taux de ayant épargné auprès d'IMF (%)	1,48	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
52	Taux de ménage ayant obtenu de crédit auprès d'IMF (%)	2,34	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
CAPITAL SOCIAL				
53	Pourcentage de Fokontany disposant d'au moins une organisation paysanne (%)	50	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
54	Pourcentage des OP actives (%)	66,7	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
55	Pourcentage des Fokontany couverts par VOI (%)	70	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	En remplacement à l'indicateur d'Oréade-Brèche : « Nombre et répartition des associations de gestion des ressources naturelles »

Ref.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
56	Pourcentage des membres VOI (%)	39,5	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	En remplacement à l'indicateur d'Oréade-Brèche : « Nombre des adhérents effectifs dans les associations de gestion des ressources naturelles »
57	Perception des populations sur le du des membres à la préservation de l'environnement (%)		PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	En remplacement à l'indicateur d'Oréade-Brèche : « Degré de participation des associations de gestion des ressources naturelles »
	Bon	20,7		
	Mauvais	2		
	Moyen	23,4		
	Sans réponse	53,9		
58	Nombre de Fokontany ayant enregistré des conflits fonciers (%)	69	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
59	Nombre moyen de conflits enregistrés par Fokontany	3 - 4	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
60	Taux de couverture de guichets fonciers (dans les Communes)	25,47	PERR-FH 2014	
CAPITAL HUMAIN				
61	Taux net de scolarisation des enfants (%)	75,08	PERR-FH 2014	Correspondant à l'indicateur au « Taux de scolarisation » d'Oréade -Brèche
62	Taux net de scolarisation des enfants - filles (%)	75,44	PERR-FH 2014	
63	Taux net de scolarisation des enfants – garçons (%)	74,74	PERR-FH 2014	
64	Taux d'alphabétisme des adultes (%)	75,68	PERR-FH 2014	
65	Taux d'adultes sans instruction (%)	13,2	PERR-FH 2014 avec données de Makira	
66	Pourcentage des adultes ayant atteint le lycée	6,9	PERR-FH 2014	
67	Durée de trajet pour aller à l'école (mn)	24	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	Correspondant à l'indicateur d'Oréade Brèche : « Distance parcourue pour se rendre à l'école »
68	Taux de prévalence de maladie (%)	52,6	PERR-FH 2014	
69	Taux de prévalence des IRA	8,93	PERR-FH 2014	
70	Taux de prévalence de paludisme (%)	12,03	PERR-FH 2014	
71	Taux de prévalence de la diarrhée(%)	8,15	PERR-FH 2014	
72	Taux de consultation médicale (%)	40,40	PERR-FH 2014	

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
73	Taux de ménage pratiquant l'automédication	45,40	PERR-FH 2014	
74	Taux de ménage non faisant de consultation médicale à cause de l'éloignement (%)	12,8	PERR-FH 2014	Correspondant à l'indicateur d'Oréade Brèche : « Perception des communautés locales concernant l'accès aux soins »
75	Taux de ménage non faisant de consultation médicale pour des raisons financières (%)	65,10	PERR-FH 2014	
76	Taux de ménage non faisant de consultation médicale à cause de manque de confiance à la médecine (%)	2	PERR-FH 2014	
77	Taux de ménage accédant à une source d'eau potable non améliorée (%)	68,9	PERR-FH 2014	Correspondant à l'indicateur d'Oréade Brèche : « Conditions d'accès à l'eau potable »
78	Taux de ménage utilisant l'eau de pluie comme première source d'eau potable (%)	0	PERR-FH 2014	
79	Taux de ménage utilisant le puits traditionnel comme première source d'eau potable (%)	14,4	PERR-FH 2014	
80	Taux de ménage utilisant les eaux de surface comme première source d'eau potable (%)	33,4	PERR-FH 2014	
81	Taux de ménage accédant à une structure d'assainissement non améliorée (%)	61,7	PERR-FH 2014	
82	Taux de ménage pratiquant la défection dans la nature (%)	37,9	PERR-FH 2014	
83	Nombre de mois dans l'année sans eau potable (mois)	3	PERR-FH 2014	
84	Taux de ménage n'ayant pas une autosuffisance alimentaire (%)	77,9	PERR-FH 2014	
85	Nombre moyen de mois d'autosuffisance alimentaire	6	PERR-FH 2014	Equivalent de l'indicateur d'Oréade –Brèche : « Nombre de mois de soudure par an »
86	Taux de ménages contraints de diminuer la ration alimentaire en période de soudure (%)	71	PERR-FH 2014	
87	Taux de ménages contraints de vendre du petit bétail pour acheter du riz en période de soudure (%)	43,9	PERR-FH 2014	

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche	
88	Pourcentage des ménages adoptant la fertilisation dans les cultures	56,3	PERR-FH 2014	En remplacement aux 2 indicateurs d'Oréade-Brèche « Nombre de personnes ayant changé leurs pratiques agricoles » et « Nombre de personnes participant à des activités génératrices de revenus développés par le projet »	
89	Pourcentage des ménages adoptant utilisation de semences améliorées dans les cultures	28,8			
90	Taux de couverture vaccinale des enfants (%)	52,8	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)		
CAPITAL PHYSIQUE					
91	Pourcentage des Fokontany disposant des infrastructures de base (%)				
	Ecole	100	PERR-FH 2014(Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)		
	Centre de santé	22			
	Barrage hydroagricole	6			
	Marché	17,4			
Service d'eau potable	29,2				
92	Pourcentage des infrastructures de base encore fonctionnels par type (%)				
	Ecole	96,3	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	Correspondant à l'indicateur d'Oréade Brèche : « Conditions d'accès aux infrastructures d'éducation »	
	Centre de santé	83,3			
	Barrage hydroagricole	100			
	Marché	50			
	Service d'eau potable	77,8			
Pistes / Route	62,7				

Réf.	Indicateur	Valeur	Observations	Par rapport au document de Oréade Brèche
93	Pourcentage des infrastructures en dur (%)			
	Ecole	51	PERR-FH 2014 (Absent des enquêtes EPM et ENS_OMD)	
	Centre de santé	33,3		
	Barrage hydroagricole	31,1		En remplacement à l'indicateur d'Oréade –Brèche : « Amélioration des infrastructures hydroagricoles »
	Marché	33,3		
	Pistes / Route	3		En remplacement à l'indicateur d'Oréade –Brèche : « Construction de routes pour désenclaver les zones rurales »
CAPITAL NATUREL				
95	Rendement moyen rizicole (T/Ha)	1,3	ENS-OMD_2012	
96	Rendement moyen en maïs (T/Ha)	0,6		
97	Rendement moyen en manioc (T/Ha)	1,3		
98	Rendement moyen en patate douce (T/Ha)	1,1		
99	Production rizicole par ménage (T)	1,05		
100	Superficie moyenne d'exploitation agricole (Ha)	1,6		

Annexe 5 : Détails de la modélisation de la déforestation future

- 1) Scénarios d'intensité pour chaque écozone
- 2) Influence des facteurs de la localisation de la déforestation sur la déforestation

Ecozone 1							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	127 494			2007,0	127 494	-0,447	-566
2010	125 198			2010,9	125 198	-0,640	-794
2013	122 203			2013	122 203		
2013	122 203		-675	2013	122 203		
2014	121 528	-0,554	-675	2014	121 242	-0,790	-962
2015	120 852	-0,557	-675	2015	120 222	-0,845	-1 020
2016	120 177	-0,560	-675	2016	119 144	-0,901	-1 078
2017	119 501	-0,564	-675	2017	118 007	-0,958	-1 136
2018	118 826	-0,567	-675	2018	116 813	-1,017	-1 195
2019	118 151	-0,570	-675	2019	115 560	-1,078	-1 253
2020	117 475	-0,573	-675	2020	114 249	-1,141	-1 311
2021	116 800	-0,577	-675	2021	112 879	-1,206	-1 369
2022	116 124	-0,580	-675	2022	111 452	-1,273	-1 428
2023	115 449	-0,583	-675	2023	109 966	-1,342	-1 486
2024	114 773	-0,587	-675	2024	108 421	-1,414	-1 544

Ecozone 2							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	336 936			2007,1	336 936	-0,546	-1 699
2010	329 812			2010,7	329 812	-0,885	-2 860
2013	321 410			2013	321 410		
2000-2013	321 410		-2 177	2013	321 410		
2014	319 233	-0,680	-2 177	2014	317 470	-1,234	-3 941
2015	317 057	-0,684	-2 177	2015	313 203	-1,353	-4 266
2016	314 880	-0,689	-2 177	2016	308 612	-1,477	-4 592
2017	312 703	-0,694	-2 177	2017	303 694	-1,606	-4 917
2018	310 526	-0,699	-2 177	2018	298 451	-1,742	-5 243
2019	308 349	-0,703	-2 177	2019	292 882	-1,884	-5 569
2020	306 172	-0,708	-2 177	2020	286 988	-2,033	-5 894
2021	303 995	-0,714	-2 177	2021	280 768	-2,191	-6 220
2022	301 819	-0,719	-2 177	2022	274 222	-2,359	-6 546
2023	299 642	-0,724	-2 177	2023	267 351	-2,538	-6 871
2024	297 465	-0,729	-2 177	2024	260 154	-2,729	-7 197

Ecozone 3

S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	349 633			2007,5	349 633	-0,212	-697
2010	346 122			2011,7	346 122	-1,412	-4 761
2013	330 750			2013	330 750		
2000-2013	330 750		-2 284	2013	330 750		
2014	328 465	-0,693	-2 284	2014	323 675	-2,162	-7 075
2015	326 181	-0,698	-2 284	2015	315 616	-2,521	-8 058
2016	323 896	-0,703	-2 284	2016	306 574	-2,907	-9 042
2017	321 612	-0,708	-2 284	2017	296 550	-3,325	-10 025
2018	319 327	-0,713	-2 284	2018	285 541	-3,783	-11 008
2019	317 043	-0,718	-2 284	2019	273 550	-4,290	-11 991
2020	314 759	-0,723	-2 284	2020	260 576	-4,859	-12 975
2021	312 474	-0,728	-2 284	2021	246 618	-5,505	-13 958
2022	310 190	-0,734	-2 284	2022	231 677	-6,250	-14 941
2023	307 905	-0,739	-2 284	2023	215 752	-7,121	-15 924
2024	305 621	-0,745	-2 284	2024	198 845	-8,161	-16 907

Ecozone 4

S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	35 405			2007,2	35 405	-1,140	-357
2010	33 827			2011,0	33 827	-1,974	-643
2013	31 804			2013	31 804		
2000-2013	31 804		-476	2013	31 804		
2014	31 328	-1,508	-476	2014	30 927	-2,797	-877
2015	30 852	-1,531	-476	2015	29 974	-3,130	-953
2016	30 376	-1,555	-476	2016	28 946	-3,492	-1 029
2017	29 900	-1,579	-476	2017	27 841	-3,889	-1 104
2018	29 424	-1,605	-476	2018	26 662	-4,330	-1 180
2019	28 948	-1,631	-476	2019	25 406	-4,823	-1 255
2020	28 472	-1,658	-476	2020	24 075	-5,381	-1 331
2021	27 996	-1,686	-476	2021	22 668	-6,021	-1 407
2022	27 520	-1,715	-476	2022	21 186	-6,763	-1 482
2023	27 044	-1,745	-476	2023	19 628	-7,638	-1 558
2024	26 568	-1,776	-476	2024	17 994	-8,690	-1 634

Ecozone 5							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	203 165			2007,1	203 165	-0,046	-93
2010	202 781			2010,5	202 781	-0,095	-192
2013	202 261			2013	202 261		
2000-2013	202 261		-133	2013	202 261		
2014	202 129	-0,066	-133	2014	201 972	-0,143	-289
2015	201 996	-0,066	-133	2015	201 654	-0,158	-318
2016	201 864	-0,066	-133	2016	201 307	-0,172	-347
2017	201 731	-0,066	-133	2017	200 931	-0,187	-376
2018	201 599	-0,066	-133	2018	200 526	-0,202	-405
2019	201 466	-0,066	-133	2019	200 092	-0,216	-434
2020	201 334	-0,066	-133	2020	199 630	-0,231	-462
2021	201 201	-0,066	-133	2021	199 138	-0,246	-491
2022	201 069	-0,066	-133	2022	198 618	-0,262	-520
2023	200 936	-0,066	-133	2023	198 069	-0,277	-549
2024	200 804	-0,066	-133	2024	197 491	-0,292	-578

Ecozone 6							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	886 439			2007,7	886 439	-0,145	-1 341
2010	879 071			2011,9	879 071	-0,519	-4 494
2013	866 561			2013	866 561		
2000-2013	866 561		-2 401	2013	866 561		
2014	864 159	-0,277	-2 401	2014	860 451	-0,708	-6 110
2015	861 758	-0,278	-2 401	2015	853 579	-0,802	-6 872
2016	859 357	-0,279	-2 401	2016	845 946	-0,898	-7 633
2017	856 955	-0,280	-2 401	2017	837 551	-0,997	-8 395
2018	854 554	-0,281	-2 401	2018	828 394	-1,099	-9 157
2019	852 153	-0,281	-2 401	2019	818 476	-1,205	-9 918
2020	849 751	-0,282	-2 401	2020	807 796	-1,313	-10 680
2021	847 350	-0,283	-2 401	2021	796 355	-1,427	-11 441
2022	844 949	-0,284	-2 401	2022	784 152	-1,544	-12 203
2023	842 547	-0,285	-2 401	2023	771 187	-1,667	-12 965
2024	840 146	-0,285	-2 401	2024	757 461	-1,796	-13 726

Ecozone 7							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	145 538			2007,3	145 538	-0,300	-396
2010	143 688			2011,3	143 688	-0,724	-1 034
2013	140 400			2013	140 400		
2000-2013	140 400		-654	2013	140 400		
2014	139 746	-0,467	-654	2014	138 924	-1,057	-1 477
2015	139 092	-0,469	-654	2015	137 284	-1,187	-1 639
2016	138 438	-0,471	-654	2016	135 483	-1,321	-1 802
2017	137 784	-0,474	-654	2017	133 518	-1,460	-1 964
2018	137 130	-0,476	-654	2018	131 392	-1,606	-2 127
2019	136 476	-0,478	-654	2019	129 102	-1,758	-2 289
2020	135 822	-0,480	-654	2020	126 651	-1,917	-2 452
2021	135 168	-0,483	-654	2021	124 036	-2,086	-2 614
2022	134 514	-0,485	-654	2022	121 259	-2,264	-2 777
2023	133 860	-0,487	-654	2023	118 320	-2,454	-2 939
2024	133 206	-0,490	-654	2024	115 218	-2,657	-3 102

Ecozone 8							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	898 262			2007,3	898 262	-0,972	-7 941
2010	861 535			2011,1	861 535	-1,406	-11 739
2013	827 011			2013	827 011		
2000-2013	827 011		-9 417	2013	827 011		
2014	817 593	-1,145	-9 417	2014	812 352	-1,788	-14 658
2015	808 176	-1,159	-9 417	2015	796 690	-1,947	-15 662
2016	798 759	-1,172	-9 417	2016	780 023	-2,114	-16 666
2017	789 341	-1,186	-9 417	2017	762 353	-2,291	-17 670
2018	779 924	-1,200	-9 417	2018	743 679	-2,480	-18 674
2019	770 507	-1,215	-9 417	2019	724 001	-2,682	-19 678
2020	761 090	-1,230	-9 417	2020	703 319	-2,898	-20 682
2021	751 672	-1,245	-9 417	2021	681 632	-3,132	-21 686
2022	742 255	-1,261	-9 417	2022	658 942	-3,385	-22 690
2023	732 838	-1,277	-9 417	2023	635 249	-3,662	-23 694
2024	723 420	-1,293	-9 417	2024	610 551	-3,966	-24 698

Ecozone 9							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	684 971			2007,1	684 971	-0,927	-6 205
2010	658 819			2010,5	658 819	-1,901	-9 364
2013	635 483			2013	635 483		
2000-2013	635 483		-7 379	2013	635 483		
2014	628 104	-1,168	-7 379	2014	622 792	-2,017	-12 691
2015	620 725	-1,182	-7 379	2015	609 159	-2,213	-13 633
2016	613 347	-1,196	-7 379	2016	594 584	-2,422	-14 575
2017	605 968	-1,210	-7 379	2017	579 066	-2,644	-15 517
2018	598 590	-1,225	-7 379	2018	562 607	-2,884	-16 460
2019	591 211	-1,240	-7 379	2019	545 205	-3,142	-17 402
2020	583 832	-1,256	-7 379	2020	526 861	-3,423	-18 344
2021	576 454	-1,272	-7 379	2021	507 575	-3,729	-19 286
2022	569 075	-1,288	-7 379	2022	487 346	-4,067	-20 228
2023	561 697	-1,305	-7 379	2023	466 176	-4,441	-21 171
2024	554 318	-1,322	-7 379	2024	444 063	-4,860	-22 113

Ecozone 10							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	255 789			2006,8	255 789	-0,177	-449
2010	254 135			2010,2	254 135	-0,068	-170
2013	253 605			2013	253 605		
2000-2013	253 605		-321	2013	253 605		
2014	253 284	-0,127	-321	2014	253 605	0,000	0
2015	252 963	-0,127	-321	2015	253 605	0,000	0
2016	252 642	-0,127	-321	2016	253 605	0,000	0
2017	252 321	-0,127	-321	2017	253 605	0,000	0
2018	252 000	-0,127	-321	2018	253 605	0,000	0
2019	251 679	-0,127	-321	2019	253 605	0,000	0
2020	251 359	-0,128	-321	2020	253 605	0,000	0
2021	251 038	-0,128	-321	2021	253 605	0,000	0
2022	250 717	-0,128	-321	2022	253 605	0,000	0
2023	250 396	-0,128	-321	2023	253 605	0,000	0
2024	250 075	-0,128	-321	2024	253 605	0,000	0

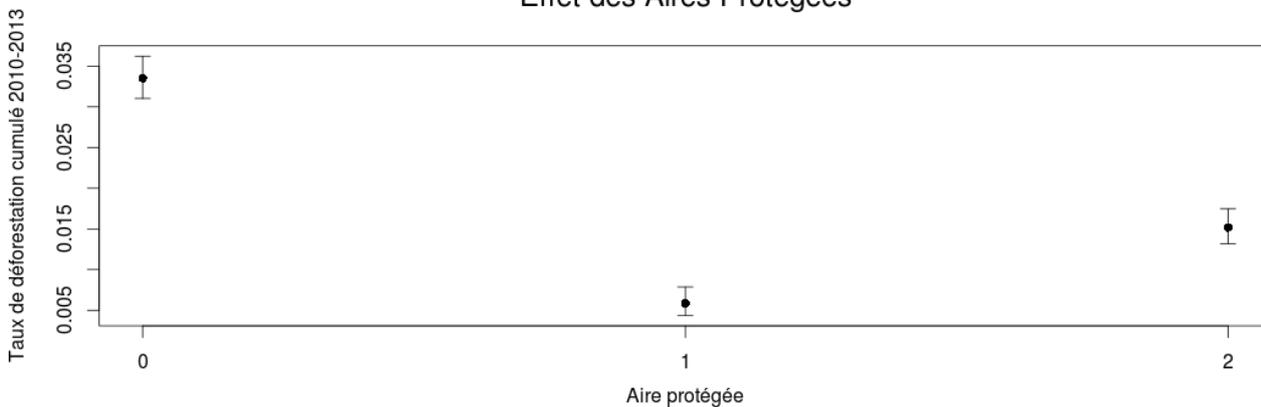
Ecozone 11							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	336 185			2007,1	336 185	-0,284	-886
2010	332 522			2010,8	332 522	-0,137	-532
2013	330 721			2013	330 721		
2000-2013	330 721		-727	2013	330 721		
2014	329 994	-0,220	-727	2014	330 494	-0,069	-227
2015	329 673	-0,097	-727	2015	330 362	-0,040	-132
2016	329 352	-0,097	-727	2016	330 324	-0,012	-38
2017	329 031	-0,097	-727	2017	330 324	0,000	0
2018	328 710	-0,098	-727	2018	330 324	0,000	0
2019	328 389	-0,098	-727	2019	330 324	0,000	0
2020	328 068	-0,098	-727	2020	330 324	0,000	0
2021	327 747	-0,098	-727	2021	330 324	0,000	0
2022	327 426	-0,098	-727	2022	330 324	0,000	0
2023	327 106	-0,098	-727	2023	330 324	0,000	0
2024	326 785	-0,098	-727	2024	330 324	0,000	0

Ecozone 12							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface foret (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	206 023			2006,5	206 023	-0,698	-1 423
2010	201 722			2010,1	201 722	-0,382	-766
2013	198 517			2013	198 517		
2000-2013	198 517		-1 041	2013	198 517		
2014	197 476	-0,526	-1 041	2014	198 455	-0,031	-62
2015	197 155	-0,163	-1 041	2015	198 455	0,000	0
2016	196 834	-0,163	-1 041	2016	198 455	0,000	0
2017	196 513	-0,163	-1 041	2017	198 455	0,000	0
2018	196 192	-0,163	-1 041	2018	198 455	0,000	0
2019	195 871	-0,164	-1 041	2019	198 455	0,000	0
2020	195 550	-0,164	-1 041	2020	198 455	0,000	0
2021	195 229	-0,164	-1 041	2021	198 455	0,000	0
2022	194 908	-0,165	-1 041	2022	198 455	0,000	0
2023	194 587	-0,165	-1 041	2023	198 455	0,000	0
2024	194 267	-0,165	-1 041	2024	198 455	0,000	0

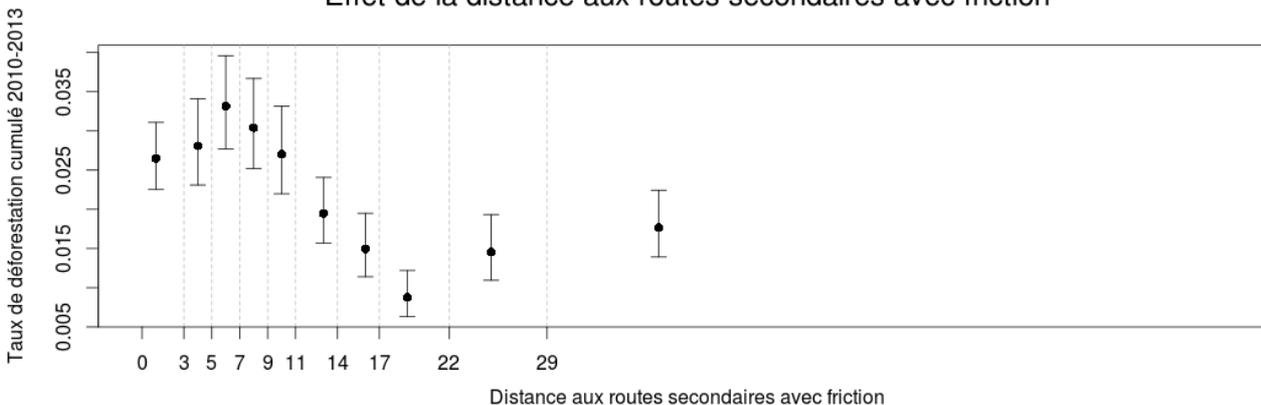
Ecozone 13							
S2 - Moyenne historique - surface défrichée				S1 - Modèle linéaire - surface défrichée			
Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)	Année	Surface forêt (ha)	Taux (%/an)	Diff surface (/an)
2005	61 055			2007,6	61 055	-0,498	-322
2010	59 374			2011,7	59 374	-0,855	-390
2013	58 200			2013	58 200		
2000-2013	58 200		-347	2013	58 200		
2014	57 853	-0,598	-347	2014	57 768	-0,745	-432
2015	57 532	-0,556	-347	2015	57 320	-0,779	-448
2016	57 211	-0,559	-347	2016	56 855	-0,815	-465
2017	56 890	-0,563	-347	2017	56 373	-0,851	-482
2018	56 569	-0,566	-347	2018	55 875	-0,888	-498
2019	56 249	-0,569	-347	2019	55 359	-0,926	-515
2020	55 928	-0,572	-347	2020	54 828	-0,965	-532
2021	55 607	-0,576	-347	2021	54 279	-1,005	-548
2022	55 286	-0,579	-347	2022	53 714	-1,047	-565
2023	54 965	-0,582	-347	2023	53 132	-1,089	-582
2024	54 644	-0,586	-347	2024	52 534	-1,133	-598

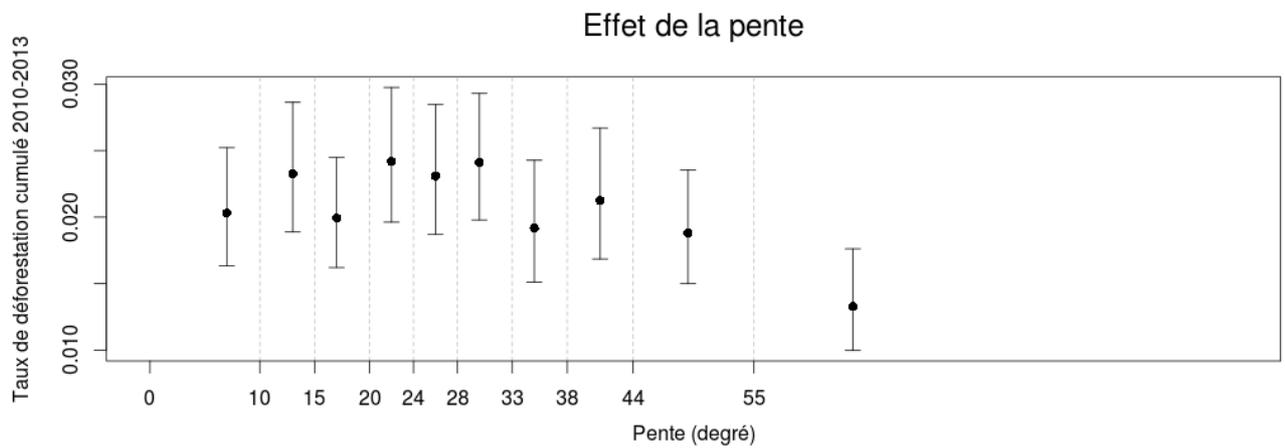
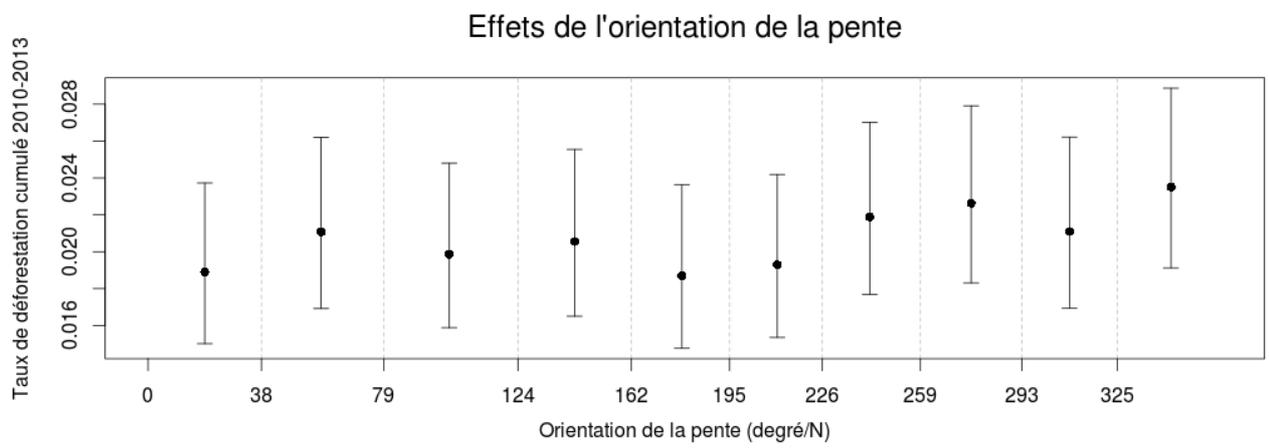
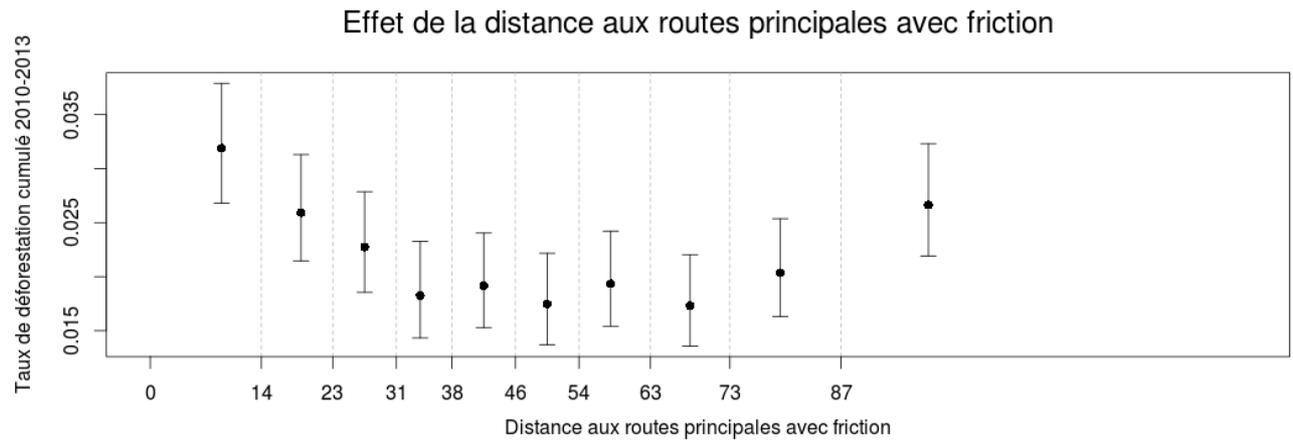
Influence des facteurs de la déforestation

Effet des Aires Protégées

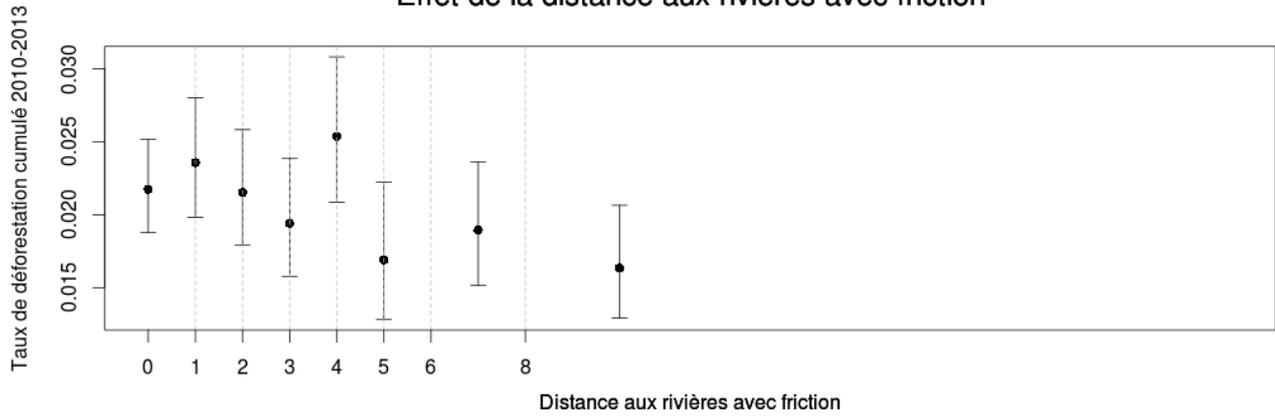


Effet de la distance aux routes secondaires avec friction

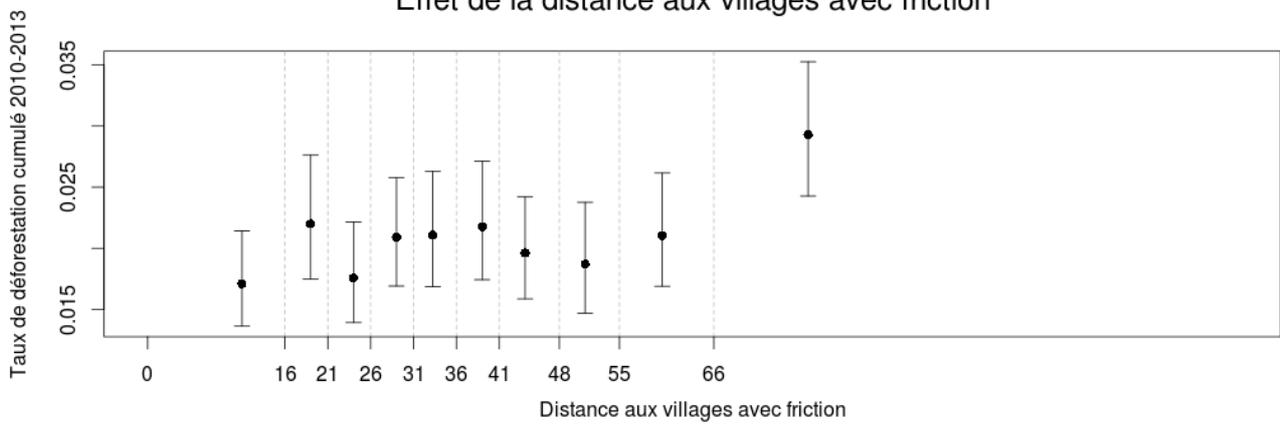




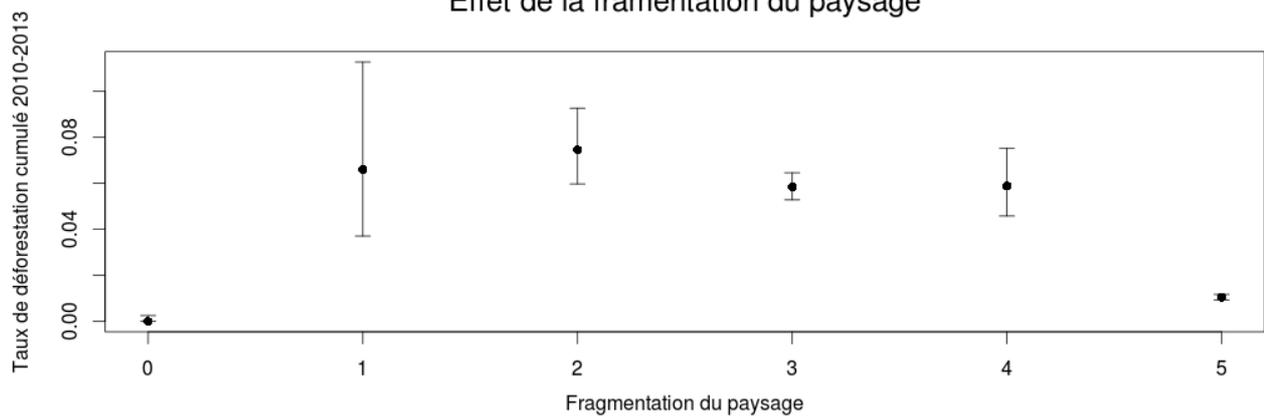
Effet de la distance aux rivières avec friction

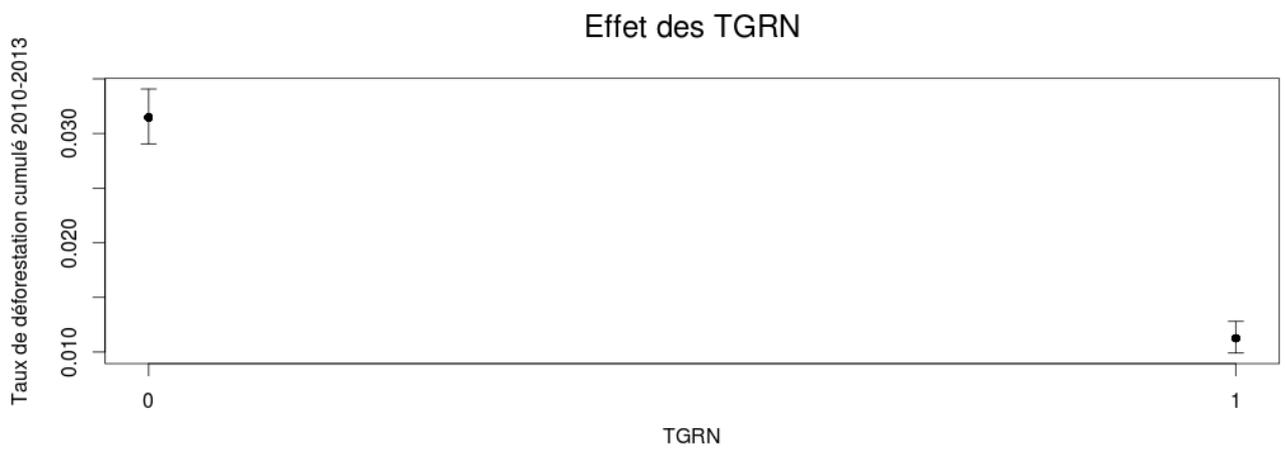
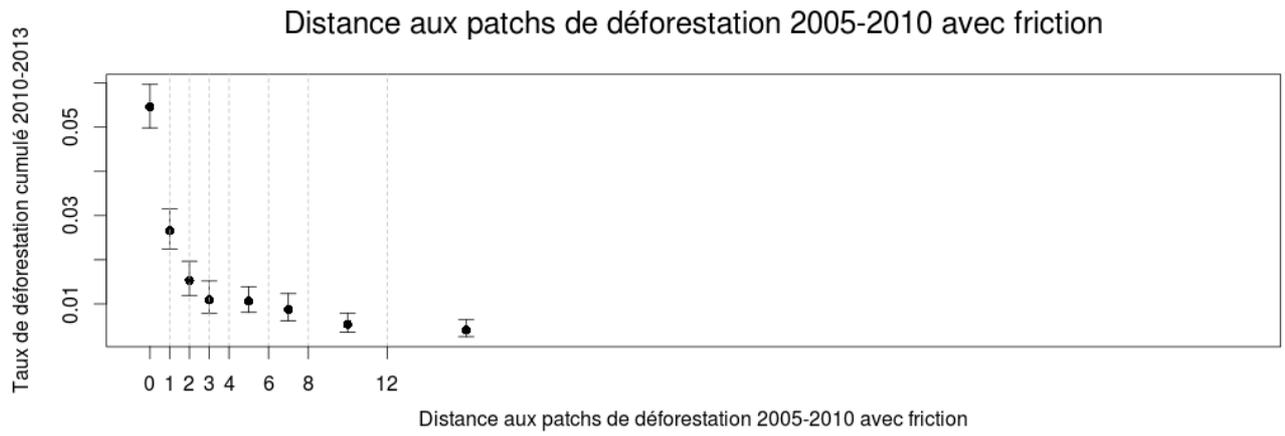


Effet de la distance aux villages avec friction



Effet de la fragmentation du paysage





Annexe 6 : Détails de la modélisation de la déforestation future

FICHE D'ENQUETE MENAGE (FEM) N°/___/___/___

- F.1. Date de l'enquête (*datin'nyfanadihadihana*) : ___/___/___/___/___/___
- F.2. Code de l'enquêteur (*kaodin'nympanadihady*): ___/___/___/___ (2L+2C)
- F.3. Code du chef d'équipe (*kaodin'ny sefo d'ekipa*) : ___/___/___/___ (2L+2C)
- F.4. Equipe N° (*ekipalah*) : ___/___/___

A. FANAMARIHANA MANOKANA MIKASIKA NY TOKANTRANO

- F.5. Anaran'nyloham-pianakaviana : _____
- F.6. : Homme (*lahy*) Femme (*vavy*)
- F.7. Statut matrimonial (*fiankohonana*) :
 Mpitovo Manambady Mpivadytsy ara-panjakana Misara-bady Matyvady
- F.8. Taonan'nyloham-pianakaviana: ___/___/ taona
- F.9. Taille du ménage (*isan'nyankohonana*) :

Lahy		Vavy	
Ankizy < 17 taona	Lehibe > 17 taona	Ankizy < 17 taona	Lehibe > 17 taona

- F.10. Village (*tanàna*) : _____
- F.11. Fokontany : _____
- F.12. Commune (Kaomina) : _____
- F.13. Région (*Faritra*) : _____
- F.14. Firy taona no no nonina teto ianareo?
 Latsaky ny 5 taona 5 – 10 taona 10 – 20 taona Mihoatra ny 20 taona

B. FOMBA FIDIRAM-BOLA SY FANDANIANA (CAPITAL FINANCIER)

- F.15. Toetry ny trano fonenana (*observation directe*)
 - a. Toetry ny tafo :
 Fanitso Tanimanga Barika Tafo vita @ zavamaniry Akora hafa
 - b. Toetry ny rindrina : :
 Vato/ Biriky Rotsopeta Fanitso, barika, daba Vita @ zavamaniry
 Hazo Akora hafa
 - c. Toetry ny gorondona :
 Rotsopeta/ Tany Hazo Volo (bambou) Vato biriky , simenitra Akora hafa
 - d. Isan'ny efitra fonenana ankoatry ny toeram-pidiovana sy fandrahoana sakafo :
 1 2 3 4 Mihoatra ny 4
- F.16. Inona ny karazana lava-piringa ampiasain'ny tokantrano ?
 Manara-penitra Tsy manara-penitra Eny ankalamanjana
- F.17. Inona ny angovo ampiasaina amin'ny hazavana ? Ohatrinona ny lany tamin'ny volana lasaamin'ny vidin'ny angovo?

<input type="checkbox"/> Herinaratra	<input type="checkbox"/> Pétrôle	<input type="checkbox"/> Labozia	<input type="checkbox"/> Jabora	<input type="checkbox"/> Pile / vatoaratra	<input type="checkbox"/> Angovo hafa
.....Ariary	.....Ariary	.....Ariary	.....Ariary	.....Ariary	.....Ariary

- F.18. Inona ny angovo ampiasaina rehefa mahandro sakafo ?Ohatrinona ny lany tamin'ny volana lasa amin'ny vidin'ny angovo?

<input type="checkbox"/> Kitay	<input type="checkbox"/> Saribao	<input type="checkbox"/> Angovo avy @ masoandro	<input type="checkbox"/> Angovo hafa
--------------------------------	----------------------------------	---	--

.....AriaryAriaryAriaryAriary
-------------	-------------	-------------	-------------

F.19. Inona amin'ireto fitaovana ireto no anananao ao an-tokatranonao?

- Radio Télévision Groupe électrogène Téléphone portable
 Fitaovan-tserasera hafa :
 Bisikileta Mobyette Lakana vohizina Lakana mandeha môtera Sarety
 Fitaovam-pifamoivoizana hafa :
 Farafara Latabatra sy seza Milina fanjairana Fanaka hafa:

F.20. Inona amin'ireto fitaovam-pamokarana ireto no anananao ? Omeo ny isany

- Angady Angadin'omby Ragiragy: Fitaovana Hafa.....

F.21. Lazao ireo loharanom-bola efaatra voalohany ataon'ny tokantranonao :omeo ny isan'ny biby fiompy

- Fambolena vary Fambolena legioma Fambolena voly aondrana Fambolena hafa
 Fiompiana : Omby Kisoa Ondry Osy
 Tantely Akoho amam-borona Trondro
 Varotra Fitaterana Fanapahana hazo Fitrandrana harena ambanin'ny tany
 Fihazana Jono Asa aman'olona Asa tanana
 Fanaovana saribao Asa hafa : Asam-panjakana na tsy miankina

F.22. Inonaavy ireo karazam-pambolena ataonao isan-taona?

<input type="checkbox"/> Riziculture de bas-fonds (<i>horaka, tanimbary</i>) <input type="checkbox"/> Riziculture sur versant (<i>tavy, vary tanety</i>) <input type="checkbox"/> Manioc et autres cultures sèches <input type="checkbox"/> Voly amn'ny horaka (voly tondrahana)	<input type="checkbox"/> Café <input type="checkbox"/> Girofle <input type="checkbox"/> Vanille	<input type="checkbox"/> Bananier <input type="checkbox"/> Letchis <input type="checkbox"/> Autres :
---	---	--

F.23. Vanim-potoana inona ianareo no mamboly vary?

- Vary taona Vary aloha Eo anelanelan'ireo fotoana voalaza ireo

F.24. Mampiasa zezika ve ianao rehefa mamboly ?

		Karazana zezika
F.25.1. Voly vary	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Simika <input type="checkbox"/> Biôlôjika
F.25.2. Voly an-tanety ankoatry ny vary (mangahazo, vomanga, tsaramaso,katsaka, sns)	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Simika <input type="checkbox"/> Biôlôjika
F.25.3.Voly amin'ny horaka ankoatra ny vary (legioma , sns)	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Simika <input type="checkbox"/> Biôlôjika

F.25. Ohatrinona ny vidin'ny zezika tamin'ny taom-pambolena farany teo?Ariary

F.26. Mividy masom-boly na ambezo ve ianao tamin'ny taom-pambolena farany teo?

F.27.1. Voly vary	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia
F.27.2. Voly an-tanety ankoatry ny vary (mangahazo, vomanga, tsaramaso,katsaka, sns)	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia
F.27.3.Voly amin'ny horaka ankoatra ny vary (legioma , sns)	<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia

F.27. Ohatrinona ny vidin'ny masomboly tamin'ny taom-pambolena farany teo?

F.28.1. Vary	.....Ariary
F.28.2.....	.....Ariary
F.28.3 .....	.....Ariary

F.28.4Ariary
--------------	-------------

F.28. Manakarama olona hafa ankoatry ny ao an-tokatrano amin'ny asa fambolena? Ohatrinona ny sarany naloha tamin'ny taom-pambolena farany teo?

F.29.1. Asa natao	F.29.2. Sarany	F.29.3 Asa natao	F.29.4. Sarany
<input type="checkbox"/> Asa tany	.....Ariary	<input type="checkbox"/> Fiavana	.....Ariary
<input type="checkbox"/> Ketsa	.....Ariary	<input type="checkbox"/> Fitotoana	.....Ariary
<input type="checkbox"/> Finjinjana	.....Ariary	<input type="checkbox"/>Ariary

- F.29.** Tompon'ny tanimboly vokarinao ve ianao? Eny Tsia
- F.30.** Raha misy tanimboly tsy anao, misy hofan-tany ve aloa ve? Eny Tsia
- F.31.** Raha Eny, ohatrinona ny hofa-tany? : Ariary/ Isan-taona, Ampaham-bokatra: 1/3 1/2 1/4
- F.32.** Ampy atao sakafon'ny fianakaviana mandavan-taona ve ny vokatra nambolenareo (vary sy ny ankoatry ny vary) ? Eny Tsia
- F.33.** Raha tsy ampy, mahavita anareo volana firy ny vokatra miakatra isaky ny taom-pamokarana? 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
- F.34.** Mampidina ny fatran'ny vary hohanina ve ianareo? Eny Tsia
- F.35.** Raha Eny, firy volana eo ho eo: _____ volana
- F.36.** Manova foto-tsakafo (ankoatran'ny vary) ve ianareo? Eny Tsia
- F.37.** Raha Eny, firy volana eo ho eo: _____ volana
- F.38.** Inona ny fomba hahazoana vola hahafahana mididy ny sakafo hohanina, sy miantoka ny fandaniana hafa ? Mlkarama /Sarakantsaha Mivarotra biby fiompy Hafa :
- F.39.** Inona ny tena olana goavana indrindra mihatra amin'ny asa fambolena ?Sokajio araka ny halehibeny Fahasimban'ny tontolo iainana Faharatsian'ny lalam-bokatra Tsy fahandriam-pahalemana Tsy fisian'ny akora sy ny ambioka Tsy fisian'ny famantsiam-bola Tsy fahampian'ny fahaizana Olana eo amin'ny fananan-tany Fiovaovan'ny toetr'andro Olana hafa :
- F.40.** Mivarotra ny vokatra (fambolena na fiompiana, na vokatra hafa) ve ianao? Eny Tsia
- F.41.** Raha eny, aiza no mivarotra: eo @ FKT any @ kaomina any @ distrika any @ faritra
- F.42.** Hafiriana no ahatsongavana amin'io tsena io? _____ mn
- F.43.** Mampiasa fitaovam-pitaterana ve rehefa mamony tsena? Eny Tsia
- F.44.** Ohatrinona ny saram-pitaterana naloha tamin'ny fivezivezana tany an-tsena farany teo?Ariary
- F.45.** Nividy fitafiana ho an'ny fianakaviana ve tamin'ity taona ity? Eny Tsia
- F.46.** Raha Eny, ohatrinona ny vola lany tamin'izany?Ariary
- F.47.** Nividy kojakoja ao an-tokatrano ve tamin'ity taona ity? Eny Tsia
- F.48.** Raha Eny, ohatrinona ny vola lany tamin'izany?Ariary
- F.49.** Ohatrinona ny adidy farany nataonao amin'ny fiaraha-monina, ary mikasika inona io adidy io ? Karazana adidy :/Ariary
- F.50.** Mpikambana ao @ banky madinikaveianao? Eny Tsia
- F.51.** Raha eny, inona no fifanarahana ataonao ao: manao tahiry mindram-bola

- F.52.** Inona ny asa fitadiavana sy fandaniana tena nampiasana ny vola azo tamin'ny fampindramam-bola madinika (vola azo farany)?
Fambolena Varotra Fiompiana Fananana ao an-tokantrano
Fandaniana hafa
- F.53.** Ampy anareo ve vola miditra ho an'ny fiainan'ny fianakaviana?
Tena tsy ampy betsaka Zara fa ampy Ampy tsara Manana ambim-bava
- F.54.** Arakany eritreritrao dia ohatrinona eo no eo ny vola miditra amin'ny tokantranoaisam-bolana?
Ariary

C. MIKASIKA NY FOMBA FIAINANA (CAPITAL HUMAN)

- F.55.** Mahay mamaky tena ve ianao ? Eny Tsia
- F.56.** Mahay manoratra ve ianao? Eny Tsia
- F.57.** Mahay manisa ve ianao ? Eny Tsia
- F.58.** Hatraiza ny fari-pahalalana vitanao hatramin'ny farany?
Tsy nianatra mihitsy Kilasy T Ambaratonga ambony
- F.59.** Firy ny olon-dehibe (mihoatra ny 15 taona) ao an-tokantranoao no mahay mamaky teny sy manoratra tsara ? :_____
- F.60.** Firy ny lahy sy ny vavy
Lahy :Vavy :
- F.61.** Firy ny ankizy latsaky ny 17 taona ao an-trano?:_____
- F.62.** Firy ny lahy sy vavy? Mbola mianatra any an-tsekoly ve izy ireo?

6 – 10 taona				11 – 14 taona				14 -17 taona			
Lahy		Vavy		Lahy		Vavy		Lahy		Vavy	
Mianatra	Tsy mianatra	Mianatra	Tsy mianatra	Mianatra	Tsy mianatra	Mianatra	Tsy mianatra	Mianatra	Tsy mianatra	Mianatra	Tsy mianatra

- F.63.** Mandray anjara amin'ny asa fitadiavana (mampidi-bola) ve ny sasany amin'ny ankizy latsaky ny 17 taona ?
Eny Tsia
- F.64.** Raha ENY, inona ny asa ataony?

Asa atao	Lahy	vavy	Totaly
Asa an-trano			
Fitrandrahana vato			
Asa hafa 1:.....			
Asa hafa 2:.....			

- F.65.** Hafiriana ny dia an-tongotra ataon'ny mpianatra raha hamonjy lakilasy ? (mandroso na miverina) :_____minitra
- F.66.** Ohatrinona ny vola lany amin'ny fianaran'ny ankizy iray mandritra ny taona iray?Ariary
- F.67.** Inona ny aretina nahazo tao anatin'ny iray volana farany ny olona tao an-tokantranoao teo?
Fanaviana (fièvre) Tazomoka IRA (Satra, kohaka sery) Aretin-kibo
Aretina hafa
- F.68.** Iza no tratran'ny aretina? Zaza < 1 taona zaza [1-5 taona]Ankizy Olon-dehibe Vehivavy bevohoka

- F.69. Inona no nataonareotamin'izay ?
Tsy manao n'inona n'inona
Manontany hevitra ny mpiara-monina
 Manatona mpitsabo nentim-paharazana
Manatona reninjaza
Mividy fanafody sy mitsabo tena, hafiriana no ahatongavana any @ toeram-pivarotam-panafody rehefa mividy fanafody?_____mn
 Manatona toeram-pitsaboana (*dokotera*), hafiriana no ahatongavana any?_____mn
Fomba hafa
- F.70. Ohatrinona ny vola lany tamin'ny fitsaboana izay olona narary farany teo ?Ariary
- F.71. Efa mpahazo ny olona hafa ao anatin'ny ankohonana koa ve io aretina io ?Eny Tsia
- F.72. Raha tsy manantona toeram-pitsaboana, inona no antony?
Lafo ny sarany Lavitra ny toerana Tsy mahatoky ny mpitsaboAntony hafa :
- F.73. Aiza no matsaka rano isan'andro ?
Paompy / Borne Fontaine Ranon'orana Vovo nentim-paharazana
Vovo misarona tsara Renirano/ Rano mandeha Loharano Tanimbary
. Hafa :
- F.74. Hafiriana no fotoana rahamandeha matsaka rano?(mandroso)
Latsaky ny 5 mn 5 hatr@ 15 mn 15 hatr@ 30 mn Mihoatra ny 30 mn
- F.75. Misy mandava-taona sy madio foana ve ny rano fisotro? Eny Tsia
- F.76. Raha TSIA, omeo ny vanim-potoana tsy mampisy ny rano fisotro ?
 Manomboka Volana Hatramin'ny volana
- F.77. Raha TSIA, omeo ny vanim-potoana mampaloto sy tsy azo ampiasaina ny rano fisotro?
 Manomboka Volana Hatramin'ny volana
- F.78. Mandoa vidin-drano madio ve ianao? Eny Tsia
- F.79. Raha Eny, ohatrinona ny vola naloha tamin'ny volana lasa ?Ariary

D. MIKASIKA NY FIARAHA-MONINA SY NY FIKAMBANANA

- F.80. Mpikambana maharitra amin'ny VOI ve ianao ? Eny Tsia
- F.81. Mandray anjara mavitrika amin'ny fivoriambe ve ianao? Eny Tsia
- F.82. Mandray anjara amin'ny asa fiarovana ny tontolo iainana ve ianao? Eny Tsia
- F.83. Arakanyfahitanaoazy, nalalakavenyfidiananaireo komity eonanivon'nybirao ? Eny Tsia
- F.84. Ahoana ny fahitanao ny fahavitrihan'ny olona amin'ny asa fiarovana ny tontolo iainana ?
Tsara Ratsy Antonony
- F.85. Mahafa-po anao ve ny fomba fitantanana ny VOI? Mahafa-po tanteraka Mahafa-po ihany Tsia
- F.86. Inona ny fikambanana hafa misy ao amin'ny fiaraha-monina ?

	Anarana fikambanana	ASA	Mpikambana ve ianao ?	Fahavitrihan'ny olona
1			<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Tsara <input type="checkbox"/> Ratsy <input type="checkbox"/> Antonony
2			<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Tsara <input type="checkbox"/> Ratsy <input type="checkbox"/> Antonony
3			<input type="checkbox"/> Eny <input type="checkbox"/> Tsia	<input type="checkbox"/> Tsara <input type="checkbox"/> Ratsy <input type="checkbox"/> Antonony