



Évaluer les avantages et inconvénients des différentes définitions de la forêt en Côte d'Ivoire.

État de l'art des bonnes pratiques et expériences internationales en matière de système de suivi des forêts

Financé par :



SalvaTerra
Octobre 2014

Auteurs

Jérôme MAURICE, Olivier BOUYER et Maden LE CROM (SalvaTerra)

Collaborateurs

Aka Jean-Paul AKA, expert national REDD+, Assistant Point Focal REDD+

Eric Landry Yao KONAN, expert national MRV-REDD+

Supervision

Thomas SEMBRES (Institut européen de la forêt - EFI).

Avertissement

Le présent rapport, financé et supervisé par EFI, a été préparé par SalvaTerra. Ce rapport a été réalisé avec le financement de l'Union européenne. Le contenu de ce rapport relève de la seule responsabilité de ses auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant la position de l'Union européenne.

Sommaire

Sommaire	3
Liste des annexes	4
Liste des figures	4
Liste des tableaux	4
Acronymes	5
Résumé du projet	7
Introduction	10
1. Bonnes pratiques en matière de définition et de suivi des forêts	11
1.1. Définition et suivi des forêts selon la CCNUCC	11
1.2. Recommandations du GIEC en matière de suivi des forêts	13
2. Le standard RSPO et l'approche HCS "tripartite"	32
2.1. Définition et suivi des forêts dans le cadre du standard RSPO	32
2.2. Définition et suivi des forêts dans l'approche HCS "tripartite"	37
2.3. Conclusions	39
3. Revue des expériences pertinentes en matière de monitoring	41
3.1. Historique des changements de couvert forestier: quels coûts ?	41
3.2. Interprétation nationale de l'approche HCS : le cas du Liberia	43
4. État d'avancement du chantier "MNV" ivoirien:	44
4.1. Quelques éléments-clés issus du R-PP de la Côte d'Ivoire	44
4.2. Avancées du chantier MRV-REDD+ ivoirien (septembre 2014)	45
5. De la théorie à la pratique: études de cas	47
5.1. Introduction	47
5.2. Paramètres à tester: considérations techniques	47
5.3. Étude cas n°1: site "palmier" (Maféré)	50
5.4. Étude cas n°2: site "cacao" (Rubino)	55
5.5. Conclusions finales	57
6. Options de définition de forêts et système de suivi forestier	58
6.1. Définition de forêt, déforestation	58
6.2. Stratification forestière, harmonisation des pratiques	59
6.3. Évaluation des niveaux de dégradation forestière	61
Bibliographie	63
Annexes	64

Liste des annexes

Annexe 1 : Termes de référence de l'étude.....	64
Annexe 2 : Évaluation des coûts de développement d'un historique de changement de couvert forestier et des coûts de suivi associés sur 10 ans	69
Annexe 3 : Caractéristiques des images analysées sur les sites de Maféré et Rubino	69
Annexe 4 : Personnes-ressources consultées dans le cadre de la mission à Abidjan du 1 au 5 septembre 2014	70
Annexe 5 (suite) : Personnes-ressources consultées dans le cadre de la mission à Abidjan du 1 au 5 septembre 2014	71
Annexe 6 : Comparaison des changements d'occupation des sols (en ha – haut – et en % - bas) avec une segmentation à 1ha sur des images Landsat et WorldView2	71

Liste des figures

Figure 1: Cartographie des forêts intactes en Côte d'Ivoire (Potapov et al. 2008).....	30
Figure 2 : Comparatif entre images Landsat, Rapideye et WorldView2 (de gauche à droite) sur la zone d'étude de Maféré – extraits.....	50
Figure 3 : Exemple de segmentation à 1 ha à partir d'images WorldView2.....	51
Figure 4 : Exemple de segmentation à 1 ha à partir d'images Rapideye.....	52
Figure 5 : Changement d'occupation des sols à partir d'une segmentation à 5 ha (images Landsat)	53
Figure 6 : Comparatif entre images Rapideye, Ikonos et WorldView2 (de gauche à droite) sur la zone d'étude de Rubino – extraits.....	55
Figure 7 : Distribution des unités d'échantillonnage sur l'image WV2 (à gauche) et extrait des blocs 58, 61, 62 et 69 (à droite)	55
Figure 8: Différentes classifications écologiques utilisées en RCI (à gauche, la classification écologique de la FAO, à droite, la classification de White (digitalisée par Kindt et al., 2011).....	59

Liste des tableaux

Tableau 1: Catégories et sous-catégories d'absorptions/émissions de gaz à effet de serre dans le secteur AFAT	14
Tableau 2: Caractéristiques des principaux capteurs présents sur le marché.....	27
Tableau 3: Stocks de carbone par défaut dans les classes de végétation utilisées dans l'approche HCS en Indonésie (Source: RSPO, 2014)	35
Tableau 4: Caractéristiques de l'élaboration de l'historique des changements dans le couvert forestier pour 4 pays d'Afrique de l'Ouest participants au FCPF.	42
Tableau 5: Impact du choix de la hauteur totale sur la caractérisation des changements d'occupation des terres forestières (Source: Eva et al., 2014 – à paraître).	48
Tableau 6: Tableau des correspondances entre les classes d'occupation des sols et les types d'images x méthodes de classification (automatique ou visuelle).....	48
Tableau 7 : Images ayant servi de base aux analyses de changement de couvert.....	50
Tableau 8 : Occupation récente des sols sur le site de Maféré en fonction des images et traitements réalisés ...	50
Tableau 9 : Changement d'occupation des sols entre 2001 et 2013 sur le site de Maféré en fonction de la MMU (images WV2).....	52
Tableau 10 : Changement d'occupation des sols entre 2000 et 2013 sur le site de Maféré en fonction de la MMU (images Landsat).....	53
Tableau 11 : Analyse des changements de couvert forestier sur le site de Rubino à l'aide d'images à très haute résolution (images WV2 et IKONOS)	56

Tableau 12 : Analyse des changements de couvert forestier en fonction du couvert forestier (images WV2 et IKONOS) 56

Tableau 13 : Analyse du couvert forestier sur le site de Rubino à partir d'images Rapideye (2013) 56

Acronymes

AFAT	Agriculture, foresterie et autre utilisation des terres
AGEOS	Agence gabonaise d'études et d'observation spatiale
AIPH	Association interprofessionnelle de la filière palmier à huile
AND-MDP	Autorité nationale désignée du MDP
BNEDT	Bureau national d'études techniques et de développement
C2D	Contrat de désendettement
CCNUCC	Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CCT	Centre de cartographie et de télédétection
CH4	méthane
cm	centimètre
CN-REDD	Commission nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire
CNTIG	Comité national de télédétection et d'information géographique
CO2	dioxyde de carbone
COS	carbone organique du sol
CURAT	Centre universitaire de recherche et d'application en télédétection
DPIF	Direction de la production et des industries forestières
EFI	European Forest Institute
FAO	Food and Agriculture Organization
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility
FLEGT	Forest Law Enforcement, Governance and Trade
GES	gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GOFC-GOLD	Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics
ha	hectare
HCS	High Carbon Stock
HCV	High Conservation Values
HR / THR	Haute résolution / Très haute résolution
IGES	Inventaire national de gazs à effet de serre
IGT	Institut de géographie tropicale
INPE	Institut national de recherche spatiale Brésilien
INPHB	Institut national polytechnique Felix Houphouët Boigny
JRC	Joint Research Center
km ²	kilomètre carré
LCCS	Land Cover Classification System
m	mètre
M	million
MDP	Mécanisme de développement propre
MINEF	Ministère des eaux et forêts
MINESUDD	Ministère de l'environnement, de la salubrité urbaine et du développement durable
MMU	Minimum Mapping Unit

MNT	Modèle numérique de terrain
MNV	Monitoring, notification et vérification
MOM	matière organique morte
MRV	Monitoring, Reporting and Verification
NDFI	Normalized Difference Fraction Index
OIPR	Office ivoirien des parcs et réserves
ONG	organisation non gouvernementale
PN	Parc national
RCI	République de Côte d'Ivoire
REDD+	Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts, conservation, gestion durable et accroissement des stocks de carbone forestier
RI	Réserve intégrale
R-PP	Plan de préparation à la REDD+
RSO	Radar à synthèse d'ouverture
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
SMA	Spectral Mixture Analysis
SNSF	Système national de suivi des forêts
SODEXAM	Société d'exploitation et de développement des aéroportuaire, aéronautique et météorologique
SST	Surveillance spatiale des terres
tC/ha	tonne de carbone par ha
tC/ha/an	tonnes de carbone par hectare et par an
teqCO2	tonne de CO2 équivalent
TFT	The Forest Trust
UE	Union Européenne
UN-REDD	United Nations Collaborative initiative on REDD
USD	dollar américain
WV2	WorldView 2

Résumé du projet

Contexte et problématique

La Côte d'Ivoire a perdu plus de 85 % de son couvert forestier entre 1880 et 2008, sous l'effet conjoint de l'expansion agricole et de l'exploitation forestière (SOFRECO, 2009). Sans mesures adaptées, on estime que la déforestation pourrait encore progresser d'ici 2030, en particulier sous la pression des filières riz, igname, cacao, hévéa et huile de palme (SalvaTerra, 2013).

La tâche s'avère donc rude pour le gouvernement ivoirien, qui s'est fixé comme objectif d'atteindre 20% de couvert forestier (nouveau Code Forestier, Juillet 2014). Le gouvernement entend, entre autre, améliorer la gouvernance forestière et l'application de standards internationaux en matière de légalité des bois (en particulier à travers le processus FLEGT). D'autre part, il entend réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la déforestation et à la dégradation forestière via son engagement dans le mécanisme "REDD+". Pour mener à bien ce double-objectif, le pays doit entre autre se doter d'un Système national de surveillance des forêts (SNSF), conçu de manière à suivre l'évolution du couvert forestier dans le temps et dans l'espace. Il s'agit là d'une mesure essentielle du Plan de préparation à la REDD+ (R-PP) qui devra être opérationnelle à l'horizon 2017. Sur le plan technique, les bonnes pratiques du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) recommandent de recourir à des méthodes basées sur la télédétection pour mesurer et suivre les changements de surface forestière (appelées également "variables d'activités") avec un bon compromis entre coût et précision, en fonction des données disponibles. Plusieurs institutions ivoiriennes (CNTIG, BNEDT/CCT, CURAT, INPHB, IGT, SODEFOR et OIPR notamment) devraient participer à l'élaboration du SNSF, avec l'appui de la Commission Nationale REDD+ et des partenaires techniques et financiers internationaux de la Côte d'Ivoire.

En parallèle, le secteur privé s'organise pour répondre à une demande croissante en faveur de produits issus d'une agriculture responsable. A travers l'AIPH, l'interprofession de l'huile de palme a entrepris d'interpréter certains principes, critères et indicateurs du standard de certification RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*), afin d'en adapter les exigences aux réalités du pays. Un premier principe de responsabilité environnementale (7.3) repose sur l'interdiction de convertir des forêts primaires et des zones à haute valeur de conservation pour toute nouvelle plantation post-2005, et encourage à recourir aux méthodes de télédétection pour démontrer le respect de ce principe. Par ailleurs, un second principe (7.8) invite à minimiser les émissions de GES des palmeraies en favorisant le développement des nouvelles plantations sur des zones à faibles stocks de carbone et la conservation des zones à stocks de carbone élevés (approche "*High Carbon Stock*" ou HCS).

La définition de "forêt" est au cœur de ces réflexions techniques sur la surveillance des forêts. Au niveau national, le nouveau Code Forestier définit la forêt comme "*toute terre, constituant un milieu dynamique et hétérogène, à l'exclusion des formations végétales résultant d'activités agricoles, d'une superficie minimale de 0,1 hectare portant des arbres dont le houppier couvre au moins 30% de la surface et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 5 mètres*". Cette définition nationale, retenue par l'Autorité nationale désignée du Mécanisme de développement propre (AND-MDP) pour les projets de boisement-reboisement, est cohérente avec la définition internationale retenue dans le cadre du mécanisme REDD+. Basée sur des critères quantitatifs, elle se prête – non sans mal – au suivi par télédétection. Cependant, dans le cadre du standard de certification RSPO, il n'existe pas de définition unique de "forêt", mais plusieurs concepts y faisant écho (forêts primaires, zones à haute valeur de conservation et zones à stocks de carbone élevés). Ces concepts mêlent à la fois des critères quantitatifs (métrique carbone) et qualitatifs (biodiversité, services écosystémiques, etc.). Le processus d'interprétation nationale doit permettre de clarifier ces concepts en leur attribuant des indicateurs mesurables sur le terrain. Les réflexions techniques menées sur la définition de "forêt" et les méthodes de suivi dans le cadre du mécanisme REDD+ en Côte d'Ivoire pourrait donc bénéficier directement au processus d'interprétation nationale du standard RSPO.

C'est dans ce contexte que la Commission Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire a sollicité l'appui technique de l'Institut européen de la forêt (EFI) pour évaluer les avantages et inconvénients des différentes définitions de forêt en Côte d'Ivoire, en particulier dans le cadre du mécanisme REDD+ et du standard de certification RSPO. L'objectif de cette étude est donc de fournir des recommandations techniques pratiques en matière de définition et de suivi des forêts à l'échelle nationale, en tenant compte des capacités nationales, des bonnes pratiques recommandées par le GIEC, ainsi que des impacts potentiels en terme économiques et environnementaux.

Cette étude est décomposée en trois phases:

- État des lieux des bonnes pratiques internationales en matière de définition et de système de surveillance des forêts (REDD+, RSPO et approche HCS "tripartite");
- Recueil d'information sur les capacités nationales et élaboration d'une note de synthèse sur les options techniques en matière de suivi des forêts;
- Analyses quantitatives et qualitatives des implications économiques et environnementales de différentes définitions de forêt, et recommandations finales (phase menée avec l'appui du *Centre commun de recherche / Joint Research Centre – CCR/JRC – de la Commission Européenne* dans le cadre du projet ReCaREDD).

Enfin, un appui spécifique est prévu pour favoriser la dissémination des résultats de cette étude par la Commission Nationale REDD+.

Principales conclusions

Avec une surface minimale de 0,1 ha, la nouvelle définition de forêt soulève des difficultés techniques en matière de suivi par télédétection, étant donné que les principales structures techniques utilisent des images Landsat à moyenne résolution et ne dispose pas (ou rarement) d'images à haute résolution. Cela dit, cette définition répond aux exigences de la CCNUCC en matière de définition des forêts pour la REDD+, et des données complémentaires peuvent être obtenues par inventaire statistiques dans les classes de superficies comprises entre 0,1 ha et l'unité minimale cartographiable considérée (voir Encadré 1).

La plupart des acteurs consultés en RCI utilisent une stratification écologique pour cartographier les principaux types forestiers. Parmi les bonnes pratiques du GIEC, il est recommandé de s'appuyer sur la terminologie et les définitions de la FAO (*Land Cover Classification System*), elle-même basée sur l'application d'une série de critères structurels et physiologiques. Dans un souci de cohérence et d'efficacité entre les acteurs, il est donc essentiel que le mode de stratification fasse l'objet d'un consensus assez tôt dans le démarrage du chantier MRV-REDD+.

En matière de définition de la *dégradation forestière*, plusieurs approches pourraient être mobilisées en fonction de l'échelle de travail et du niveau de préparation. En première approche, il serait possible de faire une distinction entre "*forêts intactes*" et "*forêts non-intactes*" sur la base d'une interprétation nationale des critères y afférent (approche indirecte). Le concept de "*forêt intacte*" fait référence à l'approche indirecte de suivi de la dégradation, utilisée quand les données de télédétection et les inventaires "carbone" ne sont pas suffisants pour bien caractériser l'état de dégradation (c'est le cas en Côte d'Ivoire). C'est une méthode recommandée dans le GOFC-GOLD Sourcebook car elle permet de répondre rapidement aux exigences de la CCNUCC en termes de notification. Par ailleurs, elle reflète bien la réalité ivoirienne: à part Taï, la plupart des forêts en Côte d'Ivoire sont dégradées. Par la suite, il serait nécessaire de caractériser plus précisément les "*forêts non-intactes*", c'est-à-dire, définir différentes catégories ou "strates" de forêts dégradées en fonction de leurs attributs physiques et spatiaux. Dans cette optique, le concept de "*forêts fragmentées*" utilisé dans la classification

d'utilisation des terres de la FAO¹ pourrait être employé à l'échelle nationale ou régionale. A l'échelle locale, l'approche HCS (ou toute autre approche similaire) pourrait être adaptée au contexte ivoirien et bénéficier directement au processus d'interprétation nationale du RSPO.

Les analyses menées sur les sites de Maféré et Rubino ont mis en évidence la complexité et les limites d'utilisation des images satellites pour estimer les changements d'occupation des sols dans des paysages très fragmentés. Alors que les palmeraies sont plus aisément détectables sur des images à haute résolution à cause du port "étoilé" du palmier, les cacaoyères nécessitent davantage d'expertise et de connaissance du terrain. Par ailleurs, davantage de travaux seront nécessaires pour détecter les différents stades de développement des cacaoyères (c'est également vrai pour les très jeunes plantations de palmiers).

Les résultats obtenus à partir d'images à haute et à très haute résolution donnent une vision bien différente de la réalité du terrain en comparaison des images Landsat. A moins d'être en présence de grandes plantations industrielles de palmier à huile, les images Landsat ne permettent pas de détecter la déforestation causée par l'extension des palmeraies. Les images de résolution comprises entre 5m et 10m offrent, au moins pour le premier site étudié (Maféré), un bon compromis coût-précision. Pour le second site (Rubino), davantage d'analyses sont nécessaires pour trancher sur ce point.

Toutefois il n'est ni concevable, ni nécessaire, de réaliser des analyses de changement d'occupation des sols à partir d'images à haute résolution sur l'ensemble du pays. D'une part, le coût de l'opération se chiffrerait au bas mot à plusieurs dizaines de millions de dollars. D'autre part, il n'y a pas d'images disponibles à l'heure actuelle sur l'ensemble du pays: en cas d'échantillonnage, la distribution en serait biaisée. Il est cependant possible de répondre aux exigences de la CCNUCC en retenant une approche adaptée aux circonstances nationales, c'est-à-dire, en ayant recours à un panachage d'images à haute/moyenne/basse résolution, couplée à un inventaire statistique à pied (cette approche fait l'objet de compléments dans le dernier chapitre de cette étude), afin de tenir compte des contraintes actuelles. Les visites contradictoires de terrain seront de toute façon nécessaires pour valider les résultats issus des analyses cartographiques.

De manière générale, il y a encore beaucoup de chemin à parcourir pour développer et opérationnaliser un futur Système national de surveillance des terres adapté aux exigences de la REDD+, ainsi que les solutions alternatives à exploiter pour optimiser les coûts et l'efficacité du dispositif. Acquérir des images à HR/THR ou radar sur l'ensemble du pays est une solution qui, à noter avis, n'offre pas le meilleur compromis coût-efficacité, bien qu'elle soit proposée par plusieurs des organismes consultés. Une des priorités du chantier MRV-REDD+ sera donc de définir ces options techniques adaptées aux capacités techniques actuelles (données images limitées, disponibles avant tout pour certaines catégories de forêts du domaine public) et qui répondent aux exigences de la CCNUCC en matière de monitoring, en priorisant notamment certaines zones à enjeux plus forts. Des propositions techniques ont été élaborées en ce sens dans la dernière partie de ce rapport.

¹ Land-cover classification system (FAO).

Introduction

Dans l'ancien Code Forestier de la Côte d'Ivoire (loi n°65/425 du 20 décembre 1965) étaient considérées comme "forêts" "*les formations végétales dont les fruits exclusifs ou principaux sont les bois d'ébénisterie, d'industrie et de service, les bois de chauffage et à charbon et qui accessoirement peuvent produire d'autres matières telles que les bambous, écorces, latex, résines, gommes, graines et fruits*". Avec la reconnaissance grandissante du rôle des forêts tropicales dans l'atténuation des émissions de GES à l'échelle internationale, plusieurs mécanismes s'appuyant sur une définition négociée des forêts ont émergé. Dans le cadre du Mécanisme de développement propre (MDP), la plupart des pays en développement comme la Côte d'Ivoire ont dès lors proposé une définition nationale de forêt répondant aux exigences de la CCNUCC.

La Côte d'Ivoire a inscrit cette définition, initialement retenue dans le cadre du MDP, en préambule de son nouveau Code Forestier (adopté en juillet 2014). Ce dernier définit la forêt comme "*toute terre, constituant un milieu dynamique et hétérogène, à l'exclusion des formations végétales résultant d'activités agricoles, d'une superficie minimale de 0,1 hectare portant des arbres dont le houppier couvre au moins 30% de la surface et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 5 mètres*". Cette définition nationale est donc cohérente avec la définition internationale retenue dans le cadre du mécanisme REDD+, elle-même inspirée de la définition donnée par la FAO². Afin de répondre aux exigences CCNUCC en matière de suivi des forêts, et en l'absence d'inventaire forestier national, l'objectif de cette étude est donc de fournir des recommandations techniques pratiques en matière de définition et de suivi des forêts, en tenant compte des capacités nationales et des bonnes pratiques recommandées par le GIEC.

Le premier chapitre présente une synthèse des exigences CCNUCC en matière de définition et de suivi des forêts. Il introduit les concepts-clés et la démarche générale de l'inventaire national de gaz à effet de serre dans le domaine AFAT (Agriculture, foresterie et autre utilisation des terres) ainsi que les recommandations du GIEC en matière de suivi de la déforestation et de la dégradation forestière, complétées par celles du GOFC-GOLD Sourcebook (2013, v2 COP19).

Le second chapitre présente les exigences du standard RSPO en matière de définition et de suivi des forêts et fait le point sur le processus en cours d'interprétation du standard au niveau national. Il présente également les principes méthodologiques de l'approche HCS "tripartite" ainsi que les éléments à prendre en compte en vue de leur adaptation dans le contexte ivoirien.

Le troisième chapitre présente une revue des expériences pertinentes en matière de définition et de suivi des forêts basée sur l'analyse de quatre R-PP (Ghana, Nigéria, Liberia et Togo). Il propose par ailleurs quelques éléments d'information sur l'adaptation de l'approche HCS au Libéria.

Le quatrième chapitre présente une synthèse des discussions menées avec les principaux acteurs du chantier MRV-REDD+ ivoirien, à partir de quelques éléments-clés extraits du R-PP de la Côte d'Ivoire.

Le cinquième chapitre présente les résultats d'une analyse de changement de couvert forestier réalisée sur deux sites, conjointement avec le Centre commun de recherche dans le cadre du projet ReCaREDD.

Enfin, le dernier chapitre conclue sur les principales options stratégiques en matière de définition et de suivi des forêts selon trois niveaux de discussion: (i) forêt vs. non forêt, (ii) stratification de l'espace forestier, (iii) dégradation forestière.

² La FAO définit les "forêts" de la manière suivante: "*un couvert arboré de plus de 10% sur au moins un demi-hectare, l'arbre étant défini comme une plante pérenne avec une seule tige (ou plusieurs si elle est recépée) atteignant au moins cinq mètres à maturité*".

1. Bonnes pratiques en matière de définition et de suivi des forêts

1.1. Définition et suivi des forêts selon la CCNUCC

Définition de la forêt:

Il n'existe pas de définition de forêt spécifique au mécanisme REDD+. Celui-ci étant largement construit sur les modalités en vigueur au sein de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, la définition de forêt qui doit s'appliquer pour les activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie visées par le Protocole de Kyoto est reconnue comme base de travail acceptable (GOFC-GOLD, 2014). D'après l'annexe de la **Décision 16/CMP.1**, cette définition est la suivante :

On entend par "forêt" une terre d'une superficie minimale comprise entre 0,05 et 1,0 hectare portant des arbres dont le houppier couvre plus de 10 à 30 % de la surface (ou ayant une densité de peuplement équivalente) et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 2 à 5 mètres. Une forêt peut être constituée soit de formations denses dont les divers étages et le sous-bois couvrent une forte proportion du sol, soit de formations claires. Les jeunes peuplements naturels et toutes les plantations composées d'arbres dont le houppier ne couvre pas encore 10 à 30 % de la superficie ou qui n'atteignent pas encore une hauteur de 2 à 5 mètres sont classés dans la catégorie des forêts, de même que les espaces faisant normalement partie des terres forestières qui sont temporairement déboisés par suite d'une intervention humaine telle que l'abattage ou de phénomènes naturels mais qui devraient redevenir des forêts.

Suivi des forêts:

En matière de suivi des forêts, les décisions de la CCNUCC fixent les grands principes: mise en place de systèmes nationaux de surveillance des forêts solides et transparents s'appuyant sur les structures existantes, prise en compte des circonstances nationales dans l'établissement des niveaux de référence pour les forêts, recours aux technologies de télédétection et aux inventaires carbone, réduction maximale des facteurs d'incertitudes, nécessité de communiquer sur toutes les données, méthodes et procédures employées pour calculer les réductions d'émission, etc. Ces principes sont présentés ci-dessous.

Décision 4/CP 15: *"Principes méthodologiques concernant les activités liées à la réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts et le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement":*

La Décision invite en particulier les pays en développement parties à :

- utiliser les orientations du GIEC comme base pour estimer les émissions anthropiques de GES par les sources et les absorptions par les puits liées à l'état des forêts, les stocks de carbone forestier et les modifications des superficies forestières ;
- mettre en place des systèmes nationaux solides et transparents de surveillance des forêts (**NB:** en faisant expressément référence au *Guide des bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie* produit par le GIEC) :
 - qui recourent à la télédétection et à des mesures au sol pour l'inventaire du carbone forestier;
 - qui fournissent des estimations transparentes, cohérentes, le plus exactes possible et qui réduisent les facteurs d'incertitudes;
- tenir compte de données multitudes et des circonstances nationales lors de l'établissement des niveaux de référence des émissions pour les forêts;

Décision 1/CP.16 : *"Chapitre III-C: Démarches générales et mesures d'incitation positives pour tout ce qui concerne la réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts dans les pays en développement; et rôle de la préservation et de la gestion durable des forêts et du renforcement des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement"*

La Décision invite les pays en développement désireux de mettre en œuvre des activités REDD+ à établir :

- Un niveau d'émission de référence national et/ou un niveau de référence national pour les forêts (ou infranational, en tant que mesure provisoire, en tenant compte des fuites éventuelles pour le suivi et la notification, et en veillant à la bonne intégration des systèmes infranationaux au système national le cas échéant);
- Un système de surveillance des forêts fiable et transparent (cf. Décision 4/CP15) pour le suivi et la notification de ces activités;

Décision 12/CP.17: (Section 2) *"Modalités d'établissement des niveaux d'émission de référence pour les forêts et des niveaux de référence pour les forêts"*.

La Décision prévoit entre autre que les niveaux d'émission de référence et/ou les niveaux de référence pour les forêts soient établis conformément aux dispositions de la décision 4/CP.15, c'est-à-dire, en tenant compte des lignes directrices et bonnes pratiques du GIEC les plus récentes, et qu'ils soient concordants avec les émissions anthropiques de GES provenant des forêts par les sources et les absorptions par les puits figurant dans les inventaires de GES nationaux.

La Décision prévoit également que chaque pays communique l'ensemble des informations (données, méthodologies, modèles, hypothèses, etc.) ayant permis de développer un niveau d'émission de référence et/ou un niveau de référence pour les forêts. Cela inclus la définition de forêt retenue pour les calculs.

Décision 11/CP.19: *"Modalités de fonctionnement des systèmes nationaux de surveillance des forêts"*.

En plus de réaffirmer les dispositions de la Décision 4/CP.15, la Décision prévoit entre autre que les systèmes nationaux de surveillance des forêts s'appuient sur les systèmes existants (lorsqu'ils existent) et qu'ils permettent l'évaluation des différents types de forêts dans le même pays, notamment des forêts naturelles, telles que définies par chaque Partie.

La **Décision 13/CP.19** précise quant à elle les lignes directrices et procédures relatives à l'évaluation technique des niveaux d'émission de référence et/ou des niveaux de référence pour les forêts, s'appuyant notamment sur ces informations communiquées par le pays concerné (cf. Décision 12/CP.17).

Enfin, la **Décision 14/CP.19** fait le point sur les modalités de mesure, notification et vérification des émissions anthropiques par les sources et les absorptions par les puits liées résultant de la mise en œuvre d'activités REDD+. Elle prévoit que celles-ci soient notamment conformes aux principes méthodologiques énoncés dans la Décision 4/CP.15 (c'est-à-dire, en tenant compte des lignes directrices et bonnes pratiques du GIEC les plus récentes). Les données, méthodes et procédures doivent être fiables, transparentes et cohérentes, en particulier en ce qui concerne le lien avec les niveaux d'émission de référence et/ou les niveaux de référence établis pour les forêts. Une annexe technique aux rapports biennaux doit permettre au pays en développement partie de communiquer les résultats obtenus en matière de réduction d'émissions. Cette annexe technique doit être audité par un groupe d'experts mandaté à cet effet.

On notera donc que, si les grands principes en matière de définition de la forêt et de suivi des forêts sont énoncés dans - et complétés par - différentes décisions de la CCNUCC, celles-ci font systématiquement référence aux méthodologies développées par le GIEC pour ce qui a trait à leur fondement technique. Nous allons donc présenter ces méthodologies dans ce qui suit.

1.2. Recommandations du GIEC en matière de suivi des forêts

Les lignes directrices du GIEC les plus récentes sont répertoriées au sein du recueil *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre – Volume 4: Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. Elles sont destinées à l'estimation et l'établissement de rapports pour les inventaires nationaux d'émissions et d'absorptions de gaz à effet de serre anthropiques.

Nous présenterons ci-dessous les concepts-clés et la démarche générale de l'inventaire national de GES dans le domaine AFAT (agriculture, foresterie et autres usages des terres) et qui fournissent les bases de tout système de suivi des forêts dans un mécanisme de type REDD+. Nous développerons par la suite les méthodologies qui ont trait à la collecte des variables d'activités liées à la conversion des terres forestières et à la dégradation forestière.

Concepts et démarche générale de l'IGES dans le domaine AFAT (GIEC, 2006; GOCF-GOLD, 2014):

L'inventaire national de gaz à effet de serre présente une combinaison d'informations sur l'étendue des activités humaines (appelées données sur les activités, ou "**variables d'activités**") et des coefficients permettant de quantifier les émissions ou les absorptions par unité de variable d'activité. Ces coefficients sont appelés **facteurs d'émission**.

Les activités humaines sont regroupées au sein de cinq secteurs: énergie, procédés industriels et utilisation des produits, **agriculture, foresterie et autres affectation des terres (AFAT)**, déchets et autres. Ces secteurs sont divisés en catégories et sous-catégories. Dans le secteur AFAT, six **catégories** d'affectation des terres sont proposées: terres forestières, terres cultivées, prairies, terres humides, établissements et autres terres.

Pour ces six catégories d'affectation des terres, les variables d'activités représentent les changements de surface d'une catégorie à une autre. Chaque catégorie d'affectation des terres est en effet divisée entre les terres restant dans la même catégorie (comme par exemple, les terres forestières restant les terres forestières) et les terres converties d'une catégorie à une autre (par exemple, terres forestières converties en terres cultivées). Les bonnes pratiques recommandent d'utiliser des méthodes de niveau plus élevé pour les catégories de source d'émissions les plus importantes, ou celles présentant des niveaux d'incertitudes élevés (catégories et sous-catégories "clés"), excepté si les besoins en ressources sont prohibitifs. Des exemples de catégories et sous-catégories potentiellement "clés" dont donnés ci-dessous:

Catégorie	Sous-catégorie	Pool de carbone et gaz sans CO2	Commentaire
Terres forestières	Terres forestières restant terres forestières (FF)	Biomasse aérienne et souterraine, matière organique morte, carbone des sols, gaz sans CO2 dus au brûlage de la biomasse	On y classera la dégradation forestière et l'augmentation des stocks de carbone forestier hors forestation (gestion forestière "améliorée" et conservation).
	Terres converties en terres forestières (TF)	Idem.	On y classera la forestation (boisement ou reboisement).
Terres cultivées	Terres cultivées restant terres cultivées (CC)	Biomasse aérienne, matière organique morte, carbone des sols, gaz sans CO2 dus au brûlage de résidus de récolte, émissions de méthanes dues au riz.	La riziculture peut être considérée comme une sous-catégorie importante d'émissions de GES.
	Terres converties en terres cultivées (TC)	Biomasse aérienne, matière organique morte, carbone des sols, gaz sans CO2 dus au brûlage de la biomasse (résidus de récolte)	On y classera une partie de la déforestation. L'impact des terres forestières converties en terres cultivées

Catégorie	Sous-catégorie	Pool de carbone et gaz sans CO2	Commentaire
			doit être évalué séparément.
Prairies	Prairies restant prairies (PP)	Biomasse aérienne, matière organique morte, carbone des sols, gaz sans CO2 dus au brûlage de la biomasse	On y estimera par exemple l'impact des feux de brousse visant à régénérer les pâturages.
	Terres converties en prairies (TP)	Biomasse aérienne, matière organique morte, carbone des sols, gaz sans CO2 dus au brûlage de la biomasse	On y classera une partie de la déforestation. L'impact des terres forestières converties en prairies doit être évalué séparément.

Tableau 1: Catégories et sous-catégories d'absorptions/émissions de gaz à effet de serre dans le secteur AFAT

(Source: GIEC, 2006)

Plusieurs bonnes pratiques du GIEC sont associées à l'identification et au traitement des catégories et sous-catégories "clés". Nous en reproduisons ici les principales caractéristiques:

- *Avec la méthode de Niveau 1, les catégories de source clés sont identifiées par un seuil d'émissions cumulatives prédéfini. Les catégories de source clés sont celles qui, une fois ajoutées par ordre décroissant d'importance, représentent plus de 95 pour cent du niveau total.*
- *Avec la méthode de Niveau 2, les catégories sont classées selon leur contribution à l'incertitude de l'inventaire. Les résultats de la méthode de Niveau 2 complètent ceux de la méthode de Niveau 1. Si une évaluation a été réalisée avec les deux méthodes, les bonnes pratiques recommandent de présenter les résultats de l'analyse de Niveau 2 en plus des résultats de la méthode de Niveau 1.*
- *Même si les bonnes pratiques recommandent de réaliser une évaluation de la tendance si les données sont disponibles, une identification précoce en utilisant des critères qualitatifs peut être utilisée jusqu'à ce qu'une telle évaluation soit disponible. Par critères qualitatifs, on entend: l'existence actuelle ou prochaine de techniques et technologies d'atténuation permettant de réaliser de fortes absorptions, la prévision d'une augmentation des émissions dues à certaines activités (par exemple, liée au développement d'une filière agricole), etc.*
- La conversion de terres forestières en autres terres (prairies, terres cultivées, etc.) doit obligatoirement être traité séparément dans les inventaires de GES.
- *Les sous-catégories qui contribuent ensemble à plus de 60 pour cent de la catégorie de source clé doivent être considérées comme particulièrement importantes.*
- *L'inventaire d'un pays aux circonstances nationales similaires peut également donner de bonnes indications sur les catégories de source clés possibles.*

Des facteurs d'émissions sont calculés pour chaque type de changement d'affectation des terres de manière à estimer les émissions et absorptions de GES en tant que variations des stocks de carbone. Trois pools de carbone sont alors considérés: biomasse aérienne et souterraine, matière organique morte et matière organique des sols. Le cas échéant, les émissions sans CO2 dues au brûlage sont également prises en compte (avec des méthodologies spécifiques), de même que les émissions d'autres sources spécifiques, comme par exemple les émissions de CH4 imputables à la riziculture.

Par principe, les inventaires de GES doivent être transparents, exhaustifs, cohérents, comparables (d'une période à l'autre et d'un espace à l'autre) et exacts. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité dans la qualité des données disponibles dans les pays en développement ainsi que le coût d'acquisition de ces données, différents niveaux de complexité méthodologique ont été proposés pour

acquérir les données sur les variables d'activités et les facteurs d'émissions. Le niveau 1 est la méthode de base, le niveau 2 est la méthode intermédiaire et le niveau 3 est la méthode la plus complexe, mais aussi la plus exacte.

Dans le cas des variables d'activités, les trois niveaux sont dénommés "**approches**". L'approche 1 consiste à déterminer les surfaces des différentes catégories d'affectation des terres, sans fournir ni d'indication concernant les changements d'affectation des terres, ni de données spatialisées. L'approche 2 implique de déterminer les changements d'affectation des terres entre différentes catégories permettant de produire une "matrice de conversion d'affectation des terres", mais non spatialisée. L'approche 3 permet d'étendre l'approche 2 en spatialisant ces changements d'affectation des terres, à l'aide de techniques cartographiques basées sur la télédétection (type *wall-to-wall*) et/ou l'inventaire par échantillonnage (*sampling*). Ainsi, le suivi des activités REDD+ devrait s'appuyer sur une approche de type 3, ou une approche de type 2 avec des informations additionnelles en matière de spatialisation. Dans ce qui suit, nous développerons surtout les outils utilisés pour l'approche de niveau 3 car c'est la seule véritablement opérationnelle pour le suivi des activités REDD+.

Dans le cas des facteurs d'émission, les trois niveaux sont dénommés "**Tier**". Le Tier 1 consiste à utiliser des données par défaut sur les quantités de biomasse dans différents biomes ainsi que des valeurs moyennes de fraction carbone, fournies par le GIEC et donc facilement accessibles. Cependant, l'erreur commise sur les estimations de biomasse aérienne peut avoisiner les 70% (CCNUCC, 2009). Le Tier 2 fait intervenir des données spécifiques au pays, provenant en général de données d'inventaires de stocks de carbone sur le terrain. Le Tier 3, le niveau le plus précis et exact, fait intervenir des données nationales issues d'inventaires terrain répétés de manière périodique, adaptés aux différents pools de carbone à considérer, et impliquant généralement des travaux de modélisation.

Il est important de noter que le choix des niveaux de complexité méthodologique pour estimer les variables d'activités (approches de niveau 1, 2 ou 3) et les facteurs d'émission (Tier de niveau 1, 2 ou 3) sont indépendants. Ainsi, pour le suivi des activités REDD+, les techniques et données actuelles permettent d'utiliser une approche de niveau 2 ou 3 dans pratiquement toutes les situations (moyennant certains coûts d'acquisition des données images par exemple, ce qui sera abordé plus loin dans cette étude), alors qu'il est plus rare d'atteindre le niveau de Tier 3 en ce qui concerne les facteurs d'émission, essentiellement par manque de données de modélisation pour l'ensemble des sous-catégories d'affectation des terres. En pratique, les niveaux de Tier peuvent être traités de manière indépendante, qui plus est à une échelle régionale, de sorte de diminuer les coûts d'acquisition de ces données, ce qui reste aligné avec les méthodologies du GIEC.

On peut enfin noter que l'évaluation des incertitudes est un élément clé de l'inventaire de GES. Connaître les incertitudes sur les paramètres à estimer et sur les résultats permet d'améliorer par la suite les méthodes d'analyse. Cela permet également d'identifier les catégories qui contribuent le plus à l'incertitude générale.

Selon les catégories d'affectation des terres définies ci-dessus, on peut définir la **déforestation** comme étant la conversion de terres forestières en terres non forestières (c'est-à-dire, en terres cultivées, en prairies, en terres humides, en établissements et/ou en autres terres). On qualifie par ailleurs de **dégradation forestière** une diminution nette des stocks de carbone, à l'échelle nationale ou sous-nationale, dans la catégorie des terres forestières restant terres forestières, en opposition à l'accroissement des stocks de carbone. Enfin, la conversion de terres non forestières en terres forestières est appelée **forestation**.

Principes d'estimation des absorptions/émissions de GES liées à la conversion des terres forestières et à la dégradation forestière:

- *Déforestation (cas de la conversion de terres forestières en terres cultivées)*

Selon les bonnes pratiques, il est nécessaire de comptabiliser tous les pools de carbone (biomasse, matière organique morte et matière organique des sols) pour estimer les variations des stocks de

carbone des terres forestières converties en terres cultivées. Les bonnes pratiques exigent également l'utilisation des approches de niveaux 2 et 3 si la déforestation est une catégorie-clé d'émissions, de même que si la sous-catégorie biomasse est considérée comme significative (source-clé).

Biomasse (aérienne et souterraine)

L'estimation fait intervenir les estimations du carbone des stocks de biomasse avant et après la conversion des terres, ainsi que la surface de terres converties sur la période considérée. Il est nécessaire de considérer tous les types possibles de conversion (forêt vers différentes sous-catégories clés de terres cultivées³). L'équation générale pour les niveaux 2 et 3 se note ainsi:

ÉQUATION 2.15
VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOMASSE DES TERRES CONVERTIES A D'AUTRES CATEGORIES D'AFFECTATION DES TERRES (NIVEAU 2)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_P$$

Où:

ΔC_B = Variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse des terres converties à une autre catégorie d'affectation des terres, en tonnes C an⁻¹

ΔC_G = Augmentation annuelle des stocks de carbone de la biomasse due à la croissance sur les terres converties à une autre catégorie d'affectation des terres, en tonnes C an⁻¹

$\Delta C_{CONVERSION}$ = Variations initiales des stocks de carbone de la biomasse sur les terres converties à une autre catégorie d'affectation des terres, en tonnes C an⁻¹

ΔC_P = Diminution annuelle des stocks de carbone de la biomasse due aux pertes causées par les récoltes, la collecte de bois de chauffage et les perturbations sur les terres converties à une autre catégorie d'affectation des terres, en tonnes C an⁻¹

A noter que seule la végétation ligneuse qui remplace la végétation défrichée pendant la conversion devra être prise en compte dans le calcul de ΔC_G et ΔC_P .

L'équation particulière pour calculer les variations annuelles de stocks de carbone de la biomasse des terres forestières converties en terres cultivées se note :

ÉQUATION 2.16
VARIATIONS INITIALES DES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOMASSE POUR LES TERRES CONVERTIES A D'AUTRES CATEGORIES DE TERRES

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{ (B_{APRES_i} - B_{AVANT_i}) \cdot \Delta S_{VERS_AUTRES_i} \} \cdot FC$$

Où:

$\Delta C_{CONVERSION}$ = Variations initiales des stocks de carbone de la biomasse pour les terres converties à une autre catégorie de terres, en tonnes C an⁻¹

³ Exemple de sous-catégories de terres cultivées "vivaces": vergers, cultures de plantation, systèmes agroforestiers.

$B_{APRÈS_i}$ = Stocks de biomasse sur le type de terre i immédiatement après conversion, tonnes m.s. ha^{-1}

B_{AVANT_i} = Stocks de biomasse sur le type de terre i immédiatement avant conversion, tonnes m.s. ha^{-1}

$\Delta S_{VERS_AUTRES_i}$ = Superficie d'affectation i convertie en une autre catégorie d'affectation des terres au cours d'une année donnée, $ha\ an^{-1}$

FC = Fraction de carbone de la matière sèche, tonnes C (tonne m.s.) $^{-1}$

i = Type d'affectation des terres convertie en une autre catégorie d'affectation des terres

Au niveau 2, $B_{APRÈS}$ et B_{AVANT} font intervenir des estimations propres au pays plutôt que des données par défaut. Les estimations de ΔS_{VERS_AUTRES} peuvent être désagrégées en fonction des types forestiers d'origine et à des échelles spatiales plus fines (aire bioclimatique, région, etc.). Ensuite, les stocks de carbone ne sont pas obligatoirement considérés comme nuls après le déboisement (cas transitoires où la végétation n'est pas totalement extraite). Enfin, les émissions sans CO₂ dues au brûlage doivent également être estimées, en répartissant les pertes de carbone dues au brûlage et celles due à la décomposition, et en appliquant les méthodologies ad hoc.

Au niveau 3, les calculs font intervenir des estimations directes et désagrégées des superficies converties annuellement. Les estimations de carbone dans la biomasse font intervenir des données locales en matière de densité carbone et de dynamiques entre la biomasse et les sols. Les volumes de biomasse sont tirés d'inventaires réels et les transferts de biomasse vers le pool de matière organique morte suite à un défrichement peuvent être estimés.

Matière organique morte ou "MOM" (bois mort et litière)

Aux niveaux 2 et 3, l'estimation des variations de stock de carbone de la MOM des terres forestières converties en terres cultivées nécessite une approche en deux phases. La première phase représente une chute abrupte de la MOM associée à la défriche-brûlis. La seconde phase représente une période de transition pendant laquelle la MOM s'accumule et se décompose, avant d'atteindre un état stable (par défaut, période estimée à 20 ans).

L'équation générale pour estimer les variations de stocks de carbone de la MOM en phase 1 se note comme suit (valable pour tous les niveaux):

ÉQUATION 2.23

VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DU BOIS MORT ET DE LA LITIÈRE DUES A LA CONVERSION DES TERRES

$$\Delta C_{MOM} = \frac{(C_n - C_a) \cdot S_{a-n}}{T_{a-n}}$$

Où :

ΔC_{MOM} = Variations annuelles des stocks de carbone du bois mort/de la litière, tonnes C an^{-1}

C_a = Stock de bois mort/litière sous l'ancienne catégorie d'affectation des terres, tonnes C ha^{-1}

C_n = Stock de bois mort/litière sous la nouvelle catégorie d'affectation des terres, tonnes C ha^{-1}

S_{a-n} = Superficie soumise à la conversion de l'ancienne à la nouvelle catégorie d'affectation des terres, ha

T_{a-n} = Laps de temps de la transition de l'ancienne à la nouvelle catégorie d'affectation des terres, an . La durée de niveau 1 par défaut est de 20 ans pour les augmentations des stocks de carbone, et un an pour les pertes de carbone.

Pour les niveaux 2 et 3, les variations de stock de carbone de la MOM en phase 2 s'appuieront sur des matrices de transition du carbone entre les différents pools considérés. Deux méthodes peuvent être utilisées pour calculer les variations de stock de carbone de la MOM:

- Méthode gains-pertes: elle implique de calculer la superficie de tous les types de conversion de terres et le transfert annuel moyen vers les stocks de litière et de bois mort.

- Méthode de différence des stocks: elle implique de calculer la superficie des terres forestières converties puis les stocks de litière et de bois mort à deux instants différents. Elle est utilisée par des pays disposant de données spécifiques substantielles (facteurs d'émission, inventaires nationaux, etc.).

Matière organique des sols (cas du carbone organique dans les sols minéraux, à des fins d'illustration)

L'équation générale se note:

ÉQUATION 2.24
VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DES SOLS

$$\Delta C_{Sols} = \Delta C_{Minéraux} - P_{Organiques} + \Delta C_{Inorganiques}$$

Où :

ΔC_{Sols} = Variations annuelles des stocks de carbone des sols, tonnes C an⁻¹

$\Delta C_{Minéraux}$ = Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tonnes C an⁻¹

$P_{Organiques}$ = Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés, tonnes C an⁻¹

$\Delta C_{Inorganiques}$ = Variations annuelles des stocks de carbone inorganiques des sols, tonnes C an⁻¹ (supposé être nulles à moins qu'une approche de niveau 3 soit utilisée)

L'équation particulière pour les variations de stocks de carbone organique dans les sols minéraux se note:

ÉQUATION 2.25
VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE ORGANIQUE DES SOLS MINÉRAUX

$$\Delta C_{Minéraux} = \frac{(COS_0 - COS_{(0-T)})}{D}$$

$$COS = \sum_{c,s,i} (COS_{REF_{c,s,i}} \cdot F_{Aft_{c,s,i}} \cdot F_{Gestion_{c,s,i}} \cdot F_{Entrées_{c,s,i}} \cdot S_{c,s,i})$$

(Note : Dans cette équation T est utilisé à la place de D si T est ≥ 20 ans ; voir note ci-dessous)

Où :

$\Delta C_{Minéraux}$ = Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tonnes C an⁻¹

COS_0 = Stock de carbone organique des sols dans la dernière année d'une période d'inventaire, tonnes C

$COS_{(0-T)}$ = Stock de carbone organique des sols au début de la période d'inventaire, tonnes C

COS_0 et $COS_{(0-T)}$ sont calculés en employant l'équation des COS dans la case où les stocks de carbone de référence et les facteurs de variation des stocks sont renseignés en fonction des activités d'affectation et d'exploitation des terres et par rapport aux territoires à chaque point temporel précis (point temporel = 0 et point temporel = 0-T)

T = Nombre d'années d'une seule période d'inventaire, an

D = Dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks utilisée comme période de temps pour la transition entre les valeurs COS équilibrées, an. En général, 20 ans, mais dépend des hypothèses émises lors du calcul des facteurs F_{Aft} , $F_{Gestion}$ et $F_{Entrées}$. Si T a une valeur plus élevée que D, utiliser la valeur de T pour obtenir un taux annuel de variations sur la période de l'inventaire (0-T ans).

c = Représente les zones climatiques, s les types de sols, et i la fourchette de systèmes de gestion présente dans un pays.

COS_{REF} = Stock de carbone de référence, tonnes C ha⁻¹ (tableau 2.3)

F_{Aft} = Facteur de variation des stocks pour des systèmes ou sous-systèmes d'affectation des terres pour une affectation des terres particulière, non dimensionnel

[À noter : F_{PN} se substitue à F_{Aft} pour le calcul du C des sols des forêts pour estimer l'influence des régimes de perturbations naturelles.]

$F_{Gestion}$ = Facteur de variation des stocks pour les régimes de gestion, non dimensionnel

$F_{Entrées}$ = Facteur de variation des stocks pour l'entrée de matière organique, non dimensionnel

S = Superficie de strate estimée, ha. Tous les territoires de la strate doivent posséder des conditions biophysiques (c'est-à-dire le climat et le types de sol) et une expérience de gestion communes à toute la période d'inventaire. Celles-ci devront être traitées ensemble à des fins analytiques.

Le niveau 2 fait intervenir des stocks de carbone de référence et/ou des facteurs de variation des stocks de carbone spécifiques au pays. On peut également faire intervenir des données d'activités sur les affectations des terres désagrégées. Au niveau 3, on fera intervenir des données issues de modèles ou de réseaux de surveillance de données encore plus spécifiques, ainsi que des données spatiales encore plus désagrégées.

- *Dégradation forestière (terres forestières restant terres forestières)*

A noter qu'il est nécessaire de stratifier les terres forestières en diverses sous-catégories pour réduire les variations du taux de croissance et autres paramètres forestiers. Par ailleurs, la stratification en sous-catégories homogènes permet de réduire l'incertitude des estimations des émissions et absorptions de GES. De plus, la stratification des terres forestières adoptée pour la MOM doit être identique à celle employée pour l'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse.

De plus, comme vu précédemment dans le cas de la conversion de terres forestières en terres cultivées pour l'estimation des variations de carbone dans le pool "matière organique des sols", les terres forestières doivent être stratifiées en fonction des régions climatiques et des principaux types de sols.

Biomasse

Avec la méthode gains-pertes, les variations des stocks de carbone dans la biomasse pour les terres forestières restant terres forestières se basent sur des estimations des gains et pertes annuels dans les stocks de biomasse. La méthode, valable pour tous les pays quel que soit le niveau choisi, peut être utilisée par les pays qui n'ont pas de système d'inventaire national des stocks de biomasse ligneuse.

ÉQUATION 2.7
VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOMASSE DES TERRES RESTANT DANS LA MEME CATEGORIE D'AFFECTATION DES TERRES (METHODE GAINS-PERTES)

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_P$$

Où :

ΔC_B = Variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse (somme des termes représentant la biomasse aérienne et souterraine à l'équation 2.3) pour chaque sous-catégorie de terres, en prenant en compte la totalité de la superficie, tonnes C an⁻¹

ΔC_G = Augmentation annuelle des stocks de carbone due aux gains de biomasse pour chaque sous-catégorie de terres, prenant en compte la totalité de la superficie, C an⁻¹

ΔC_P = Diminution annuelle des stocks de carbone due aux pertes de biomasse pour chaque sous-catégorie de terres, prenant en compte la totalité de la superficie, C an⁻¹

ΔC_G fait intervenir, pour chaque type forestier spécifique, la superficie des terres forestières non converties, la croissance annuelle moyenne de la biomasse ainsi que la fraction carbone de la matière sèche. Le niveau 1 fait intervenir un ratio biomasse aérienne / biomasse souterraine (noté Tx). Les niveaux 2 et 3 font intervenir Tx ainsi que des données d'accroissement annuel net propres à chaque type forestier, de même que des facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse.

ΔC_P est la somme des pertes dues à l'extraction de bois (récolte), l'extraction de bois de chauffage (sans compter le bois de chauffage provenant de débris de bois), et d'autres pertes dues à des perturbations, comme le feu, les tempêtes, les insectes et les maladies. Son évaluation fait intervenir une estimation de l'extraction annuelle de bois rond, les volumes de bois de chauffage exploités annuellement sur des arbres entiers ou sur des parties d'arbres, Tx ainsi que des facteurs d'expansion

et de conversion de biomasse. Dans le cas des perturbations, son évaluation fait intervenir la superficie affectée par la perturbation, la biomasse aérienne moyenne des types forestiers affectés, la fraction de biomasse perdue à cause de la perturbation, Tx et la fraction carbone de la matière sèche.

La méthode de différence des stocks exige quant à elle de réaliser des inventaires de stocks de carbone dans la biomasse entre deux points temporels différents, sur une superficie donnée. La méthode de différence des stocks s'appliquera dans les pays ayant des systèmes d'inventaires nationaux pour les forêts et autres catégories d'affectation des terres, et où les stocks des différents pools de biomasse sont mesurés à intervalles périodiques.

ÉQUATION 2.8

VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DE LA BIOMASSE DES TERRES RESTANT DANS LA MEME CATEGORIE D'AFFECTATION DES TERRES (METHODE DE DIFFERENCE DES STOCKS)

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (a)$$

Où :

$$C = \sum_{i,j} \{S_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot FECB_{S_{i,j}} \cdot (1 + Tx_{i,j}) \cdot FC_{i,j}\} \quad (b)$$

Où :

ΔC_B = Variation annuelle des stocks de carbone de la biomasse (somme des termes représentant la biomasse aérienne et souterraine de l'équation 2.3) pour les terres restant dans la même catégorie, (par exemple terres forestières restant terres forestières), tonnes C an⁻¹

C_{t_2} = Totalité du carbone de la biomasse pour chaque sous-catégorie de terres au point temporel t_2 , tonnes C

C_{t_1} = Totalité du carbone de la biomasse pour chaque sous-catégorie de terres au point temporel t_1 , tonnes C

C = Totalité du carbone de la biomasse du point temporel t_1 au point temporel t_2

S = Superficie restant dans la même catégorie d'affectation des terres, ha (voir la remarque ci-dessous)

V = Volume de stock en croissance commercialisable, m³ ha⁻¹

i = Zone écologique i ($i = 1$ à n)

j = Domaine climatique j ($j = 1$ à m)

Tx = Taux de biomasse aérienne par rapport à la biomasse souterraine, tonnes m.s. de biomasse souterraine (tonne m.s. de biomasse aérienne)⁻¹

FC = Fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonne m.s.)⁻¹

$FECB_S$ = Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse pour l'expansion du volume de stock en croissance commercialisable par rapport à la biomasse aérienne, tonnes de croissance de biomasse aérienne (m³ de volume de stock en croissance)⁻¹, (voir tableau 4.5 pour les terres forestières). Le $FECB_S$ transforme les volumes commercialisables de stock en croissance directement dans la biomasse aérienne. Les valeurs de $FECB_S$ sont plus pratiques car elles peuvent s'appliquer directement aux données d'inventaire forestier basées sur le volume et les recensements des activités, sans avoir besoin de la densité ligneuse de base (D). Elles fournissent les meilleurs résultats, lorsqu'elles ont été dérivées localement et qu'elles sont basées directement sur le volume commercialisable. Toutefois, si les valeurs $FECB_S$ ne sont pas disponibles, et si le facteur d'expansion de la biomasse (FEB_S) et les valeurs de D sont estimées séparément, la conversion suivante peut être utilisée :

$$FECB_S = FEB_S \cdot D$$

En produisant des estimations plus fiables de gains et pertes de biomasse, ou lorsque des inventaires forestiers très précis sont menés, la méthode par différence des stocks est la plus adaptée pour les niveaux 2 et 3. Cependant, la méthode gains/pertes est applicable à tous les niveaux.

Si le stock de biomasse ou ses variations dans une catégorie (ou sous-catégorie) sont significatifs, il est nécessaire de sélectionner une méthode d'estimation de niveau plus élevé. La méthode dépendra

des types de données/modèles disponibles, de leur exactitude, du niveau de désagrégation spatiale des données sur les activités et des circonstances nationales. Le niveau 2 sera utilisé dans les pays où existent des estimations spécifiques des données sur les activités et des facteurs d'émissions/absorptions (ou si ces données peuvent être rassemblées à un coût abordable). Pour le niveau 3, on pourra utiliser différentes méthodes, dont par exemple des modèles basés sur des processus, complétés par des équations et modèles allométriques calibrés en fonction des circonstances nationales permettant l'estimation directe de la croissance de la biomasse.

Matière organique morte

Au niveau 1, on considérera que les stocks de bois mort et de litière ne varient pas dans le temps dans le cas des terres forestières restant terres forestières. Aux niveaux 2 et 3, les deux méthodes sont possibles : méthode gains-pertes et méthode de différence des stocks. Pour effectuer ces estimations, il faut soit des inventaires détaillés incluant des mesures répétées des pools de bois mort et de litière, soit des modèles simulant les dynamiques du bois mort et de la litière.

L'équation générale se note ainsi :

ÉQUATION 2.17
VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE MORTE

$$\Delta C_{MOM} = \Delta C_{BM} + \Delta C_{LI}$$

Où :

ΔC_{MOM} = Variations annuelles des stocks de carbone de la matière organique morte (sont inclus le bois mort et la litière), tonnes C an⁻¹

ΔC_{BM} = Variations annuelles des stocks de carbone du bois mort, tonnes C an⁻¹

ΔC_{LI} = Variations annuelles des stocks de carbone de la litière, tonnes C an⁻¹

La méthode gain-pertes fait intervenir le transfert annuel moyen de biomasse dans le pool de bois mort/litière dû aux processus et aux perturbations annuels ($MOM_{ENTRANT}$), les pertes de carbone annuelles moyennes dues à la décomposition et aux perturbations provenant des pools de bois mort/litière ($MOM_{SORTANT}$), la fraction carbone de la matière sèche ainsi que la surface de terres forestières restant terres forestières.

La méthode de différence des stocks fait intervenir des données de stocks de carbone dans la litière et le bois mort estimés entre deux points temporels, ainsi que la fraction carbone de la matière sèche et la surface des terres forestières restant terres forestières.

Matière organique des sols

La matière organique des sols peut être modifiée par des activités humaines et autres perturbations (feux de forêts, invasions parasitaires, etc.). Différentes activités de gestion forestière, comme la durée de la rotation, le choix des espèces, les pratiques de récoltes (arbre entier ou sciage, régénération, coupe partielle ou élagage), les activités de préparation du site (feux contrôlés, scarification des sols), et la fertilisation affectent les stocks de carbone organique des sols.

Dans l'état actuel des connaissances, le GIEC n'établit aucune conclusion précise sur l'ampleur et la tendance des variations des stocks de carbone des sols minéraux forestiers associés au type de forêt, à la gestion et autres perturbations. En raison du caractère incomplet des connaissances scientifiques et l'incertitude qui en résulte, la méthode de niveau 1 suppose que les stocks de carbone des sols forestiers ne varient pas en fonction des pratiques d'exploitation. De plus, avec des données sur les activités d'approches 2 ou 3, il n'est pas nécessaire de calculer les variations des stocks de carbone pour les sols minéraux (en d'autres termes, les variations des stocks de carbone organique des sols sont nulles).

L'estimation fait intervenir les mêmes informations que pour le calcul des variations de stock de carbone dans le cas de la conversion de terres forestières en autres terres, à la différence près que les sous-catégories utilisées sont des combinaisons entre types forestiers et régimes de gestion forestière.

- *Forestation (cas des terres converties en terres forestières)*

Les mêmes principes et méthodes d'estimation s'appliquent que dans le cas de la conversion de terres forestières en terres non forestières présentés ci-dessus: nous n'y reviendrons donc pas en détail ici.

On peut toutefois rappeler ici quelques caractéristiques de ce type de changement d'occupation des terres. Il est en général plus difficile de reconnaître la forestation, qui est un processus s'étalant sur plusieurs années (exemple: restauration du couvert suite à un incendie ou une tempête, colonisation forestière suite à l'abandon de parcelles agricoles, rotation de 25-30 ans avant le passage en coupe, etc.) alors que la déforestation apparaît en général plus rapidement. Il est donc nécessaire d'obtenir des séries temporelles plus longues afin de distinguer clairement les dynamiques à l'œuvre.

De plus, une attention particulière doit être prise par rapport à la saisonnalité des données images, afin de ne pas confondre des cas de forestation (sol nu vs. terres forestières) avec des cas d'augmentation des stocks de carbone en forêt secondaire (terres forestières vs. terres forestières), les forêts décidues pouvant ressembler à un sol nu en saison sèche⁴. Il est donc nécessaire de recourir à des images haute résolution associées à un travail de vérité terrain supplémentaire pour réaliser un suivi précis de la forestation. De plus, il est possible d'analyser plusieurs images au sein d'une série temporelle, en combinant des prises de vue en saison sèche et en saison humide.

Au Brésil, l'observation de la forestation étant plus problématique, le système de suivi des forêts mis en œuvre par l'Institut national de recherche spatiale (INPE ne prend pas en compte l'augmentation des surfaces forestières. L'Inde réalise un inventaire biennal "*wall-to-wall*" permettant d'observer les changements de densité du couvert forestier (avec trois classes: forêts très denses, modérément denses et forêts ouvertes). Cet inventaire wall-to-wall est complété par un inventaire par échantillonnage qui fournit des informations sur la forestation, le cas échéant.

Méthodologies de représentation des terres et de collecte des variables d'activités liées à la conversion des terres forestières ou à la conversion en terres forestières (Approche de niveau 3):

Comme exposé précédemment, les méthodes recommandées sont regroupées en trois niveaux de complexité. L'approche de niveau 1 n'est pas adaptée pour le suivi des activités REDD+ car aucune conversion n'est possible entre les catégories d'utilisation des terres. Les superficies d'affectation des terres ne sont pas spatialisées et les changements d'affectation des terres d'une catégorie à l'autre ne sont pas connus avec certitude. L'approche de niveau 2 permet de suivre les conversions d'affectation des terres d'une catégorie à l'autre, au moyen d'une matrice de conversions d'affectation des terres, mais sans référence spatiale. On ne développera donc pas davantage ces approches ici, car non spatialisées.

La spatialisation des observations permet de réaliser des analyses plus fines de la déforestation et de la quantification des émissions/absorptions de gaz à effet de serre, en utilisant des outils d'analyse tels que les SIG permettant de lier plusieurs couches d'informations (y compris sur les facteurs

⁴ Cela peut être le cas en zone soudanienne pour certaines formations de forêts riveraines semi-sempervirentes ou semi-décidues. On devrait trouver également des forêts sèches semi-décidues fortement dégradées (îlots). Mais dans ce paragraphe précis, il peut s'agir de reboisements en limite de zone guinéo-congolaise avec des espèces comme le framiré, le fraké ou l'azobé qui peuvent perdre leurs feuilles.

d'émission) et de conduire des analyses pour des ensembles géographiques désagrégés (parcelles, concessions, aires protégées, aires biogéographiques, etc.).

L'approche de niveau 3 est caractérisée par des observations spatialisées des catégories d'affectation des terres et des conversions entre catégories. Deux ensembles de méthode sont généralement utilisées pour établir une carte d'occupation des terres : l'échantillonnage de points géographiques spécifiques et l'inventaire exhaustif ("*wall-to-wall*") dérivée en général de données de télédétection (images).

Les méthodes d'échantillonnage sont bien adaptées lorsque la déforestation se concentre dans des points chauds (*hotspots*) ou quand les ressources sont insuffisantes pour couvrir un pays tout entier. Cependant, ces méthodes peuvent également être combinées d'une période de reporting à une autre. Si une zone échantillonnée présente les caractéristiques d'un point chaud de déforestation pendant une période d'observation, il peut être utile d'y appliquer un inventaire exhaustif pendant la période suivante, afin de l'étudier plus en détail (exemple du système PRODES au Brésil, qui priorise les points chauds de déforestation pour effectuer des analyses *wall-to-wall*).

- Échantillonnage:

Les procédures d'échantillonnage classiques permettent d'obtenir des estimations cohérentes, sans biais et précises. En effet, des variables telles que l'erreur d'échantillonnage et l'intervalle de confiance sur la grandeur estimée, peuvent être calculées afin d'évaluer si les résultats sont significatifs ou non. Cela s'avère notamment utile en matière de variation de superficies d'affectation des terres.

L'échantillonnage s'appuie en règle générale sur des unités d'échantillonnage délimitées par une grille régulière dans la superficie à inventorier. Une catégorie d'affectation des terres peut être affectée à chaque unité d'échantillonnage, permettant ainsi de calculer la surface occupée par chaque catégorie d'affectation des terres dans la superficie inventoriée. En répétant l'échantillonnage dans le temps, il est possible de calculer les variations temporelles de superficies et d'élaborer des matrices de conversion d'affectation des terres.

On recommande en général de procéder à un échantillonnage aléatoire pour limiter le risque de biais et évaluer objectivement l'incertitude sur les grandeurs estimées. Une grille est alors disposée aléatoirement sur la superficie inventoriée. Les unités d'échantillonnage peuvent être placées aléatoirement (échantillonnage aléatoire simple) ou systématiquement sur la grille (échantillonnage aléatoire systématique). En pratique, c'est le second type qui est recommandé car dans la plupart des cas il permet d'augmenter la précision des estimations et simplifie la progression sur le terrain, et permet d'obtenir des informations sur la plupart des zones de la surface inventoriée.

Sur de très grandes superficies, on recommande l'échantillonnage "en grappes", c'est-à-dire, le regroupement d'unités d'échantillonnage dans certaines zones pour réduire les frais de déplacement. Il est également recommandé de disposer les grappes de manière systématique sur la grille aléatoire définie précédemment.

NB: L'utilisation de données issues d'un échantillonnage dirigé (= choix arbitraire de l'emplacement des unités d'échantillonnage) est également possible lorsque les données disponibles ne permettent pas de faire autrement (c'est notamment le cas pour permettre d'estimer les émissions/absorptions à partir de facteurs d'émission déterminés dans des ensembles "représentatifs" de diverses catégories d'affectation des terres). Les bonnes pratiques imposent de préciser le recours à ce type de données le cas échéant.

Différents facteurs comme le climat, la nature des sols et les types de gestion, influencent les stocks de carbone des différentes catégories d'utilisation des terres. Autrement dit, au sein d'une même catégorie (terres forestières par exemple), les stocks de carbone varient d'un écosystème à un autre. Utiliser une valeur moyenne de stockage pour l'ensemble de la cette catégorie induirait une augmentation de l'incertitude globale sur le résultat. La stratification des données en sous-catégories homogènes du point de vue des stocks de carbone permet donc de diminuer cette incertitude, en

réduisant la variabilité pour l'ensemble de la population. Cependant, la stratification fait appel à des données auxiliaires qui peuvent elles-mêmes comporter des erreurs (par exemple, l'utilisation des données cartographiques mal géoréférencées pour identifier des limites de strates forestières). Il est donc nécessaire d'évaluer l'effet potentiel de ces erreurs à l'aide de données de réalité terrain. En outre, la post-stratification (stratification ayant lieu après la phase de collecte de données sur le terrain) peut être une solution pour limiter les erreurs provenant des données auxiliaires, mais présente l'inconvénient – lorsque les ressources d'inventaires sont limitées - de ne plus pouvoir limiter le nombre d'observations *a priori*.

L'évaluation des variations temporelles d'utilisation des terres et des stocks de carbone s'effectue par comparaison d'inventaire, à partir d'un échantillonnage répété à intervalle régulier, en général de cinq à dix ans. Des méthodes d'interpolation et d'extrapolation seront donc nécessaires pour exprimer les grandeurs étudiées en valeurs annuelles, au sein d'une même période d'observation. Les unités d'échantillonnage ou "placettes" peuvent être permanentes, temporaires ou un mix des deux (échantillonnage à remplacement partiel). Les placettes permanentes ont l'avantage de permettre de distinguer les tendances réelles dans les variations temporelles qui ne sont pas seulement dues au choix des placettes. Cependant, les gestionnaires des terres adoptent parfois des pratiques de gestion différentes à proximité de placettes permanentes (dans le but de les préserver par exemple), ce qui induit un biais possible dans les résultats car les placettes ne sont alors plus représentatives des pratiques de gestion réelles. Si ce risque existe, il est recommandé d'établir un échantillon contrôle de placettes temporaires pour vérifier si le risque est avéré ou non. L'échantillonnage à remplacement partiel permet une certaine flexibilité lorsqu'on estime que des parcelles permanentes présentent un risque de biais dans les résultats dû à la gestion, mais les procédures d'estimation sont alors plus complexes. Les placettes temporaires présentent l'inconvénient de ne pas permettre, en général, d'étudier la conversion des terres de façon fine sans avoir recours à des données auxiliaires (cartes, données de télédétection, etc.) introduisant de ce fait une incertitude supplémentaire.

- Inventaire exhaustif par télédétection ("*wall-to-wall*"):

L'inventaire exhaustif s'appuie sur une représentation cartographique de l'occupation des terres à l'échelle nationale, produite à partir de données de télédétection. Le Brésil et l'Inde, notamment, ont eu recours à cette méthode pour leur système de suivi des forêts⁵. La télédétection permet en effet de produire des données spatialisées sur l'occupation des terres à très grande échelle, même si les zones sont difficiles d'accès ou éloignées, et avec des résolutions plus ou moins fines en fonction des capteurs (optiques, radars et lidars). On dispose en outre de séries d'observations parfois assez longues pour permettre de recréer des séries temporelles sur l'occupation des terres et la conversion d'affectation des terres.

Il existe quatre grands types de données télédétectées. La combinaison de différents capteurs et données à résolution variable est également possible pour étudier finement les changements d'affectation des terres (et potentiellement réduire les coûts d'analyse à l'échelle nationale en acquérant des données haute résolution uniquement pour les points chauds de déforestation):

- Les photographies aériennes: permettent une reconnaissance assez fine des sous-catégories d'affectation des terres ainsi que certains paramètres spécifiques comme les stress subis par les forêts ou les cultures, les espèces forestières ou agricoles présentes, la structure des peuplements forestiers, les arbres hors forêt, etc. L'unité minimale de cartographie standard est généralement d'un mètre carré, mais variable en fonction du type de photographie.
- Les images satellites (gammas visibles et/ou proche infrarouge): permettent de reconstituer des séries temporelles assez longues à l'échelle nationale ou régionale. Ces images

⁵ Nous verrons dans la section suivante que ces deux systèmes recourent également pour partie à un inventaire par échantillonnage, soit pour déterminer les points chauds de déforestation (Brésil), soit pour détecter la forestation (Inde).

fournissent une mosaïque de catégories d'affectation des terres qu'il est nécessaire d'identifier à partir de données de référence terrain (cartes ou relevés terrain). L'unité minimale de cartographie dépend de la résolution du capteur et de l'échelle de l'étude. En général, elle est de 20 à 30 mètres, mais des données satellites haute résolution existent également. La présence de nuages et la diffusion atmosphérique peuvent limiter l'interprétation de ces données.

- Les images satellites ou radar aéroportées: le radar à synthèse d'ouverture (RSO) est le plus courant. Il a l'avantage de pouvoir pénétrer les nuages et d'acquérir des données dans l'obscurité, en utilisant davantage de gammes du spectre électromagnétique, et différentes polarisations. C'est parfois l'unique source de données télédéteectées fiables. Le RSO permet de déterminer des catégories d'affectation des terres mais également la proportion de biomasse présente dans la végétation (excepté ci celle-ci est très élevée, le système est alors saturé et il devient difficile de distinguer différentes sous-catégories). Lorsque la topographie est accidentée (fortes pentes, zones montagneuses) le radar est cependant moins adapté car le taux d'erreur augmente fortement.
- Les images lidar: fonctionnant globalement sur le même principe que le radar mais avec une meilleure exactitude, il existe trois principaux types de lidars: les dopplers, les détecteurs de plages et les lidars à absorption différentielle. Cependant, la technologie lidar n'est pas tout à fait opérationnelle à l'heure actuelle à grande échelle (il n'existe pas encore de campagnes d'observations au delà de l'échelle locale). Les coûts d'acquisition sont également particulièrement élevés.

En pratique, les images satellites (spectre visible et proche IR) offrent un bon compromis entre coût, disponibilité et précision opérationnelle, malgré leurs limitations (nuages, mosaïque d'images nécessaire, etc.). Toutefois, il est recommandé d'utiliser *au minimum* des données de résolution inférieure à 30 mètres pour les années 1990 à 2010 (type Landsat, compte tenu de leur disponibilité et l'absence de droit d'utilisation), pour une unité minimale de cartographie comprise entre 1 et 5 ha. Les images satellites de très faible résolution (type MODIS) ne permettent pas de détecter précisément des changements d'affectation des terres forestières, mais peuvent être utilisées pour effectuer une stratification (points chauds vs. forêt intacte) afin d'identifier les zones où des données de résolution supérieure devront être collectées (exemple du système PRODES employé au Brésil). Les photographies aériennes (faible emprise géographique) ou satellites haute résolution (type IKONOS, Quickbird, RapidEye... et qui présente un coût élevé) sont principalement utilisées pour la vérité terrain. Les données radar et lidar restent pour l'heure cantonnées à un usage "projet". Les données radar restent difficiles à interpréter dans les zones de montagne ou accidentées, et demandent un niveau d'expertise plus élevé. Leur prix est également parfois élevé. Les données lidar restent inaccessibles pour le moment (coût élevé, peu de données disponibles) mais constituent probablement l'avenir des techniques de télédétection en milieu forestier.

A noter que l'unité minimale de cartographie impacte également le coût de l'analyse des changements d'affectation des terres: plus elle sera petite, plus les analyses seront complexes et prendront du temps. L'exactitude des estimations diminuera également avec une petite unité minimale de cartographie car davantage d'erreurs d'interprétation pourraient être commises.

Type de capteur et résolution	Nom	Années couvertes	Unité spatiale minimale	Coûts	Caractéristiques générales
Optique (250 à 1000 m)	SPOT-VGT (France)	< 1990 jusqu'à ce jour	Env. 100 ha	Faible ou nul	Adaptés pour un suivi à large échelle des points chauds de déforestation sur base annuelle. Difficile de détecter la dégradation forestière et la déforestation à petite échelle.
	Terra-MODIS	2000 et après	10 à 20 ha		
	Envisat-MERIS	2004 – 2012	"		
	VIIRS	2012 et après	"		
Optique (10-60 m)	Landsat TM / ETM+ (USA – 30m)	< 1990 jusqu'à ce jour 2000 et après	0,5 à 5 ha	Landsat/CBERS sont gratuits. Sinon: <0.001 USD/km ² (données historiques) et 0.02 (ASTER) à 0.7 (SPOT-5) USD/km ² (données récentes) Ou ASTER: 60 USD/scène DMC: 3000 €/scène SPOT: 2000 €/scène	Adaptés pour cartographier la déforestation et estimer les changements d'affectation des terres, et certains types de dégradation (coupes sélectives, incendies). Couverture régionale nécessite une mosaïque d'images, augmentation des coûts de traitement. Difficile à utiliser dans les zones très nuageuses (Sentinel 2 devrait permettre de corriger ces imperfections). Certaines données Landsat présente une qualité altérée depuis 2003.
	Terra ASTER (USA Japon – 15m)	2003 - 2009 (CBERS2)			
	IRS-AWiFs / LISS III (Inde – 23,5 et 56m)	2004 et après			
	CBERS HRCCD (Chine & Brésil – 20m)	1998 et après (>SPOT 4)			
	DMC (22 à 32 m)	2006 et après			
	SPOT HRV (France – 10 à 20m)	A partir de 2014			
	ALOS AVNIR-2 (Japon)	Après 2013			
	Sentinel 2 (Europe)				
Landsat 8 (USA)					
Optique (moins de 5m)	Rapideye		Inf. à 0,5 ha	2 à 30 USD/km ²	Validation des résultats (vérité terrain), test des algorithmes de classification. Difficulté voire impossibilité de mener des analyses à l'échelle nationale (indisponibilité des données x coût d'acquisition / traitement) NB: Google Earth permet d'observer gratuitement des images haute résolution lorsque disponibles
	IKONOS				
	Quickbird				
	GeoEye				
	WorldView				
	Pleiades				
	Google Earth				

Type de capteur et résolution	Nom	Années couvertes	Unité spatiale minimale	Coûts	Caractéristiques générales
Radar (env. 30 m)	Radarsat	2007 et après	Env. 1 ha		Fonctionne en zone nuageuse, mais difficultés en zone montagneuse/accidentée. Nécessite une expertise technique importante. Surtout utilisé à l'échelle projet ou sous-nationale pour l'instant.
	JERS (Japon)				
	ALOS Palsar				
	TerraSarX				
	Envisat				
	Radarsat Constellation	A partir de 2018			
Lidar (3 dimensions)	GLAS LiDAR	2003 et après	n/a		Peut détecter les niveaux de biomasse et leur variation (dégradation)
	LiDAR aéroportés		n/a		Outil potentiel de prise de mesures dendrométriques (échantillonnage/vérité terrain)

Tableau 2: Caractéristiques des principaux capteurs présents sur le marché

(Source: GOFC-GOLD, 2014; Mertens and Boutrolle, 2012; Wertz-Kanounnikoff, 2008)

Dans ce qui suit, nous présenterons principalement les bonnes pratiques liées au traitement des données issues d'images satellite (gammas du visible et proche IR). Elles offrent actuellement le meilleur compromis disponibilité/coût de traitement des images à l'heure actuelle.

Les images satellites subissent un pré-traitement constitué de corrections géométriques et radiométriques, ainsi que de suppression des nuages et de leurs ombres portées. Les corrections géométriques permettent de s'assurer que les images, collectées à différentes dates, se superposent correctement (l'erreur doit être idéalement inférieure à un pixel). Les corrections radiométriques permettent de s'assurer que les valeurs spectrales des catégories d'affectation des terres sont bien identiques d'une scène à l'autre (réduction du "bruit"). En zone de montagne ou accidentée, il est recommandé de procéder à une normalisation topographique à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT).

Différentes techniques permettent de classer les données télédéteectées en catégories d'occupation des terres et d'estimer les superficies afférentes à chaque catégorie. La classification peut être visuelle (cas des photographies aériennes) ou numérique. Seule la classification numérique permet la manipulation des données et le calcul immédiat des superficies. Sans rentrer dans les détails, on précise qu'il existe plusieurs méthodes de classification – supervisée, non-supervisée, etc. – basées sur les signatures spectrales des objets contenus dans une image (sur la base des informations contenues dans chaque pixel). Les images sont segmentées en objet de classes homogènes (les pixels sont regroupés en fonction de leur signature spectrale et de leur localisation dans l'espace) avant d'être post-traités pour obtenir un résultat sous forme cartographique, exploitable dans un SIG.

Les changements d'affectation des terres peuvent être déterminés de deux manières. La détection post-classification consiste à comparer deux (ou plus) classifications d'affectation des terres entre deux (ou plus) points temporels. On obtient la matrice de conversion d'affectation des terres par soustraction des ensembles de données. Les techniques sont simples mais sujettes à des divergences d'interprétation et de classification. La détection pré-classification consiste à comparer les données spectrales entre deux (ou plus) points temporels avec des méthodes statistiques. Plus technique, mais les résultats obtenus sont plus fins.

Les données de référence de terrain (ou réalité terrain) permettent de contrôler et d'estimer l'exactitude de la classification. Elles peuvent être collectées indépendamment, soit par inventaire par échantillonnage, soit par observation d'images à très haute résolution. L'accent doit être mis sur les catégories d'affectation des terres dont la couverture végétale est souvent classée incorrectement (exemple: confusion entre forêt décidue et prairies/terres cultivées), ou sur les catégories évoluant rapidement entre deux campagnes d'observation. Les campagnes de collecte de données de référence de terrain sont également l'occasion de réaliser des enquêtes socio-économiques sur la gestion des terres, mais également des campagnes de mesure des stocks de carbone.

Méthodologies de représentation des terres et de collecte des variables d'activités liées à la dégradation forestière:

La dégradation des forêts est définie comme « *une perte directe à long terme d'origine (persistant pendant X années ou davantage) d'au moins Y% de stocks de carbone forestier (et de valeurs forestières) depuis un temps (T) et ne se qualifiant pas comme déforestation* » (GIEC, 2003). En pratique, suivre la dégradation est beaucoup plus complexe que suivre la déforestation. Les techniques actuelles sont surtout basées sur les images optiques, bien que des travaux soient réalisés en ce moment à partir d'images radar.

Les causes de la dégradation forestière peuvent être multiples: sciage artisanal, exploitation industrielle, récolte de bois de chauffe, incendies, problèmes phytosanitaires... Le suivi par télédétection est possible dans certaines situations. Par exemple, lorsque l'exploitation forestière est intense et que des larges trouées sont apparentes dans le couvert forestier, il est possible d'utiliser des images à moyenne résolution combinées à des techniques d'analyse spatiale sophistiquées. La

surface de forêt perturbée par le prélèvement de produits ligneux peut être identifiée en détectant la présence de routes forestières et de parcs à grumes.

Cela étant dit, des perturbations peuvent être invisibles sur des images de type Landsat, comme l'exploitation de bois de chauffe qui a lieu dans les strates inférieures du couvert forestier et ne génèrent pas de perturbation majeure du couvert. A l'heure actuelle, les techniques recommandées par le GOFC-GOLD Sourcebook s'intéressent donc principalement au suivi de l'exploitation forestière à partir d'images satellites de type Landsat. En ce qui concerne les autres facteurs de dégradation (comme l'exploitation du bois de chauffe), il n'existe pas encore de bonnes pratiques recommandées.

Dans ce qui suit, nous présentons donc les méthodes liées au suivi de l'exploitation forestière, sachant qu'elles ne couvrent que partiellement les causes de déforestation/dégradation rencontrées en Côte d'Ivoire.

Il existe principalement deux approches pour suivre la dégradation causée par l'exploitation forestière: (i) la méthode directe, qui consiste à repérer les surfaces affectées par l'exploitation (trouées d'abattage, réseau de pistes et routes forestières, parcs à grumes, etc.) et (ii) l'approche indirecte, qui consiste à différencier les forêts "intactes" des forêts "non-intactes" sur la base de proxys (surface minimale de 1000 ha, absence d'infrastructures humaines, présence d'une zone tampon d'au moins un kilomètre, etc.).

Les méthodes directes

Elle consiste donc à repérer les surfaces affectées par l'exploitation à partir d'images satellites de moyenne à haute résolution. Des observations rapprochées dans le temps sont nécessaires étant donné que la signature spectrale de la dégradation change rapidement, puisque la végétation se régénère à la suite d'une perturbation. Là encore, deux approches peuvent être menées: la première consiste à ne repérer que les modifications dans la canopée (à partir d'images à très haute résolution), la seconde consiste à cartographier de manière intégrée les zones intactes, les zones en régénération et les zones dont le couvert forestier est perturbé (à partir d'images à haute résolution, sur lesquelles on ne peut pas distinguer individuellement les trouées). Sans trop entrer dans le détail de ces méthodes à ce stade, on peut relever que:

- **Résolution spatiale:** une résolution moyenne (type Landsat à 30m) permet de détecter des changements de couvert liés à une exploitation planifiée, d'intensité plutôt élevée donc. Une résolution haute (type Rapideye à 6,5 m) permet de détecter des changements liés à une exploitation non-planifiée, comme le sciage artisanal de faible ampleur. Si les changements sont de faible ampleur mais sur des surfaces importantes, on aura plutôt recours aux méthodes indirectes présentées ci-dessous, car les coûts d'acquisition des images à haute résolution seront prohibitifs.
- **Résolution temporelle:** les modifications de faible intensité du couvert forestier s'estompent plus rapidement du fait de la régénération du couvert. Ainsi, il est recommandé de s'appuyer sur des images rapprochées dans le temps (tous les deux ans par exemple) pour analyser la dégradation. S'il n'y a que des images à moyenne résolution disponibles, le suivi de la dégradation devrait être réalisé tous les ans, au risque de confondre certaines forêts dégradées avec des forêts intactes.
- **Corrections et traitements:** plusieurs types de correction peuvent être apportés aux images pour améliorer leur contraste. Par ailleurs, dans le cas de l'exploitation forestière planifiée, il est recommandé de réaliser une analyse spectrale mixte (SMA – *Spectral mixture analysis*) qui permet d'estimer la proportion de végétation, de sol, de bruit, de bois, etc. dans chaque pixel et de créer des fractions de pixel. Chaque fraction de pixel peut permettre de détecter certaines classes d'objet en particulier (par exemple, la fraction de sol permettra de repérer les routes et les parcs à grumes). Un indice peut être construit à partir de ces infractions (NDFI – *Normalized difference fraction index*), variant entre +1 et -1, +1 étant la valeur attribuée aux forêts intactes. Ces traitements nécessitent un niveau d'expertise assez élevé.

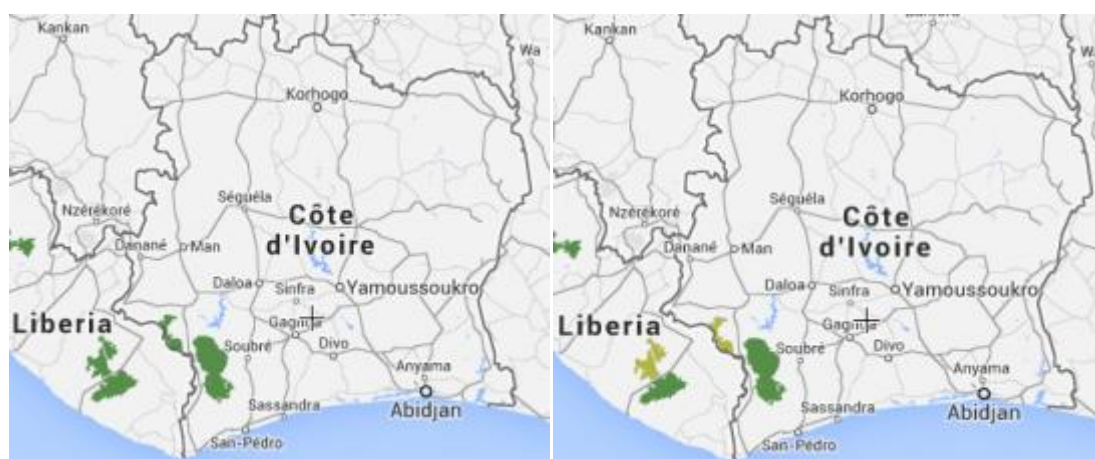
- Ces méthodes ont été développées, testées et validées au Brésil, et sont en cours d'adaptation ailleurs dans le monde.

Les méthodes indirectes

Elle repose sur la distinction entre forêts "intactes" et forêts "non-intactes", la dégradation étant définie comme une conversion de forêts "intactes" en forêts "non-intactes". Cette distinction est appliquée à chacun des types de végétation retenus dans la stratification forestière. Un stock de carbone est attribué à chacune de ces deux sous-catégories. La notion de forêt intacte est déterminée en fonction des circonstances nationales, et peut s'appuyer sur les suggestions suivantes:

- Une forêt intacte a une surface plus grande que 1 000 ha, une largeur minimale d'un kilomètre et délimitée par une zone tampon d'au moins un kilomètre.
- Elle contient une mosaïque continue d'écosystèmes naturels, n'est pas fragmentée (absence d'infrastructures humaines) et ne présente aucun signe de transformation humaine.
- Les zones brûlées et en régénération à proximité d'infrastructures sont exclues.

Ces critères peuvent être adaptés au niveau national. Par exemple, la surface minimale peut être réduite s'agissant d'écosystèmes de mangroves. Une cartographie a été réalisée à l'échelle mondiale pour l'année 2000 et est disponible en ligne⁶. Elle devrait être bientôt disponible pour l'année 2013. La figure ci-dessous présente les résultats obtenus pour la Côte d'Ivoire (en 2000). Sans surprise, la surface de forêts pouvant être considérées comme "intactes" est très faible.



A gauche, pour l'an 2000 ; à droite pour l'an 2013. En vert foncé, les forêts intactes, en vert clair, les forêts intactes disparues entre 2000 et 2008)

Figure 1: Cartographie des forêts intactes en Côte d'Ivoire (Potapov et al. 2008).

Conclusion sur les besoins de définition des forêts et sous-catégories de forêts pour la REDD+ en Côte d'Ivoire:

Pour résumer ce qui précède, en matière de définition des forêts pour la REDD+, on peut retenir les éléments suivants:

- Forêt vs. non-forêt: repose sur une définition de la forêt par seuils dendrométriques (hauteur, couvert forestier) et surfacique (surface minimale). La RCI a employé une telle définition dans son nouveau Code Forestier (Juillet 2014). La surface minimale choisie (0,1 ha) va poser des difficultés techniques en matière de suivi par télédétection, étant donné que les principales

⁶ <http://intactforests.org/world.map.html> - Potapov P., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. 2008. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecology and Society*, 13 (2)

structures techniques utilisent des images Landsat à moyenne résolution. Mais cette définition répond aux exigences de la CCNUCC en matière de définition des forêts pour la REDD+, et des données complémentaires peuvent être obtenues par inventaire statistiques dans les classes de superficies comprises entre 0,1 ha et l'unité minimale cartographiable considérée (voir **Encadré 1**).

- **Sous-types de forêts (stratification forestière):** repose en générale sur une stratification "écologique" (c'est-à dire, par grands types de formations forestières, pour lesquelles on dispose de données même parcellaires), utilisée principalement pour diminuer le niveau des incertitudes sur les estimations des facteurs d'émission. La plupart des acteurs consultés en RCI utilisent ce type de stratification, mais les définitions ne sont pas systématiquement harmonisées. Parmi les bonnes pratiques du GIEC, il est recommandé de s'appuyer sur la terminologie et les définitions de la FAO. Il est important de souligner ici que la classification de l'utilisation des terres utilisée par la FAO⁷ n'est pas basée sur une stratification écologique, mais sur l'application d'une série de critères structurels et physiologiques. Les forêts y sont principalement classées dans la catégorie "*Végétation naturelle et semi-naturelle*" (à l'exception des plantations forestières à vocation de production, qui sont classées dans les "*Zones terrestres cultivées et gérées*", et les mangroves qui seraient classées comme "*Végétation naturelle ou semi-naturelle régulièrement immergée*". Dans cette classification, les critères employés pour déterminer les sous-types de forêts sont la structure (arbres, arbustes, éventuellement herbacées), le degré de fermeture du couvert (fermé: plus de 60-70%, ouvert: entre 10-20% et 60-70% et éparse: entre 1% et 10-20%), la hauteur, la distribution spatiale (un type de végétation sera considéré comme fragmenté si les patches de végétation représentent entre 1/15 et 1/2 de l'unité minimale cartographiable), le type de feuilles et la phénologie, voire la présence de différentes strates (au sens de "sous-étage") de couvert forestier.
- **Forêt intacte vs. forêt perturbée:** essentiellement adoptée pour traiter la dégradation forestière de manière indirecte. C'est une définition assez large et qui nécessiterait d'être précisée pour refléter différents niveaux de dégradation forestière, si pertinent (voir approche HCS). En première approche, il est possible de faire une distinction entre "forêts intactes" et "forêts non-intactes" sur la base d'une interprétation nationale des critères y afférent. Le concept de "forêts fragmentées" utilisé dans la classification FAO pourrait être également utilisé, si tant est qu'il puisse faire l'objet d'un suivi.

Une proposition de stratification est présentée dans les conclusions de ce rapport.

Encadré n°1: Définition de forêt et unité minimale cartographiable – que dit le GIEC ?

Les bonnes pratiques du GIEC invitent à s'assurer de l'application cohérente des définitions des catégories de puits et source d'émissions de GES dans le temps. Cette recommandation s'applique naturellement à la définition de forêt. Or, dans le cas de la Côte d'Ivoire, nous avons souligné le fait que la définition adoptée posait des difficultés en matière de suivi. Comment contourner cette difficulté, tout en répondant à la fois aux exigences du GIEC et au souci de cohérence avec la législation nationale ?

Option 1: redéfinir la "forêt" en prenant en compte les limitations techniques actuelles

Le GIEC reconnaît qu'avec le temps, la définition de forêt peut changer. Il sera dès lors nécessaire de recalculer l'ensemble des émissions et absorptions de GES pour la série temporelle donnée, en fonction de la nouvelle définition de forêt. Dans les rapports nationaux d'inventaire de GES, ces modifications devront être notifiées, dans un souci de cohérence, de transparence, d'exhaustivité, de comparabilité et d'exactitude.

⁷ LCCS: Land cover classification system

L'exemple de la Côte d'Ivoire n'est pas un cas isolé: il est fréquent que la cartographie de l'affectation des terres soit plus grossière que les définitions utilisées, ce qui peut entraîner des confusions entre catégories (des petites superficies d'une catégorie d'affectation des terres pouvant être reportées dans une autre). Si au cours d'une série temporelle, ces petites superficies restent dans la même catégorie, alors elles pourront être notifiées dans cette catégorie. Si elles sont converties à une autre affectation des terres, et si l'identification en a été faite, elles devront être notifiées dans la conversion d'affectation des terres appropriée. Par exemple, si une petite superficie de terre forestière convertie en une autre affectation des terres a été identifiée sur le terrain, alors que cette même superficie était considérée précédemment comme une terre cultivée, les émissions de GES devront être comptabilisées dans la catégorie "conversion de terres forestières en autres terres".

Cette option implique de retenir une définition de la forêt plus large que la définition légale actuelle, mais n'étant pas en contradiction avec celle-ci. Le recalcul des émissions/absorptions de GES peut par ailleurs être une tâche très fastidieuse.

Option 2: compléter les analyses faites à partir d'images satellites avec des inventaires de terrain dans les classes de surface inférieures à l'unité minimale cartographiable

Les bonnes pratiques du GIEC (2003) recommandent de procéder à un inventaire statistique des conversions (boisement/reboisement ou déforestation) ayant lieu dans les classes de surface inférieures à la MMU, c'est à dire, pour lesquelles la télédétection ne permet pas d'observer les conversions précisément. Cet inventaire, à l'échelle nationale ou sous-nationale, consiste à établir l'histogramme des surfaces converties par classes de surfaces. On en déduit le pourcentage de conversion dans les classes de surfaces supérieures à la MMU (auxquelles on pourra faire correspondre des surfaces mesurées par télédétection) et celui dans les classes inférieures. Pour ces dernières, on pourra donc estimer les surfaces converties de manière statistique, mais on ne pourra pas en obtenir une répartition spatiale.

Bien que nécessitant un travail supplémentaire de collecte de données d'inventaire sur le terrain, cette seconde option permet d'assurer une cohérence nette entre la définition légale (Code Forestier) et les exigences CCNUCC.

2. Le standard RSPO et l'approche HCS "tripartite"

2.1. Définition et suivi des forêts dans le cadre du standard RSPO

Revue des principes, critères et indicateurs pour la production durable d'huile de palme (RSPO, 2013):

Pour être certifié RSPO, huit principes génériques sont à respecter: (i) transparence, (ii) respect des lois et règlements applicables, (iii) viabilité économique et financière à long terme, (iv) adoption de bonnes pratiques de la part des producteurs et transformateurs, (v) responsabilité environnementale, conservation des ressources naturelles et de la biodiversité, (vi) considération responsable des employés, individus et communautés concernés (vii) développement responsable des nouvelles plantations et (viii) amélioration continue dans les secteurs d'activités-clés.

Principe 7.3

Principe 7.3: "les plantations postérieures à 2005 n'ont remplacé ni des zones de forêts primaires, ni des zones nécessaires au maintien ou à l'amélioration d'une ou plusieurs haute(s) valeur(s) de conservation":

- Indicateur 7.3.1: Des preuves doivent être fournies. Ces preuves incluent des données de télédétection historiques (photos aériennes, images satellites, carte d'occupation des sols, carte de végétation...).

- Indicateur 7.3.2: Avant toute nouvelle conversion ou plantation, il est nécessaire de réaliser une analyse du changement d'affectation des terres pour déterminer les changements de couverture végétale depuis Novembre 2005. Cette analyse doit notamment permettre d'indiquer tout changement de statut dans les valeurs de haute conservation (*changes to HCV status*), en utilisant des proxies.

Définitions-clés: Haute valeur de conservation et Forêts primaires

Forêts primaires

La définition retenue la suivante: "une forêt primaire est une forêt qui n'a jamais été exploitée [*logged*] et s'est développée en suivant des perturbations naturelles selon des processus naturels, quel que soit son âge. Sont incluses les forêts utilisées sans dommages [*inconsequentially*] par les communautés indigènes et locales vivant selon des modes de vie traditionnels en adéquation avec la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité. Le couvert actuel est proche de la composition spécifique naturelle et est principalement issu de régénération naturelle".

Peu de forêts répondent à cette définition en Côte d'Ivoire, où les forêts ont fait l'objet d'une exploitation intense dans les décennies passées:

- En dehors des zones de conservation (Parcs nationaux, Réserves de faune, Réserves intégrales...) il est très difficile de trouver des forêts pouvant être qualifiées de "primaires". La plupart des forêts naturelles en Côte d'Ivoire (par opposition aux plantations forestières) encore sur pied à l'heure actuelle sont des forêts secondaires qui ont été exploitées plus ou moins récemment pour les besoins de la production de bois d'œuvre ou du bois de chauffage et qui présentent un état de dégradation plus ou moins avancé ;
- Dans certaines zones de conservation (PN Banco, RI Mont Nimba, PN Taï... la liste est restreinte!) on peut encore trouver des zones de forêts dont l'état de conservation est jugé moyen à bon (SOFRECO, 2009), mais restant néanmoins sous pression dans leur périphérie (infiltrations agricoles, braconnage, exploitation illégale du bois, etc.).
- La notion de forêts primaires paraît donc peu adaptée au contexte ivoirien. Celle de HCV, bien qu'assez subjective, semble plus opérationnelle (on peut également s'interroger sur la nécessité de faire référence aux forêts primaires lorsque la notion d'HCV peut inclure *de facto* les forêts primaires).

Haute valeur de conservation

Le concept de Haute valeur de conservation (ou High Conservation Values - HCV) tire son existence du standard de certification FSC dans la perspective d'identifier les forêts importantes sur les plans socio-économiques et environnementaux. Il existe 6 "Hautes valeurs conservation".

- La diversité spécifique (HCV1): biodiversité incluant les espèces endémiques, rares, menacées ou en danger d'extinction en concentration significative à l'échelle globale, régionale ou nationale (incluant les aires protégées et les zones de concentration saisonnière d'espèces);
- La présence d'écosystèmes et de mosaïques d'écosystèmes à l'échelle du paysage, en concentration significative à l'échelle globale, régionale ou nationale, contenant des populations viables et en grande majorité d'espèces apparaissant naturellement selon des patterns de distribution et d'abondance naturels (HCV2);
- La présence d'écosystèmes, habitats et refuges, rares, menacés ou en danger d'extinction (HCV3);
- Services écosystémiques critiques (HCV4): fourniture de services "basiques" en situation critique, incluant la protection de l'eau, le contrôle de l'érosion des sols et pentes vulnérables. A noter que le stockage de carbone n'est pas considéré comme un service "HCV4" car il ne correspond pas à l'interprétation des "situations critiques", étant donné que tous les types de végétation

contiennent du carbone. Pour l'heure, la question du carbone est traitée de manière spécifique dans le critère 7.8 du RSPO (voir ci-dessous);

- Besoin des communautés (HCV5): sites et ressources fondamentales pour satisfaire les besoins de base des communautés locales ou peuples indigènes (moyens de subsistance, santé, nutrition, eau, etc.) identifiés à travers l'engagement des communautés ou peuples autochtones;
- Valeurs culturelles (HCV6): sites, ressources, habitats et paysages à signification culturelle, archéologique ou historique, et d'importance culturelle, écologique, économique, religieuse ou sacrée critique pour les traditions locales.

Une zone à haute valeur de conservation possède une ou plusieurs de ces valeurs.

Cette définition est donc assez large et qualitative, ce qui laisse beaucoup de place à l'interprétation subjective. Une *interprétation nationale* de la notion d'HCV est donc nécessaire afin de la rendre plus consistante et opérationnelle vis-à-vis des réalités du pays (la constitution des forêts et leur usage n'étant pas les mêmes en Indonésie qu'en Côte d'Ivoire par exemple).

L'interprétation nationale a pour objectif d'élaborer des critères mesurables sur le terrain, pour les catégories de HCV les plus importantes, à travers un processus participatif, en vue de constituer des lignes directrices nationales. Dans la pratique, cet exercice peut être difficile dans un pays disposant de données parcellaires. Par exemple, il peut être difficile de déterminer des seuils d'importance HCV pour la concentration d'espèces pour lesquelles on ne dispose que de peu de données ou de connaissances fragmentaires. Ce paramètre sera souvent renseigné après consultation d'experts et de parties-prenantes, ce qui n'en retire pas moins la subjectivité. De même, la naturalité de la distribution et de l'abondance des écosystèmes et mosaïques d'écosystèmes peut être sujette à large interprétation et est souvent renseignée par consensus entre experts et parties-prenantes. En revanche, certains critères comme la présence d'aires protégées, de zones à fortes pentes ou en bordure de cours d'eau et donc sensibles à l'érosion, de sites remarquables (archéologiques, historiques, religieux, etc.), peuvent être traités objectivement.

Principe 7.8

Principe 7.8: " *Le développement de nouvelles plantations fait en sorte de minimiser les émissions de gaz à effet de serre*".

- Indicateur 7.8.1: les stocks de carbone dans les aires de développement de nouvelles plantations et les potentielles sources majeures d'émissions qui résulteraient directement de ce développement sont identifiés et estimés.
- Indicateur 7.8.2: il doit exister un plan pour minimiser les émissions nettes de GES qui tient compte du potentiel d'évitement de certaines zones d'occupation des terres et/ou des possibilités de séquestration. En particulier, le RSPO encourage les producteurs à planter sur des sols minéraux, dans des zones à faibles stocks de carbone ou sur des zones déjà cultivées. Les définitions de "zone à faible/fort stock de carbone" sont sujettes à interprétation nationale, de même que les éventuelles exigences en matière de réduction d'émissions.

On notera toutefois que le RSPO indique en préambule du principe 7.8 que "*il est reconnu que les émissions ne peuvent pas être projetées avec précision compte tenu des connaissances et méthodologies actuelles*". Ceci est discutable quand on considère toute la littérature existante sur le sujet, notamment celle développée par le GIEC. Il est par contre certain que ces méthodologies ne sont pas nécessairement à la portée de tous les producteurs d'huile de palme, compte tenu du niveau d'expertise requis et des moyens nécessaires pour réaliser une évaluation précise.

Il faut noter que le critère 5.6, non développé ici, impose d'élargir le périmètre de prise en compte des émissions de GES. Celui-ci inclue donc non seulement les aspects liés au changement d'occupation des terres, mais également les opérations de transformation de la noix de palme et la création d'infrastructures. Les émissions de GES sont déterminées pour l'ensemble du cycle de rotation

culturelle (par défaut, 25 ans) en prenant compte les émissions dues au défrichement, à la production et à la transformation de noix de palme, mais également les absorptions dues à la séquestration dans les zones de conservation et les plantations de palmiers ainsi que les émissions évitées dues aux éventuels dispositifs de captation de méthane (ou autre sources d'émissions évitées). Le reporting des émissions de GES est volontaire jusqu'au 31 décembre 2016, après quoi il sera rendu obligatoire. En attendant, un groupe de travail dédié du RSPO (RSPO GHG WG2) sera chargé de préciser et améliorer les outils disponibles (facteurs d'émission, méthodologies, etc.).

En ce qui concerne les émissions de GES liées au changement d'occupation des terres, le RSPO a donc produit un outil d'évaluation des émissions de GES pour les nouvelles plantations. Cet outil est associé à un second outil d'évaluation des émissions sur l'ensemble du périmètre de production et de transformation de l'huile de palme (le second outil s'appelle "GHGPalm"). Nous présentons ci-dessous une synthèse des exigences RSPO concernant cette évaluation. Notons également que le RSPO reconnaît l'existence d'autres outils pour évaluer les émissions de GES liées au développement de nouvelles plantations, et autorise l'emploi de ces outils sous réserve que ceux-ci soient reconnus par le RSPO.

L'objectif du RSPO *carbon assessment tool* est de fournir une méthodologie d'évaluation des stocks de biomasse aérienne et souterraine, en vue notamment d'identifier les zones à forte teneur en carbone (*High carbon stock areas*, ou zones HCS). La méthodologie s'inspire donc de l'approche HCS que nous présenterons plus loin dans cette étude.

Le RSPO recommande de réaliser une stratification de la couverture terrestre par télédétection suivie d'un échantillonnage pour réaliser la vérité terrain (l'équivalent d'une approche de niveau 3 pour déterminer les changements d'occupation des sols). Le choix est ensuite laissé au producteur, entre l'utilisation de facteurs d'émission par défaut (Tier 1) et la production de facteurs d'émission issus de données de terrain et de modélisation (Tier 2 et 3), bien que cette seconde option soit encouragée. La stratification s'appuie en particulier sur des catégories pré-définies de couverture terrestre et qui sont définies par des seuils minimum de stocks de carbone (voir tableau ci-dessous). Ces seuils de stock de carbone doivent faire l'objet d'une interprétation nationale (voir [section 4.4](#)).

Table 3: Land Cover Classifications in the Current Version of PalmGHG and Default Carbon Stock Values

Land Cover	Default Carbon Stock Value (tC/ha) ¹
Undisturbed forest	268
Disturbed forest	128
Shrubland	46
Grassland	5
Tree crops	75
Oil palm ²	-50
Annual/Food crops	8.5

Notes:

¹ Carbon density values are for above-ground and below-ground (root) biomass

² Calculated with OPRODSIM and OPCABSIM models (Henson, 2005, 2009). Depends on the cycle length and growth type (vigorous or average)

Tableau 3: Stocks de carbone par défaut dans les classes de végétation utilisées dans l'approche HCS en Indonésie (Source: RSPO, 2014)

Dans cette stratification, les forêts sont divisées en deux sous-strates seulement: forêts non perturbées et forêts perturbées. Bien que cette définition ait l'avantage d'être visuelle et opérationnelle, elle reste grandement imprécise. Ces seuils de stocks de carbone sont adaptés pour les forêts indo-malaisiennes et ne doivent pas être retenus pour la Côte d'Ivoire. Les données sur les stocks de carbone par ha (tC/ha) sont ensuite utilisées dans l'outil GHG Palm qui évalue l'ensemble des émissions liées au processus de production d'huile de palme. On retient également que les différentes strates et valeurs par défaut sont régulièrement mises à jour par le RSPO sur la base d'une

revue de la littérature existante dans le domaine, et en tenant compte de l'évolution des techniques de télédétection.

Le RSPO définit les "zones à faibles stocks de carbone" comme des zones où la perte de carbone stocké dans la biomasse aérienne et souterraine est inférieure ou égale aux gains de stockage de carbone réalisés dans les nouvelles plantations ainsi que dans les zones non-plantées adjacentes (conservation des stocks de carbone) au cours d'une rotation de palmier à huile. L'interprétation nationale du critère 7.8 devrait donc se baser à la fois sur la connaissance des stocks (tC/ha) et des accroissements biologiques (tC/ha/an) des différents types d'occupation des terres, incluant le stockage en plantations de palmier à huile. En outre, le RSPO introduit la possibilité de fixer des seuils de réduction d'émissions, mais ceci n'apparaît à ce jour dans aucune des interprétations nationales du standard⁸, étant donné que la plupart ont été réalisées avant l'introduction récente de ce nouveau critère 7.8.

Enfin, on note que les producteurs de palme sont les principaux utilisateurs de cet outil produit par le groupe de travail GES WG2 du RSPO. Ils doivent eux-mêmes assumer les coûts d'une telle évaluation des changements d'occupation des terres et des émissions de GES associées.

L'interprétation nationale du standard RSPO en Côte d'Ivoire:

Le processus d'interprétation nationale du RSPO a débuté officiellement en Juillet 2014 et se poursuivra sur une durée de deux ans. Après une phase de revue légale, des groupes thématiques seront constitués de façon à élaborer des indicateurs de suivi adaptés au contexte ivoirien. Ensuite, les indicateurs seront testés sur le terrain et les retours d'expérience permettront de finaliser l'interprétation nationale. Celle-ci s'appuiera en particulier sur l'exemple de l'interprétation individuelle du RSPO réalisée par la société AGRIVAR, seule compagnie ivoirienne actuellement certifiée, mais aussi sur l'exemple des voisins ghanéens et libériens.

Sur la définition des zones HCV (incluant les forêts), une interprétation nationale du concept n'est pas un pré-requis pour l'interprétation nationale du RSPO. Celui-ci peut s'appuyer sur les lignes directrices internationales du RSPO en matière de HCV. En la matière, aucun besoin précis n'a été cité.

Le partage des images interprétées pour certaines dates et certaines zones précises du pays (concessions) pourrait être une demande précise de la part des producteurs en vue de leur certification RSPO. Ces derniers n'ont a priori aucune idée de la façon dont acquérir des images et les interpréter.

Plusieurs commissions techniques vont se mettre en place courant Octobre 2014 pour débiter les travaux sur l'interprétation nationale. A ce stade, il était encore un peu tôt pour obtenir des recommandations concrètes de la part des parties-prenantes du processus. Afin d'appuyer les réflexions de ces commissions techniques, une note abordant les recommandations pratiques en matière de définition et de suivi des forêts sera toutefois produite courant Octobre 2014.

Les résultats produits dans le cadre de l'étude sur la définition et le suivi des forêts permettront donc d'alimenter le processus d'interprétation nationale. Une note technique présentant les principales recommandations de l'étude à destination du groupe de travail RSPO sera produite à cet effet, dans un langage accessible à tous, et volontairement non technocratique.

Cette note pourrait notamment aborder les points suivants:

- Des éléments du nouveau Code Forestier qui pourraient être pris en compte dans le cadre de la revue légale (nouvelle définition de forêt, caractérisation du déboisement/défrichement, absence de définition de "forêt primaire", etc.);

⁸ Colombie, Papouasie Nouvelle Guinée, Thaïlande, Malaisie, Indonésie. Excepté le Ghana (interprétation nationale en 2014), mais le critère 7.8 ne fait pas l'objet d'une interprétation précise.

- Les résultats des analyses cartographiques menées conjointement avec le JRC sur l'analyse de l'évolution du couvert forestier dans un contexte de transition forêt vs. palmeraies villageoises, afin de mettre en évidence l'importance de la résolution des images sur la précision et les coûts du suivi ;
- Des recommandations pratiques en matière d'indicateurs de suivi pour le principe 7.3 et le principe 7.8, notamment en matière de suivi par télédétection et de l'analyse des niveaux de dégradation (approche HCS recommandée par le RSPO).

A noter que le processus d'interprétation nationale est prévu sur deux ans, avec des phases pilotes. La CN-REDD pourrait donc jouer un rôle récurrent dans ce processus, en fonction des évolutions qui auront lieu en parallèle sur le chantier MRV REDD+.

2.2. Définition et suivi des forêts dans l'approche HCS "tripartite"

L'approche HCS a été conçue comme une approche pragmatique, adaptée aux entreprises engagées pour limiter l'impact de leurs activités en termes de déforestation. Elle permet à ces entreprises de limiter leurs émissions de GES en prenant également en compte les bonnes pratiques liées à la conservation de la biodiversité (en particulier des forêts naturelles, en posant comme hypothèse que les forêts bien conservées présentent des stocks de carbone plus élevés que les forêts moins bien conservées), avec une approche simple et à coût modéré. Elle repose sur l'identification des terres dégradées, à faibles stocks de carbone, sur lesquelles il est possible de développer de nouvelles plantations de palmiers à huile. Les forêts naturelles, présentant des stocks de carbone plus élevés, doivent au contraire être protégées.

La première étape de la méthodologie consiste à distinguer les forêts dites "HCS" des terres dégradées à partir de l'évaluation des stocks de carbone aérien moyen. La seconde étape vise à recommander quelques bonnes pratiques de conservation de la biodiversité et clauses de sauvegardes socio-économiques devant être adoptées vis-à-vis des communautés.

L'approche HCS repose ainsi sur la distinction entre forêts (au sens "HCS": on les dénommera "forêts HCS" dans ce qui suit) et terres dégradées. Les premiers travaux ont été effectués en Indonésie sur l'île de Kalimantan (Golden Agri-Resources and SMART, 2012). La distinction forêt naturelle / terres dégradées a été réalisée à travers l'analyse d'images satellites (Landsat à 30m, SPOT-4 à 20m et SPOT-5 à 10m) combinée à des mesures dendrométriques effectuées sur le terrain pour estimer les stocks de carbone aérien. Six classes (ou strates) ont été déterminées comme suit:

- Forêts HCS: correspond aux classes "forêt dense" (192 tC/ha), "forêt moyennement dense" (166 tC/ha), "forêt faiblement dense" (107 tC/ha) et "formations arbustives anciennes" (*old scrub* – qui sont plutôt des forêts secondaires jeunes présentant des patches de forêts un peu plus anciennes, 60 tC/ha). Elles présentent un stock de carbone aérien moyen supérieur à 35 tC/ha.
- Terres dégradées: correspond aux classes "formations arbustives récentes" (*young scrub* – qui sont plutôt des terres récemment défrichées avec une couverture herbacée et quelques arbres en régénération, 27 tC/ha) et "terres ouvertes/défrichées" (17 tC/ha). Elles présentent un stock de carbone aérien moyen inférieur à 35 tC/ha.

Un stock de carbone aérien moyen est donc attribué à chacune des classes. Il est estimé à partir d'inventaires par échantillonnage réalisés, pour chaque strate, dans la population d'arbres de classes de diamètre supérieur ou égal à 5 cm⁹. Les estimations de stock de carbone aérien sont obtenues en

⁹ Taille des placettes: 20 m x 20 m (inventaire des arbres de diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 20cm) avec une sous-placette de 10 m x 10 m (inventaire des arbres de d_{HP} compris entre 5 et 20 cm et de hauteur supérieure à 2 mètres). Entre 15 et 25 placettes par strates.

utilisant une équation allométrique à une entrée (la variable en entrée étant le diamètre à hauteur de poitrine, et la variable en sortie étant la quantité de biomasse correspondante) et spécifique aux forêts sud-est asiatiques. Des valeurs par défaut sont utilisées pour les autres variables, telles que la masse volumique du bois ou le ratio carbone / masse sèche, afin de simplifier au maximum la méthodologie. Le résultat est donc une sous-estimation des stocks de carbone aérien, mais suffisante compte tenu de l'utilisation qui est en faite, puisqu'il ne s'agit pas de mesurer précisément les émissions/absorptions de GES dues à la conversion des terres forestières. Ne pas mesurer les arbres de diamètre inférieur à 5 cm représente un gain de temps conséquent, et une perte de précision acceptable dans cette approche.

Le taux moyen de 35 tC/ha utilisé pour séparer les forêts HCS des terres dégradées est certes empirique, mais appuyé par plusieurs constats. D'abord, plusieurs études semblent indiquer que pour éviter de générer une dette en carbone, les conversions doivent se faire seulement à partir de formations arbustives et prairies présentant un stock de carbone aérien inférieur à 40 tC/ha (cité dans Golden Agri-Resources and SMART, 2012). Ensuite, d'après le groupe de travail du RSPO sur les GES (cité dans Golden Agri-Resources and SMART, 2012), une plantation de palmiers à huile stockerait en moyenne 35,3 tC/ha au cours d'une rotation de 25 ans.

Ce seuil de 35 tC/ha n'est valable que pour les forêts indonésiennes similaires à celles de l'île de Kalimantan. Il doit être nécessairement comparé à un stock de carbone aérien estimé dans les mêmes conditions, c'est-à-dire, à partir de résultats d'inventaires sur des arbres de diamètre supérieurs à 5 cm. Dans le cas contraire (inventaire de tous les arbres, y compris ceux dont le diamètre est inférieur à 5 cm), l'utilisation de ce taux moyen fausserait la stratification.

Bien que ces stocks moyens varient d'un pays à l'autre¹⁰, il est recommandé de conserver cette stratification en six classes en zone tropicale pour conserver un bon ratio coût-précision (seize strates avaient déterminées initialement par classification non-supervisée, mais cette stratification ne répondait pas au besoin initial qui était d'identifier "simplement et à coût modéré" les forêts à préserver et les terres susceptibles d'être reboisées). Les travaux menés sur l'île de Kalimantan ont montré qu'il était possible de fusionner les strates "forêt dense" et "forêt moyennement dense" car celles-ci présentaient des différences de stock moyen statistiquement non significatives. Il serait également possible de fusionner les strates "formations arbustives récentes" et "terres ouvertes/défrichées" pour les mêmes raisons (pas de différence statistique significative). Les différences de stock moyen entre "forêt faiblement dense", "formations arbustives anciennes" et "formations arbustives récentes" sont en revanche statistiquement significatives, ce qui signifie qu'il est possible de distinguer les "forêts HCS" des "terres dégradées" de manière satisfaisante avec la méthode employée.

En effet, dans le cas de l'île de Kalimantan, la distinction forêt HCS / terres dégradées s'opère entre la classe "formations arbustives anciennes" et "formations arbustives récentes". Les classes de diamètre inférieur à 20 cm sont bien représentées dans ces deux classes, mais la classe "formations arbustives anciennes" présente davantage de bois de diamètre supérieurs, ce qui permet de penser que ces formations sont susceptibles d'atteindre une structure forestière à terme (en comparaison de leur structure arbustive actuelle) et donc dispose d'une capacité de régénération des stocks de carbone. A la différence des "formations arbustives récentes" qui sont des zones défrichées présentant une composante herbacée beaucoup plus importante.

La seconde étape de la méthodologie, une fois les forêts "HCS" cartographiées, consiste à analyser et trier les morceaux de forêts en fonction de leur taille, leur forme, leur connectivité, la qualité de leurs habitats (etc.) dans le but de s'assurer qu'ils ont bien les capacités de retourner à l'état de forêt écologiquement viables. Du point de vue social, sont analysés les usages actuels et futurs des terres

¹⁰ A titre de comparaison seulement, les valeurs par défaut de stocks de biomasse aérienne (matière sèche) en forêt dense humide d'après le GIEC indiquent 310 tms/ha pour l'Afrique contre 348 tms/ha pour l'Asie en zone insulaire.

ainsi que leurs statuts légaux, ainsi que les dispositions prises en matière de consentement libre, informé préalable. Par ailleurs, sont analysés les impacts potentiels des plantations de palmiers à huile sur les forêts HCS ainsi que les dispositions prises en matière de monitoring de ces impacts.

A noter:

Initialement, le taux de couverture forestière avait été considéré comme un proxy potentiel pour estimer les stocks de carbone moyen. Mais plusieurs difficultés ont conduit à l'écartier. Il est d'une part difficile d'estimer le taux de couverture forestière sur une mosaïque de terres très dégradées, étant donné la richesse des objets à interpréter (par exemple, s'il y a 10% de forêts, c'est qu'il y a 90% d'autre chose, pouvant notamment ressembler à de la forêt... il y a une multitude de signatures spectrales qui peuvent se ressembler, donc leur analyse est plus complexe). D'autre part, il est difficile de séparer la forêt "naturelle" des autres types de couverts arborés. De plus, le taux de couverture forestière ne permet pas de prendre en compte les zones de forêts en régénération qui peuvent présenter d'importants stocks de carbone sans pour autant présenter un couvert fermé.

2.3. Conclusions

RSPO

Comme indiqué ci-dessus, il semble que la notion de forêts primaires ne soit pas vraiment pertinente dans le cas de la Côte d'Ivoire et que les réflexions techniques pourraient avantageusement être concentrées sur la notion d'HCV.

Il n'y a pas de recommandations précises sur les méthodologies et techniques à employer pour identifier les zones HCV, mais en analysant les exigences de reporting (RSPO, 2012), on relève tout de même quelques éléments inspirateurs:

- Les évaluations HCV fournissent une information vérifiable en tout temps par un auditeur indépendant pour évaluer la crédibilité de l'évaluation ;
- Les données utilisées sont suffisamment détaillées, complètes et récentes pour prendre des décisions informées ;
- Le principe de précaution est appliqué de manière appropriée ;
- Il y a une bonne compréhension de la précision spatiale des données, les cartes sont présentées avec une résolution suffisante pour être interprétées,

Un système de suivi des forêts répondant aux exigences CCNUCC devrait donc répondre aux exigences RSPO du point de vue de la qualité et du contrôle des résultats.

Il est important de noter que la notion de HCV inclue les écosystèmes forestiers mais inclue également tout type de végétation potentiellement affectée par un nouveau projet de plantation, pour peu qu'une ou plusieurs valeurs de conservation y soit associée (exemple: zones humides vs. protection de l'eau, prairies vs. couloir de migration saisonnier, etc.). Les évaluations HCV (*HCV assessment*) prendront donc non seulement en compte les forêts, mais également tous les autres types d'écosystèmes présentant une ou plusieurs valeurs HCV. Par ailleurs, il peut être nécessaire de réaliser des enquêtes socio-économiques pour déterminer si l'usage des forêts est fondamental pour certaines communautés locales ou peuples autochtones, ce qui ajoute une dimension de collecte de données supplémentaire (nécessaire également dans le cadre des projets REDD+, mais pas nécessaire pour évaluer les absorptions/émissions de GES). Les travaux cartographiques ne se limitent donc pas seulement à l'élaboration d'une carte forêt vs. non forêt mais demandent de cartographier certaines caractéristiques écologiques ou usage d'écosystèmes terrestres, forestiers ou non.

On remarque également que le suivi des changements d'affectation des terres n'est pas nécessaire avant 2005 dans le cadre du RSPO. Or, pour élaborer un niveau de référence pour les forêts dans le

cadre de la REDD+, on remonte en général aux années 1990 et antérieures. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, l'essentiel de la déforestation est bien antérieure à l'an 2005, et ne serait donc pas prise en compte dans la labellisation RSPO.

Les méthodes recommandées pour réaliser l'évaluation et le suivi des émissions de GES pour de nouvelles plantations s'inspirent en partie des travaux du GIEC. Le RSPO recommande de réaliser une stratification de la couverture terrestre par télédétection suivie d'un échantillonnage pour réaliser la vérité terrain (l'équivalent d'une approche de niveau 3 pour déterminer les changements d'occupation des sols). Le choix est ensuite laissé au producteur, entre l'utilisation de facteurs d'émission par défaut (Tier 1) et la production de facteurs d'émission issus de données de terrain et de modélisation (Tier 2 et 3), bien que cette seconde option soit encouragée. Des réflexions supplémentaires devraient pour autant être menées pour déterminer les différentes strates forestières pertinentes dans le cadre de la RCI, les strates actuelles étant inspirées des forêts indo-malaisiennes et étant de ce fait peu à-propos.

HCS

Les méthodes recommandées par le RSPO s'inspirent fortement de l'approche HCS (recours à la télédétection pour stratifier les catégories d'occupation des terres et aux inventaires par échantillonnage pour évaluer les stocks de carbone), bien que cette dernière se limite à évaluer partiellement les stocks de carbone aérien moyens de chacune des 6 strates d'occupation des terres.

La définition de forêt procède du regroupement de strates d'occupation des terres dont la teneur en carbone est supérieure à un seuil fixé (35 tC/ha dans le cas des forêts de l'île de Kalimantan). L'hypothèse de travail correspondante est que le stock de carbone aérien, même sous-estimé, est un bon proxy pour évaluer les capacités d'un écosystème à atteindre un état de forêt "écologiquement viable" dans le futur (et *in fine*, à régénérer d'importants stocks de carbone forestier). C'est aussi un bon proxy de la biodiversité potentielle. On peut simplement faire deux remarques:

- N'interviennent pas les critères dendrométriques classiques, tels que la superficie minimale, le taux de couvert forestier minimal et la hauteur des arbres, ce qui "simplifie" la méthodologie.
- Cela dit, la capacité d'un écosystème forestier à reconstituer des stocks de carbone élevés dans le temps n'est pas un critère simple à mesurer. Il faut disposer de série de données sur l'évolution temporelle des stocks de carbone pour une strate donnée, ce qui n'est pas toujours le cas.
- Par ailleurs, la corrélation entre renouvellement de la biodiversité et des stocks de carbone dans les forêts secondaires doit être prise avec précaution (les stocks de carbone ont tendance à se reconstituer plus rapidement que la biodiversité, qui peut très bien ne pas atteindre son niveau d'avant déforestation (IUFRO, 2012).

Bien qu'il soit recommandé de conserver ce découpage en 6 strates, le seuil qui sépare les forêts HCS des terres dégradées varie d'un pays à l'autre. Le découpage a lieu entre les strates "*formations arbustives anciennes*" (forêts secondaires jeunes présentant des patches de forêts un peu plus anciennes, ayant donc un potentiel de régénération des stocks de carbone élevé) et "*formations arbustives récentes*" (terres récemment défrichées avec une couverture herbacée et quelques arbres en régénération, ayant donc un potentiel de régénération des stocks de carbone limité). Les différences de valeurs moyennes des stocks de carbone aérien entre de ces deux strates doivent être statistiquement significatifs, sans quoi la distinction ne pourrait être réalisée correctement. L'effort de collecte des données doit donc surtout se concentrer sur ces strates "intermédiaires". Alors que dans une démarche "REDD+" *stricto sensu*, l'effort est plutôt orienté de façon à réduire les incertitudes sur les estimations des stocks de carbone de chaque classe. Le seuil proposé devrait être proche du stock de carbone moyen qu'atteindrait une plantation de palmier à huile à maturité (ie. au cours d'une rotation). Ceci permettrait de réaliser des gains en matière de séquestration de carbone dans les plantations de palmier à huile. Il faut cependant modérer cette observation et garder en tête qu'une forêt HCS représente également un potentiel de stockage de carbone élevé, à la différence des terres dégradées.

3. Revue des expériences pertinentes en matière de monitoring

3.1. Historique des changements de couvert forestier: quels coûts ?

Cette partie est basée sur le document: *Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gas emissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks – Technical paper* (CCNUCC, 2009).

Le coût de développement d'un système MRV dépend largement des circonstances nationales. S'agissant plus spécifiquement du suivi des changements de couvert forestier, les principaux facteurs à considérer sont les capacités nationales et la disponibilité des données (la taille du pays impacte également les coûts de développement).

- *Capacités nationales*: le pays doit démontrer des capacités renforcées en matière de révision, consolidation et intégration d'informations (gestion de base de données nationale), mais aussi en matière de compréhension des facteurs de déforestation et des pratiques de gestion. Le pays doit disposer de l'expertise, des méthodes et des ressources humaines suffisantes pour collecter, traiter et interpréter des données de télédétection multi-dates. Les experts doivent pouvoir réagir vis-à-vis des défis techniques imposés par l'exercice (traitement des nuages, données manquantes, etc.). De plus, les experts doivent être capables d'évaluer le niveau d'incertitudes associé à leurs estimations, et faire preuve de transparence dans leurs analyses. Enfin, ceux-ci doivent maîtriser les bonnes pratiques du GIEC dans le domaine AFAT.
- *Disponibilité des données*: images satellites et photographies aériennes (historiques et actuelles), cartes de la couverture forestière et autres thématiques (affectation des forêts, infrastructures, etc.), de manière à permettre la constitution de statistiques nationales sur la déforestation (ou la reforestation le cas échéant).

A titre d'exemple, une revue de 4 R-PP voisins ou proches de la Côte d'Ivoire en terme de biomes a permis d'évaluer entre 0,27 et 4,93 USD/km² en moyenne les coûts nécessaires pour élaborer un historique et suivre les changements dans le couvert forestier, pendant la période de mise en œuvre des R-PP correspondants:

Pays	Définition forêt (R-PP)	Méthode retenue pour élaborer l'historique de changements dans le couvert forestier	Coûts totaux (et coûts au km ²)
Nigeria (version révisée de juin 2014)	Pas de définition claire. Stratification écologique par classes de formations forestières et par niveau de dégradation (intact/exploité/...). Adapté à la disponibilité de données historiques sur les changements d'occupation des terres.	Cartographie wall-to-wall à partir des cartes de végétation à l'échelle nationale (1976 et 1996) moyennant conversion des classes de formations forestières en "équivalent IPCC" (écozones de référence) + vérité terrain	580 000 USD soit 0,63 USD/km ² *impossible de distinguer le budget "variables d'activités" du budget "facteurs d'émission"
Liberia (version révisée d'avril 2012)	Couvert >30% (pour éviter que les jachères soient considérées comme des forêts), H > 5 mètres, surface > 1 ha (plus précis qu'à 0,05 ha car moins de confusions entre forêts secondaires et	Cartographie wall-to-wall à partir d'images Landsat (1990-2000). Résolution adaptée au seuil de 30% de couvert forestier (qui plus est, pas besoin de décrire les catégories non forestières) +	30 000 USD Soit 0,27 USD/km ² Budget "variable d'activités" seulement.

Pays	Définition forêt (R-PP)	Méthode retenue pour élaborer l'historique de changements dans le couvert forestier	Coûts totaux (et coûts au km ²)
	jachères). Adaptée aux forêts denses humides qui représentent les stocks majeurs de carbone du pays.	vérité terrain	Définition de "forêt" déjà finalisée, il ne reste que les traitements d'images à réaliser.
Ghana (version de décembre 2010)	Stratification écologique par types de formations utilisées à l'échelle nationale (forêts denses, transition forêt/savane, savanes). Couvert > 15% pour prendre en compte les forêts des zones forêts/savanes et savanes, et pour anticiper sur l'utilisation d'images à moyenne résolution, tout en maximisant la déforestation vs. dégradation (compromis coût/précision/maximisation bénéfices REDD+)	Cartographie wall-to-wall à partir d'images Landsat + vérité terrain (images HR ou photos aériennes / visites de terrain). Travaux à mener sur les classes de forêts dégradées.	490 000 USD soit 2 USD/km ²
Togo (version de novembre 2013)	Stratification écologique par types de formations utilisées à l'échelle nationales (5 écorégions). Définition de forêt à préciser, notamment au niveau de chaque écorégion.	Cartographie wall-to-wall à partir d'images moyenne résolution (10-30 m, ex.: Landsat) et haute résolution pour vérité terrain.	280 000 USD soit 4.93 USD/km ²

Tableau 4: Caractéristiques de l'élaboration de l'historique des changements dans le couvert forestier pour 4 pays d'Afrique de l'Ouest participants au FCPF.

Pour la Côte d'Ivoire, on estime les coûts d'élaboration d'un historique des changements de couvert forestier ainsi que les coûts de suivi sur 10 ans entre 2,7 et 5,9 M USD (soit 8,5 à 18,6 USD/km² sur 10 ans) à partir des indications suivantes (voir **Annexe 1**):

- Coût d'accès aux données de télédétection et prétraitement:
 - Images faible résolution (gratuit) pour identification des points chauds de déforestation
 - Images moyenne résolution (gratuit à 0.7 USD/km²) pour réaliser les traitements sur les points chauds de déforestation, soit 0 à 451 000 USD pour la Côte d'Ivoire si on estime que 100% du pays doit être traité. Des accords peuvent être passés pour obtenir des données gratuitement (cf. SEAS Gabon).
- Équipement technique, bureautique: 120 000 à 150 000 USD (CCNUCC, 2009).
- Coût de l'expertise nécessaire pour la production en phase de préparation: 660 000 USD (basé sur une équipe de 3*36 Homme-mois de techniciens et 36 Homme-mois de cadre) à 1,03 M USD (on ajoute 1 technicien spécialisé sur les aspects liés à la dégradation forestière et on multiplie par 3 les coûts d'encadrement en première année).

- Coût d'accès aux données de télédétection à haute résolution pour estimer les incertitudes sur les résultats, le cas échéant: 0 à 83 800 USD (hypothèse: analyse réalisée sur un échantillon de 10% du territoire national avec des images Rapideye à 1,3 USD/km²).
- Coût de l'expertise liée à l'estimation des incertitudes sur les résultats, le cas échéant: 100 000 USD (un technicien spécialisé en GIS, statistiques et traitement d'images HR, pendant 36-Homme-mois).
- Coût de l'expertise nécessaire pour la production en phase opérationnelle pendant 10 ans: 1,95 M USD à 3,94 M USD (basé sur 25% à 33% du coût de production en phase de préparation, et une production tous les deux à trois ans).

3.2. Interprétation nationale de l'approche HCS : le cas du Liberia

NB: les données produites par TFT dans le cadre de l'adaptation de l'approche HCS au Liberia sont confidentielles et ne peuvent donc être divulguées ici.

L'interprétation nationale de l'approche HCS au Libéria est menée par TFT depuis près d'un an et demi. Les six classes d'occupation des terres définies précédemment restent valides (forêt dense, forêt moyennement dense, forêt faiblement dense, formations arbustives anciennes, formations arbustives récentes et terres ouvertes/défrichées). Les stocks de carbone moyen de chacune des strates sont quant à eux supérieurs aux observations réalisées en Indonésie. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, ces stocks moyens pourraient être proches dans des conditions bioclimatiques similaires, mais devraient être ajustés dans le cas contraire.

Au delà de ces différences en matière de stocks de carbone moyen, les travaux en cours au Liberia montrent une importante fragmentation de l'espace forestier à l'échelle des concessions (patchwork de forêts intactes et non-intactes, de l'ordre de 10 ha à 25 ha). Dans le processus de planification des nouvelles plantations, l'évaluation des hautes valeurs de conservation (*HCV assessment*) devrait en particulier considérer la connectivité de ces espaces forestiers et s'assurer de leur viabilité à long terme. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, où la fragmentation est encore plus intense, ceci pourrait conduire à des restrictions encore plus importantes en matière de conversion forestière.

Enfin, en matière de suivi des forêts et des principes 7.3 et 7.8 du RSPO, on peut indiquer que les compagnies impliquées intègrent peu à peu les techniques de télédétection (utilisation d'images à moyenne résolution, voire de drones dans certains cas) et ont également recours aux techniques plus conventionnelles de surveillance au sol (contrôle forestier).

4. État d'avancement du chantier "MNV" ivoirien:

4.1. Quelques éléments-clés issus du R-PP de la Côte d'Ivoire

Le R-PP de la Côte d'Ivoire a été adopté en Novembre 2013. Sa mise en œuvre est prévue sur la période Juin 2014 – Décembre 2017. D'après le R-PP:

- La définition de la forêt sera faite dès le début du deuxième semestre de l'année 2014 (R-PP, p.156).
 - La définition de la forêt a été réalisée en Juillet 2014 (nouveau Code Forestier).
- La FAO fournira l'appui conseil technique pour la construction du SNSF et du S&MNV. Toutes les informations récoltées par le système de suivi seront regroupées au sein d'une base de données, et mises à disposition des parties prenantes via le géo-portail du SNSF (R-PP, p.XIII).
 - L'appui technique de la FAO devrait débuter en 2015.
- Structures, données mobilisables: une étude préparatoire, lancée en 2012 par l'Institut de Recherche pour Développement (IRD), a fait un état des lieux des informations et expertises disponibles dans les organismes techniques impliqués dans la surveillance spatiale des terres en Côte d'Ivoire. En plus, une seconde étude de faisabilité, soutenue financièrement par le C2D (Contrat de Désendettement et de Développement) et lancée en mai 2013 devrait permettre d'analyser plus précisément les compétences de chacune des institutions précitées et aboutir à la constitution d'un Groupe interministériel sur la surveillance des terres. Les résultats de cette dernière étude sont attendus pour la fin 2013 (R-PP, p. 157).
 - A ce jour, l'état des lieux a été réalisé, mais le groupe interministériel n'est pas encore constitué (voir **section 5.2**).
- Une liste plus complète des données pays pour l'élaboration du NER/NR est disponible en annexe 3.1 (R-PP, p.158): les cartes nationales d'occupation du sol disponibles auprès du BNETD/CCT et du CNTIG ; les plans d'aménagements des forêts classées disponibles auprès de la SODEFOR ; la localisation des cultures de rentes par le secteur privé et les Organisations Professionnelles Agricoles (OPA) ; un réseau de placettes permanentes réalisé par la SODEFOR sous financement OIBT dans les forêts classées dont les données pourraient servir pour l'estimation des stocks de carbone par peuplement ; un modèle numérique de terrain au pas de 40 m, la carte du réseau routier [...]. La cellule MNV/REDD+ sera chargée de collecter et d'analyser les données existantes, mais aussi de rechercher les données manquantes et les évaluer (R-PP, p.158).
 - Ce travail devrait débuter au second semestre 2014 et s'achever fin 2015.
- Les opportunités à prendre en compte dans le cadre du développement du SNSF sont : (R-PP, p.175/176) l'acquisition de données SPOT (5m, 10m, 20m) et du satellite sino-brésilien CBERS (20 m). En effet, un projet de collaboration avec AGEOS pour l'acquisition d'images satellites à partir de la future station de réception de Libreville est à l'étude.
 - A ce jour, le dispositif gabonais n'est pas encore fonctionnel.

4.2. Avancées du chantier MRV-REDD+ ivoirien (septembre 2014)

Structures nationales identifiées et rôle attribué en fonction de leurs mandats et compétences (Brou, 2012):

- CNTIG: rôle de coordination. Fonction proposée: pilotage ou supervision du projet de surveillance spatiale des terres.
- BNEDT/CCT: rôle de maître d'œuvre technique (géodésie, topographie, photogrammétrie, télédétection, SIG, etc.). Fonction proposée : hébergement de la future base de données spatiales sur la surveillance des terres.
- CURAT: rôle de formation. Fonction proposée: formation des cadres ivoiriens à la télédétection.
- IGT / INPHB: rôle d'enseignement universitaire. Fonction proposée par Brou: appui à la formation des cadres ivoiriens à la télédétection et à la géomatique.

Synthèse des consultations menées à Abidjan du 1 au 5 septembre 2014.

La définition de la forêt est une étape préliminaire du chantier MRV-REDD+. Le démarrage des programmes de financements ONU-REDD est prévu pour Novembre 2014. Le démarrage des activités prévues dans le cadre du projet SST (AFD), alignées avec le programme d'activités MRV REDD+, a été reporté. Le Groupe interministériel sur la surveillance des terres, regroupant le CNTIG, le BNEDT/CCT, le CURAT, l'IGT, la SODEXAM et les Ministères dont les activités interfèrent sur l'occupation des terres sous la coordination de la CN-REDD+, n'est donc pas encore fonctionnel. Cette étude se pose donc comme l'opportunité de fournir les premières recommandations pratiques en matière de définition et de suivi des forêts répondant aux exigences CCNUCC.

En matière de renforcement des capacités (volet expertise), on relève que la FAO, à l'intérieur de son Programme de coopération technique 2012-2013, a réalisé une formation technique à destination des cadres ivoiriens impliqués dans le suivi des forêts (le CURAT, le BNEDT/CCT, le MINAGRI/Direction du foncier et cadastre rural, le CNTIG, le MINEF/Direction de la production et des industries forestières et Direction des études, de la planification et des évaluation, la SODEFOR, le MINESUDD/Programme changements climatiques, dont la CN-REDD+) ainsi que de plusieurs ONG ivoiriennes (FEREADD, JVE Côte d'Ivoire, Solidaridad, REFACOF, AMISTAD, entre autre). Dans le cadre du projet GEOFORAFRI, des modules de formation sont en cours d'élaboration, à destination notamment de 24 experts du BNEDT/CCT, du CURAT, du MINEF (DPIF, SODEFOR), du MINESUDD (OIPR, CN-REDD+), du MINAGRI (DFRC), etc. Par ailleurs, le programme prévoit d'appuyer le BNEDT/CCT pour finaliser la carte d'occupation des sols pour l'année 2010.

En matière d'accès aux données de télédétection (images satellites, photographies aériennes, données radar et Lidar), les organismes ivoiriens interrogés indiquent recourir principalement aux images Landsat (30 m) compte tenu de leur gratuité. Les images payantes type SPOT ainsi que les images à haute ou très haute résolution (Ikonos, Quickbird, etc.) sont utilisées ponctuellement dans le cadre de projets de recherche ou de coopération scientifique et technique. Les images radar et Lidar sont par contre très peu accessibles et représentent également un coût élevé (possibilité d'obtenir des images gratuites dans le cadre de projets de recherche, mais pas à l'échelle du pays). Quand des données images existent, elles sont rarement mises en commun (c'est un des objectifs du projet SST, qui n'a pas encore démarré). L'acquisition d'images LANDSAT, SPOT et CBERS via l'Agence gabonaise d'études et d'observation spatiale (AGEOS) n'est pas encore effective, et pourrait ne concerner que les forêts classées de la SODEFOR bénéficiaires du projet AFD/C2D. Par ailleurs, aucune acquisition d'images (autres que Landsat) n'est prévue dans le cadre de l'appui de la FAO au MRV-REDD+.

Enfin, on a pu constater que la plupart des services techniques et organismes de recherche disposent de statistiques forestières (SODEFOR dans les forêts classées du domaine public, DPIF dans les

périmètres d'exploitation du domaine rural), d'indicateurs de bonne santé des forêts (OIPR dans certaines aires protégées), de données sur l'occupation des sols à l'échelle nationale (BNEDT/CCT), etc. Beaucoup de ces données seraient utiles à exploiter, en particulier pour estimer les facteurs d'émission et mieux comprendre les processus de dégradation forestière. Cependant, ces données sont fragmentaires (quelques forêts classées, aires protégées ou périmètres d'exploitation concernés, et absence de séries temporelles la plupart du temps), et il est difficile d'y avoir accès.

De manière générale, il y a encore beaucoup de chemin à parcourir pour développer et opérationnaliser un futur Système national de surveillance des terres adapté aux exigences de la REDD+, ainsi que les solutions alternatives à exploiter pour optimiser les coûts et l'efficacité du dispositif. Acquérir des images à HR/THR ou radar sur l'ensemble du pays est une solution qui n'offre pas le meilleur compromis coût-efficacité, bien qu'elle soit proposée par plusieurs des organismes consultés (voir **Annexe 3**).

Une des priorités du chantier MRV-REDD+ sera donc de définir ces options techniques adaptées aux capacités techniques actuelles (données images limitées, disponibles avant tout pour certaines catégories de forêts du domaine public) et qui répondent aux exigences de la CCNUCC en matière de monitoring, en priorisant notamment certaines zones à enjeux plus forts.

5. De la théorie à la pratique: études de cas

Les études de cas présentées dans ce chapitre sont le résultat d'analyses menées par le Centre commun de recherche dans le cadre du projet ReCaREDD, avec l'appui de SalvaTerra. Ce travail fera l'objet d'une publication à part entière dans les mois à venir.

5.1. Introduction

Comme nous l'avons abordé précédemment, la définition de forêt est essentielle pour déterminer les changements d'affectation des terres pouvant être qualifiés comme étant de la déforestation ou de la dégradation. C'est un pré-requis indispensable à l'élaboration des niveaux d'émissions de référence du secteur forestier. Nous avons également constaté qu'il existe une multitude de techniques de télédétection et de supports (images optiques la plupart du temps) à résolution et coûts variables.

Ces constats initiaux appellent une série de questions: quelles sont les conséquences du choix de la définition de "forêt" sur les systèmes de suivi à mettre en place ? Comment obtenir le meilleur compromis coût-précision, répondant à diverses exigences (CCNUCC, RSPO, etc.) ?

Pour répondre à ces questions, une analyse historique du changement de couvert forestier a été réalisée sur deux sites, en utilisant un jeu d'images à résolution variable (moyenne résolution: Landsat à 30m, haute résolution: Rapideye à 5m, très haute résolution: Worldview2 inférieure à 5m) et en utilisant plusieurs définitions de forêt. Les résultats obtenus sur chacun des sites sont présentés dans ce qui suit.

5.2. Paramètres à tester: considérations techniques

Les définitions de forêt sont basées sur une combinaison des paramètres "couvert forestier" (%) et "surface minimale" (ha), ce qui n'est pas sans poser d'importantes contraintes techniques au moment de l'interprétation des images.

Les zones à fort "**couvert forestier**" sont en général facilement détectables sur des images satellites, mais ce n'est pas le cas des zones à faible couvert, qui sont pourtant très nombreuses en Côte d'Ivoire. Par exemple, au sein d'une unité cartographique, un couvert forestier de 10% implique que 90% du reste de l'unité est constitué d'une ou plusieurs autre(s) occupation des sols, qui sont parfois très difficiles à reconnaître.

Le paramètre "**surface minimale**" est traduit en terme d'analyse cartographique par l'unité minimale cartographiable (voir Chapitre 1). Dans un contexte de mosaïque agriculture-forêts, la surface minimale joue un rôle fondamental dans le temps consacré à l'interprétation: plus elle est petite, plus les polygones à analyser seront nombreux et plus le temps d'analyse sera important, mais plus les résultats seront précis. Avec une unité minimale cartographiable plus élevée, le signal observé est brouillé par le mélange de forêts, jachères, champs, etc. Cela n'est pas sans poser des difficultés du point de vue de l'interprétation, automatique ou visuelle, mais les temps d'interprétations sont plus rapides et le contrôle-qualité visuel est plus facile à réaliser¹¹ car les unités à contrôler sont plus grosses.

Initialement, la "**hauteur des arbres à maturité**" faisait partie des paramètres à tester. En effet, le choix de la hauteur retenue a un impact direct sur la caractérisation des changements de couvert forestier en "déforestation" ou en "dégradation forestière", comme expliqué dans le tableau ci-dessous:

¹¹ A titre d'exemple, le projet TREES 3 / FAO FRA emploie une surface minimale de 5ha MMU dans le but de faciliter le contrôle-qualité visuel.

	Hauteur des arbres comprise entre 2 et 5m à maturité	Actuel		
		Végétation > 5m	Végétation < 5m	Non-forêt
Historique	Végétation > 5m	Pas de changement	Dégradation	Déforestation
	Végétation < 5m	Régénération	Pas de changement	Déforestation
	Non-forêt	Afforestation	Afforestation	Pas de changement

	Hauteur des arbres supérieure à 5m à maturité	Actuel		
		Végétation > 5m	Végétation < 5m	Non-forêt
Historique	Végétation > 5m	Pas de changement	Déforestation	Déforestation
	Végétation < 5m	Afforestation	Pas de changement	Pas de changement
	Non-forêt	Afforestation	Pas de changement	Pas de changement

Tableau 5: Impact du choix de la hauteur totale sur la caractérisation des changements d'occupation des terres forestières (Source: Eva et al., 2014 – à paraître).

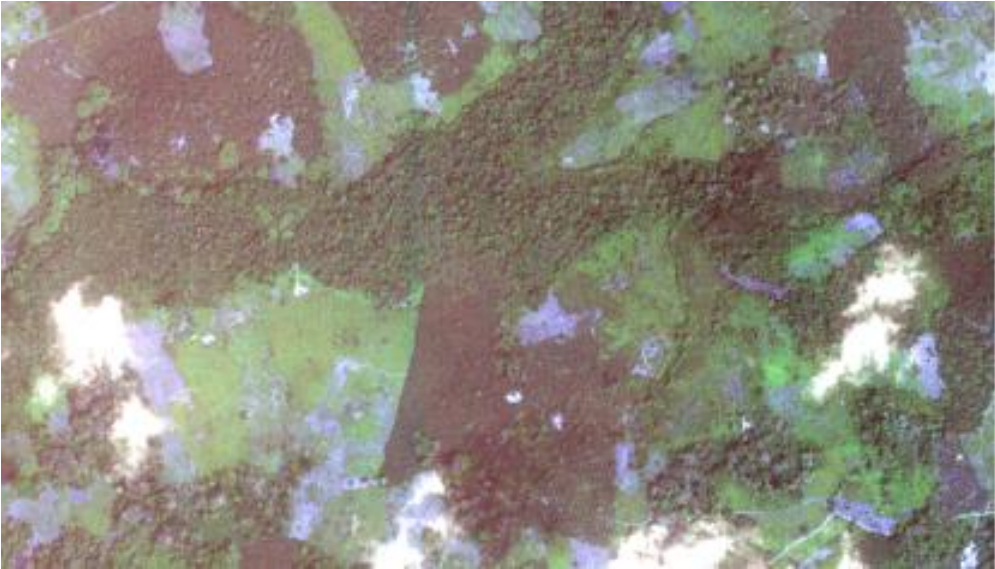
Cependant, déterminer la hauteur des arbres à maturité sur des images satellites nécessite une résolution très fine (< 1m) ce qui a des implications en termes de coûts d'acquisition des images, de traitement et de disponibilité des données historiques. Pour ces raisons, le paramètre "hauteur des arbres à maturité" a été écarté de cette analyse.

Les termes repris ci-dessous pour désigner les types d'occupation des sols ont été le plus possible homogénéisés. Il faut noter cependant que la résolution des images et le choix de l'unité minimale cartographiable joue un rôle dans le choix de ces termes. En effet, avec des images à très haute résolution, il est possible de distinguer les palmiers, les arbres, les arbustes et les autres formations non-végétales. Cela devient plus difficile sur des images Rapideye, sur lesquelles certaines palmeraies peuvent être confondues avec des forêts "naturelles", voire quasiment impossible avec des images Landsat. Afin de conserver un maximum de cohérence dans les comparaisons effectuées, il est nécessaire de se référer au tableau des correspondances ci-dessous:

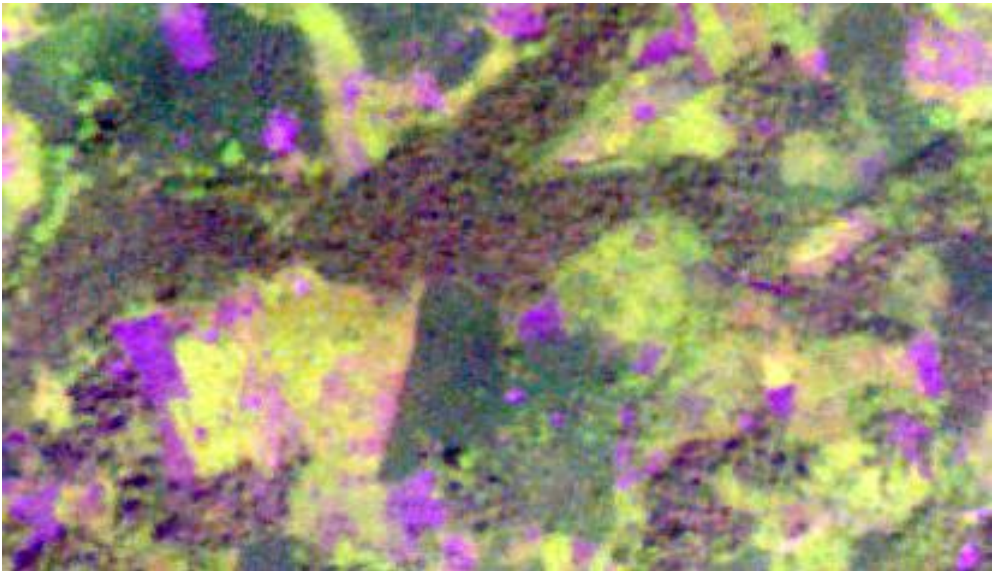
	WV2 automatique	WV2 visuelle	Rapideye automatique	Landsat automatique
Forêts	<i>Tree cover</i>	<i>Tree cover</i>	<i>Tree cover</i>	<i>Tree cover</i>
Mosaïques				<i>Forest mosaic</i>
Spéciale	Palmeraies	Palmeraies	Palmeraies	
Non-forêts	Non-forêts	Arbustes, autres terres boisées	Non-forêts	Non-forêts

Tableau 6: Tableau des correspondances entre les classes d'occupation des sols et les types d'images x méthodes de classification (automatique ou visuelle)

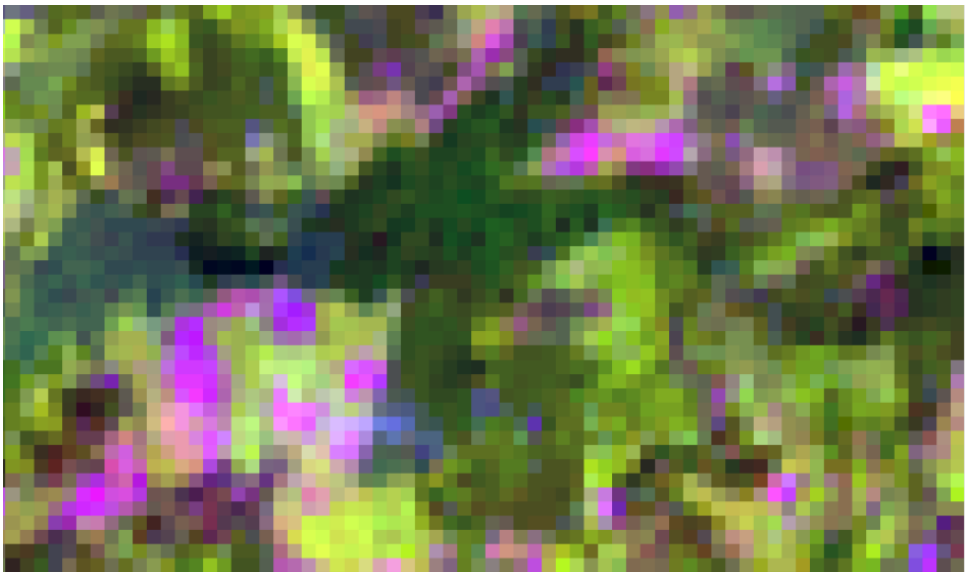
Pour les images Landsat, c'est la classification utilisée par la FAO et le JRC qui a été retenue ici (*Tree cover* = couvert forestier > 80%, *Forest mosaic*: couvert forestier entre 40% et 80%, *Non-forest*: couvert <40% soit Autres terres boisées et Autres terres).



World View 2 data – true colour (extrait)



RapidEye data – NIR; Red Edge; Red (extrait)



Landsat data – SWIR; NIR; Red (extrait)

5.3. Étude cas n°1: site "palmier" (Maféré)

Présentation du site et méthodologie:

L'analyse de changement de couvert forestier a été réalisée dans une zone du Sud-Est ivoirien, sur une surface de 1 513 ha au Sud de Maféré, où se sont développées d'importantes plantations villageoises de palmier à huile ces dernières années.

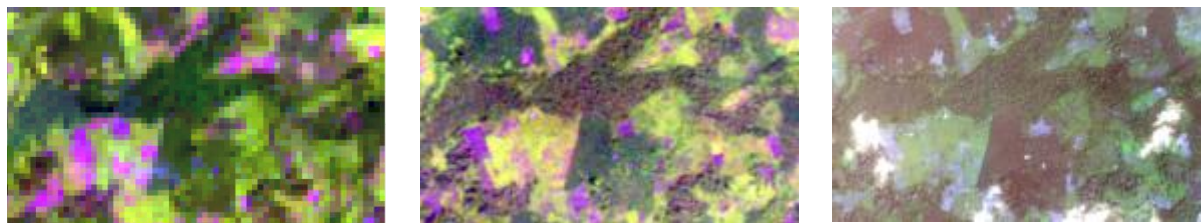


Figure 2 : Comparatif entre images Landsat, Rapideye et WorldView2 (de gauche à droite) sur la zone d'étude de Maféré – extraits

Comme le montre le Tableau 7 suivant, les analyses de changement de couvert ont été effectuées à partir d'images à haute résolution (WorldView 2 – WV2, complétées par des images Rapideye) et comparées avec des images à moyenne résolution (Landsat) sur la même période. Les caractéristiques techniques des images sont reprises en **Annexe 3**.

Trois définitions de forêt sont proposées : 0,5 ha, 1 ha et 5 ha. Elles sont caractérisées par l'unité minimale cartographiable retenue pour la segmentation de l'image en polygones. Chaque polygone se voit ensuite attribuer une catégorie (forêt, palmeraie, autres terres, etc.) suivant des méthodes de classification automatiques ou visuelles. Les images Landsat ne sont pas segmentées à 0,5 ha car leur résolution est inadaptée et l'interprétation en serait très confuse, voire impossible à valider. Le pixel Landsat mesure en effet 0,09 ha (30m x 30m): une segmentation à 0,5 ha générerait des polygones d'à peine 5 pixels Landsat. Une segmentation à 5 ha est davantage opérationnelle, mais pour cet exercice, une segmentation à 1 ha a aussi été testée.

Fournisseur	Résolution (mètres)	Coût (€/km ²)	Période d'analyse	Unité minimale cartographiable	
Worldview 2	1 à 4 m	+/- 22	2001 – 2013	1 ha	0,5 ha
Rapideye	5 m	+/- 1	2012 (pas d'images anciennes)	1 ha	-
Landsat	30 m	Gratuit	2000 – 2013	1 ha	5 ha

Tableau 7 : Images ayant servi de base aux analyses de changement de couvert

Résultats:

Sur les images à haute et très haute résolution, les méthodes de classification automatiques sont complexes à mettre en œuvre dans le contexte étudié car les signatures spectrales des forêts et des palmeraies sont assez proches. Les méthodes de classification visuelle sont mieux adaptées à cette échelle de travail, car le télédécteur reconnaît plus facilement le port caractéristique "en étoile" du palmier.

En ha	Landsat	Rapideye	VW2
Forêt	960	386	238
Non-forêt	554	665	546
Palmeraie	<i>indéctable</i>	463	729

Tableau 8 : Occupation récente des sols sur le site de Maféré en fonction des images et traitements réalisés

Sur les images **WV2**, les segmentations à 1 ha et 0,5 ha génèrent respectivement 400 et 1 300 polygones, qu'il faut ensuite interpréter visuellement. L'interprétation d'une scène de 1 513 ha peut prendre une journée de travail avec une segmentation à 1 ha, contre 4 journées à 0,5 ha : l'impact en termes de délais et coûts de traitement est donc considérable.

Toujours sur les images **WV2**, l'analyse des changements de couvert avec une segmentation à 1 ha résulte en davantage de déforestation qu'avec une segmentation à 0,5 ha (+3,5 %¹²). Cet écart varie certainement d'un site d'étude à un autre, en fonction de l'ampleur et de l'échelle des changements observés. Mais au delà du chiffre, cette observation étaye l'argument selon lequel le choix de la définition de la forêt impacte bien les résultats obtenus en matière d'estimation de la déforestation. Par ailleurs, on notera qu'une augmentation conséquente des temps traitements (x 4) génère finalement une faible augmentation de la précision.

Si l'on devait réaliser une segmentation à 0,1 ha en référence à la définition actuelle de forêt en vigueur en Côte d'Ivoire, le temps de traitement serait encore plus long, pour un gain en précision probablement faible: le jeu n'en vaut probablement pas la chandelle.

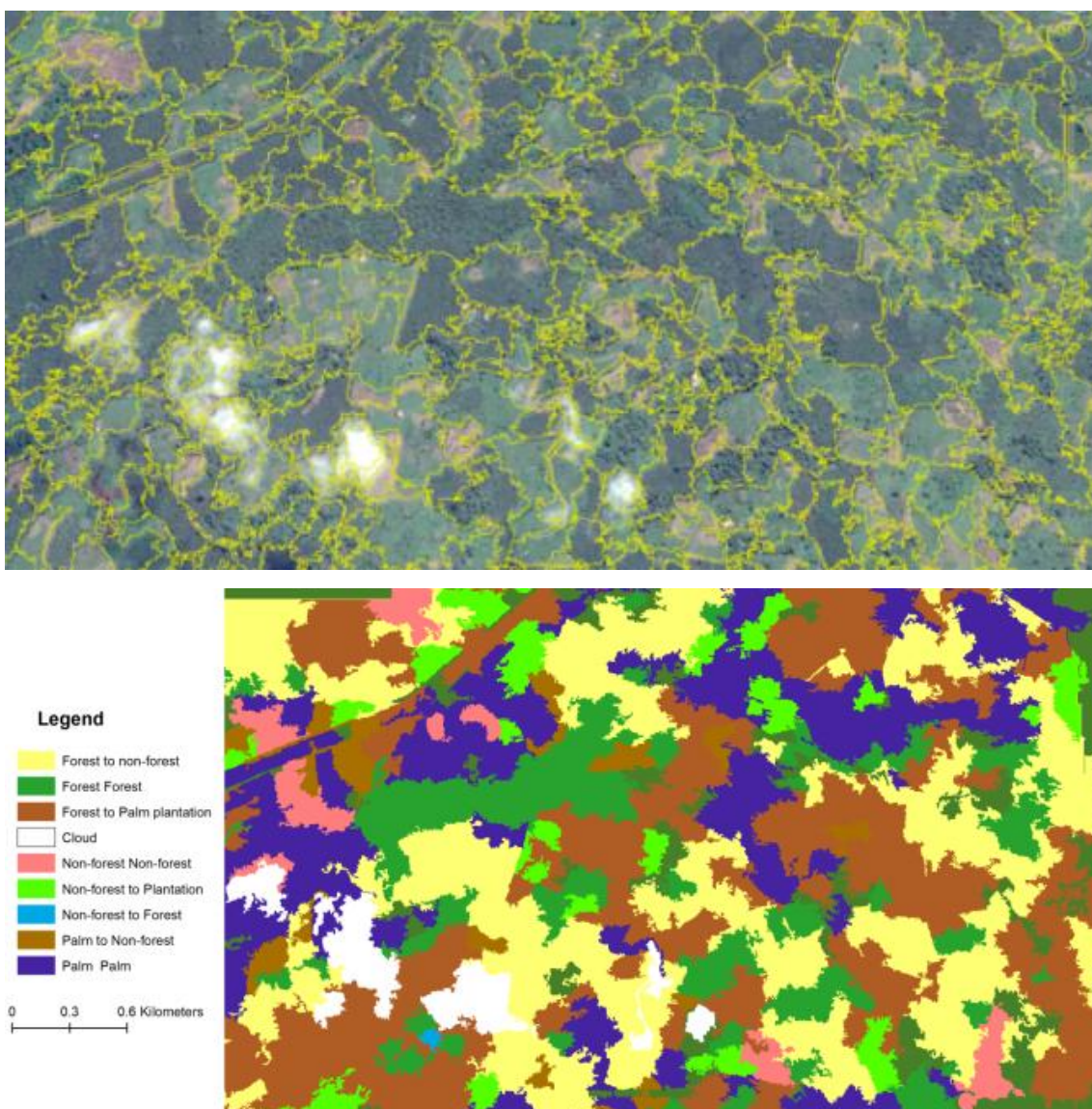


Figure 3 : Exemple de segmentation à 1 ha à partir d'images WorldView2

¹² Déforestation à 0,5ha: 705 ha – à 1 ha: 730 ha, soit une augmentation de 25 ha (3,5%).

Changement d'occupation des sols en ha (2001 – 2013)	Segmentation	
	1 ha	0,5 ha
Nuages	36	36
Forêts restant forêts	117	159
Forêts vers non-forêts	351	344
Forêts vers palmeraies	380	361
Non-forêts vers non-forêts	45	40
Non-forêts vers palmeraies	59	64
Palmeraies vers non-forêts	30	38
Palmeraies vers palmeraies	280	261
Déforestation	730	705

Tableau 9 : Changement d'occupation des sols entre 2001 et 2013 sur le site de Maféré en fonction de la MMU (images WV2).

On a pu constater que les images **Rapideye** amènent à surestimer les surfaces de forêts et sous-estimer les surfaces de palmeraies, en comparaison des images WV2. Lors des traitements d'images Rapideye, certaines palmeraies matures (pas toutes) sont classées en forêt et certaines jeunes plantations sont classées en "non-forêt". Une comparaison de l'occupation des sols en 2013 sur des images WV2 et en 2012 sur des images Rapideye indique, par exemple, des surfaces de palmeraies respectivement de 729 ha (WV2) et 463 ha (Rapideye). L'écart n'est pas uniquement dû à la nature de l'image employée car un an sépare les deux observations. Des contre-visites de terrain seraient nécessaires pour estimer la proportion de palmeraies classées par erreur dans la catégorie "forêt".

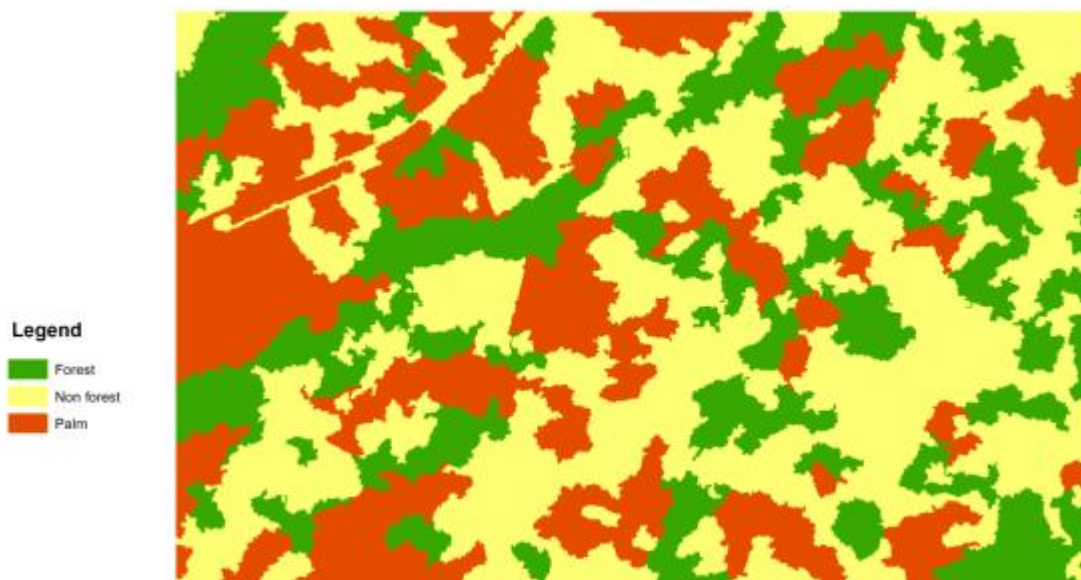


Figure 4 : Exemple de segmentation à 1 ha à partir d'images Rapideye

Sur les images **Landsat**, il est en règle générale difficile de différencier les palmeraies et les forêts, leurs signatures spectrales étant très proches. Parfois, l'interprétation visuelle peut aider à détecter des palmeraies, mais pas systématiquement. Il est donc fréquent de ne pas détecter des conversions de forêts en palmeraies, mais également de prendre en compte des jeunes palmeraies établies sur des terres non forestières comme étant des reboisements ou de la régénération de forêt secondaire.

En utilisant une segmentation à 1 ha, et en comparant les résultats obtenus à partir d'images Landsat et d'images WV2 sur une zone de 1 170 ha (**Annexe 6**), on peut constater de très importantes différences de classification. Par exemple, la catégorie "forêts restant forêts" représente 109 ha

d'après les images WV2, contre 195 ha d'après les images Landsat. Au final, on constate donc que les images Landsat ne se prêtent pas à une analyse fine des changements d'occupation des sols.

De plus, en utilisant une segmentation à 5 ha, on détecte peu de changements d'affectation des sols dans la mosaïque agriculture/forêt que constitue la zone étudiée, signe que ceux-ci ont probablement eu lieu à des échelles inférieures à 5 ha. Ceci est confirmé par ailleurs par les analyses WV2 et Rapideye, qui semblent mieux adaptées à ce type d'analyses dans le contexte étudié.

Changement d'occupation des sols en ha (2000 – 2013)	Segmentation	
	5 ha	1 ha
Déforestation	439	438
Afforestation	243	207
Non-forêt vers non-forêt	196	91
Forêt-mosaïques vers forêt-mosaïques	565	718

Tableau 10 : Changement d'occupation des sols entre 2000 et 2013 sur le site de Maféré en fonction de la MMU (images Landsat).

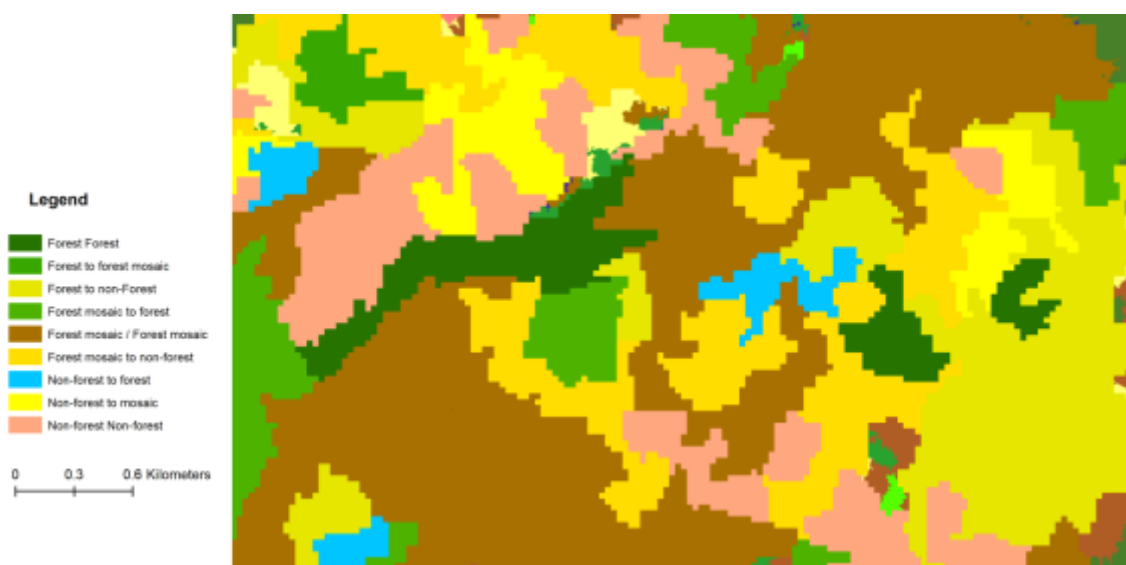


Figure 5 : Changement d'occupation des sols à partir d'une segmentation à 5 ha (images Landsat)

Conclusion:

Le caractère fortement fragmenté du paysage impose donc le choix d'images de résolution adaptée, ce qui augmente inévitablement les coûts du suivi par télédétection. S'il semble possible dans une certaine mesure de suivre les changements de couvert liés à l'installation de plantations industrielles à grande échelle avec des images Landsat (30m), ce n'est pas le cas des plantations villageoises qui sont plus difficiles à détecter. Notons que les images offrant une précision autour de 5 à 10m devraient être privilégiées de par leur coût "raisonnable" en comparaison des images à très haute résolution. Bien que d'autres tests doivent être menés pour conforter ces résultats, il apparaît que les images Rapideye offrent un bon compromis coût/précision pour réaliser le suivi de la déforestation et de la dégradation des forêts, mais ne permettent pas de réaliser la situation de référence car les images ne sont pas disponibles avant 2011. D'autres images de caractéristiques similaires (SPOT 4 et 5, par exemple) ou supérieures (WV2, par exemple) devraient être utilisées à cette fin.

Il est enfin important de rappeler que ces résultats ont été obtenus à partir de l'analyse d'une scène couvrant 1 513 ha. D'autres analyses de ce type seraient nécessaires pour conforter ces résultats et les étendre à d'autres contextes.



Image WV2 – 2013 (extrait)



Image IKONOS multispectrale – 2002 (extrait)

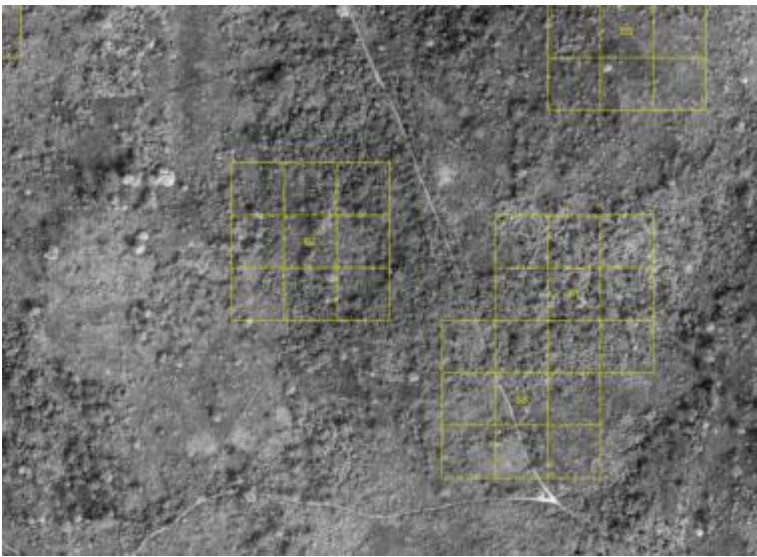


Image IKONOS bande panchromatique – 2002 (extrait).

5.4. Étude cas n°2: site "cacao" (Rubino)

Présentation du site et méthodologie:

Le second site est situé à proximité de Banguié, au nord de Rubino, et mesure 5 190 ha environ. Ce site a été choisi pour la présence de cacaoyères ainsi que pour la faible nébulosité des images.

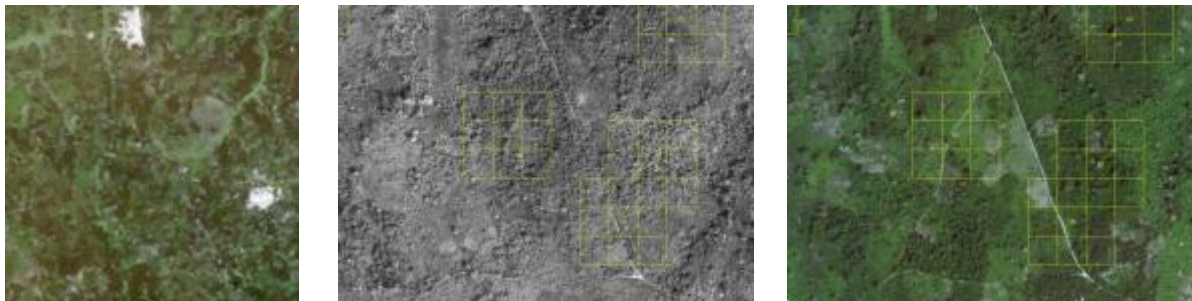


Figure 6 : Comparatif entre images Rapideye, Ikonos et WorldView2 (de gauche à droite) sur la zone d'étude de Rubino – extraits

Une analyse des changements de couvert forestier a été réalisée entre 2002 et 2013 en utilisant des images à haute résolution (Ikonos pour 2002, WV2 pour 2013) avec une segmentation à 1 ha. Deux définitions de forêt ont été utilisées: (i) couvert forestier minimal de 30%, et (ii) couvert forestier minimal de 50%. Les résultats obtenus en termes d'occupation des sols actuelle ont ensuite été comparés à ceux obtenus par l'analyse d'une image à haute résolution (Rapideye). Les coordonnées complètes des images sont présentées en [Annexe 3](#).

Résultats

Pour interpréter les images WV2 et IKONOS, 100 blocs de surface égale à 1 ha ont été positionnés aléatoirement. Parmi ceux-ci, 15 ont été retirés à cause de la présence de nuages ou en cas de superposition avec d'autres blocs. Les blocs ont ensuite été subdivisés en 9 sous-unités. On souligne que le taux d'échantillonnage représente ici moins de 2% de la surface totale du site étudié, ce qui n'est sans doute pas sans incidence sur les résultats des analyses, étant donné que le paysage est très fragmenté. Ce choix était motivé par le temps relativement court disponible pour réaliser les analyses.

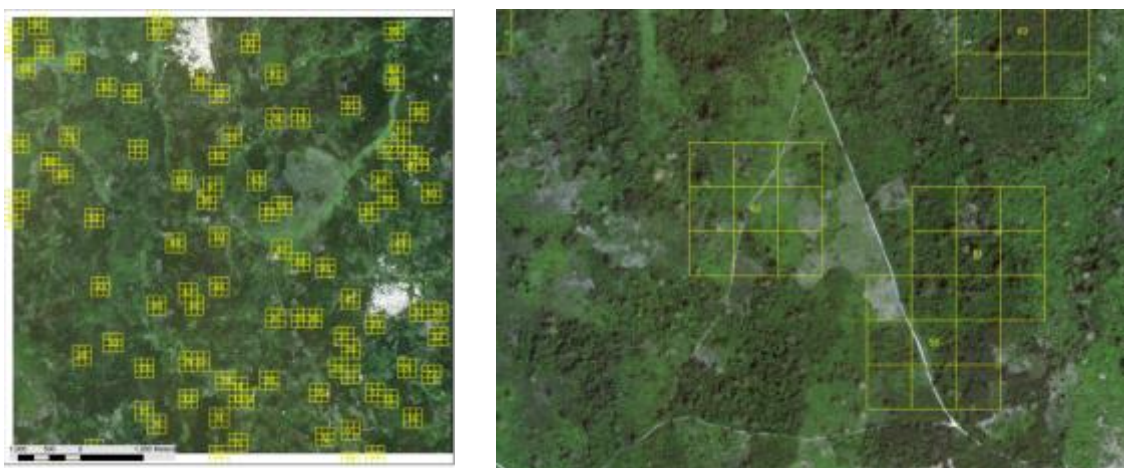


Figure 7 : Distribution des unités d'échantillonnage sur l'image WV2 (à gauche) et extrait des blocs 58, 61, 62 et 69 (à droite)

Dans un premier temps (méthode A), le contenu de chaque sous-unité (forêt, formation arbustive ou autre occupation) a été interprété visuellement entre les deux dates. Sur les images de 2002, 311 sous-unités étaient classés comme forêt, 297 comme formation arbustive et 157 comme non-forêt. En

2013, elles étaient respectivement de 151, 315 et 298, soit un taux de déforestation de 51%. Les résultats exprimés en pourcentage d'occupation des sols sont présentés dans le tableau ci-dessous:

Méthode A	Historique (2002)	Récent (2013)
Forêt	41%	20%
Formation arbustive	39%	41%
Autre occupation	20%	39%

Tableau 11 : Analyse des changements de couvert forestier sur le site de Rubino à l'aide d'images à très haute résolution (images WV2 et IKONOS)

Dans un second temps (méthode B), chaque unité d'échantillonnage s'est vue requalifiée en fonction de son taux de couvert forestier. Ce taux a été déterminé comme étant la proportion de sous-unités classées comme "forêt" dans chaque unité. Ainsi, si la définition de forêt retenue est de 30% de couvert forestier minimal, au moins 3 sous-unités sur 9 doivent être constituées de forêts pour qualifier l'unité comme forêt. Si la définition retenue est de 50% de couvert forestier minimal, au moins 5 sous-unités sur 9 doivent être constituées de forêts pour qualifier l'unité comme forêt. Les résultats exprimés en pourcentage d'occupation par la forêt sont présentés ci-dessous:

Forêt	Méthode A	Méthode B	
		Seuil à 30%	Seuil à 50%
Historique (2002)	41%	61%	36%
Récent (2013)	20%	28%	8%
Taux de déforestation	51%	54%	77%

Tableau 12 : Analyse des changements de couvert forestier en fonction du couvert forestier (images WV2 et IKONOS)

On observe dans ce tableau que la méthode A et la méthode B avec un couvert minimal de 30% donnent des résultats similaires en termes de taux de déforestation. Cependant, les surfaces forestières estimées varient fortement d'une méthode à l'autre, et d'un seuil de couvert forestier à l'autre. Il est important de réaliser que si le taux de déforestation est élevé dans la méthode B avec un couvert minimal de 50%, les surfaces déforestées (23,8 ha) sont inférieures à celles estimées en utilisant un couvert minimal de 30% (28,05 ha).

La méthode B semble plus proche de la réalité que la méthode A, compte tenu du fait qu'elle rend mieux compte de la spatialisation des phénomènes observés. Alors que dans le cas de la méthode A, on calcule une moyenne pour l'ensemble des blocs, sans tenir compte du critère spatial.

A la suite de ces analyses, une classification a été réalisée pour l'année 2013 à partir d'images Rapideye avec une segmentation à 1 ha. Une interprétation visuelle a permis d'entraîner un arbre de décision automatique, dont les polygones résultant ont été corrigés visuellement (repérage des principales erreurs de classification). Les résultats obtenus ont été comparés aux résultats obtenus précédemment avec les images WV2, en utilisant la même classification. Ces résultats sont présentés ci-dessous:

	Récent (2013)
Forêt	40%
Formation arbustive	50%
Autre occupation	10%

Tableau 13 : Analyse du couvert forestier sur le site de Rubino à partir d'images Rapideye (2013)

On constate que les images Rapideye ont tendance à surestimer l'estimation des surfaces forestières dans le cas présent en comparaison aux images WV2. Cela dit, il est difficile de généraliser ce résultat à l'ensemble étudié compte tenu du fait que le taux d'échantillonnage est très faible.

A l'avenir, la méthode B pourrait donc être affinée en augmentant le taux d'échantillonnage et en couplant les analyses avec des observations de terrain, afin de repérer les différents types de couvert potentiels (dont les cacaoyères) dans le but de créer davantage de catégories d'occupation des sols.

5.5. Conclusions finales

Les analyses menées sur les sites de Maféré et Rubino ont mis en évidence la complexité et les limites d'utilisation des images satellites pour estimer les changements d'occupation des sols dans des paysages très fragmentés constitués pour l'essentiel d'une vaste mosaïque agriculture-forêt.

Alors que les palmeraies sont plus aisément détectables sur des images à haute résolution à cause du port "étoilé" du palmier, les cacaoyères nécessitent davantage d'expertise et de connaissance du terrain. Par ailleurs, davantage de travaux seront nécessaires pour détecter les différents stades de développement des cacaoyères (c'est également vrai pour les très jeunes plantations de palmiers).

Les résultats obtenus à partir d'images à haute et à très haute résolution donnent une vision bien différente de la réalité du terrain en comparaison des images Landsat. A moins d'être en présence de grandes plantations industrielles de palmier à huile, les images Landsat ne permettent pas de détecter la déforestation causée par l'extension des palmeraies. Les images de résolution comprises entre 5m et 10m offrent, au moins pour le premier site étudié (Maféré), un bon compromis coût-précision. Pour le second site (Rubino), davantage d'analyses sont nécessaires pour trancher sur ce point.

Toutefois il n'est ni concevable, **ni nécessaire**, de réaliser des analyses de changement d'occupation des sols à partir d'images à haute résolution sur l'ensemble du pays. D'une part, le coût de l'opération se chiffrerait au bas mot à plusieurs dizaines de millions de dollars. D'autre part, il n'y a pas d'images disponibles à l'heure actuelle sur l'ensemble du pays: en cas d'échantillonnage, la distribution en serait biaisée.

Et comme il a été exposé précédemment, il est possible de répondre aux exigences de la CCNUCC en retenant une approche adaptée aux circonstances nationales, c'est-à-dire en ayant recours à un panachage d'images à haute/moyenne/basse résolution, couplée à un inventaire statistique à pied (cette approche fait l'objet de compléments dans le dernier chapitre de cette étude), afin de tenir compte des contraintes actuelles. Les visites contradictoires de terrain seront de toute façon nécessaires pour valider les résultats issus des analyses cartographiques.

6. Options de définition de forêts et système de suivi forestier

6.1. Définition de forêt, déforestation

Le premier constat est que la RCI a adopté une nouvelle définition de forêt dans son Code Forestier (loi promulguée en Juillet 2004, textes d'application à venir). Cette définition répond aux exigences de la CCNUCC (surface minimale de 0,1 ha, couverture minimale de 30% et hauteur minimale à maturité de 5 mètres). Son suivi par télédétection est un véritable défi:

- A l'exception de quelques grands massifs forestiers contigus, la plupart des forêts sont très dégradées. Ainsi, l'utilisation de capteurs optiques à moyenne résolution permet difficilement de détecter des changements de couvert forestier sur des surfaces proches de l'unité minimale cartographiable (il existe des techniques de séparation des réflectances au niveau d'un pixel, mais leur mise en œuvre nécessite d'avoir des données brutes, et un haut niveau d'expertise). La classification nationale des terres, telle qu'employée par le BNEDT, ne fait d'ailleurs pas la distinction entre cultures et jachères, étant donné la difficulté de différencier les types d'occupation des sols avec les images Landsat ;
- Avec les images à moyenne résolution, les risques de confusion sont élevés. La conversion de forêts en palmeraies villageoises, ou en plantations d'hévéa, est difficilement détectable, tout comme l'est l'installation de cacaoyères sous ombrage ;
- Avec cette définition, certaines anciennes jachères pourraient être catégorisées comme des forêts, alors que certaines mangroves (dont la hauteur peut être inférieure à 5 mètres, même à maturité), pourraient ne pas être considérées comme des forêts. Dans le second cas, une partie seulement des mangroves pourrait donc rentrer dans le mécanisme REDD+ ;
- Quant à l'utilisation d'images à haute résolution, dans l'hypothèse où celles-ci seraient disponibles, le traitement d'images sur l'ensemble du pays représenterait un travail titanesque. On comprend donc bien que la solution n'est pas de traiter 100% du pays avec des images à haute résolution pour régler le problème, mais de trouver le meilleur compromis coût-efficacité répondant aux exigences de la CCNUCC.

La RCI dispose donc d'une définition qui permet de différencier les espaces "forestiers" des espaces "non forestiers" et qui répond aux exigences de la CCNUCC, mais cette définition induit un certain nombre de limitations en matière de suivi des forêts à l'échelle nationale.

Au niveau des quelques massifs forestiers plus ou moins intacts (Taï principalement), il serait possible de recourir à des images en noir et blanc de résolution 5 mètres, combinées à des images à moyenne résolution (10 à 20m). Ailleurs, dans les zones où les forêts sont plus dégradées, les coûts d'acquisition et de traitement des images à haute résolution représenteraient un investissement très élevé. Nous pensons qu'il est préférable d'adopter sur l'ensemble du pays une approche basée sur une analyse wall-to-wall d'images à moyenne résolution (type Landsat) en utilisant une unité minimale cartographiable de 5 ha. Cette première étape permettrait d'avoir une cartographie d'occupation des sols à une résolution de 5 ha. Il en résulterait sans doute une grande proportion de terres affectées dans une classe intermédiaire entre forêt et terres agricoles. Pour cette catégorie, une seconde étape serait nécessaire pour obtenir une cartographie à une résolution de 0,1 ha, étant donné que la définition légale de forêt invoque ce seuil qualifiant de 0,1 ha. Ceci semble très complexe et très coûteux à réaliser avec des images à haute résolution (voire impossible avec des images à moyenne résolution). En revanche, la CCNUCC autorise de réaliser un inventaire statistique par échantillonnage pour déterminer la proportion de "forêt" au sens légal du terme dans cette catégorie intermédiaire. Cette option représenterait le meilleur compromis coût-efficacité pour se conformer dans un délai raisonnable aux exigences de la CCNUCC.

Cette approche pourrait être testée à l'échelle sous-nationale, en commençant par les zones prioritaires identifiées dans le R-PP de la Côte d'Ivoire. Ces zones prioritaires pourraient être confirmées en réalisant une analyse des changements de couvert forestier à partir d'images à

moyenne résolution (type Landsat) ou à basse résolution (type Terra-MODIS). Bien que cette échelle ne permette pas de détecter les transitions forêt vers palmier/hévéa/cacao, ces dernières peuvent être localisées à partir de données d'autre nature (inventaire par échantillonnage, rapports d'enquêtes agricoles, entretiens avec les filières et ministères concernés, etc.).

A noter que des financements sont prévus dans le cadre du C2D auprès de 90 forêts classées de la SODEFOR et de plusieurs Parcs et Aires Protégées gérés par l'OIPR. Les travaux cartographiques et inventaires pourraient logiquement commencer par ces forêts.

Par ailleurs, au niveau du Groupe interministériel sur la surveillance spatiale des terres, il pourrait être utile d'insister sur la nécessité d'utiliser des définitions et méthodes d'évaluation harmonisées de la forêt, en commençant par intégrer le système de classification de la couverture terrestre développé par la FAO (*Land Cover Classification System*), qui permet de répondre aux exigences de la CCNUCC en matière de définition et de suivi des forêts.

Enfin, il existe en parallèle un forum d'échanges d'informations techniques en matière de géomatique qu'il serait utile d'identifier précisément et de rejoindre pour progresser sur ces questions d'harmonisation des définitions et des pratiques.

6.2. Stratification forestière, harmonisation des pratiques

La stratification permet de découper l'espace forestier en zones homogènes, notamment du point de vue des stocks de carbone. Le nombre de placettes d'inventaires à réaliser dans chacune des strates dépend du niveau de la variabilité de chaque strate (mesurée par le coefficient de variation sur l'estimation du paramètre "stock moyen de carbone" par strate). Les bonnes pratiques du GIEC recommandent de s'appuyer sur une stratification écologique en l'absence d'autre stratification pré-existante. Elles recommandent également de s'appuyer sur les définitions de la FAO. Or, comme on a pu l'observer précédemment, le système de classification de la couverture terrestre de la FAO ne tient pas compte du zonage écologique. Ces deux recommandations ne sont pas en contradiction, dans la mesure où les techniques actuelles permettent, en premier lieu, de classer les différents types de couverture terrestre selon la classification FAO, puis en second lieu, de découper ces types selon la classification écologique voulue.

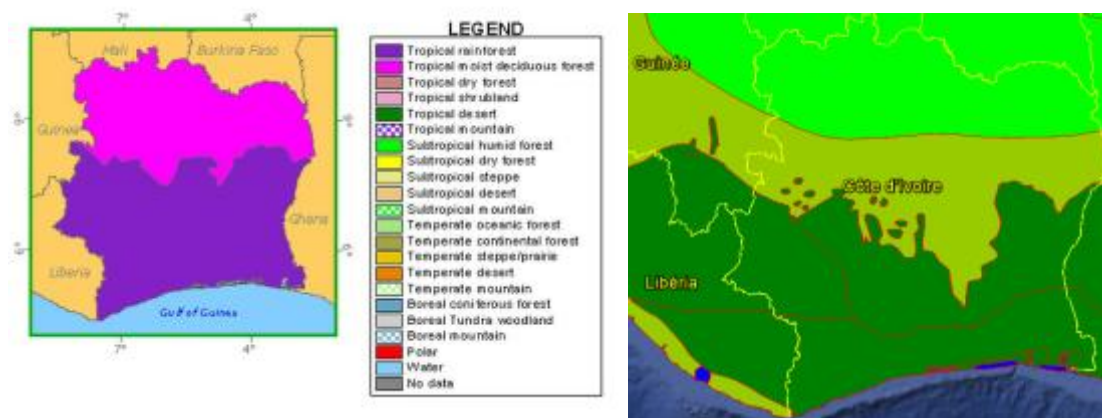


Figure 8: Différentes classifications écologiques utilisées en RCI (à gauche, la classification écologique de la FAO, à droite, la classification de White (digitalisée par Kindt et al., 2011))

Il existe plusieurs classifications écologiques des types africains de végétation. Certains organismes utilisent la classification de la FAO (dérivée de la classification "de Yangambi"). Selon cette classification, un grand type de végétation couvre le pays: la forêt tropicale dense humide, et ses variations sempervirentes au sud et semi-décidues au nord. Cependant, d'autres organismes utilisent une classification plus détaillée, dérivée de la carte de végétation de l'Afrique de White (1986) qui

définit trois principales zones d'endémisme, correspondant dans le langage courant à la "zone de forêt dense", "zone de transition forêt/savanes" et "zones de savanes".

La stratification retenue pourrait également intégrer le zonage agroécologique proposé dans le R-PP de la RCI et qui reflète les causes locales de déforestation/dégradation. Ce niveau de stratification supplémentaire serait souhaitable s'il permet de diminuer l'incertitude sur l'estimation des facteurs d'émission. Dans le cas contraire, cet effort supplémentaire serait peu utile.

Dans la mesure où la stratification est un élément essentiel de l'estimation des facteurs d'émission (des valeurs par défaut pouvant être utilisées dans un premier temps sur la base de données régionales, ou Tier 1), il est important que la classification et la stratification servant de base au Système national de surveillance des forêts fasse l'objet d'un consensus entre les organismes impliqués. Nous proposons donc ci-dessous un modèle de stratification qui pourrait faire l'objet de discussions entre les parties-prenantes du MRV-REDD+ en Côte d'Ivoire. Cette stratification "pas à pas" permettrait de répondre aux exigences CCNUCC dans un délai raisonnable, tout en améliorant continuellement les procédés et connaissances.

- 1) Stratification écologique de niveau 1 – distinction entre les principales zones climatiques du pays: climat de type "guinéen", "sahélo-soudanais" et "soudano-guinéen". La plupart des acteurs se repère de cette manière en Côte d'Ivoire et plus généralement en Afrique de l'ouest, il y aura donc de la donnée cartographique et de l'expertise disponibles dans les centres de recherche et dans les services forestiers pour réaliser ce premier niveau de stratification. *Nota bene*: La nomenclature retenue peut varier d'une source à l'autre.
- 2) Stratification écologique de niveau 2 – distinction entre les types de formations forestières au sein des grandes zones écologiques. Des inventaires forestiers sont nécessaires, mais on peut s'appuyer dans un premier temps sur les données existantes au niveau de la SODEFOR, de l'OIPR, ainsi que sur des données d'inventaires d'aménagement¹³ éventuellement disponibles. Il ya potentiellement de très nombreux types de végétation: forêt ombrophile guinéo-congolaise, forêt claire de transition guinéo-congolaise, forêt ombrophile de transition, forêt broussailleuse guinéo-congolaise, etc. et leurs variations locales sont également nombreuses. La typologie retenue devrait faire l'objet d'un consensus entre les utilisateurs potentiels. Il peut être utile de distinguer à cette étape les formations édaphiques (mangroves) et particulières (bambousaies) qui présentent des stocks de carbone très différents et nécessitent un traitement à part.
- 3) Stratification par niveau de dégradation – avec deux niveaux de distinction: (i) forêt intacte vs. forêt non-intacte dans un premier temps: réalisable à court terme et peu coûteux car données disponibles, et permettant de répondre rapidement aux exigences CCNUCC. La notion de forêt intacte doit cependant faire l'objet d'un consensus national (ii) typologie des forêts dégradées – sans doute le plus long et le plus coûteux. Des inventaires forestiers sont nécessaires et les méthodes employées sont dépendantes de l'échelle spatiale retenue (voir le point suivant pour plus de détail).

¹³ En matière de planification forestière, on recommande d'élaborer une typologie des formations végétales à partir d'analyses multivariées des données d'inventaire d'aménagement: analyses en composantes principales (ACP), analyses factorielles des correspondances (AFC) et classifications ascendantes hiérarchiques (CAH). Les techniques sont donc connues.

6.3. Évaluation des niveaux de dégradation forestière

Le GIEC et l'ensemble de la communauté scientifique reconnaissent que la dégradation forestière est sans doute le sujet techniquement le plus délicat en matière de télédétection. Le suivi de la dégradation forestière nécessite:

- De définir ce qu'on entend par "dégradation". Pour la CCNUCC, il s'agit d'une "*perte directe à long terme d'origine humaine (persistant pendant X années ou davantage) d'au moins Y % de stocks de carbone forestier (et de valeurs forestières) depuis un temps (T) et ne se qualifiant pas comme déforestation*". Au niveau national, il n'y a pas de définition communément partagée de la dégradation forestière: on parle de *forêts dégradées* à partir d'un jugement qualitatif (modification de la structure et de la composition des forêts), mais aucune référence ou norme n'existe. Il y a néanmoins des approches qui pourraient être mobilisées (exemple: approche HCS, fondée sur l'estimation des stocks de carbone et l'application de "seuils normatifs") pour tenter de définir la dégradation.
- De connaître les facteurs de dégradation afin d'évaluer, d'une part, les prélèvements de bois réalisés en forêt (méthode gain-perte), et d'autre part, de calibrer les algorithmes utilisés dans le cas d'un suivi de la dégradation par télédétection. A ce jour, il existe quelques modèles d'estimation de la dégradation basé sur la présence d'infrastructures (routes, habitations...) ou la présence de trouées dans la canopée (exploitation forestière), bien adaptés pour la surveillance de l'exploitation forestière sur des massifs forestiers de grande taille. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, ces modèles seraient complexes à développer: les forêts sont très fragmentées, certains facteurs de dégradation sont invisibles sur des images satellites à capteurs optiques (conversion sous couvert, exploitation du bois de chauffe, etc.). Il existe de plus une très grande variété de contextes régionaux: la pression du sciage clandestin n'est pas la même partout (elle peut même être plus ou moins récente en fonction des régions), ni même la pression liée au bois de chauffage.
- De disposer d'images de résolution fines à intervalles de temps réguliers (1 ou 2 ans). A la différence de la déforestation, le signal donné par la dégradation forestière peut s'estomper rapidement avec la régénération de la végétation.

On conçoit donc la nécessité de faire un point un peu plus détaillé sur la définition de la dégradation et une méthodologie de suivi qui soit adaptée aux circonstances infranationales, tant du point de vue des réalités du terrain que des capacités techniques.

Dans un premier temps, il serait possible de définir les forêts dégradées par opposition aux forêts "intactes" (approche indirecte préconisée par le GIEC). Cela aurait pour conséquence de classer une très grande majorité des forêts ivoiriennes comme forêt "dégradée". En ce sens, l'approche développée par Potapov et al. (2008) pourrait servir de base à une interprétation nationale de la dégradation forestière (voir Figure 1).

L'approche HCS est intéressante car elle donne une définition pratique de la dégradation (de la forêt, et des terres en général) et fournit des outils pour la suivre sur le terrain. Mais il faudrait l'interpréter au niveau national, pour connaître les stocks de carbone moyen de chaque type d'occupation des terres (forêts HCS vs. terres dégradées). C'est une définition qui présente toutefois quelques limites: l'évaluation qu'une forêt dégradée pourrait à terme redevenir une forêt "intacte" (ou présentant des caractéristiques proches de forêts intactes) est-elle objective ? Les outils manquent pour prendre en compte la très forte fragmentation de l'espace forestier dans l'évaluation de l'état de dégradation. De plus, comment s'assurer que la définition légale des forêts est prise en compte, c'est-à-dire, qu'il n'y ait pas de terres dégradées, selon la définition HCS, qui soit en réalité des "forêts", selon la définition nationale ?

Enfin, de manière générale, l'évaluation des niveaux de dégradation est un processus long et coûteux dès lors qu'on s'intéresse à la caractérisation des forêts non-intactes. En effet, il y a plusieurs niveaux

de dégradation possibles pour un type de végétation donné, et les critères de classification peuvent être nombreux (biomasse, attributs structurels, biodiversité, etc.). La variabilité des facteurs locaux de dégradation rend moins aisé la transposition d'une typologie des niveaux de dégradation d'un contexte régional à un autre. D'après les entretiens menés en Côte d'Ivoire en septembre 2014, les parties-prenantes de l'interprétation nationale du RSPO seraient en faveur de l'interprétation nationale de l'approche HCS, ainsi qu'à la livraison de produits cartographiques au niveau des concessions, mais elle pourrait difficilement être étendue à tout le pays.

Bibliographie

- Brou, T., 2012. Etat des lieux des informations et expertises disponibles dans les organismes techniques impliqués dans la surveillance spatiale des terres en Cote d'Ivoire. IRD.
- CCNUCC, 2009. Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gas emissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks - FCCC/TP/2009/1.
- GIEC, 2003. Good practice guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry. International panel on climate change, Vienna.
- GIEC, 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Chapitre 4: Terres forestières. préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (eds). Publié : IGES, Japon.
- GOFC-GOLD, 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD report version COP19-2. GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, Pays-Bas.
- Golden Agri-Resources and SMART, 2012. High carbon stock forest study report - defining and identifying high carbon stock forest areas for possible conservation.
- Kindt, R., Osino, D., Orwa, C., Nzisa, A., 2011. Useful tree species for Africa - A species selection tool based on The Vegetation Map of Africa.
- Mertens, B., Boutrolle, C., 2012. GEOFORAFRI - Composante 1: Identification des centres ressources et disponibilités des données satellitaires.
- Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., 2008. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. Ecol. Soc. 13.
- SalvaTerra, 2013. Étude coûts-bénéfices de la REDD+ en Côte d'Ivoire et mobilisation des acteurs des grandes filières agricoles et forestières. Institut européen de la forêt.
- SOFRECO, 2009. West Africa post-conflict environmental analysis - Côte d'Ivoire. World Bank.
- Wertz-Kanounnikoff, S., 2008. Monitoring forest emissions - a review of methods (No. Working Paper 39).

Annexes

Annexe 1 : Termes de référence de l'étude.

Assessing the pros and cons of different forest definitions for Côte d'Ivoire

Terms of reference

Context

Deforestation remains high in Côte d'Ivoire despite the fact that the country forest resources now fall well below the government's objective of 20% national forest cover (currently standing around 10%). In response, the country is trying to improve forest governance and better enforce legal standards in the forest sector (through the FLEGT process), and, at the same time, to reduce greenhouse gases emissions due to deforestation, mainly from the agricultural sector (through the REDD+ process). In parallel to this action led by the Government, the private agricultural sector is developing voluntary standards taking into account deforestation (e.g. ongoing national interpretation of the RSPO standard on palm oil).

One cross-cutting issue common to these different processes is a national definition of forests and its different classes.

- **For REDD+:** REDD+ is a mechanism that seeks to reward countries for their efforts that reduce deforestation compared to a credible reference level. Establishing this reference level requires a clear definition of forest and of its different classes. The Ivorian *Readiness Preparation Proposal*¹⁴ (REDD+ roadmap) recommends to set up a system to Monitor, Report, and Verify (MRV) changes in forest area and the related GHG emissions as a top priority for the preparation process. The national definition of "forest" is therefore essential to monitor changes in forest area and a pre-requisite to develop a consistent Forest Reference Emissions Levels monitoring system.
- **For certification:** In the context of the palm oil supply chain for instance, the producer association is interested in RSPO certification. They have hired some consultants to propose a national interpretation of the RSPO standard. This national interpretation should be open and inclusive, involving a series of consultations to get a consensus on principles, criteria and indicators for "RSPO certified palm oil". Respect of principle 7.3 of RSPO related to the prohibition to convert "primary" or "high conservation value" forests requires a clear and precise national forest definition, as well as practical solutions to monitor the enforcement of this principle. Beyond RSPO, there are other international standards not yet interpreted in Côte d'Ivoire (e.g., *High Carbon Stock* - HCS standard or « zero deforestation »).

However, amongst multiple initiatives with different objectives, there is no clear consensus around the forest definition in Côte d'Ivoire:

- At international level, there are two main "official" forest definitions:
 - FAO definition: canopy cover above 10%, minimum height above 5m at maturity and minimum area above 0.5 ha;
 - UNFCCC definition: canopy cover between 10 and 30%, minimum height between 2 and 5m at maturity and minimum area between 0.05 and 1 ha;
- Still at international level, there are "voluntary" definitions, targeting specific forest types and promoted by international NGOs and/or multinational companies producing and trading forest-risk commodities:
 - RSPO¹⁵ certification system: it requires identifying and monitoring "High Conservation Values" habitats (or HCV), including forest and other vegetation types, as well as

¹⁴ approved in December 2013 by the FCPF Participants Committee

¹⁵ Roundtable on Sustainable Palm Oil, established in 2004

"primary forests". Guidelines are provided to define these HCV habitats and have to be nationally adapted.

- "High Carbon Stock" concept (or HCS approach): Used by TFT and Greenpeace, among others, HCS forests definition is based on carbon metrics and biodiversity criteria.

At the contrary to AFOLU guidelines provided by the IPCC, all carbon stocks are not entirely measured and reported in these 2 approaches.

- In Côte d'Ivoire, several forest definition are in use or in discussion:
 - Forestry Code (Law 64/425 from 1965): it gives a qualitative, products-oriented definition of forest;
 - "New Forestry Code" (in discussion): it gives a rather qualitative, ecological definition of forest.
 - Designated National Authority of the Clean Development Mechanism (DNA-CDM) : it is based on UNFCCC definition, adapted to the national context, i.e. canopy cover above 30%, height at maturity above 5 meters, minimal area above 0,1 ha
 - The CN-REDD, with support from EFI, commissioned a study to SalvaTerra in 2013 to assess the costs and benefits of implementing REDD+ in Côte d'Ivoire. Among other issues, this study focused on phasing out deforestation from five main agricultural supply chains including enabling investments like improvements in land tenure security for farmers. GHG emissions for each "*business as usual*" and REDD+ scenario implying land-use changes were estimated based on Globcover's classification (resolution of 300 meters). Because of the lack of data concerning forest carbon stocks in Côte d'Ivoire, this cost-benefit analysis identified a strong need to use more accurate data to refine the potential ecological and economic impacts of such REDD+, land-use change based strategies.

Thus, there are many stakeholders in Côte d'Ivoire using different definition of "forest" for objectives that are almost similar – but not entirely. These stakeholders also have potential needs in terms of monitoring and reporting systems, which are more or less costly given the complexity of the variables to be measured and reported.

The preparation of Côte d'Ivoire to REDD+, the national interpretation of the RSPO standard led by the palm oil industry association, and the forthcoming preparation of implementation texts related to the new Forest Code (Code still under review in Parliament) are thus good opportunities to provide those stakeholders with technical information on the pros and cons of different forest definitions (including forest monitoring implications) and, in this respect, on the possible synergies amongst convergent initiatives.

It is in this context that the national REDD+ Commission (CN-REDD+) requested the EU REDD Facility (EFI) to provide technical advice to assess the advantages and disadvantages of different forest definitions (for the RSPO and REDD+ processes in particular). In parallel, the Joint Research Center (JRC) of the European Commission is working with the government of Côte d'Ivoire on a project to enhance the capacities to monitor forest degradation (ReCaREDD project), and has indicated its willingness to collaborate, through spatially-explicit analysis of the land use implications of different forest definitions (with recent and high resolution remote sensing data). The FAO is also planning to support the government of Côte d'Ivoire to set up a broader national forest monitoring system and reinforce in-country capacities, through the UN-REDD Programme.

Objective

EFI seeks to support the CN-REDD+ in assessing pros and cons of different forest definitions for the country and different technical options for national forest monitoring, taking into synergies with various initiatives (including RSPO), international good practices, national capacities, as well as the economic and ecological impacts of such definitions and monitoring systems.

Activities and outputs

Phase 1: Identification of realistic options for the definition of forest and the monitoring systems

- Review of relevant guidelines (UNFCCC, IPCC, GOF-C-GOLD, RSPO-HCV, HCS).
UNFCCC reporting principles and IPCC methodologies are considered as the basis for the future REDD+ mechanism. Therefore, UNFCCC specific guidance in terms of forest definition and MRV systems will be summarized, mainly based on the UNFCCC decisions relevant to REDD+ and the estimation of GHG emissions and removals in the forestry sector (for example: Dec. 4/CP.15, Dec.1/CP.16, Dec.1/CP.17, Dec. 11/CP19...). There are many approaches to capture changes in forest areas and carbon stocks, which need various inputs (in terms of data, technology) and give different results (in terms of accuracy, level of complexity, etc.). To have a clear view on these methods, IPCC methodologies will be reviewed and summarized, mainly based on IPCC's 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories and the GOF-C-GOLD Sourcebook (2013, COP19, v.2). In parallel, the "forest" definition used by- and the specific monitoring principles required for the RSPO-HCV certification and the HCS approach will be analyzed, as well as the current "forest" definitions used at national level.
Similarities and differences between "forest" definitions and monitoring requirements across different initiatives (national and international) will be then analyzed.
- Review of the relevant experiences in similar context (based on approved R-PPs in foreign countries and specific RSPO-HCV/HCS documentation in other countries).
Data will be collected on both issues (forest definition + MRV systems) in order to illustrate this analysis with concrete examples. Countries with similar biomes and having an approved R-PP will be reviewed. The relevant information available on methods and costs will be extracted, compiled and summarized.
The same review on methods and costs for MRV systems will also be done for one or more RSPO country members, according to the data available (contacts to be made with RSPO members in Indonesia and Malaysia). A case study to illustrate the HCS approach will also be analyzed based on data/reports available (contacts to be made with Greepeace/TFT and others).

Deliverable 1: State of the art report of the international good practices and experiences in setting forest definitions and developing/implementing monitoring systems, including a cost-analysis.

Phase 2: Field mission: analysis of the national capacities for monitoring, reporting and verification (MRV).

- Synthesis and valorisation of the AFD/C2D study on national MRV capacities.
This study (launched in 2012) aimed at evaluating the capacities and initiatives of the various institutions existing in the remote sensing sector in Côte d'Ivoire in order (i) to develop a common methodology to collect and process geographical information linked to land-use observation and especially REDD+, and (ii) to design a conceptual overarching framework to integrate these various institutions and their areas of expertise.
- Updating of the AFD/C2D study, taking into account recent developments: R-PP approval, FAO/UN-REDD support to NFMS¹⁶, launch of WRI and Global Forest Watch, innovative participatory monitoring systems (ex. using smartphone technology), etc.
- Consultation of key stakeholders in the palm oil supply chain regarding the interpretation of relevant principles and criteria of the RSPO related to forests.
- Field mission: synthesis
 - Main options in terms of forest definition (what criteria to best fit to the Ivorian context?). Propose between 3 and 5 potential definitions (or relevant options) combining quantitative and qualitative criteria.

¹⁶ National forest monitoring system

- Main options for the MRV system (e.g., land use classes to be defined; emission factors to be defined; sampling vs wall-to-wall treatment of satellite images; etc.).

Deliverable 2: Mission report: (i) update the AFD/C2D report on national capacities in terms of REDD+, considering recent developments in that respect, and (ii) note on forest definitions and MRV system options for REDD+ and RSPO national interpretation.

Phase 3: Analysis of economic and ecological implications of different forest definitions and monitoring systems:

- Together with the CN-REDD+, EFI, and the Joint Research Centre (JRC), selection of pilot areas to test different forest definitions and different monitoring systems (with a special focus on forest area change).
Five pilot areas of 5 000 km² will be chosen within the country. These areas will be representative of major land-uses related to forest conversion for agricultural purposes (slash and burn for food crops in moist forest/savannahs, recent/older cocoa plantations, industrial palm, etc.). Analysis of deforestation patterns will be made using different images, from medium to high resolution (example: from Landsat TM 30 m to WorldView 0,5m), depending on the trade-offs between availability, precision, and price of the scenes.
To inform rapidly the on-going national process (New Forest Code, RSPO, etc.), 10% of these images could be treated during this project. The remaining 90% could be done later by JRC.
- Qualitative and quantitative analysis of economic and ecological impacts of different forest definitions and monitoring systems:
 - Estimates and accuracy/completeness/conservativeness of estimates in terms of carbon stocks and GHG fluxes;
 - Economic impact in terms of restriction of agriculture expansion vs protection of the total economic value of the forest;
 - Economic impact in terms of promotion of REDD+ activities (avoided deforestation or avoided degradation or afforestation/reforestation) versus restriction of agriculture expansion.
- Distance support to the CN-REDD to make the best use of the findings of the study (e.g. preparation of memo and technical notes to back-up discussions in the frame of the RSPO and/or REDD+ and/or Forest Code processes)

Deliverable 3: Final report including quantitative and qualitative analysis of the different options and final recommendations.

At the end of this study, the CN-REDD+ would be in a position to inform multiple stakeholders (Government, RSPO platform, civil society, etc.) on the different options in terms of forest definitions/monitoring systems and their respective impacts.

Target groups

REDD+ actors (especially institutions that could be involved in the MRV: CN-REDD, CURAT, CNTIG, BNDET/CCT, IWP/HB, IGT, etc.); interprofessions; leading companies engaged in “no deforestation” policies; Government and local authorities; etc.

Scope

During the first phase (desk study), the consultant will prepare a state of the art report of the international good practices (basically UNFCCC requirements and IPCC guidelines) and experiences in setting forest definitions and developing/implementing MRV systems. He will also update the AFD/C2D report on national capacities in terms of REDD+, considering recent developments in that respect.

During the second phase (field mission), the consultant will fine-tune the analysis and draw different options in terms of forest definitions and MRV systems.

During the third phase (desk study), the consultant will select pilot areas with CN-REDD, EFI, and JRC, in order to test different forest definitions and different MRV systems (with a special focus on forest area change). Qualitative and quantitative analysis of economic and ecological impacts of different forest definitions and MRV systems will thus be carried out. The consultant will also support the CN-REDD in using and socialising the results, to inform current processes (RSPO discussions, REDD+ development, preparation of the new Forest Code, etc.).

Annexe 2 : Évaluation des coûts de développement d'un historique de changement de couvert forestier et des coûts de suivi associés sur 10 ans

	Coût mini		Commentaire	Coût maxi		Commentaire	Sources
	Unité	Total		Unité	Total		
Acquisition des données satellite moyenne rés. pour 2 dates	-	-	Landsat (5TM / 7ETM+), résolution 30 m	0,700	451 444	SPOT-5 HRVIR, résolution 10-20 m * 2 dates	(GOFC-GOLF, 2008)
Acquisition des données satellite haute rés. pour 2 dates		-	Pas d'analyse des incertitudes	1,300	83 840	Rapideye, 1,3 USD/km² - 10% de couverture	
Équipement technique et bureautique		120 000			150 000		(HARDCASTLE and BAIRD, 2008)
Encadrement technique (1 cadre)		360 000	10 000 US\$/mois sur 36 mois (durée prévue dans RPP)		600 000	30 000 US\$/mois les 12 premiers mois	(HARDCASTLE and BAIRD, 2008), R-PP RCI
Techniciens - analystes déforestation/dégradation		300 000	3 techniciens sur 3 ans		400 000	4 techniciens sur 3 ans	(HARDCASTLE and BAIRD, 2008), R-PP RCI
Techniciens - évaluation des incertitudes		0	Pas d'analyse des incertitudes		100 000	1 technicien sur 3 ans	
Ressources humaines pour 10 années de suivi	195 000	1 950 000	Rec. costs = 25% of initial costs	416 667	4 166 667	Rec. costs = 33% of initial costs	(HARDCASTLE and BAIRD, 2008)
	TOT.	2 730 000		TOT.	5 951 950		
Surface pays	ha	32 246 000		ha	32 246 000		
	USD/ha	0,085		USD/ha	0,185		

Annexe 3 : Caractéristiques des images analysées sur les sites de Maféré et Rubino

Maféré

VHR image data- 50 sqkm Box centred on Lat: 5.398428° Long: -3.044447°

WV2 January 2013

Catalog ID: 103001001EA13D00 Acq Date: Jan 13, 2013 Center Lat/Long: 5.551°/-3.07°

Avg Off Nadir Angle: 9° Avg Target Azimuth: 67° Sensor: WV02 Band Info: Pan_MS1_MS2

RapidEye image data - 500 sqkm box centred on Lat: 5.324 Long: -3.033

Catalog ID: RE ID: 3041514 and : 3041515 21 Dec. 2012

Rubino

WV2 February 2013

Catalog ID: 103001001F3D2B00 Acq Date: Feb 1, 2013 Center Lat/Long: 6.495°/-4.155°

Avg Off Nadir Angle: 4° Avg Target Azimuth: 255° Sensor: WV02 Band Info: Pan_MS1_MS2

IKONOS January 2002

Catalog ID: 106001000519DF00 Acq Date: Jan 19, 2002 Center Lat/Long: 6.011°/-4.346° Avg Off Nadir Angle: 21° Avg Target Azimuth: 300°

Sensor: IK02 Band Info: Pan_MS1

Rapid Eye: Catalog ID: 1144832 Tile ID: 3041908; Acquisition date:2013-01-05

Annexe 4 : Personnes-ressources consultées dans le cadre de la mission à Abidjan du 1 au 5 septembre 2014

Institution	Prénom NOM	Fonction	Tél	Mail	Atelier de restitution
CN-REDD	Marcel YAO	SEP-REDD+	07 79 15 04	ensamarcel@yahoo.fr	1
	Eric Landry KONAN	Expert REDD+ MRV	77 01 88 91	ericlandry@ymail.com	1
	Auguste KOUAKOU	Gestionnaire projet REDD+ (PNCC)	07 29 62 47	amonauguste@yahoo.fr	
	Jean Paul AKA	Assistant Point Focal REDD+	02 56 27 99	jpaulak12@yahoo.fr	1
	Alloua KADJO	Assistante technique REDD+ - Chargé d'études PNCC	45 82 84 82	allouakadjo@yahoo.fr	
BNETD-CCT	Jacob KOUAME	Chef de service	01 62 64 67	jkouame@bnetd.ci	1
	Cassandra DRO	Chargée d'étude	07 93 86 73	damadod@yahoo.fr	1
	Claude Thierry Aké N'DOUME	Chef de service	22 48 63 68	ndoumec@bnetd.ci	
AFD	Valérie REBOUD	Chargée de mission	22 40 70 95	reboudv@afd.fr	
CURAT	Hippolyte DIBI	Enseignant-chercheur (forêt/téledétection)	07 86 63 34 / 04 98 87 68	n_dibihypolite@yahoo.fr	1
	Brice MOBIO	Enseignant-chercheur	05 62 64 96	brice.mobio@curat-edu.org	
	Adonis KOUAME	Enseignant-chercheur	05 08 09 36	adonis.kouame@curat-edu.org	
	Fernand KOUAME	Enseignant-chercheur/ Directeur	03 03 99 81 / 44 88 10 73	fernand.kouame@curat-edu.org	1
	Adama OUATTARA	Enseignant-chercheur (science des sols)	01 66 19 10		
	Bachir SALEY	Enseignant-chercheur/ Sous Directeur		bachir.saley@curat-edu.org	
IGT	Eugène KOUAME	Enseignant-chercheur	07 33 65 98	enzokkeugene@yahoo.fr	1
SODEFOR	Brahima DIOMANDE	DSI	03 06 05 79	Ibrahim_diom@yahoo.fr	1
	Patrick ALLA	DSI	09 30 84 38	patrickalla@yahoo.fr	1
	Ange BONGROH	DSI	41 01 05 51 / 05 00 63 90	bongrohange@gmail.com	
	Coulibaly HAYA	Directrice	22 48 29 95 / 02 54 44 45	hayacoulibaly2005@yahoo.fr	
	Alphonse AMON	DT	02 74 16 19	amon_alphonse@yahoo.fr	
	Losseny KAMAGATE	DSI	04 48 34 97	kamagatelos@yahoo.fr	
OIPR	Charles AGNIMEL	CE/DT		charles.agnimel@oipr.ci	1
	Pascal N'DRI		01 01 86 61	pascal.kouame@oipr.ci	
	François N'GORAN	Directeur technique	07 61 83 61		
	Celestin ADOMPO	Chef de cellule appui à l'écosystème	08 49 66 97		
	Drissa KONE	CE/DT	05 83 79 25		
AIPH	Abdoulaye BERTE	Secrétaire Exécutif	07 47 17 00 / 22 51 01 15	ab.berte@gmail.com berte@aiph.ci	

Annexe 5 (suite) : Personnes-ressources consultées dans le cadre de la mission à Abidjan du 1 au 5 septembre 2014

FIRCA	Serge NAI	chargé de programme Huile de palme	59 09 24 01 / 05 60 43 86	nai@firca.ci	1
SOLIDARIDAD	Ahmadou CISSE	Program Manager Huile de palme	07 64 73 75	Ahmadou.Cisse@solidaridadnetwork.org	1
ENVAL	Clément YAPO	Directeur des opérations			1
GIZ	Hans-Ulrich CASPARY	Chargé Conservation Parc de Taï	09 86 28 40 / 22 43 72 75	hans-ulrich.caspary@giz.de	1
	Leon ALVAREZ	Expert Junior Communication	07 44 44 12 / 22 43 07 13	leon.sanchez@giz.de	
	Innocent ABI	Representant local GISCO	07 29 31 13 / 22 43 72 75	innocent.abi@giz.de	1
DPIF	Maxime LOUKOU	Chef de service SIG	01 88 14 05	imaxko@yahoo.fr	
FLEGT	Alain ROUSSEAU	Conseiller technique GIZ	57 07 03 57 / 22 43 43 95	alain.rousseau@giz.de	1
FLEGT	Dople SORO	Point focal FLEGT	06 16 83 56	dopleclaud@yahoo.fr	

Annexe 6 : Comparaison des changements d'occupation des sols (en ha – haut – et en % - bas) avec une segmentation à 1ha sur des images Landsat et WorldView2

LANDSAT	VHR								TOTAL
	FOREST/FOREST	PLANT/PLANT	FOREST/PLANT	FOREST /NON FOREST	PLANT/NON FOREST	NON FOREST / PLANT	NON FOREST/NON FOREST		
Tree Cover / Tree Cover	45	51	52	31	3	12	1	195	
TC Mosaic / TC Mosaic	29	100	140	91	11	13	3	386	
Tree Cover / Other Land	7	9	82	72	0	3	11	184	
TC Mosac / Other Land	8	19	33	82	2	5	11	160	
Other Land / Tree Cover	3	34	23	15	1	15	5	96	
Other Land / Other Land	18	43	19	38	12	9	10	149	
Total	109	257	349	329	29	56	42	1170	

LANDSAT	VHR								TOTAL
	FOREST/FOREST	PLANT/PLANT	FOREST/PLANT	FOREST /NON FOREST	PLANT/NON FOREST	NON FOREST / PLANT	NON FOREST/NON FOREST		
Tree Cover / Tree Cover	3.8	4.4	4.4	2.6	0.3	1.0	0.1	16.7	
TC Mosaic / TC Mosaic	2.5	8.5	12.0	7.7	0.9	1.1	0.3	33.0	
Tree Cover / Other Land	0.6	0.8	7.0	6.2	0.0	0.2	0.9	15.7	
TC Mosac / Other Land	0.7	1.6	2.8	7.0	0.2	0.4	1.0	13.7	
Other Land / Tree Cover	0.2	2.9	2.0	1.3	0.1	1.3	0.4	8.2	
Other Land / Other Land	1.6	3.7	1.6	3.2	1.0	0.7	0.9	12.7	
Total	9.4	22.0	29.8	28.1	2.5	4.8	3.6	100.0	



Octobre 2014

SAS SalvaTerra

6 rue de Panama

75018 Paris I France

Tel : +33 (0)6 66 49 95 31

Email : info@salvaterra.fr

Skype : o.bouyer.salvaterra

Web : www.salvaterra.fr

