



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture



Au service
des peuples
et des nations



PROGRAMME
ONU-REDD

REDD+
CÔTE D'IVOIRE
Réduction des Emissions de gaz à effet
de Serre issues de la Déforestation,
et de la Dégradation des Forêts

DONNÉES FORESTIÈRES DE BASE POUR LA REDD+ EN CÔTE D'IVOIRE

CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE
FORESTIÈRE DE 1986 À 2015

DONNÉES FORESTIÈRES DE BASE POUR LA REDD+ EN CÔTE D'IVOIRE

CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE FORESTIÈRE
DE 1986 À 2015

Publié par

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

et

Le Secrétariat Exécutif Permanent REDD+

Abidjan, 2017

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ou le Secrétariat Exécutif Permanent de la Commission Nationale REDD+ (SEP-REDD+) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO ou le SEP-REDD+, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO ou le SEP-REDD+.

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org.

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org.

ISBN 978-92-5-209999-4 (FAO)

© FAO, 2017

Photo de couverture: ©FAO



TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION	1
2 CONTEXTE	3
3 MÉTHODOLOGIE	5
3.1. Définitions	5
3.2. Matériels	5
3.3. Classification de l'utilisation des terres	5
3.4. Disponibilité, acquisition et analyse des images	6
3.5. Prétraitements des images	7
a. Assemblage des bandes	7
b. Corrections radiométriques	7
3.6. Interprétation des images	7
3.7. Vérité terrain	8
3.8. Classification	8
3.9. Post classification	8
a. Création des masques	8
b. Opérations diverses	8
c. Recodage des classifications	8
d. Mosaïque des images recodées	9
3.10. Détection du changement	9
3.11. Calcul des incertitudes et estimation des superficies	9
4 RÉSULTATS	13
4.1. État du couvert forestier de 1986 à 2015	13
4.2. État du couvert forestier dans les zones phytogéographiques en 1986, 2000 et 2015	15
4.3. Analyse des changements du couvert forestier	15
5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	17
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	18

Liste des tableaux

Tableau 1	Typologie de l'occupation du sol et masque	6
Tableau 2	Disponibilité des images Landsat (1986-2000-2015)	7
Tableau 3	Statistiques de la couverture forestière en 1986, 2000 et 2015	13
Tableau 4	Taux de déforestation annuel pour 1986-2000 et 2000-2015	15
Tableau 5	Couverture forestière par zone phytogéographique en 1986, 2000 et 2015	15
Tableau 6	Classes stables et changement de la couverture forestière	16

Liste des figures

Figure 1	Présentation de l'interface Collect Earth	10
Figure 2	Aperçu d'une série temporelle de composite d'images satellites	11
Figure 3	Synthèse méthodologique	12
Figure 4	Évolution de la couverture forestière de 1986 à 2015	13
Figure 5	Diagramme de la dynamique du changement de la couverture forestière sur la période 1986-2015.	16

Liste des cartes

Carte 1	Couverture forestière en 1986	14
Carte 2	Couverture forestière en 2000	14
Carte 3	Couverture forestière en 2015	14
Carte 4	Changement de la couverture forestière entre 1986 et 2015	14

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé dans le cadre des activités du système de surveillance des forêts pour le mécanisme REDD+ de la Côte d'Ivoire. Il n'a été possible qu'avec la participation active de:

- l'équipe FAO du Programme ONU-REDD qui a apporté un appui technique et financier à la réalisation de ce travail. Un remerciement particulier est adressé à Rémi D'ANNUNZIO, Bi Voko KOUAME, Rose KOUASSI, Dibi N'DA, Mino RANDRIANARISON et Carlos RIANO;
- le BNETD qui a procédé aux traitements des données. Ces remerciements sont adressés à Gui-Baubin KOFFI, Frédéric KONAN, Claude N'DOUME;
- la cellule S&MNV du SEP REDD+, et particulièrement Jonas ASSAMOI, Abraham BIO, Eric KONAN, Elie KOUMAN, Désirée MEH et Soulemame TRAORE;
- tous les membres de l'équipe SEP-REDD+.

La Côte d'Ivoire remercie ses partenaires nationaux pour avoir alimenté les réflexions menées et pris part à la réalisation de la présente activité. Il s'agit:

- du Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable (MINSDD)
- du Ministère des Eaux et Forêts (MINEF)
- du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD);
- du Comité National de Télédétection et d'Information Géographique (CNTIG) ;
- de la Société de développement des forêts (SODEFOR);
- de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR);
- de l'Université Félix Houphouët Boigny (UFHB) en particulier le Centre Universitaire de Recherche et Application en Télédétection (CURAT);
- du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA)/Forêt et Environnement;

Un remerciement spécial est adressé à Marcel YAO et à Napari YEO, Coordonnateur par intérim du Secrétariat Exécutif Permanent de la REDD+.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BNETD	Bureau National d'Études Techniques et de Développement
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
ETM+	Enhanced Thematic Mapper plus
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation
GES	Gaz à Effet de Serre
GFC	Global Forest Change
IFN	Inventaire Forestier National
IGES	Inventaire de Gaz à Effet de Serre
MINEF	Ministère des Eaux et Forêts
MINSEDD	Ministère de la Salubrité de l'Environnement et du Développement Durable
MNV	Mesure, Notification et Vérification
NERF	Niveau d'Émission de Référence pour les Forêts
OLI	Opérationnel Land Imager
ONU-REDD	Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement
PTF	Partenaire Technique et Financier
REDD+	Réduction des Émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts dans les pays en développement et rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et du renforcement des stocks de carbone forestier dans les pays en développement
S&MNV	Surveillance, Mesure, Notification et Vérification
SEP-REDD+	Secrétariat Exécutif Permanent REDD+
SNSF	Système National de Surveillance des Forêts
SSTS	Système de Suivi des Terres par Satellite
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Global Survey

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

L'étude de la dynamique forestière en Côte d'Ivoire a été réalisée à partir de la télédétection, couplée à des campagnes de collecte de données sur le terrain. Les traitements réalisés à partir de 63 images dont 61 Landsat Thematic Mapper (TM) et Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) et 2 images GFC ont permis de couvrir la Côte d'Ivoire aux trois (3) périodes prédéfinies (1986, 2000 et 2015). L'évaluation des produits cartographiques faite selon les recommandations d'Olofsson *et al.* (2014) a donné des résultats satisfaisants. Les analyses statistiques donnent les superficies forestières suivantes: 7 850 864 hectares en 1986, 5 094 452 hectares en 2000 et 3 401 146 hectares en 2015, soit un taux annuel de régression de la forêt de 3,04 % entre 1986 et 2000 et de 2,66 % entre 2000 et 2015. Elles révèlent par ailleurs que la régression du couvert végétal est plus accentuée dans le secteur rural entre 1986 et 2000 et qu'elle est plus prononcée dans les forêts classées entre 2000 et 2015. Cependant, le Parc National de Taï et la Réserve de faune du N'Zo demeurent les seules réserves forestières encore bien préservées en Côte d'Ivoire.



Dans un contexte national d'accélération de la déforestation et de la dégradation des forêts, le gouvernement de la Côte d'Ivoire a adhéré au mécanisme international de Réduction des Emissions de gaz à effet de serre issues de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD+) depuis juin 2011 afin de lutter contre la déforestation et contribuer à la restauration de son couvert forestier. Conformément aux exigences de ce mécanisme, le pays doit développer, pendant sa phase de préparation, une architecture nécessaire à la mise en œuvre de la REDD+. Au nombre des éléments de cette architecture, le système national de surveillance des forêts, pour surveiller, mesurer, vérifier et notifier les émissions et les séquestrations de carbone forestier. L'élaboration de ces outils de surveillance nécessite de disposer de données sur l'évolution des changements d'occupation des sols (gain/perte de forêts) et l'estimation des stocks de carbone forestier (facteurs d'émission).

Afin de développer une stratégie REDD+ efficace, il est nécessaire d'avoir des données de base sur lesquelles s'appuyer et de connaître avec précision l'état actuel et passé des forêts de la Côte d'Ivoire. Même si de nombreuses données cartographiques sur l'occupation du sol existent depuis 1957, ces dernières ne sont pas suffisantes car elles sont souvent parcellaires.

Dans ce contexte, une cartographie de la dynamique forestière de la Côte d'Ivoire de 1986 à 2015 a été menée. Cette analyse a porté essentiellement sur (i) la cartographie de la dynamique forestière à partir d'images satellites pour les années 1986, 2000 et 2015, couplée à une campagne de collecte de données in situ et (ii) l'analyse quantitative de la déforestation.



La Côte d'Ivoire est située entre 4°30 et 10°30 de latitude nord et 2°30 et 8°30 de longitude ouest avec une superficie de 322 462 kilomètres carrés. Elle est bordée à l'ouest par le Libéria et la Guinée, au nord par le Mali et le Burkina Faso, à l'est par le Ghana et au sud par l'océan Atlantique sur une distance de 550 kilomètres. Le relief est peu accidenté et constitué essentiellement de plateaux sur les 4/5 du territoire. Il croît en altitude du sud vers le nord et de l'est vers l'ouest, où se rencontrent des montagnes et des hautes collines. La majeure partie du pays est couverte par les sols ferralitiques fortement ou moyennement désaturés. Le climat est du type tropical humide dans le sud du pays et de type soudanien dans le nord. Le réseau hydrographique est important avec quatre principaux fleuves: Cavally (700 kilomètres), Sassandra (650 kilomètres), Bandama (1 050 kilomètres) et Comoé (1 160 kilomètres). Ces quatre bassins principaux drainent plus de 30 milliards de m³ d'eau par an. On distingue quatre grandes zones phytogéographiques:

- au nord, le secteur soudanais et subsoudanais, caractérisé par une alternance de forêts claires, de savanes boisées, arborées et herbeuses et de plateaux latéritiques;
- au centre (V Baoulé), le secteur préforestier qui est une zone de transition constituée d'une mosaïque de savanes, de forêts claires et de forêts denses semi-décidues;
- au centre, le secteur mésophile qui est constitué de forêts denses semi-décidues;
- au sud, le secteur ombrophile caractérisé par la forêt dense humide sempervirente.

A ces quatre grandes zones s'ajoutent d'autres types de forêts caractéristiques d'écosystèmes particuliers en Côte d'Ivoire: les forêts marécageuses, les forêts de montagne situées à l'ouest et les mangroves sur le littoral (Chatelain *et al.*, 2004).

En Côte d'Ivoire, l'état des surfaces forestières restent mal connue face à une forte dynamique. En effet, en dehors de certaines analyses sommaires réalisées sur la base de données bibliographiques existantes, aucune analyse détaillée n'a encore été conduite en Côte d'Ivoire sur les statistiques forestières actuelles et historiques (République de Côte d'Ivoire, 2015).

Dans le cadre de la mise en œuvre de la phase de préparation dudit mécanisme, la Côte d'Ivoire doit mettre en place un Système National de Surveillance des Forêts (SNSF) conformément aux résolutions et recommandations de la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC, décisions 4/CP.15; 11/CP.19) pour mesurer, notifier et vérifier (MNV) les émissions et les séquestrations de carbone forestier. L'efficacité du système de surveillance réside dans la robustesse de ses trois piliers:

- le système de Surveillance des terres par satellite (SSTS) pour le suivi de l'évolution de l'occupation du sol principalement dans les zones forestières;
- l'inventaire forestier national (IFN) pour fournir les données sur les stocks de carbone associés à chaque strate de végétation;
- et l'inventaire de gaz à effet de serre (IGES) pour estimer la quantité des émissions/absorptions de GES en Tonne équivalent CO₂ (TéqCO₂) /année.

Dans une optique de soumission de son niveau d'émission de référence des forêts (NERF) à la CCNUCC, il convient également au pays de disposer de données qui leur sont propres sur les données d'activité en fonction de chaque zone phytogéographique.

Dans ce contexte, une quantification des superficies forestières et leur évolution entre 1986 et 2015 est primordial pour constituer les données de base pour la REDD+ de la Côte d'Ivoire.

Plusieurs partenaires techniques et financiers (PTF) ont été mobilisés pour la mise en œuvre de l'analyse. En particulier, l'appui technique et financier de l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) dans le cadre du Programme ONU-REDD a permis sa réalisation. Le Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD), par son Centre d'Information Géographique et Numérique (CIGN), a été mandaté pour la réalisation des travaux préliminaires. Le MINSEDD a joué un rôle de coordination, d'appui technique et de contrôle dans la mise en œuvre de la présente analyse à travers le Secrétariat Exécutif Permanent de la REDD+ (SEP-REDD+).

3.1. DÉFINITIONS

La définition de la «forêt» utilisée dans le cadre de cette étude est celle du code forestier ivoirien de juillet 2014 (MINEF, 2014). Le 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».

La définition de la «déforestation» utilisée est la «conversion anthropique directe de terres forestières en terres non forestières» (IPCC, 2006).

3.2. MATÉRIELS

Le logiciel *ERDAS Imagine* développé par Leica Geosystem a servi pour réaliser les classifications supervisées. Le logiciel *ArcGIS* développé par *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) a été utilisé pour la mise en page cartographique des résultats. Quant à l'évaluation des résultats, les outils de la collection *Openforis* développés par le département des forêts de la FAO (*Collect Earth*¹, *SED*² et *SEA*³) ont été utilisés.

3.3. CLASSIFICATION DE L'UTILISATION DES TERRES

Les différents thèmes d'occupation du sol ont été regroupés en deux classes (forêt et non forêt) pour réaliser le masque forêt/non-forêt (voir tableau 1).

1 <http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>

2 Stratified estimator- Design (https://github.com/openforis/accuracy-assessment/tree/master/aa_design)

3 Stratified estimator - Analysis (https://github.com/openforis/accuracy-assessment/tree/master/aa_design)

Tableau 1 Typologie de l'occupation du sol et masque

N°	Masque	Formations forestières et non forestières associées
1	Forêt	Forêts denses humides (sempervirentes et semi-décidue) Forêt dense de montagne Forêt dense sèche Forêt claire Forêt sur sol hydromorphe (Forêt marécageuse) Forêt galerie Forêt de mangrove (Mangrove) Reboisement
2	Non forêt	Savane boisée Savane arborée Savane arbustive Savane herbeuse/prairie Culture de forêt Culture de savane Culture de bas-fond Plantation agro-industrielle Autres cultures Jachère Défrichement/sol nu Site habité/sol nu (ville-village-campement-hameau de culture) Zone de déblai (route/sol nu/prise de terre) Plan d'eau (retenue d'eau-océan-lagune-fleuve-eau surfacique) Affleurement rocheux Colline et inselberg Zone inondable/Marécage

3.4. DISPONIBILITÉ, ACQUISITION ET ANALYSE DES IMAGES

La Côte d'Ivoire est entièrement couverte par 21 scènes *Thematic Mapper / Landsat Enhanced Thematic Mapper plus* (TM/ETM+) des orbites 195 à 199 et des lignes 53 à 57. Les images ont été téléchargées à partir du site de l'USGS (USA Global Survey).

Les images ont été acquises pendant la saison sèche (décembre à mars) pour minimiser la couverture nuageuse et tenir compte de la saisonnalité.

L'analyse de ces images acquises a d'abord porté sur la dissociation des images, sur la vérification de l'exhaustivité des canaux essentiels (infra-rouge et proche infra-rouge) et sur la vérification de la qualité de

l'ensemble des images (couverture nuageuse inférieure à 20%, absence de stries, etc.).

Au total, 63 images ont été retenues sur un total de 223 images analysées (voir Tableau 2).

Tableau 2 Disponibilité des images Landsat (1986-2000-2015)

Périodes	Images disponibles	Observations
1986	21	Images Landsat TM
2000	21	Images Landsat TM/ETM+
2015	21	19 images Landsat OLI et 02 images GFC
Total	63	63 images utilisées

3.5. PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES

Les prétraitements englobent l'ensemble des opérations nécessaires avant l'analyse principale. Les images téléchargées sont géométriquement corrigées et parfaitement superposables aux couches d'informations de la base de données cartographiques de Côte d'Ivoire (BDGéo200). Parmi les prétraitements, on distingue :

- la correction et l'harmonisation au niveau radiométrique, ainsi que le filtrage du bruit;
- la normalisation et la linéarisation qui ont été réalisées pour réduire les interférences atmosphériques et pour améliorer l'interopérabilité des images.

a. Assemblage des bandes

Une fois le téléchargement des images Landsat terminé, les bandes sont rassemblées pour avoir, comme fichier de sortie, une image multi-bande.

b. Corrections radiométriques

L'amélioration radiométrique réalisée a consisté à corriger les effets des différents artéfacts qui perturbent la mesure radiométrique, notamment les défauts du capteur et le voile atmosphérique. En outre, les histogrammes ont été harmonisés pour ajuster les contrastes des images.

3.6. INTERPRÉTATION DES IMAGES

Les compositions colorées de base de données images pour cette analyse sont :

- 3 bandes du visible;
- 1 bande du proche infrarouge;
- 2 bandes du moyen-infrarouge;
- et une image du NDVI (Rouse *et al.*, 1974).

Ces compositions ont permis de discriminer sept grandes entités de synthèse agro-écologiques (forêt, savane, zone de cultures-habitat, sol nu, affleurement rocheux et entre «zone inondable» et «plan d'eau») qui constituent l'essentiel des classes d'objet. Elles ont par ailleurs aidé à orienter le choix des parcelles d'entraînement.

3.7. VÉRITÉ TERRAIN

À la suite de l'interprétation des images satellites et de l'évaluation de l'ensemble des traitements réalisés, une campagne de terrain a été nécessaire pour vérifier et confronter les résultats des traitements réalisés avec des observations sur des zones identifiées mais représentatives de l'ensemble du territoire national, et ceci en vue de l'amélioration du travail produit et sa validation. Ainsi, un échantillon de 424 sites sur l'ensemble du territoire national a été visité.

Le choix des sites d'entraînement repose 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 porté sur l'évaluation de leur homogénéité spectrale. Ainsi, seules les classes spectrales affichant un histogramme de réflectance uni-modal (preuve de leur homogénéité) dans les différentes bandes ont été retenues.

3.8. CLASSIFICATION

Parmi les algorithmes de classification, celui du maximum de vraisemblance est le plus efficace et la plus souvent utilisée suite à sa performance et aux recommandations lors de nombreux travaux de recherche. Elle se base sur des méthodes probabilistes. La probabilité d'être rattachée à une classe est calculée pour chaque pixel de l'image (définie par les parcelles d'entraînement) plutôt qu'à une autre probabilité d'appartenance (Girard et Girard, 1999). Elle a donc été utilisée pour l'extraction de l'information (classification).

Hormis la visite de terrain, cette chaîne de traitement appliquée aux images de 2015 a été reprise pour les images des années 1986 et 2000 et 2015.

3.9. POST CLASSIFICATION

a. Création des masques

L'objectif est de masquer ou de ne faire apparaître qu'une partie d'une image en se basant sur les valeurs radiométriques des pixels. La zone à mettre en évidence est codée «1» et la zone masquée est codée «0». La classe forêt a été codée «1» tandis que la classe non forêt a été codée «0».

b. Opérations diverses

Ces opérations ont consisté à:

- nettoyer les artefacts et les bordures non classées des images qui pourraient affecter les statistiques finales;
- mettre en conformité et appliquer les limites extérieures des zones agro-écologiques au contour de la Côte d'Ivoire;
- nettoyer les parties d'images traitées en dehors de la Côte d'Ivoire.

Ces opérations ont permis de rendre la superficie des mosaïques des trois périodes conforme à celle du contour de la Côte d'Ivoire.

c. Recodage des classifications

L'image finale classifiée est recodée en attribuant respectivement la valeur 1 aux classes d'objets «Non Forêt» et 2 aux classes d'objet «Forêt», en vue de mettre en exergue le masque Forêt/Non Forêt (F/NF).

d. Mosaïque des images recodées

La création d'une mosaïque d'images permet de lier deux ou plusieurs images adjacentes en une image unique. Cette opération a permis d'assembler et de fixer les 21 scènes de chaque période en une seule (i) pour avoir une vision d'ensemble des résultats harmonisés des traitements réalisés et (ii) pour faciliter et simplifier les croisements au niveau national.

3.10. DÉTECTION DU CHANGEMENT

Les cartes ont été combinées (pixel par pixel) pour produire une carte de changement avec un code à trois chiffres représentant l'état Forêt (code 2) ou Non-Forêt (code 1) pour les trois dates. Ainsi, un pixel avec le code 211 correspond à une situation Forêt en 1986 et Non-Forêt en 2000 et 2015. La carte de changement est donc composée de huit classes (deux états en trois dates). La combinaison des cartes F/NF a été faite avec les outils de la librairie *Open Foris Geospatial Toolkit*⁴.

3.11. CALCUL DES INCERTITUDES ET ESTIMATION DES SUPERFICIES

Le calcul des incertitudes de la carte a été réalisé selon les recommandations d'Olofsson *et al.* (2014) et considérant les recommandations de la CCNUCC de construire un système de surveillance des forêts crédible, robuste, transparent et exact. Une évaluation de la précision des résultats produits est ainsi nécessaire. Pour cela, les étapes suivantes ont été réalisées:

Construction du système d'échantillonnage

Elle a été faite à partir de l'outil *Stratified Area Estimator design*⁵. Cet outil utilise les bonnes pratiques indiquées dans Olofsson *et al.* (2014) et permet de générer des points suivant un échantillonnage aléatoire stratifié dont la taille totale est définie par la formule de Cochran (1977). L'échantillonnage a été calibré sur les paramètres suivants:

- un intervalle de précision attendue fixé à [70%:90%];
- une taille minimale de 100 points par strates;
- et une erreur standard de précision globale à 0.01.

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

Où :

- N est le nombre d'unités dans la zone (dans notre cas le nombre de pixels globaux car l'unité spatiale minimale est un pixel);
- S (O) est l'erreur standard de la précision globale estimée et souhaitée à atteindre;
- Wi est la proportion cartographiée de la zone de la classe i;
- et Si est l'écart type de la strate i.

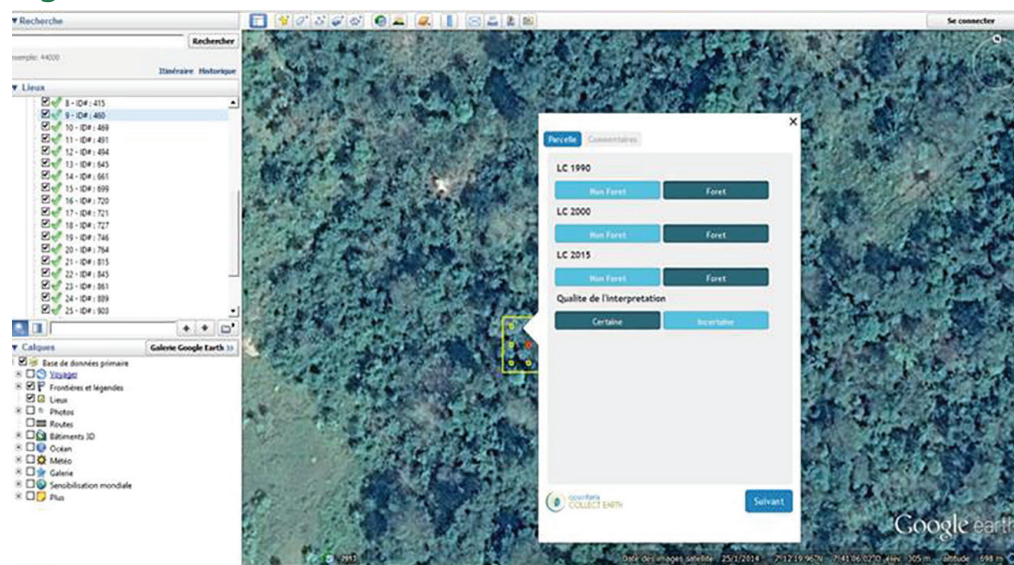
4 <http://www.openforis.org/tools/geospatial-toolkit.html>

5 https://github.com/openforis/accuracy-assessment/tree/master/aa_design

Réalisation d'un système de réponse

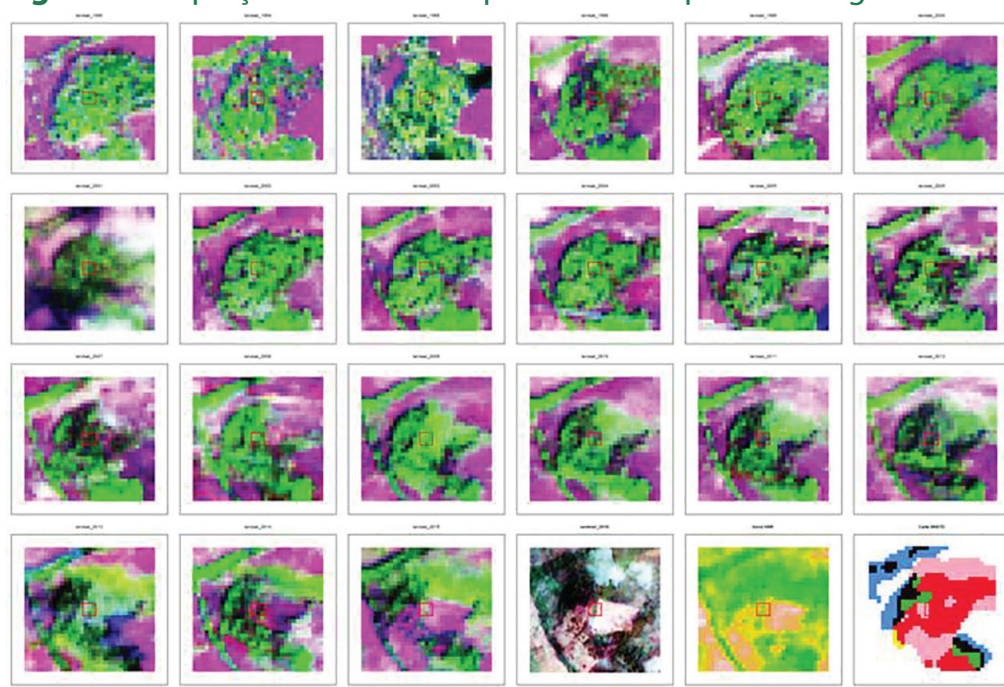
Cette étape a permis de réaliser une collecte des données de référence à partir de l'interprétation visuelle des échantillons dans *Collect Earth* de la suite d'outils *Open Foris* (voir figure 1). Cet outil permet d'exploiter des images de très haute résolution spatiale et temporelle disponibles sur les plateformes de *Google Earth*, *Bing Map* et *Here Maps*.

Figure 1 Présentation de l'interface *Collect Earth*



En complément aux images à très haute résolution, des séries temporelles de composites d'images LANDSAT et SENTINEL 2A ont été utilisées afin de bénéficier d'informations allant jusqu'en 1986 (voir figure 2).

Figure 2 Aperçu d'une série temporelle de composite d'images satellites



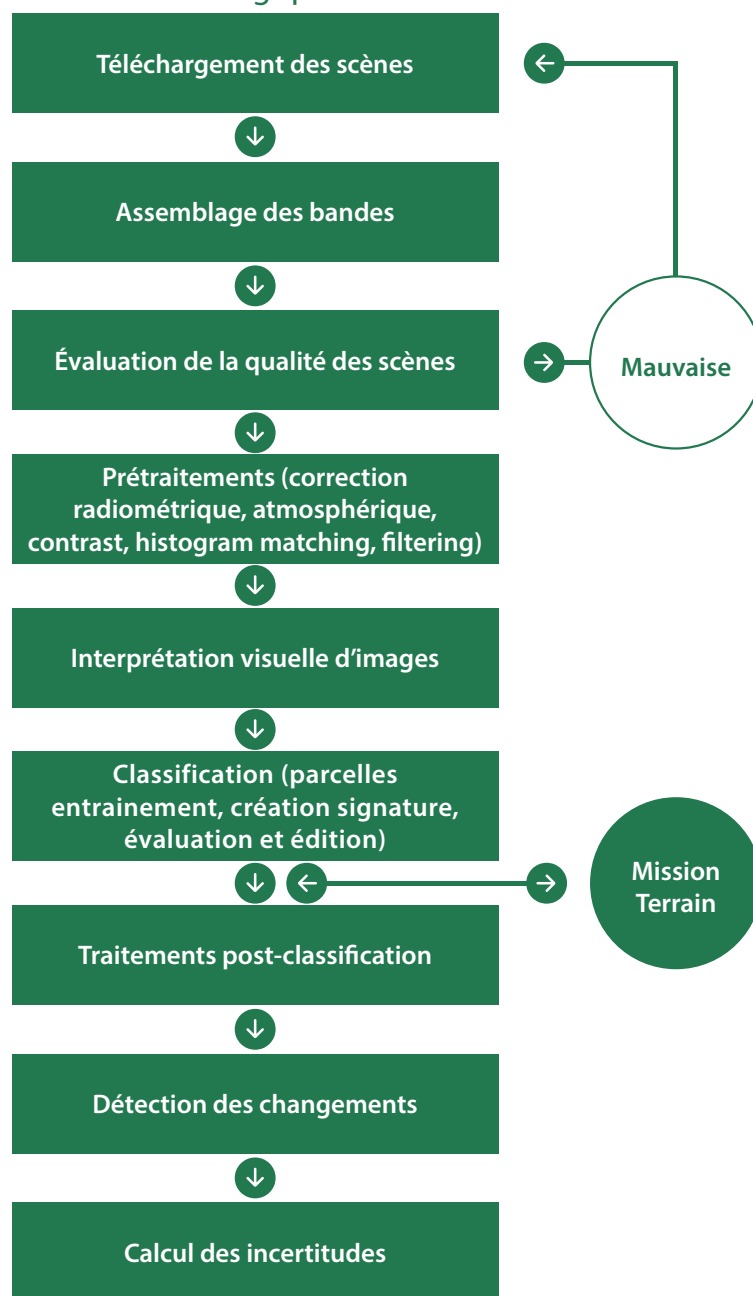
Analyse des données

Réalisée à partir de l'outil *Stratified Estimator Analysis*⁶, elle a permis d'estimer les superficies et intervalles de confiance pour chaque strate de la carte de changement. Tous ces calculs ont été réalisés sur la base d'une matrice de confusion comparant les produits cartographiques à la réalité du terrain (Olofsson *et al.*, 2014)

La synthèse méthodologique est représentée par la figure 3.

6 https://github.com/openforis/accuracy-assessment/tree/master/aa_design

Figure 3 Synthèse méthodologique



L'application de la méthodologie a permis d'aboutir à la cartographie forestière en Côte d'Ivoire en 1986, 2000 et 2015. Les changements ont été détectés et les analyses statistiques réalisées.

4.1. ÉTAT DU COUVERT FORESTIER DE 1986 À 2015

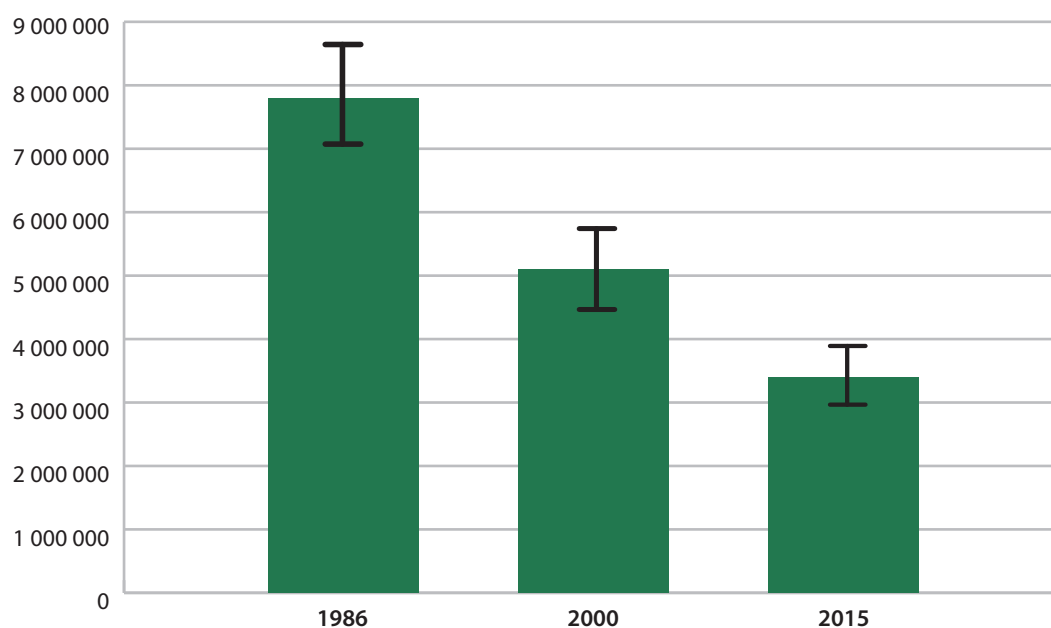
L'analyse de ces cartes donne les estimations du couvert forestier suivantes (voir cartes 1 à 4, tableau 3 et figure 4) :

- 7 850 864 hectares de forêts en 1986, soit une couverture forestière de 24,36% du territoire;
- 5 094 452 hectares de forêts en 2000, correspondant à une couverture forestière de 15,81% du territoire;
- et 3 401 146 hectares de forêts en 2015, représentant une occupation spatiale de 10,56% du territoire.

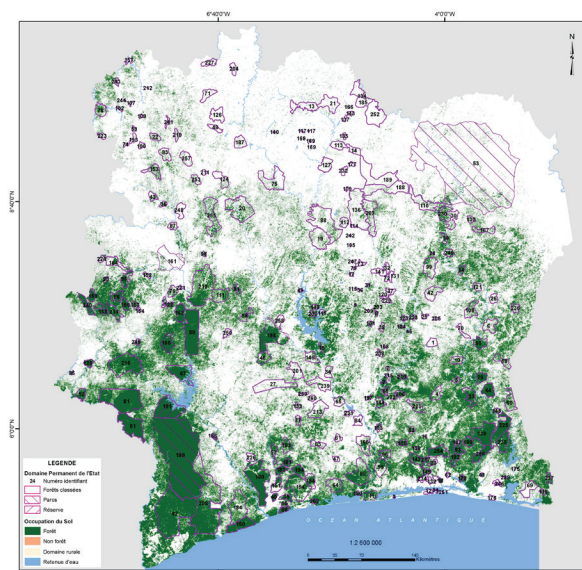
Tableau 3 Statistiques de la couverture forestière en 1986, 2000 et 2015

Désignation	Année 1986		Année 2000		Année 2015	
Forêt	Superficie		Superficie		Superficie	
	ha	%	ha	%	ha	%
	7 850 864	24,36	5 094 452	15,81	3 401 146	10,56
Intervalle de confiance à 95%	758 577		572 981		460 934	

Figure 4 Évolution de la couverture forestière de 1986 à 2015

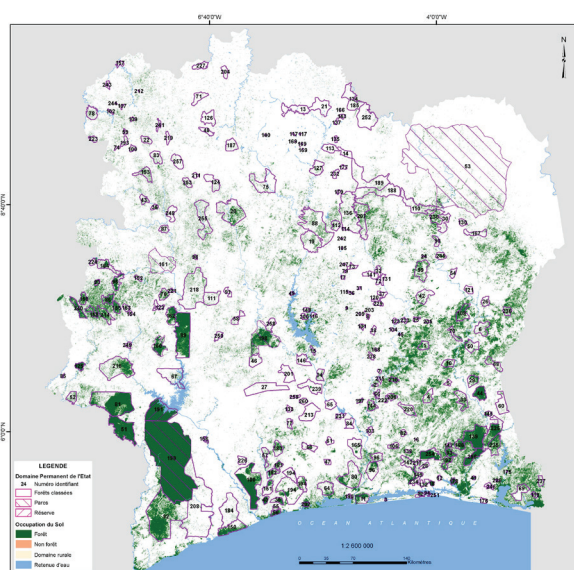


Carte 1 Couverture forestière en 1986



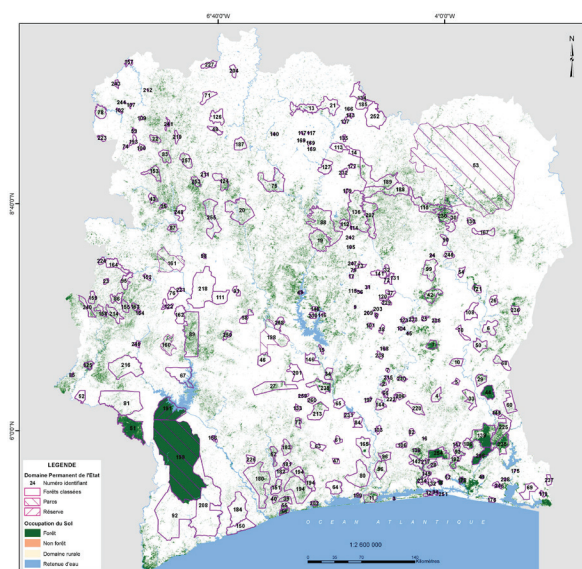
Source: FAO et SEPREDD+, 2017

Carte 2 Couverture forestière en 2000



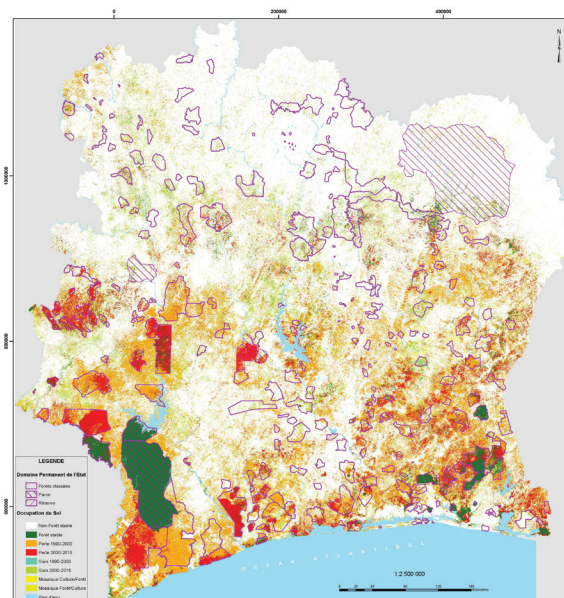
Source: FAO et SEPREDD+, 2017

Carte 3 Couverture forestière en 2015



Source: FAO et SEPREDD+, 2017

Carte 4 Changement de la couverture forestière entre 1986 et 2015



Source: FAO et SEPREDD+, 2017

Le taux annuel de déforestation est calculé selon la formule suivante (FAO, 1995) :

$$T = \left(\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{(t_2 - t_1)}} - 1 \right) \times 100$$

Où :

- T est le taux annuel de déforestation,
- S_1 et S_2 sont les superficies forestières respectivement aux dates t_1 et t_2 .

Il apparaît ainsi que la déforestation est plus importante sur la période 1986-2000 que sur la période 2000-2015 (voir tableau 4).

Tableau 4 Taux de déforestation annuel pour 1986-2000 et 2000-2015

Taux de déforestation	
1986-2000	2000-2015
-3,04%	-2,66%

4.2. ÉTAT DU COUVERT FORESTIER DANS LES ZONES PHYTOGÉOGRAPHIQUES EN 1986, 2000 ET 2015

Les principaux résultats sur la couverture forestière dans les zones phytogéographiques de Côte d'Ivoire sont synthétisés dans le tableau 5 suivant:

Tableau 5 Couverture forestière par zone phytogéographique en 1986, 2000 et 2015

Superficies en ha			
Zone phytogéographique	1986	2000	2015
Secteur ombrophile	3 768 397	2 844 099	2 087 106
Secteur soudanais	699 483	551 306	527 799
Secteur subsoudanais	653 436	301 365	193 752
Secteur mésophile	2 729 548	1 397 683	592 488
TOTAL	7 850 864	5 094 452	3 401 146

Des quatre secteurs, le secteur mésophile est celui qui a connu la plus grande régression. En effet ce secteur est passé de **2 729 548 hectares** en 1986 à **1 397 683 hectares** en 2000 soit plus d'un million d'hectares de perte, puis à **592 488 hectares** en 2015.

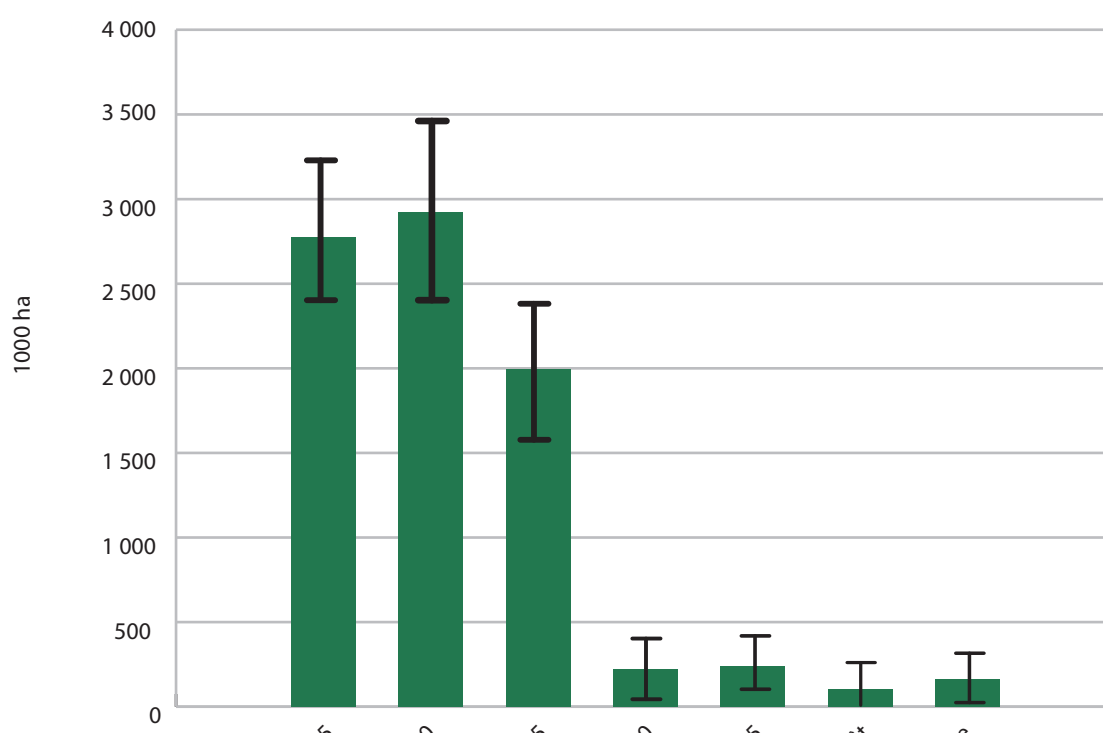
4.3. ANALYSE DES CHANGEMENTS DU COUVERT FORESTIER

La carte de changement du couvert forestier sur la période 1986-2015 (figure 5 ci-dessous), élaborée sur la base de la classification Forêt/Non forêt, contient huit classes dont deux classes stables (111 = non forêt stable et 222 = forêt stable) et six classes de changement (112, 121, 122, 211, 212, 221) dont les superficies sont consignées dans le tableau 6 et présentées par la figure 5.

Tableau 6 Classes stables et changement de la couverture forestière

Code	Classe	Superficie	Intervalle de confiance*
111	Non Forêt Stable	23 799 696	619 364
112	Gain 2000-2015	242 238	119 898
121	Mosaïque Culture-Forêt	103 560	127 274
122	Gain 1986-2000	223 894	152 082
211	Perte 1986-2000	2 923 023	518 792
212	Mosaïque Forêt-Culture	160 844	131 585
221	Perte 2000-2015	1 992 827	362 407
222	Foret Stable 86-00-15	2 774 170	397 040

* Intervalle de confiance à 95 %

Figure 5 Diagramme de la dynamique du changement de la couverture forestière sur la période 1986-2015.

Il est à noter que la classe non forêt stable n'a pas été représentée sur cette figure pour plus de lisibilité.

Sur la période 1986-2015, **4 449 718** hectares de forêts ont été perdus, représentant 14 % du territoire national. Les pertes sont plus importantes sur la période 1986-2000 (2 756 412 hectares) que sur la période 2000-2015 (1 693 306 hectares). Les gains sont faibles et relativement semblables durant les deux périodes (223 894 hectares pour la période 1986-2000 et 242 238 hectares pour la période 2000-2015).

L'analyse par télédétection de la dynamique forestière en Côte d'Ivoire sur trois années pivot (1986, 2000, 2015) est une première en Côte d'Ivoire. Les résultats sont des références pour l'analyse du changement de la couverture forestière, nécessaire dans le cadre du mécanisme REDD+. S'ils ont déjà été utilisés pour la construction d'un niveau de référence des forêts pour la REDD+, ils permettent aussi de mieux connaître et comprendre l'évolution historique du patrimoine forestier et seront surtout utilisés pour le système national de surveillance des forêts.

Il en ressort que la couverture forestière a fortement régressé de 1986 à 2015, passant de 7 850 864 hectares en 1986 à 5 094 452 hectares en 2000 et à 3 401 146 hectares en 2015. Les taux annuels de déforestation sont respectivement de 3,04 % pour la période 1986-2000 et de 2,66% sur la période 2000-2015. La perte de couvert forestier est ainsi estimée à 2 756 412 hectares entre 1986 et 2000 et à 1 693 306 hectares entre 2000 et 2015. La déforestation a été plus intense dans le milieu rural de 1986 à 2000 et le domaine permanent de l'état est le plus touché entre 2000 et 2015.

Ces taux de déforestation élevés et l'identification des zones les plus sensibles (*hotspots*) donnent une indication quant aux choix stratégiques à opérer et à la location des zones à cibler en vue de la reconstitution du couvert végétal qui a presque totalement disparu, en dehors du parc national de Taï et de la réserve de faune du N'Zo. Ces données peuvent également être utilisées non seulement par le secteur forestier mais aussi par les autres secteurs entre autres dans le cadre de l'aménagement du territoire.

Ces résultats pourront à l'avenir être améliorés en incluant des données satellitaires de très haute résolution spatiale, ainsi que des données satellitaires provenant de capteurs actifs comme SAR (RADAR, PALSAR) pour des analyses plus poussées dans les zones d'intérêt.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chatelain, C., Dao, H., Gautier, L. et Spichiger, R. 2004. Forest cover changes in Côte d'Ivoire and Upper Guinea. Sous la direction de Bongers, F., Loorens, P., Kouamé, F. N. et Hawthorne, W. D. *Biodiversity of West African forests: an ecological atlas of woody plant species*. Wallingford: CABI Publishing, Wallingford (UK), p. 45-82.

Cochran, W. G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, New York, 3ème édition.

République de Côte d'Ivoire, 2015. État, généraux des forêts, 2015. Abidjan.

FAO, 1995. *Forest resources assessment 1990*. Global Synthesis. Rome.

IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

Girard, M.C. et Girard, C.M. 1999. *Traitement des données de télédétection*. DUNOD Ed. Paris.

MINEF, 2014. Loi no2014-427 du 14 juillet 2014 portant *Code Forestier*.

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

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

ISBN 978-92-5-209999-4



I8047FR/1/11.17