

Niveau d' Emissions de Référence pour les Forêts de la Côte d'Ivoire

**Présentation à la Convention Cadre des
Nations Unies pour le Changement Climatique**

Date : 01 JANVIER 2017

Sommaire

INTRODUCTION	9
1. DEFINITIONS	10
1.1. La forêt	10
1.2. La déforestation	11
1.3. La dégradation forestière.....	11
1.4. L'afforestation	11
2. MOTEURS DE LA DEFORESTATION	12
3. ÉCHELLE	14
4. PORTÉE	15
4.1. Les activités REDD + dans le NERF.....	15
4.2. Les réservoirs de carbone dans le NERF.....	15
4.3. Les gaz dans le NERF	16
5. COHERENCE AVEC LES INVENTAIRES DES GAZ A EFFET DE SERRE	16
6. INFORMATIONS UTILISEES POUR LA CONSTRUCTION DU NERF/NRF.....	18
6.1. Zonage phytogéographique de la Côte d'Ivoire.....	18
6.1. Données d'activités	19
6.2.1. Données et Méthodologies	20
6.2.2. Évaluation de la précision et correction des biais.....	23
6.2.3. Résultats détection de changement de la superficie forestière	26
6.2.4. Superficies prises en compte dans le calcul du NERF	28
6.2. Facteurs d'émission pour la déforestation	29
6.2.1. L'analyse des facteurs d'émissions	29
6.3. Afforestation dans le NERF/NRF	32
7. NERF PROPOSÉ.....	36
7.1. Période historique considérée	36
7.2. Méthode de construction du NERF/NRF.....	37
7.2.1. Calcul des émissions historiques	37
7.2.2. Calcul des absorptions historiques.....	38

7.2.3. Calcul des émissions historiques moyennes nettes	40
7.3. Détails des circonstances nationales	40
7.4. Fréquence de mise à jour	42
8. LES AMELIORATIONS FUTURES	43
RÉFÉRENCES	44
ANNEXES	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Expansion de l'agriculture 62% Evolution 1990-2015 (ETC TERRA, RONGEAD et BNETD, 2016).....	12
Tableau II : Facteurs économiques 36% (ETC TERRA, RONGEAD et BNETD, 2016).....	13
Tableau III : Correspondance entre les zones phytogéographiques de Côte d'Ivoire et le zonage climatique du GIEC (2006)	17
Tableau IV : Stratification des différents types d'occupation du sol selon le GIEC, 2006	21
Tableau V : Caractéristiques et paramètres choisis pour la détermination de la	24
Tableau VI : Superficies et intervalles de confiance pour les forêts en 1990, 2000 et 2015	28
Tableau VII : Biomasse aérienne des forêts (Tableau 4.7 du GIEC, 2006)	30
Tableau VIII : Zone écologique Biomasse aérienne Tx [(tonne racine m.s. (tonne de pousses m.s.)]-1 (Tableau 4.4 GIEC, 2006)	31
Tableau IX : Valeur par défaut de niveau 1 pour les stocks de carbone de la litière (Tableau 2.2 du GIEC 2006).....	32
Tableau X : Facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse par défaut (FECB), tonnes biomasse (m3 de volume de bois)-1.....	33
Tableau XI : Facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse par défaut (FECB), tonnes biomasse (m3 de volume de bois)-1 bis	33
Tableau XII : Calcul de la croissance moyenne de la biomasse des plantations	35
Tableau XIII : Superficies et intervalles de confiance pour les forêts en 1990, 2000 et 2015.....	36
Tableau XIV : Emissions moyennes historiques.....	37
Tableau XV : Absorptions moyenne historiques.....	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Subdivision du territoire national en zones phytogéographiques Sources modifiée : (Guillaumet et Adjanohoun, 1971 ; Atlas de Côte d'Ivoire, ORSTOM-IGT, 1979)	19
Figure 2 : Organigramme de traitement de données d'activité.....	20
Figure 4 : Superficies des forêts en 1990, 2000 et 2015 (en milliers ha)	28
Figure 5 : Emissions moyennes historiques brutes de CO2 issues de la déforestation (2000-2015)	38
Figure 6 : Absorptions historiques moyennes brutes de CO2 issues de l'afforestation (2000-2015)	39
Figure 7 : Emissions et Absorption moyennes brutes historiques de CO2 issues de la déforestation et de l'afforestation (2000-2015)	40

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Site de téléchargement d'image Landsat	46
Annexe 2 : Disponibilité des images Landsat (1990-2000-2015).....	46
Annexe 3 : Classes de la carte évaluée	47
Annexe 4: Combinaison des couches individuelles en carte de changement	47
Annexe 5 : Échantillonnage total pour la Côte d'Ivoire, emprise terrain d'un échantillon (900m2)	48
Annexe 6 : Visualisation d'une image dans l'outil Collect Earth.....	48
Annexe 7 : Interface Collect Earth utilisée comme système de réponse et de collecte des données.....	49
Annexe 8 : Matrice de confusion	49
Annexe 9 : Précisions Producteur et Utilisateur, Superficies et Intervalles de confiance au niveau national	50

ACRONYMES

AFD	: Agence Française de Développement
BNETD	: Bureau National d'Etude Technique et de Développement
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CCT	: Centre de Cartographie et de Télédétection
CH ₄	: Méthane
CO ₂	: Dioxyde de carbone
CP	: Conférence des Parties
CTN	: Comité Technique de Négociation
CURAT	: Centre Universitaire et d'Application en Télédétection
DEAH	: Département Environnement Assainissement-Hydraulique
ERPD	: Document de Programme de Réductions des Émissions
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper plus
F/NF	: Forêt / Non Forêt
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCPF	: Fonds de partenariat pour le carbone forestier
FLEGT	: Application des réglementations forestières, la gouvernance et les échanges commerciaux
GIEC	: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZ	: Agence de coopération internationale allemande pour le développement
GPG	: Good Practice Guidance ou Guide des bonnes pratiques
IFN	: Inventaire Forestier National
IGT	: Institut de Géographie Tropicale
LPC	: Longueur de la période de croissance
LULUCF	: Land use, land-use change and forestry ou LULUCF utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie.
MINEF	: Ministère des Eaux et Forêts
MODIS	: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	: indice de végétation de la différence normalisée
NERF	: Niveau d'Émission de Référence pour les Forêts
NRF	: Niveau de référence pour les Forêts
OLI	: Operational Land Imager
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
ONU-REDD	: Organisation des Nations Unies pour la Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts

ORSTOM	: Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
PEC	: Pool Economique Compétitif
PIR	: Proche InfraRouge
PNC	: Parc National de Taï
PND	: Programme National de Développement
PNT	: Parc National de Comoé
PRE	: Programme de Réduction des Emissions
R	: Rouge
SEP-REDD+	: Secrétariat Exécutif Permanent - Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts
SODEFOR	: Société de Développement des Forêts
SOFRECO	: Société Française de Conseil et d'assistance technique au développement économique et social durable
TM	: Thematic Mapper
TOA	: Réflectance au sommet de l'atmosphère :

INTRODUCTION

En réponse aux enjeux de la déforestation et du changement climatique, la République de Côte d'Ivoire s'est engagée volontairement depuis 2011 dans le processus de réduction des émissions des gaz à effet de serre provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts, la conservation et la gestion durable des forêts, et le renforcement des stocks de carbone forestier dans le cadre de la REDD+. Aussi, pour la mise en œuvre dudit mécanisme, la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), à travers la décision 12/CP.17 invite-t-elle les pays à développer certains outils parmi lesquels les niveaux de référence pour les forêts et les systèmes nationaux de surveillance des forêts. Ainsi, le pays a entrepris la construction de son Niveau d'Émission de Référence pour les Forêts/ Niveau de référence pour les Forêts (NERF/NRF) pour servir de base d'évaluation de ses efforts consentis dans le cadre de la REDD+.

Le NERF/NRF soumis par la Côte d'Ivoire constitue ainsi un repère pour les paiements basés sur les résultats. Au-delà des paiements, ce NERF/NRF est envisagé pour s'assurer de la cohérence des politiques sectorielles et de la bonne gouvernance des ressources forestières.

Pour la construction de son NERF/NRF, la République de Côte d'Ivoire a suivi :

- ❖ les lignes directrices fournies par la CCNUCC, notamment les Modalités d'établissement des NERF/NRF dans la décision 12/CP.17 et les directives sur les niveaux d'émission dans l'annexe de la décision 12/CP.17,
- ❖ les recommandations du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2003) en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres et la foresterie (GPG-LULUCF),
- ❖ les lignes directrices pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre du GIEC (2006).
- ❖ La République de Côte d'Ivoire faisant de la coordination entre les différentes exigences des bailleurs et partenaires un défi majeur pour la mise en œuvre de la REDD+, cette soumission respecte également les exigences du cadre méthodologique du fonds carbone et les principes directeurs du Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier (FCPF, 2013).

Enfin, l'approche de construction du NERF/NRF s'est appuyée sur les efforts de verdissement du PND (2016-2020), notamment à travers l'élaboration d'un outil de cadrage et d'évaluation de l'alignement des projets et programmes nationaux de développement avec le REDD, et la vision prospective du INDICs.

La Côte d'Ivoire a adopté une approche de construction du NERF/NRF à une échelle nationale mais par étape, avec une amélioration progressive de la précision des données utilisés. Ce

présent NERF/NRF émane de l'analyse des meilleures informations disponibles au moment de sa soumission. Ainsi, l'approche méthodologique dans la construction du NERF/NRF, l'ensemble des données sur la portée, les activités et les facteurs d'émission seront affinés au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles données plus précises.

1. DEFINITIONS

1.1. La forêt

Selon la définition de la forêt transmise par la Côte d'Ivoire à la CCNUCC, on entend par Forêt « toute terre constituant un milieu dynamique et hétérogène, 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 notion inclut :

Les zones couvertes d'arbres jeunes qui n'ont pas encore atteint, mais devraient atteindre, un couvert forestier d'au moins 30% et une hauteur de 5 mètres ou plus ;

Les zones temporairement non boisées suite à des coupes rases dans le cadre de pratiques de gestion forestière ou pour des causes naturelles, et dont la régénération est prévue dans les 5 ans ;

Les chemins forestiers, les coupe-feux et autres petites clairières; les forêts dans les parcs nationaux, les réserves naturelles et les autres aires protégées présentant un intérêt écologique, scientifique, historique, culturel ou spirituel ;

Les brise-vent, les rideaux-abris et les corridors d'arbres occupant une superficie de plus de 0,1 ha et une largeur de plus de 20 mètres ;

Les terres à culture itinérante abandonnées avec des arbres régénérés qui atteignent, ou sont capables d'atteindre, un couvert forestier d'une superficie minimale de 0,1 ha, d'un taux de couvert d'au moins 30% et une hauteur d'au moins 5 mètres ;

Les zones intertidales couvertes de mangroves, qu'elles soient ou non classifiées comme terres ;

Les zones couvertes de bamboueraies à condition que l'utilisation de la terre, la hauteur et le couvert forestier soient conformes aux critères établis ;

Toutes les plantations ligneuses qui répondent aux critères techniques de taille des arbres, taux de couverture du houppier et superficie minimale ; et qui n'ont pas remplacé, à partir de 2015, des terres forestières naturelles selon la définition de la forêt du pays soumise à la CCNUCC. A ce niveau, la mise en place d'un système d'information des sauvegardes au niveau local et national rendrait le mécanisme de suivi des changements d'affectation des terres plus performant

1.2. La déforestation

Le code forestier ivoirien (Loi n°2014- 427 du 14 juillet 2014) utilise deux définitions qui peuvent être prises en compte à savoir :

- **Déboisement**, l'action consistant à défricher une terre forestière, à couper ou à extirper ses végétaux ligneux en vue de changer l'affectation du sol ;
- **Défrichement**, l'action consistant à couper ou à détruire un couvert forestier

Une définition plus adaptée, prenant en compte les deux éléments précédents a été adoptée lors d'un atelier national technique sur la représentation de la définition de la forêt, tenu les 27 et 28 avril 2016. La **déforestation** a été définie comme la conversion anthropique directe d'une superficie continue d'au moins 0,10 ha de terres forestières en terres non forestières.

Cette définition exclut les zones temporairement non boisées suite à des coupes rases dans le cadre de pratiques de gestion forestière ou pour des causes naturelles, et dont la régénération est prévue dans les 5 ans qui suivent.

1.3. La dégradation forestière

La dégradation est un processus de changement au sein de la forêt qui affecte négativement ses caractéristiques. La conjugaison de diverses caractéristiques (qualité de la forêt) peut être exprimée comme la structure ou fonction qui détermine la capacité de fournir des produits et/ou services forestiers (FAO 2001). Il faut noter dans dégradation les terres forestières demeurent toujours forestières

Au niveau national, la **dégradation forestière** a été définie comme « la réduction de stocks de carbone forestier due à des perturbations anthropiques se manifestant par la perte de canopée, non qualifiable comme déforestation » (Atelier national, avril 2016). La dégradation de la forêt se distingue de la déforestation.

1.4. L'afforestation

C'est un processus de changement des terres non forestières converties en terres forestières. Elle correspond à l'activité REDD+ du renforcement des stocks de carbone forestier.

Dans le contexte de la Côte d'Ivoire, l'afforestation concerne l'établissement des plantations forestières.

2. MOTEURS DE LA DEFORESTATION

Pour la construction d'une stratégie nationale REDD+ crédible et robuste, une analyse détaillée préalable des moteurs de la déforestation des forêts a été réalisée en 2016 par le BNETD (2016) et ETC TERRA, RONGEAD et BNETD (2016). Cette analyse a porté sur deux aspects :

- l'analyse quantitative et spatiale des points chauds et tendances historiques de la déforestation sur la base des images satellitaires 1990-2000-2015 (section 6.2.3) ;
- et l'analyse qualitative de la déforestation en Côte d'Ivoire.
- L'analyse qualitative a permis de noter l'expansion de l'agriculture (62%), l'exploitation forestière (18%) et l'extension des infrastructures (10%) (Tableau I et II) sont les facteurs directs identifiés de la déforestation. Les facteurs indirects qui guident la déforestation en Côte d'Ivoire sont l'économie, la politico-institutionnelles et la démographie. L'analyse quantitative est abordée par section 6.2.3. de ce rapport

Tableau I : Expansion de l'agriculture 62% Evolution 1990-2015 (ETC TERRA, RONGEAD et BNETD, 2016)

Expansion de l'agriculture	62%	Evolution 1990-2015
Cacao-culture	38%	Hausse
Hévéaculture	23%	Hausse
Culture de palmier	11%	Hausse
Plantation d'anacardiens	7%	Hausse
Cultures vivrières	6%	Hausse
Riziculture	5%	Hausse
Caféiculture	5%	Baisse
Autres cultures de rente	4%	Maintien
Exploitation forestière	18%	
Exploitation forestière (coupe à blanc > 1000 m2)	64%	Maintien

Production de charbon	36%	Hausse
Extension des infrastructures	10%	
Habitat (rural, urbain)	94%	Hausse
Transport (route, rail)	6%	Baisse
Exploitation minière	8%	
Orpaillage artisanal	80%	Hausse
Orpaillage industriel	20%	Hausse
Propagation des feux de brousse	3%	Maintien

Tableau II : Facteurs économiques 36% (ETC TERRA, RONGEAD et BNETD, 2016)

Facteurs économiques	36%
Facteurs politiques et institutionnels	35%
Facteurs démographiques	24%
Facteurs technologiques	4%
Facteurs culturels	1%

3. ÉCHELLE

Le NERF/NRF soumis par la Côte d'Ivoire couvre le territoire national. La disponibilité des données satellitaire Landsat libres, est la raison première de ce choix. Cette échelle nationale du NERF/NRF permettra également un meilleur suivi des phénomènes de fuites, surtout au niveau agricole.

4. PORTÉE

4.1. Les activités REDD + dans le NERF

Les activités REDD+ prises intégrées à la construction du NERF/NRF de la Côte d'Ivoire sont :

- ❖ La **réduction de la déforestation**. Pour cette activité, divers axes stratégiques sont développés. Il s'agit de l'"Agriculture Zéro déforestation¹", de l'exploitation minière durable par la relocalisation des orpailleurs en dehors des aires protégées et la restauration des terres dégradées.
- ❖ Le **renforcement des stocks de carbone** forestier des superficies non forestières devenues forestières. Pour cette activité REDD+, les reboisements dans les forêts classées et en zone rurale de la SODEFOR, tant dans la zone savanicole que forestière ainsi que l'agroforesterie (cacaoyère sous couverture arborée, les parcelles d'hévéa, le verger d'anacarde dans la zone nord du pays) sont autant d'actions à prendre en compte.

A ce stade des travaux, les activités de réduction des émissions dues à la dégradation des forêts, de conservation de stock de carbone forestier et de gestion durable des forêts ne sont pas prises en compte pour la construction du présent NERF/NRF, mais seront incluses dans le futur avec une amélioration du système de collecte et de la qualité des données. Il faut noter que les activités de la REDD+ sont en synergie avec le FLEGT, par un plan d'aménagement du territoire et par l'opérationnalisation de la traçabilité du bois commercialisé.

4.2. Les réservoirs de carbone dans le NERF

Trois réservoirs sont pris en compte pour la construction du présent NERF/NRF : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la litière. Dans cette soumission, nous avons omis les réservoirs de bois mort et du sol par manque de données fiables. Toutefois, la collecte des données sur la biomasse (disponible en mars 2017) va permettre de remplacer les facteurs par défaut du GIEC (2006) par des données pays en ce qui concerne la biomasse aérienne et le bois mort.

¹ Politique agriculture zéro déforestation : <http://reddplus.ci/telecharger/#>

4.3. Les gaz dans le NERF

Le dioxyde de carbone (CO₂) est le seul gaz pris en compte pour la construction du NERF/NRF en Côte d'Ivoire. Le CO₂ issu des feux de brousse n'est pas pris en compte dans cette soumission par manque de données disponibles, mais sera envisagé pour le futur.

Ce manque de données fiables ne permet également pas de prendre en compte le CH₄ dans cette version.

5. COHERENCE AVEC LES INVENTAIRES DES GAZ A EFFET DE SERRE

Le paragraphe 8 de la décision 12/CP.17 exige que les niveaux d'émission de référence/niveaux de référence pour les forêts (NERF/NRF) soient en cohérence avec les émissions anthropiques de gaz à effet de serre liées aux forêts. La Côte d'Ivoire a cherché cette cohérence comme exigée par le GIEC (IPCC, 2006).

La cohérence est assurée par l'utilisation des mêmes jeux de données pour estimer les émissions issues de la déforestation pour les deux rapports Biennial Update Report (BUR) et NERF/NRF. Il s'agit de :

- documents produits par le GIEC,
- exigences des résolutions de la CCNUCC
- données produites et détenues par les structures nationales (cartographie, foresterie, etc.).

C'est dans ce cadre qu'une mission technique du Ministère en charge de l'environnement composée du Secrétariat Exécutif Permanent REDD+ (SEP-REDD+) et du Bureau Changement Climatique (BCC) a eu lieu du 5 au 9 décembre 2016 au siège de la FAO à Rome.

Quelques éléments de cette cohérence entre NERF/NRF et BUR sont mentionnés ci-après :

- la classification nationale, issue de l'harmonisation des légendes de la couverture terrestre de la Côte d'Ivoire au format LCCSv3 , utilisée correspond à celle utilisée sur des terres forestières du NERF et les activités REDD+ (FAO, 2016) ;
- l'utilisation de la même définition de la forêt (code forestier de juillet 2014) pour les UTCATF;

- la stratification des terres forestières en trois zones phytogéographiques pour une différenciation des facteurs d'émission (Tableau III) ;

Tableau III : Correspondance entre les zones phytogéographiques de Côte d'Ivoire et le zonage climatique du GIEC (2006)

Zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire (Guillaumet et Adjanohoun, 1971 ; Atlas de Côte d'Ivoire, ORSTOM-IGT, 1979)	Zones climatiques du GIEC (2006)
Domaine guinéen secteur littoral (forêt dense humide sempervirente)	forêt dense tropicale
Domaine guinéen secteur ombrophile (forêt dense semi-décidue)	forêt décidue humide tropicale
Domaine guinéen secteur montagnard (forêt dense semi-décidue)	
Domaine Soudanais secteur sub-soudanais (forêt dense sèche et claire)	forêt sèche tropicale
Domaine Soudanais secteur Soudanais (forêt dense sèche et claire)	

- L'utilisation des facteurs d'émissions par défaut du GIEC (2006) ;
- les émissions nationales dans l'IGES ont été estimées sur la base de la méthodologie GIEC 2006, notamment pour la représentation cohérente de la terre et leur lien avec les activités REDD+ ;
- la série temporelle de données utilisées 1990 -2000 -2015;
- les réservoirs pris en compte sont la biomasse aérienne et la biomasse souterraine pour le BUR et pour le NERF/NRF en plus de ces deux réservoirs, la litière a été prise en compte.

6. INFORMATIONS UTILISEES POUR LA CONSTRUCTION DU NERF/NRF

Cette section explique comment les données disponibles pour la construction du présent niveau de référence ont été collectées et analysées.

La construction du NERF/NRF de la République de Côte d'Ivoire s'est appuyée sur les moyennes historiques des émissions dues à la déforestation au niveau national et sans ajustement. Le NERF/NRF pour le renforcement des stocks de carbone forestier prend en compte les absorptions et émissions associées aux nouvelles activités des années 2000 et 2015.

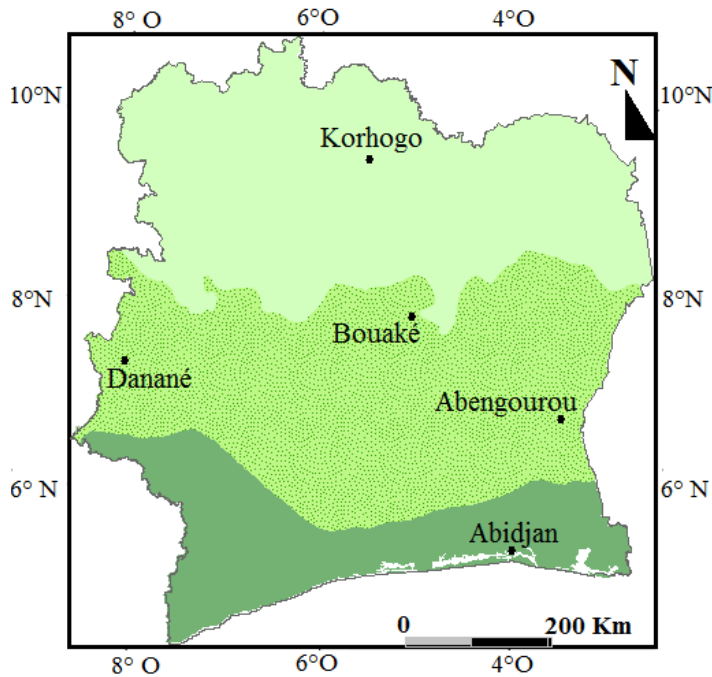
Les autres activités (dégradation des forêts, conservation de stock de carbone forestier et gestion durable des forêts) pourront être prises en compte dans le futur, après une campagne de collecte de données plus précises.

6.1. Zonage phytogéographique de la Côte d'Ivoire

Dans un souci de cohérence avec les zones climatiques proposées par le GIEC, le territoire national a été subdivisé en trois zones phytogéographiques comme le montre la figure 1 suivante. Ainsi, les zones sont les suivantes (Guillaumet et Adjanohoun, 1971 ; Atlas de Côte d'Ivoire, ORSTOM-IGT, 1979) :

- les Forêts denses humides sempervirentes (ombrophile) au Sud et au Sud-ouest du pays ;
- les Forêts denses humides semi-décidues (mésophile) dans la zone centrale du pays (Est, Centre et Ouest) ;
- les Forêts denses sèches et les forêts claires dans la moitié Centre-nord et dans le Nord

Sur cette base, trois (3) strates de végétation ont été corrélées aux trois zones climatiques établies par le GIEC (2006) que sont les Forêts denses tropicales, les forêts décidues humides tropicales et les forêts sèches tropicales.



LEGENDE

	Domaine Soudanais / Secteurs soudanais et sub-soudanais : - zone de forêt dense sèche et claire
	Domaine Guinéen / Secteur mésophile : - zone de forêt dense semidécidue
	Domaine Guinéen / Secteur ombrophile : - zone de forêt dense humide sempervirente

Figure 1 : Subdivision du territoire national en zones phytogéographiques Sources modifiée : (Guillaumet et Adjanhoun, 1971 ; Atlas de Côte d'Ivoire, ORSTOM-IGT, 1979)

6.1. Données d'activités

De nombreuses données cartographiques sur l'occupation du sol de la République de Côte d'Ivoire existent depuis 1957. Malheureusement, ces dernières sont bien souvent parcellaires. Aussi, pour la construction du NERF/NRF, une nouvelle campagne de collecte sur le terrain et le traitement d'une série temporelle d'images Landsat de 1990, 2000 et 2015 ont été menés. Ces données cartographiques (1990-2000-2015) ont servi de base à la construction du NERF/NRF de la Côte d'Ivoire.

Les cartes forêt/non forêt de Côte d'Ivoire produites par le BNETD/CIGN sur trois périodes (1990-2000-2015) ont servi de base à l'analyse de la **déforestation**, source d'émission de CO₂ (Données d'Activité).

Ces mêmes cartes complétées par des données de reboisement du Ministère en charge des Eaux et Forêts ont servi de base à l'analyse de l'**afforestation**, source d'absorption de CO₂. Il s'agit de l'activité REDD+ de renforcement des stocks de carbone forestier.

6.2.1. Données et Méthodologies

La méthodologie mise en œuvre dans le traitement des données d'activité est résumée dans la figure 2 suivante. Cette dernière présente 5 grandes étapes :

- l'acquisition d'images satellitaires,
- la stratification de la végétation,
- la classification supervisée,
- le calcul des changements d'affectation des terres,
- l'évaluation de la précision des cartes et l'estimation des erreurs associées.

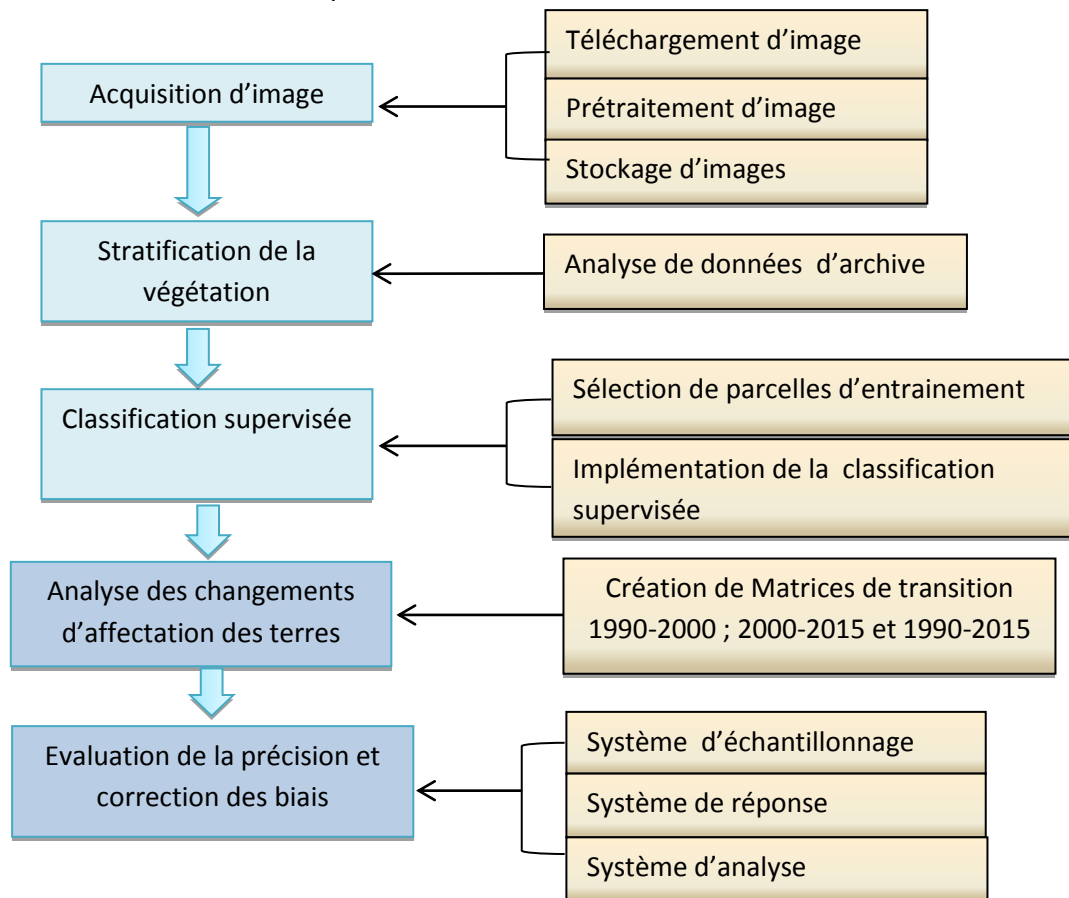


Figure 2 : Organigramme de traitement de données d'activité

6.2.1.1. Acquisition d'images satellitaires

Les images satellitaires utilisées sont celles des capteurs Enhanced Thematic Mapper (ETM+) de Landsat 7 et OLI pour Landsat 8. Il s'agit d'images libres d'accès, téléchargées sur le site : <http://glovis.usgs.gov/> (Annexe 1).

La Côte d'Ivoire est entièrement couverte par 21 scènes Landsat ETM+/OLI des orbites (path) 195 à 199 et des (row) 53 à 57. Un total de 223 images a été ainsi téléchargé. Ces images ont été par la suite analysées tant au niveau de l'exhaustivité des canaux essentiels (infra-rouge et Proche Infra-rouge) que de la couverture nuageuse (inférieure à 20%). Finalement, 63 images jugées satisfaisantes ont été retenues sur les 223 téléchargées (Annexe 2). Pour les images retenues, un prétraitement a permis de réduire les effets perturbateurs de l'atmosphère avant de les stocker. Il s'agissait d'appliquer la méthode de calibration des capteurs Landsat pour convertir les comptes numériques en radiance et en réflectance (Réflectance au sommet de l'atmosphère : TOA).

6.2.1.2. Stratification de la végétation

La stratification de la végétation en Côte d'Ivoire s'est appuyée sur l'analyse des données d'archives (rapports et cartographies) qui ont permis de faire le point résumé dans le tableau IV suivant . Ces données ont été collectées auprès de différentes structures que sont le : Ministère des eaux et forêts, le Ministère de l'environnement et du développement durable ; les structures publiques ayant en charge la gestion des forêts (la Société de développement des Forêts - SODEFOR et l'Office Ivoirienne des Parcs et réserves - OIPR) ; les Universités et Centres de Recherches (Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection : CURAT et l'institut de Géographie Tropicale : IGT) ; le Secrétariat Exécutif Permanent de la REDD+ (SEP-REDD+) ; de la FAO et le BNETD (CIGN et DEAH).

Le détail des classes « forêt » et « non forêt » est issu de la littérature et est donné dans le tableau IV ci-après.

Tableau IV : Stratification des différents types d'occupation du sol selon le GIEC, 2006

Classes	Différentes strates associées
Forêt	forêt dense tropicale
	forêt décidue humide tropicale
	forêt sèche tropicale
Non Forêt	Non Forêt

6.2.1.3. Classification d'images et production de cartes de forêt/non forêt

Il a s'agit de faire le choix des parcelles d'entraînement puis d'implémenter la classification, à partir de l'algorithme de classification d'image choisi (maximum de vraisemblance).

❖ Le choix des parcelles d'entraînement :

Le choix des parcelles d'entraînement a été précédé d'une mission de terrain qui a permis de visiter un échantillon de 424 sites de forêt sur l'ensemble du territoire national. Le choix de ces sites a été fait sur la base de zones phytogéographiques. Il s'agit de forêts denses humides au Sud, de forêts denses humides semi-décidues dans la zone centrale et de forêts denses sèches dans la moitié Nord du pays.

Finalement le choix de 150 parcelles d'entraînement sur la base des connaissances de terrain a permis la création de signatures spectrales. La base de données images pour cette analyse est composée de : 3 bandes du visibles, 1 bande du proche infrarouge, 2 bandes du moyenne-infrarouge et une image du NDVI (Rouse *et. al*, 1974) générée pour la même image.

Le choix des sites d'entraînement reposant sur l'hypothèse que les statistiques de réflectance de ces derniers suivent une distribution Gaussienne (la loi normale) dans les différents canaux, l'étape suivante a été d'évaluer leur homogénéité spectrale. Ainsi, seules les classes spectrales affichant un histogramme de réflectance uni-modal (preuve de leur homogénéité) dans les différentes bandes seront validées.

❖ La Mise en œuvre de classification supervisée

Cette étape a consisté à faire le choix de l'algorithme du « maximum de vraisemblance ». L'un des plus utilisé a été celui appliqué pour les différentes classifications (Lassieur, 2006). Cet algorithme qui repose sur les règles de Bayes va calculer pour chaque pixel, sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre. Le pixel est affecté à la classe dont la probabilité d'appartenance est la plus élevée (Girard, 1999). Les classifications sont effectuées sur chaque scène.

Hormis la visite de terrain, cette chaîne de traitement appliquée aux images de 2015 a été reprise pour les images des années 1990 et 2000 et 2015. Finalement toutes les scènes pour une même année sont fusionnées pour constituer une couche unique.

6.2.1.4. Analyse des changements d'affectation des terres

Pour l'analyse des changements d'affectation des terres, les codes **1** et **2** ont été attribués respectivement aux classes d'objets "**Non Forêt**" et "**Forêt**".

Cette codification a facilité la création de matrices de transitions issues du croisement des cartes de 1990-2000, 2000-2015 et 1990-2015.

Les cartes ont été combinées (pixel par pixel) pour produire une carte de changement avec un code à 3 chiffres, représentant l'état Forêt (code 2) ou Non-Forêt (code 1) pour les 3 dates : ainsi un pixel avec le code 211 correspond à une situation Forêt en 1990 et Non-Forêt en 2000 et 2015.

La carte de changement est donc composée de 8 classes (2 états en 3 dates) comme explicité dans le Annexe 3I et la Annexe 4.

La combinaison des cartes F/NF individuelles a été faite avec les outils de la librairie Open Foris Geospatial Toolkit (<http://www.openforis.org/tools/geospatial-toolkit.html>), ainsi que les calculs de superficies par zones phytogéographique pour l'analyse (Annexe 4).

Pour chaque croisement de carte, l'analyse a porté sur :

- les surfaces qui sont restées forestières ;
- les surfaces qui sont passées de non forêt à forêt ;
- les surfaces qui sont passées de forêt à non forêt.

6.2.2. Évaluation de la précision et correction des biais

L'évaluation de la précision s'est appuyée sur les bonnes pratiques décrites par Olofsson *et al.* (2013) en trois étapes : la définition du système d'échantillonnage, l'adoption d'un système de réponse optimal et l'analyse. Cette étape du traitement a été réalisée indépendamment par le SEP REDD+ avec l'appui technique de l'équipe ONU-REDD de la FAO.

6.2.2.1. Système d'échantillonnage

Un échantillonnage aléatoire stratifié conformément aux bonnes pratiques indiquées dans Olofsson *et al.* (2014) a été réalisé avec répartition aléatoire des points dans chaque strate.

Un total de 1252 points d'échantillonnage a été généré aléatoirement et distribué entre les classes à l'aide d'un outil développé par le Département Forêt de la FAO (interface graphique dans R) et paramétré à une précision attendue de 0,9 pour les classes stables (111, 222), 0,5 pour les classes de changement (112, 121, 122, 211, 221, 212) et une taille minimale d'échantillons de 100 points par classe (Tableau V).

Le nombre d'échantillons a été calculé à partir de la formule ci-après :

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\bar{O})]^2 + (1/N)\sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\bar{O})} \right)^2$$

Avec

n : nombre d'échantillons

Wi : Proportion par strate

Si : écart-type par strate

S(o) : erreur type de la précision globale estimée = 0,01

Tableau V : Caractéristiques et paramètres choisis pour la détermination de la

Strate	Superficie carte	Proportion strate (Wi)	Précision utilisateur attendue (EUA)	Répartition proportionnelle	Répartition finale
111	242616109	0.677693321	0.9	862	550
112	7127002	0.019907671	0.5	25	100
121	12941136	0.036148141	0.5	46	100
122	2723902	0.007608605	0.5	9	100
211	53771874	0.150199589	0.5	191	122
212	3659201	0.010221152	0.5	13	100
221	21336638	0.059599081	0.5	75	100
222	13826942	0.038622441	0.9	49	100

Dans le plan d'échantillonnage, la taille de l'échantillon pour chaque classe de la carte est choisie pour assurer que la taille de l'échantillon est suffisamment grande pour produire des estimations suffisamment précises (GFOI, 2013).

L'échantillonnage des classes majoritaires a été fait en choisissant aléatoirement des points dans une grille aléatoire. L'échantillonnage des classes rares a été fait en transformant d'abord le raster en table de points, puis en choisissant aléatoirement le nombre de points désiré dans chaque classe concernée. Le détail de la procédure est décrit dans FAO (2016).

Finalement, pour respecter l'unité minimum de cartographie employée dans les cartes individuelles produites par le BNETD, une zone tampon de 900 m² (superficie équivalente à 1 pixel Landsat) a ensuite été définie autour de chaque point et interprété visuellement (Annexe 5).

6.2.2.2. Système de réponse

Selon Olofsson *et al.* (2013), les données qui servent à évaluer la précision d'une carte doivent être de qualité et de résolution au moins supérieures ou égales aux données utilisées pour l'élaboration de la carte.

Le système de réponse utilisé ici est composé de :

l'outil Collect Earth (Annexe 6) où les points sont visuellement interprétés en utilisant les images présentes dans Google Earth, Bing map, et Here maps, qui permet de bénéficier d'information à très haute résolution spatiale ;

- séries temporelles de composites annuelles d'images Landsat pour toute la période de 1990 à 2015 qui permet de bénéficier d'information à très haute résolution temporelle. Pour les données de 2015, une image Sentinel 2 a été utilisée en complément des images LANDSAT pour sa meilleure résolution spatiale et du fait de sa disponibilité.

Ces deux outils font partie de l'ensemble de logiciels libres Open Foris développés par le Département Forêt de la FAO pour faciliter la collecte, l'analyse, les rapports et les échanges de données sur les forêts.

Cette interprétation visuelle des échantillons à partir des images disponibles s'est faite sur trois années : 1990, 2000 et 2015.

Il s'agissait pour l'opérateur de cocher la case forêt ou non forêt pour chacune de ces trois années et valider la réponse en utilisant un critère d'autoévaluation (Annexe 7).

En effet, l'interprétation de ces images n'est pas toujours concluante à cause de la présence de nuages mais aussi d'indisponibilité d'images Landsat pour certaines années, d'absence d'images à haute résolution spatiale dans Google Earth, ou présence d'artefacts (i.e SLC-off sur Landsat 7). Dans les cas où l'interprétation visuelle des points n'a pas été possible pour les raisons évoquées antérieurement, le label certitude « non » a été attribué et les points concernés ont été supprimés de l'analyse.

Le système d'échantillonnage choisi (aléatoire stratifié) autorise la non prise en considération de la totalité des points, tant que le nombre de points minimum par strate de la carte initiale est respecté. Au final, sur les 1252 points de l'échantillonnage initial, 1098 points ont été validés et utilisés pour l'analyse (154 points rejetés soit un peu plus de 10%)

6.2.2.3. Système d'analyse

Le système d'analyse est le protocole permettant de produire toutes les statistiques associées à la chaîne de traitement. Ce protocole fait appel à un ensemble d'opérations dont la correction des biais, le calcul des intervalles de confiance et des superficies. Tous ces calculs ont été réalisés sur la base d'une matrice de confusion ou matrice d'erreur qui compare les produits cartographiques à la réalité du terrain (référence).

Une interface développée par la FAO dans le cadre du projet OpenForis a été utilisée comme outil pour l'analyse. Le système d'analyse est disponible ici :

https://mrvrci.shinyapps.io/app_analysis/.

6.2.3. Résultats détection de changement de la superficie forestière

L'approche adoptée pour la production des résultats est de niveau 3. Cette dernière permet une observation explicite de l'utilisation des terres et de changement d'utilisation (forêt/non forêt). Les données seront obtenues par une cartographie wall to wall à une échelle nationale

6.2.3.1. Matrice de confusion

La matrice de confusion indique la correspondance entre les valeurs des points échantillonnés sur la carte de changement et les valeurs interprétées visuellement (Annexe 8). La précision générale ajustée de la carte est de 81% (Annexe 9). La précision utilisateur (indique la probabilité d'une classe sur la carte d'être correctement attribuée) présente des différences entre classes : elle est plus élevée pour les classes stables (>90%), moyennement élevée pour les pertes et les gains (50 à 70%), mais très faible pour les classes en dents de scie, inférieur à 12%. Ce résultat est conforme à ce qui était attendu car les classes en dents de scies sont essentiellement dues à l'approche utilisée de caractérisation des changements par post-classification (les cartes sont établies pour chaque date de manière indépendante, et ensuite combinées pour les changements : il résulte des erreurs de classification à chaque date de changements artificiels qu'il a fallu corriger).

La précision du producteur ajustée (probabilité qu'une classe du jeu de données de référence, soit représentée sur la carte) est meilleure pour les classes de non forêt stable et les pertes, car elles possèdent de faibles erreurs d'omission par rapport aux autres classes.

6.2.3.2. Correction des biais et statistiques des changements de superficies forestières pour 1990-2000-2015

De façon générale, les forêts ivoiriennes sont en état de régression sur l'ensemble de la période d'étude de 25 ans (Figures 3 et 4). En effet, une perte des surfaces forestières est enregistrée

entre 1990 et 2000 quand elles varient respectivement de 7,85 million ha (+/- 760 000 ha) à 5,09 million ha (+/- 570 000 ha) soit un taux de perte annuel de 4,32%. Aussi, cette tendance régressive des superficies forestières est similaire entre 2000 et 2015 en passant de 5,09 million ha (+/- 570 000 ha) à 3,4 million ha (+/- 460 000 ha) soit un taux de perte annuel de 2,69% (Tableau VI)

Le taux de perte (r) utilisé est celui recommandé par Puyravaud (2003) selon la formule suivante $r = \frac{\ln(S_2) - \ln(S_1)}{t_2 - t_1}$, où S1 et S2 sont les superficies de forêt aux temps t1 et t2.

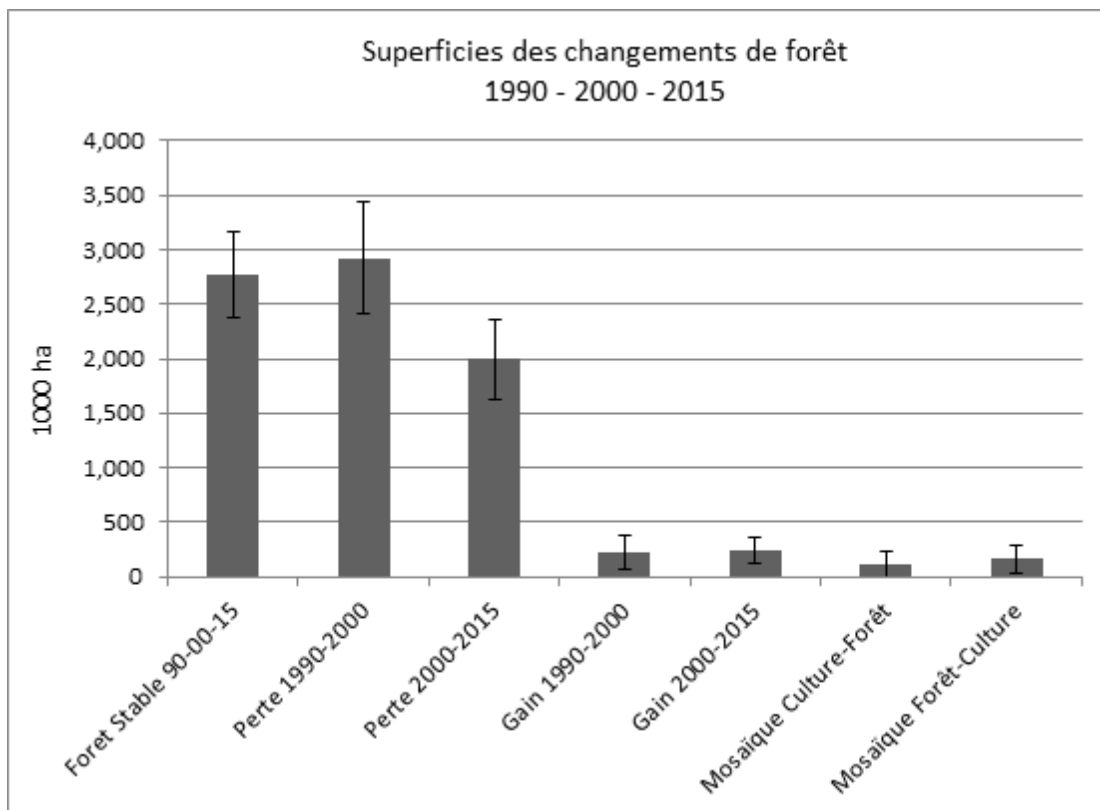


Figure 3 : Organigramme de traitement de données d'activité

Les changements de superficies de forêts illustrés par le tableaux VI et la figure 4 présentent leur profil d'évolution entre 1990, 2000 et 2015. Elles mettent l'accent sur l'état passé et actuel des forêts ainsi que les changements survenus : par exemple le taux de déforestation a baissé entre la période 1990-2000 et la période 2000-2015.

Pendant la première période, environ 340 000 ha ont ainsi été convertis en d'autres types d'utilisation des sols chaque année, alors que ce taux a baissé à 140 000 ha par an pendant les 15 dernières années (BNETD, 2016).

Tableau VI : Superficies et intervalles de confiance pour les forêts en 1990, 2000 et 2015

Années	Superficies	Intervalle de confiance	Coefficient de variation	Taux annuel de perte
1990	7,850,864	758,577	10%	
2000	5,094,452	572,981	11%	-4.32%
2015	3,401,146	460,934	14%	-2.69%

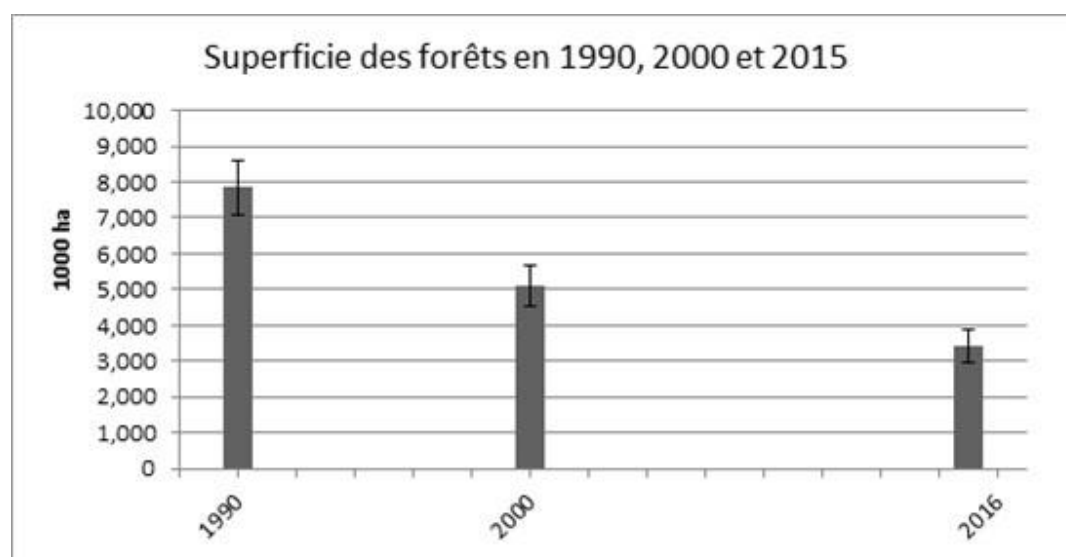


Figure 4 : Superficies des forêts en 1990, 2000 et 2015 (en milliers ha)

6.2.4. Superficies prises en compte dans le calcul du NERF

Sur la base des résultats de la détection des changements de la superficie forestière et non forestière, deux cas de figure sont retenus pour le calcul du niveau de référence :

- Les superficies déforestées sont toutes terres forestières transformées en terres non forestières. Elles correspondent aux pertes sur la période 2000-2015 (classe 221), soit **1 992 827 ha**,

- Les superficies afforestées sont toutes terres non forestières transformées en terre forestières. Elles correspondent aux gains sur la période 2000-2015 (classe 112), soit **242 238 ha**.

6.2. Facteurs d'émission pour la déforestation

6.2.1. L'analyse des facteurs d'émissions

Les facteurs d'émission en équivalent CO₂ sont calculés à partir des valeurs par défaut du GIEC 2006, en attendant les résultats de la campagne de données de biomasse lancée par le SEP-REDD en 2016. Ces résultats qui seront disponibles en mars 2017, permettront d'avoir des données spécifiques sur la biomasse forestière, dans les différentes zones phytogéographiques en Côte d'Ivoire (Figure 1).

Les facteurs d'émissions concernent trois (3) réservoirs de carbone : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la litière. L'absence de données fiable ne permet pas d'envisager l'intégration des réservoirs du sol et du bois mort dans la présente soumission.

6.2.1.1. Carbone de la Biomasse aérienne

Pour le calcul des pertes de biomasse aérienne dues à la déforestation, les valeurs par défaut proposées par le tableau VII correspondant au tableau 4.7 GIEC (2006) ont été considérées et transformées en valeur d'équivalent carbone t obtenue en appliquant l'équation suivante :

$$\text{FE (Facteur d'Emission) de Biomasse Aérienne} = \text{BA} * \text{FCFCMSBV} * \text{FCC}$$

- BA = biomasse aérienne du GIEC (2006) du tableau VII
- FCFCMSBV = Facteur de conversion de la fraction carbonée de la matière sèche dans la biomasse vivante = 0,47
- FCC = Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO₂ = 44/12

Ainsi, en fonction des zones phytogéographiques, les facteurs d'émission pour les zones de forêts tropicales denses, de forêts décidues et de forêts tropicales sèches sont respectivement de 534,23 ; 448,067 et 206,8 T éq CO₂/ha.

Tableau VII : Biomasse aérienne des forêts (Tableau 4.7 du GIEC, 2006)

Domaine	Zone écologique	Continent	Biomasse aérienne (tonne ms /ha)
Tropical	Forêt dense tropicale	Afrique	310 (130-510)
	Forêt décidue humide tropicale		260 (160-430)
	Forêt sèche tropicale		120 (120-130)

6.2.1.2. Carbone de la Biomasse souterraine

Pour le calcul des pertes de biomasse souterraine, dues à la déforestation, les valeurs par défaut proposées par le tableau VIII correspondant au tableau 4.4 GIEC (2006) ont été considérées et transformées en valeur d'équivalent carbone obtenue en appliquant l'équation suivante :

$$\text{FE de Biomasse Souterraine} = \text{BA} * \text{TBS} * \text{FCFCMSBV} * \text{FCC}$$

- BA = Biomasse aérienne du GIEC (2006) du tableau VIII
- TBS = Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne comme indiquée dans le tableau VIII
- **FCFCMSBV** = Facteur de conversion de la fraction carbonée de la matière sèche dans la biomasse vivante = 0,47
- FCC = Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO₂ = 44/12

Ainsi, en fonction des zones phytogéographiques, les facteurs d'émission de la biomasse souterraine pour les zones de forêts tropicales denses, de forêts décidues et de forêts tropicales sèches sont respectivement de 197,66 ; 107,55 et 57,90 T eq CO₂/ha.

Tableau VIII : Zone écologique Biomasse aérienne Tx [(tonne racine m.s. (tonne de pousses m.s.))-1 (Tableau 4.4 GIEC, 2006)

Domaine	Zone écologique	Biomasse aérienne	Tx [(tonne racine m.s. (tonne de pousses m.s.))-1]
Tropical	Forêt dense tropicale		0,37
	Forêt décidue humide tropicale	Biomasse aérienne > 125 tonne ha ⁻¹	0,24
	Forêt sèche tropicale	Biomasse aérienne > 20 tonne ha ⁻¹	0,28

6.2.1.3. Carbone de la litière

Pour le calcul des pertes de carbone de la litière dues à la déforestation, les valeurs par défaut proposées par le tableau IX correspondant au tableau 2.2 GIEC (2006) ont été considérées et transformées en valeur d'équivalent carbone obtenues en appliquant l'équation suivante :

$$\text{FE de la litière} = \text{CLFM} * \text{FCC}$$

- CLFM = Carbone de la litière des Forêts Matures
- FCC = Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO₂ = 44/12

Pour la zone de forêt dense la valeur de 5,2 tonne/C /ha (litière de forêt mature sempervirente) a été utilisée (Tableau IX).

Pour les zones de forêts denses sémi-décidues et de forêt sèches, la valeur de 2.1 tonne/C /ha (litière de forêt mature décidue) a été utilisée (Tableau IX).

Ainsi, en fonction des zones phytogéographiques, les facteurs d'émission de la litière pour les zones de forêts tropicales denses, de forêts décidues et de forêts tropicales sèches sont respectivement de 19, 07 ; 7,7 et 7,7 T eq CO₂/ha.

Tableau IX : Valeur par défaut de niveau 1 pour les stocks de carbone de la litière (Tableau 2.2 du GIEC 2006)

Climat	Type de forêt	Stock de carbone de la litière (tonnes C ha ⁻¹)
Tropical	Forêt mature sempervirente	5,2
	Forêt mature décidue	2,1 (1-3)

6.3. Afforestation dans le NERF/NRF

La Côte d'Ivoire a évalué la superficie d'afforestation de la même façon que celle de la déforestation (voir section 6.2.4.). Entre les années 2000 et 2015, l'afforestation correspond à une superficie de 242 235 ha (soit 16 149 ha/an). Toute cette afforestation détectée concerne des installations de plantations de la SODEFOR et des plantations forestières hors forêt classée gérées par le MINEF dont l'essence plus commune est le teck (*Tectona grandis* de la famille des Verbenaceae) (Paolo Cerutti *et al.*, 2015). Il s'agit également d'un réseau de forêts sacrées et de plantations agricoles arborées (plantation d'hévéas et de plantation cacaoyère sous ombrage ou mosaïque forêt dégradée – culture. Pour le calcul des absorptions liées à cette afforestation, dans la construction du NRF, la Côte d'Ivoire considère les absorptions associées à la croissance dans les plantations établies à partir de l'année de base (2000).

Ces absorptions sont calculées en utilisant des valeurs d'accroissement annuel du Teck en Côte d'Ivoire issues d'une étude de Dupuy (1999). Le facteur d'expansion et de conversion de la biomasse (FECB_A), et les ratios racine-tige utilisés sont ceux proposés par le GIEC (2006), dans tableaux X et XI correspondant au tableau 4.5 du GIEC (2006).

Tableau X : Facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse par défaut (FECB), tonnes biomasse (m3 de volume de bois)-1

Zone Climatique	Type de forêt	FECB	Niveau de stock en croissance (m ³)
			< 20 ans
Méditerranéenne, Tropicale sèche, subtropicale	Conifères	FECB	6,0 (3,0-8,0)
		FECB _A	1,5
		FECB _E	6,67

FECB = Facteur d'expansion du volume de stock en croissance commercialisable à la biomasse aérienne

BCEFA = Facteur d'expansion pour la conversion de l'accroissement annuel net

BCEFE = Facteur d'expansion pour la conversion du volume d'extraction de bois et de bois de chauffage en extraction de biomasse aérienne

Tableau XI : Facteurs d'expansion et de conversion de la biomasse par défaut (FECB), tonnes biomasse (m3 de volume de bois)-1 bis

Zone Climatique	Type de forêt	FECB	Niveau de stock en croissance (m ³)	
			< 10 ans	11-20 ans
Méditerranéenne, Tropicale sèche, subtropicale	Conifères	FECB	4,0 (3,0-6,0)	1,75 (1,4-2,4)
		FECB _A	2,5	0,95
		FECB _E	4,44	1,94

FECB = Facteur d'expansion du volume de stock en croissance commercialisable à la biomasse aérienne

$FECB_A$ = Facteur d'expansion pour la conversion de l'accroissement annuel net

$FECB_E$ = Facteur d'expansion pour la conversion du volume d'extraction de bois et de bois de chauffage en extraction de biomasse aérienne

L'accroissement de la biomasse aérienne a été obtenu en multipliant l'accroissement annuel net moyen en biomasse aérienne (volume commercial) par le Facteur d'expansion pour la conversion de l'accroissement annuel net ($FECB_A$) moyen.

$$ABA = ABAN * FECB_A$$

- ABA = Accroissement de la Biomasse Aérienne
- ABAN = Accroissement Annuel net en Biomasse Aérienne
- $FECB_A$ = Facteur d'expansion de la Biomasse Aérienne

Pour estimer l'accroissement de biomasse totale par an, l'accroissement de la biomasse aérienne a été multiplié par le taux de biomasse souterraine par rapport aux biomasses aériennes (Tableau XII correspondant au tableau 4.4 du GIEC, 2006) plus 1 selon la formule suivante :

$$ABT = ABA * (1 + TBS)$$

- ABT = accroissement de biomasse totale par an
- ABA = Accroissement de la Biomasse Aérienne
- TBS = Taux de Biomasse Souterraine par rapport à la biomasse aérienne comme indiquée dans le tableau XIII

Tableau XII : Calcul de la croissance moyenne de la biomasse des plantations

	Accroissement (m ³ /ha/an)	Accroissement moyen (m ³ /ha/an)	FECB _A (t.m.s./m ³)	FECB _A moyen (t.m.s./m ³)	Accroissement biomasse aérienne dans les plantations t.m.s./ha/an	Accroissance biomasse totale dans les plantations t.m.s./ha/an
Forêt dense humide	10 – 16	13	0.95 - 2.5	1.725	22.4	30.7
Forêt dense décidue (secteur préforestier)	7 – 10	8.5	0.95 - 2.5	1.725	14.7	17.6
Forêt dense seche (Savanes guinéenes)	5 – 7	6	1.5	1.5	9.0	14.0
Source:	Tableau III, Dupuy et al 1999		GIEC 2006, Tableau 4.5		Calculé	

Finalement, en fonction des zones phytogéographiques, les facteurs d'absorptions des plantations forestières des zones de forêts tropicales denses, forêts décidues et forêts tropicales sèches sont respectivement de 52,94 ; 30,32 et 24,20 T eq CO₂/ha.

$$FAPF = ABT * FCFCMSBV * FCC$$

- FAPF = Facteurs d'absorptions des plantations forestières
- ABT = Accroissement de biomasse totale par an
- **FCFCMSBV** = Facteur de conversion de la fraction carbonée de la matière sèche dans la biomasse vivante = 0,47

$$FCC = \text{Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO}_2 = 44/12$$

7. NERF PROPOSÉ

7.1. Période historique considérée

Pour la construction de NERF/NRF, il sera considéré la période de référence de 2000-2015 avec les données historiques des changements d'utilisation des terres. Ce choix se justifie d'abord par la disponibilité et la consistance des données satellitaires et aussi dans le souci d'être en harmonie avec les projets d'investissement REDD+ au niveau sous national qui considèrent la même période (2000-2015).

Il convient aussi d'analyser les données historiques sur une période qui justifiera mieux la tendance future de déforestation avec des arguments perceptibles sur le terrain. En effet, les taux de déforestations annuelles qui se chiffraient à **4,32%** entre 1990 et 2000 sont passés à **2,69%** pour la période 2000-2015 (Tableau XIII). Pour la période 2000-2015, l'essentiel du massif forestier a disparu et se retrouve confiné dans les aires protégées (Figure 3), d'où la chute des taux de déforestation. Par ailleurs, avec le taux moyen de perte des surfaces forestières de 2000-2015, les efforts de réductions des émissions après 2015 seront plus visibles et cohérents.

Tableau XIII : Superficies et intervalles de confiance pour les forêts en 1990, 2000 et 2015

Années	Superficies	Intervalle de confiance	Coefficient de variation	Taux annuel de perte
1990	7,850,864	758,577	10%	
2000	5,094,452	572,981	11%	-4.32%
2015	3,401,146	460,934	14%	-2.69%

7.2. Méthode de construction du NERF/NRF

Pour la construction du NERF/NRF, la Côte d'Ivoire a utilisé la moyenne historique sur la période de référence choisie (2000-2015) sans ajustement.

7.2.1. Calcul des émissions historiques

En accord avec les lignes directrices du GIEC sur les bonnes pratiques (GIEC, 2003) et celle de l'IGES (GIEC, 2006), le calcul des émissions historiques issues de la déforestation se fait en multipliant les données d'activité (DA) par les facteurs d'émission (FE) (Tableau XIV).

Emission Historique = Données d'activité (DA) * Facteurs d'émission (FE).

Tableau XIV : Emissions moyennes historiques

		Zone phytogéographique		
		forêt dense tropicale	forêt décidue humide tropicale	forêt sèche tropicale
Superficie (ha)		806 549,40	1 028 500,41	157 777,20
Facteurs d'émissions	Biomasse aérienne t/éq CO ₂ /ha	534,23	448,07	206,80
	Biomasse souterraine t/éq CO ₂ /ha	340,64	185,32	99,79
	Carbone de la litière t/éq CO ₂ /ha	19,07	7,70	7,70
Emissions Total	Biomasse aérienne t/éq CO ₂	430 885 573,36	460 836 752,05	32 628 325,16
	Biomasse souterraine t/éq CO ₂	274 747 004,42	190 602 080,65	15 744 254,50
	Carbone de la litière t/éq CO ₂	15 378 208,52	7 919 453,19	1 214 884,45
Total par zone phytogéographique t/éq CO ₂		721 010 786,30	659 358 285,88	49 587 464,10
Total des émissions t/éq CO ₂		1 429 956 536		
Totale des émissions par année t/éq CO ₂ /ha		95 330 436		

Les émissions moyennes brutes des forêts sur la période 2000-2015 sont estimées à 95 330 436 t/éq/CO2 par an. Cette émission brute est représentée par la figure 5 suivante.

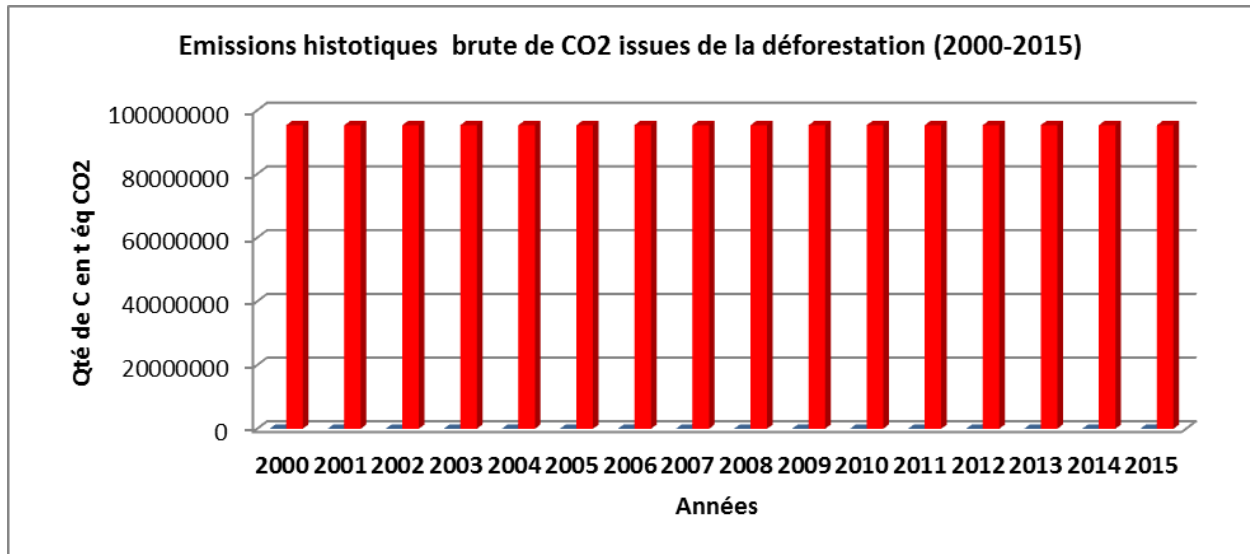


Figure 5 : Emissions moyennes historiques brutes de CO2 issues de la déforestation (2000-2015)

7.2.2. Calcul des absorptions historiques

L'absorption est issue de l'afforestation correspond à une superficie de 242 235 ha (soit 16 149 ha/an). Cette afforestation est issue de la croissance des plantations forestières tant dans les forêts classées (SODEFOR) que dans la zone rurale (MINERF), mais également de plantations agricoles arborées (plantation d'hévéas et de plantation cacaoyère sous ombrage ou mosaïque forêt dégradée – culture). La dominance des plantations de Teck conduit à un calcul des absorptions basées sur les valeurs d'accroissement annuel de cette espèce (Dupuy, 1999).

Pour le calcul des absorptions moyennes historiques issues de l'afforestation (Tableau XV), les données d'activité (DA) ont été multipliées par les Facteurs d'Absorption par an selon la formule suivante :

$$\text{Absorption historique} = (N^2 * (N-1)/2) * DA * FA$$

- N = Nombre d'année d'accroissement des plantations
- DA = Données d'Activité ou surface moyenne afforestée par an
- FA = Facteur d'absorption ou quantité d'éqCO2 absorbée par ha et par an

Tableau XV : Absorptions moyenne historiques

	Zone phytogéographique		
	Forêt dense tropicale	Forêt décidue humide tropicale	Forêt sèche tropicale
Superficie moyenne d'afforestation (ha) /an : (DA)	1 739,18	6 899,10	7 510,70
Superficie d'afforestation (ha) ; (DAT)	26 087,75	103 486,43	112 660,43
Nombre d'année d'accroissement (NA)	15	15	15
Facteurs d'absorption t/éq CO2/ha/an : (FA)	52,91	30,33	24,13
Absorptions par zone phytogéographique t/éq CO2	11 041 658,2	25 110 498,1	21 744 964,2
Total des absorptions t/éq CO2/an de 2000-2015	3 859 808		

Les absorptions moyennes annuelles brutes historiques sont estimées à 3 859 808 t/éq CO2/an sur la période 2000-2015 (figure 6). Ces dernières sont très faibles comparées aux émissions sur la même période.

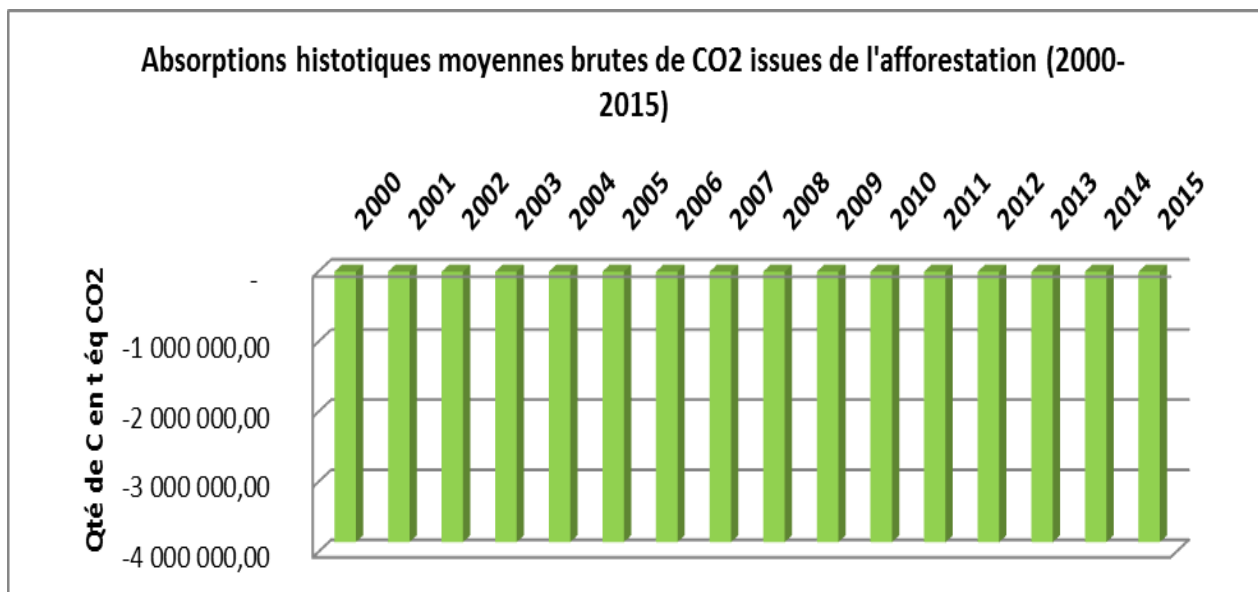


Figure 6 : Absorptions historiques moyennes brutes de CO2 issues de l'afforestation (2000-2015)

7.2.3. Calcul des émissions historiques moyennes nettes

La représentation des moyennes des émissions et absorptions annuelles (Figure 7) permet de noter la faible valeur des absorptions comparativement aux émissions. Finalement, les émissions moyennes nettes issues de changements d'affectation des terres pour la période 2000-2015 sont obtenues par la différence entre les émissions moyennes et les absorptions moyennes. Ces dernières sont estimées à 91 470 627,7 t/éq CO₂/an sur la période 2000-2015 (figure 13).

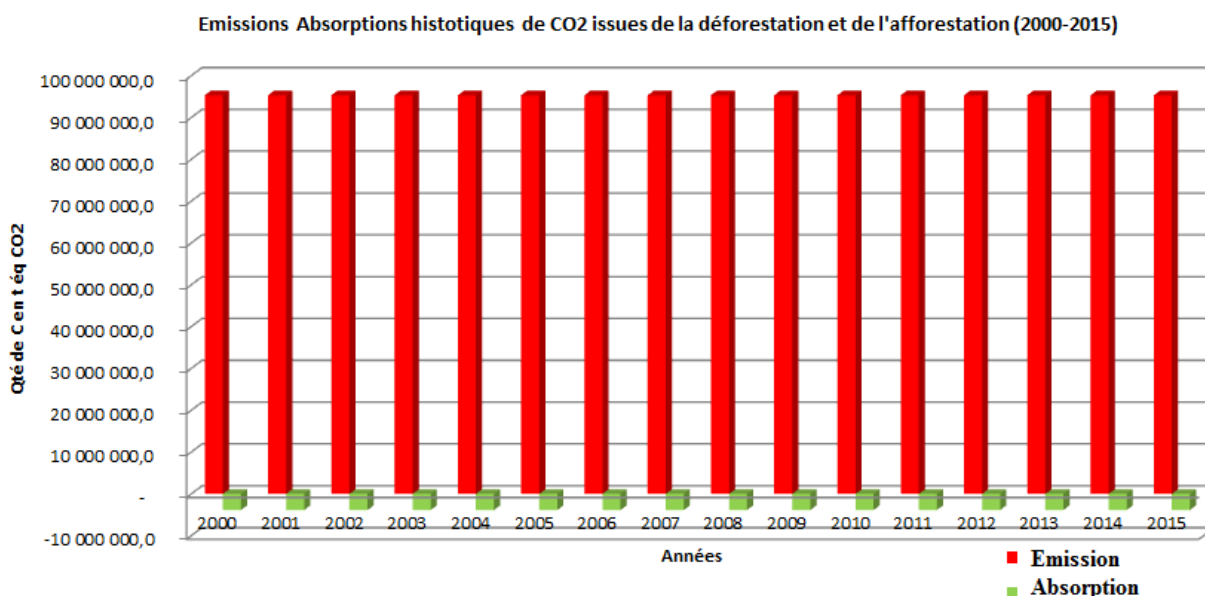


Figure 7 : Emissions et Absorption moyennes brutes historiques de CO₂ issues de la déforestation et de l'afforestation (2000-2015)

7.3. Détails des circonstances nationales

Les choix politiques d'un développement basé sur l'agriculture et l'exploitation des ressources naturelles a conduit la Côte d'Ivoire vers des taux élevés de déforestation et de dégradation des forêts. Les données utilisées font état de taux annuels de perte de surface forestière d'environ **4,32%** entre 1990-2000 et de **2,69%** entre 2000 et 2015 (ETC TERRA, RONGEAD et BNEDT, 2016). Ce rythme trop élevé de la déforestation ne permet pas d'envisager un ajustement du présent niveau de référence.

Bien qu'étant en phase de préparation, le processus REDD+ de la Côte d'Ivoire connaît une avancée remarquable, soutenu par un engagement politique au plus haut niveau de l'État. Cet engagement politique se démontre par :

- la prise en Conseil des Ministres du 24 Octobre 2012 d'un Décret portant création d'une Commission Nationale REDD+ (décret n° 2012-1049 du 24 Octobre 2012) ;
- la mise en place d'un Secrétariat Exécutif Permanent (SEP-REDD+), chargé de gérer la planification, la mobilisation des ressources financières et l'accompagnement technique du processus national de préparation au mécanisme REDD+ ;
- la mise en place du Comité Technique National FLEGT (CTN-FLEGT) qui gère le processus d'application de la législation forestière, la gouvernance et les échanges commerciaux du bois (FLEGT) ;
- la création d'une plateforme conjointe FLEGT/REDD+ regroupant des organisations de la société civile dénommée Observatoire Ivoirien pour la Gestion Durable des Ressources Naturelles ;
- la création d'une Task Force interministérielle sur le REDD+, pilotée par le Ministère d'Etat, Ministère du Plan et du Développement pour soutenir le dialogue politique national autour du REDD+ ;
- l'annonce par le Président de la République de l'ambition de produire un « cacao ivoirien zéro déforestation » à partir de 2017, à la tribune des Nations Unies lors du Sommet sur le Climat le 23 septembre 2014 à New York.

En dépit de l'engagement politique, des efforts sont encore à faire pour une meilleure prise en compte de la forêt dans le développement dans la prochaine décennie. En effet, la Politique de l'Aménagement National qui est le préalable au schéma d'aménagement est encore dans un processus de validation par l'assemblée nationale. Une fois adopté, cet outil permettra une meilleure maîtrise de charge de projet par zone, et un développement harmonieux des régions. L'élaboration d'indicateurs concrets à suivre au niveau environnemental dans la mise en œuvre des projets de développement reste un autre effort à faire. Les difficultés soulignées représentent également des facteurs limitant pour l'application d'un ajustement du NERF/NRF.

7.4. Fréquence de mise à jour

Compte tenu de l'évolution rapide des circonstances nationales en Côte d'Ivoire et de la fréquence de mise à jour du PND (4 ans), il est jugé préférable de mettre à jour le NERF/NRF tous les 4 ans. Toutefois, les données de biomasse présentement collectées (disponibles en Mars 2017) vont permettre de recalculer le NERF/NRF et le réviser pour la resoumettre.

8. LES AMELIORATIONS FUTURES

Une campagne de collecte de données sur la biomasse forestière ivoirienne est en cours et permettra d'avoir des données plus précises à compter mars 2017. Un autre inventaire forestier de grande envergure piloté par le MINEF est prévu démarré en 2017.

- La disponibilité de données issues de la campagne biomasse (aérienne et bois mort) en mars 2017, permettra de recalculer le NERF/NRF avec des valeurs propres au pays, avant de le resoumettre. Ces données sur la biomasse aérienne et le bois mort permettront à court terme d'affiner le NERF/NRF issu des valeurs par défaut du GIEC de la première soumission.

- Une exploitation de données satellitaires (exemple de données Modis : burn area) à l'échelle nationale pourraient permettre de prendre en considération les gaz autres que le CO₂. Il s'agit notamment du CH₄ issue des feux de brousses/forêts sèches très récurrents dans la moitié nord du pays pendant la saison sèche (décembre à avril). Selon le FRA (2015) la superficie des forêts brûlées entre 2003 et 2012 varie entre 6 900 et 44 500 ha/an. Ces superficies correspondent à des valeurs de 5 à 33% de la déforestation annuelle entre 2000 et 2015.

- Au niveau de la dégradation forestière, des travaux sont prévues pour sa caractérisation et sa cartographie dans des sites pilotes, avant son intégration aux activités REDD+ prises en compte par la Côte d'Ivoire dans le NERF/NRF dans la mise à jour dans 4 ans.

Entre autres données pour la quantification de la dégradation forestière, l'exploitation forestière et les feux de forêts (données images MODIS feux et données de coupe de bois du MINEF) sont des éléments qui pourraient être pris en compte.

- Des études sont également envisagées pour combler le manque de données pour la caractérisation du carbone du sol. Ces études doivent permettre la prise en compte de ce réservoir (carbone du sol) dans la révision du NERF/NRF dans 4 ans.

RÉFÉRENCES

Lassieur S., 2006. Utilisation de la télédétection et des techniques SIG pour détecter et prévenir les activités de déforestation illégales. Rapport de Stage Master 2ème Année, SIG et gestion de l'espace, Université Jean Monnet, France, 45 p.

Adjanooun, E.J. 1964. Végétation des savanes et des rochers découverts en Côte d'Ivoire centrale. Mémoire ORSTOM n° 7. Paris.

BNETD. 2016. Analyse quantitative de la déforestation en Côte d'Ivoire sur les périodes 1990-2000-2015. 37 p.

Dupuy B, Maître H-F et N'Guessan-Kanga A (1999) La sylviculture du teck. Bois et forêts des tropiques, 1999, N° 261 (3)

ETC TERRA. RONGEAD et BNETD, 2016. Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire 120 p.

FAO. 2001. Evaluation des ressources forestières mondiales FRA 2000 – Rapport principal. Rome. <http://www.fao.org/forestry/fra2000report/en/>

FAO. 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne <http://www.fao.org/3/a-x9681f/x9681f00.htm#Contents>

FCPF. 2013.

<https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/2014/MArch/March/FCPF%20Cadre%20M%C3%A9thodologique%20final%2012%202013.pdf>

Geospatial Toolkit <http://www.openforis.org/tools/geospatial-toolkit.html>

GFOI. (2013). Review of Priority Research & Development Topics: R&D related to the use of Remote Sensing in National Forest Monitoring. Pub. GEO, Switzerland, 2013 ISBN 978-92-990047-5-3.

GIEC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

GIEC. 2006. Lignes directrices 2006 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du

climat (GIEC) pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Chapitre 3 : représentation cohérente des terres. GIEC, 47p.

Girard Michel-Claude et Girard Colette M. (1999). Traitement des données de télédétection, Interprétation physique des données, les comportements spectraux. 529p.

https://mrvrci.shinyapps.io/app_analysis/.

IPCC, 2006. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

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

Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131.

Paolo Omar Cerutti, Raphael Tsanga et Edouard Essiane (2015). Le marché domestique du sciage artisanal en Côte d'Ivoire Analyse qualitative pour établir l'état des lieux, les opportunités et les défis. Centre de recherche forestière internationale (CIFOR) Juin 2015. Rapport final. 21p
<http://www1.cifor.org/fileadmin/subsites/proformal/PDF/le-marche-domestique-du-sciage-artisanal-en-cote-dlvoire.pdf>

Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177: 593-596.

Richards J.A. 1999, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.

Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. and Deering D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, proceedings, 3rd ERTS Symposium, vol. 1. pp. 48-62.

SOFRECO, 2009 - West Africa post conflict analysis – Rapport final, 184p

Végétation de côte d'ivoire. 1:2000000 : [planche] A6a. (IN) Atlas de Côte d'Ivoire / établie par J.L. Guillaumet. - Paris (FRA) : ORSTOM (1979). Office de la recherche scientifique outre-mer ; Abidjan (CIV) : IGT, Institut de géographie tropicale

ANNEXES

The screenshot shows the Landsat Data Browser interface. At the top, there are navigation tabs: Home, Map Search, Product Search, Path/Row Search, and Workspace. Below these are search filters for Date/Type, Path/Row, Lat/Long, Place, Draw, and Map Layers. The main map area displays a satellite image of West Africa with a red footprint over the Ivory Coast and Ghana. The footprint is labeled 'WRS-2' and 'footprints Contain images'. Below the map, there is a selection summary: '238 image(s) in selection' with buttons for 'Preview & Download' and 'Update Map'. There are also input fields for 'Start Path', 'End Path', 'Start Row', and 'End Row'. At the bottom, it shows 'WRS-2: Path 195-199, Row 53-57'.

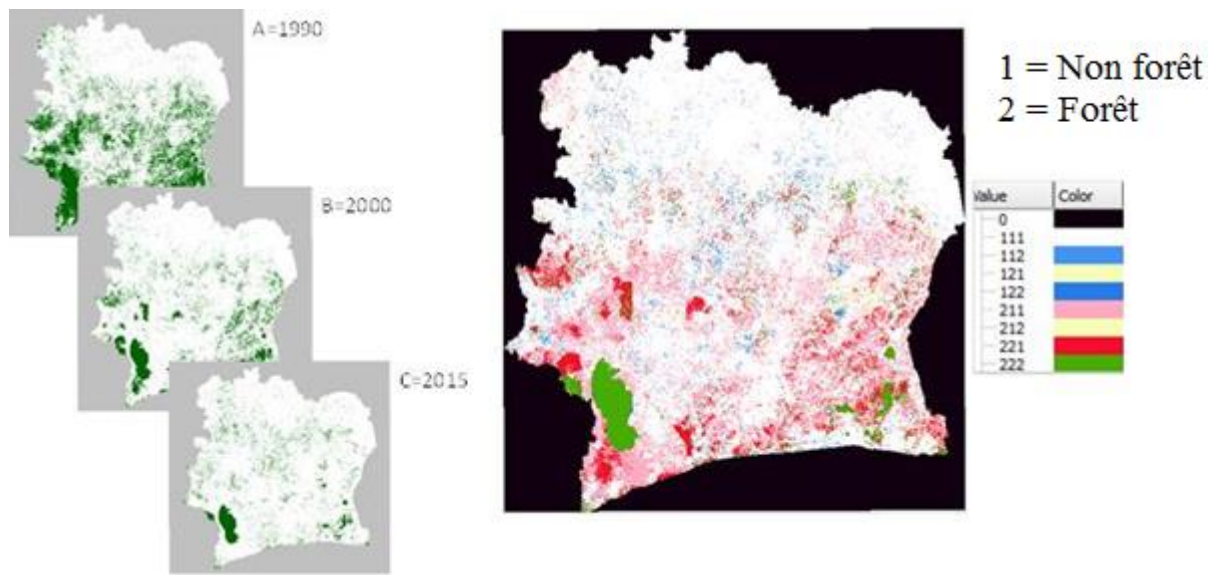
Annexe 1 : Site de téléchargement d'image Landsat

Annexe 2 : Disponibilité des images Landsat (1990-2000-2015)

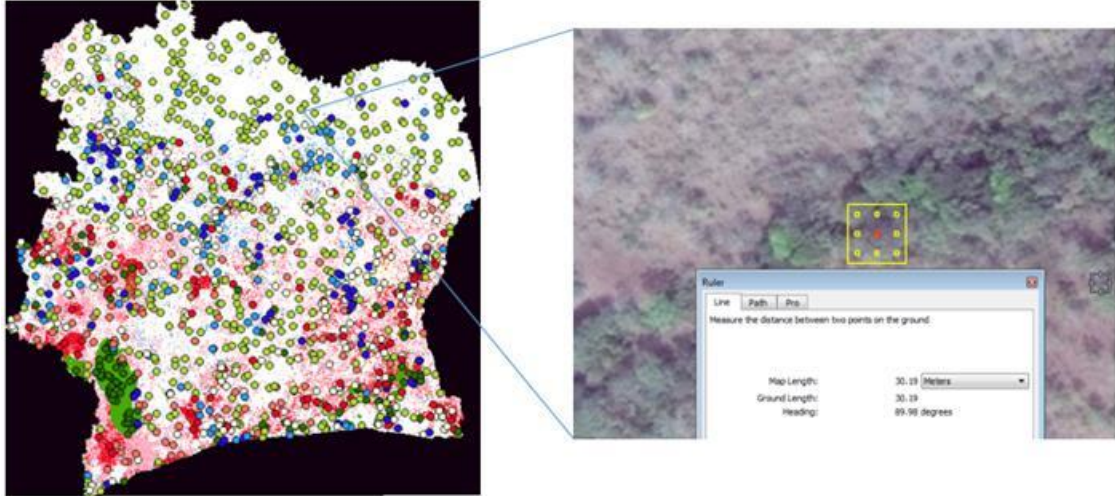
Périodes	Images disponibles	Observations
1990	21	Images Landsat TM
2000	21	Images Landsat TM/ETM+
2015	21	19 images Landsat OLI et 02 images GFC
Total	63	6 images utilisées

Annexe 3 : Classes de la carte évaluée

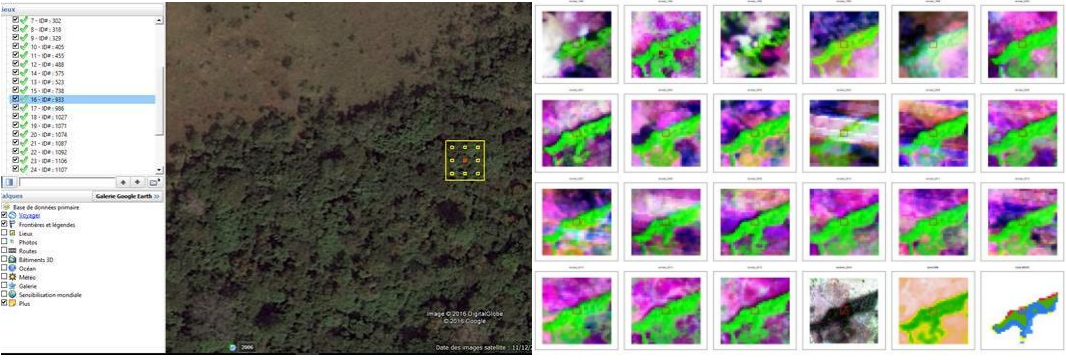
Codes	Classes
111	Non Forêt stable (2000-2015)
211	Non Forêt stable (2000-2015)
112	Gains de forêt (2000 - 2015)
212	Gains de forêt (2000 - 2015)
121	Pertes de forêt (2000 - 2015)
221	Pertes de forêt (2000 - 2015)
122	Forêt stable (2000-2015)
222	Forêt stable (2000-2015)



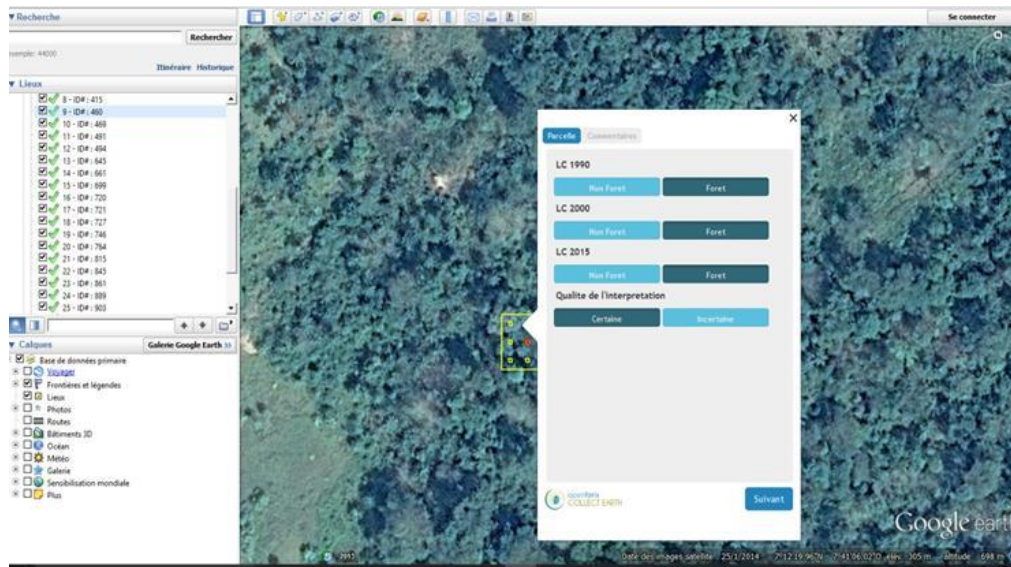
Annexe 4: Combinaison des couches individuelles en carte de changement



Annexe 5 : Échantillonnage total pour la Côte d'Ivoire, emprise terrain d'un échantillon (900m2)



Annexe 6 : Visualisation d'une image dans l'outil Collect Earth



Annexe 7 : Interface Collect Earth utilisée comme système de réponse et de collecte des données

Annexe 8 : Matrice de confusion

		Données de référence							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Données de la Carte	111	464	1	2	1	5	2	4	7
	112	59	13	0	2	0	3	1	15
	121	56	5	1	2	4	1	10	6
	122	21	4	0	11	0	0	3	48
	211	32	0	0	1	54	0	7	8
	212	18	3	0	0	3	8	4	36
	221	4	0	0	2	3	0	58	18
	222	2	1	0	1	0	0	0	84

Annexe 9 : Précisions Producteur et Utilisateur, Superficies et Intervalles de confiance au niveau national

	Superficie (ha)	Intervalle de confiance	Coefficient de variation	Précision utilisateur	Précision utilisateur
Non Forêt stable	23,799,696	619,364	3%	88%	95%
Forêt stable 90-00-15	2,774,170	397,040	14%	43%	95%
Perte de surfaces de forêt 1990-2000	2,923,023	518,791	18%	88%	53%
Perte de surfaces de forêt 2000-2015	1,992,827	362,407	18%	66%	68%
Gain de surfaces de forêt 1990-2000	223,894	152,082	68%	14%	13%
Gain de surfaces de forêt 2000-2015	242,238	119,898	49%	37%	14%
Mosaïque Culture Forêt	103,560	127,274	123%	13%	1%
Mosaïque Forêt Culture	160,844	131,585	82%	23%	11%
Total RCI	32,220,252			81%	