

Apport des Données d'Observation de la Terre dans l'Évaluation du Potentiel Forestier de la Réserve Naturelle Mabi-Yaya au Sud-Est de la Côte d'Ivoire

Ouedraogo Boubacar, Diplômé d'un Master-2
Dibi N'Da Hyppolite, Maître de Conférences
Nanan Noël Kouman Kouassi, Doctorant
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

[Doi: 10.19044/esipreprint.7.2023.p218](https://doi.org/10.19044/esipreprint.7.2023.p218)

Approved: 13 July 2023
Posted: 17 July 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ouedraogo B., Dibi N.H. & Nanan N.K.K. (2023). *Apport des Données d'Observation de la Terre dans l'Évaluation du Potentiel Forestier de la Réserve Naturelle Mabi-Yaya au Sud-Est de la Côte d'Ivoire*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.7.2023.p218>

Resume

La réserve naturelle Mabi-Yaya (RNMY) a été créée à travers le décret n° 2019-897 du 30 octobre 2019 par le gouvernement de la Côte d'Ivoire pour palier le problème de pression anthropique qui pèse sur la zone. Elle est située dans le Sud-est de la Côte d'Ivoire et regorge une diversité floristique très riche. La présente étude vise à améliorer les connaissances sur le potentiel forestier de la réserve et les différentes pressions qu'elle subit, pour sa gestion durable. La réalisation de cette étude a été faite à travers les approches de télédétection qui ont consisté à la classification de deux images Sentinel-2A de 2015 et 2020. Cette classification des images Sentinel a ensuite été confirmée par des observations sur le terrain. Les résultats obtenus font état de six (6) classes d'occupation du sol dans la RNMY en 2015 et en 2020, avec les forêts denses humides comme classe dominante. L'analyse spatio-temporelle de ces images a permis d'avoir une carte de la dynamique de 2015 et une carte actualisée de 2020. Il ressort de l'analyse de ces différentes cartes que la RNMY est soumise à une forte pression anthropique. La dynamique de l'utilisation des terres a révélé une perte annuelle de près de 1 % des forêts denses humides, principalement due à la production des cultures pérennes

(cacao, hévéa et café).

Mots-clés: Potentiel forestier, occupation du sol, dynamique végétale, télédétection, réserve naturelle, Mabi-Yaya, Région de la Mé, Côte d'Ivoire

Contribution of Earth Observation Data in the Evaluation of the Forest Potential of the Mabi-Yaya Nature Reserve in the South-East of Côte d'Ivoire

Ouedraogo Boubacar, Diplômé d'un Master-2
Dibi N'Da Hyppolite, Maître de Conférences
Nanan Noël Kouman Kouassi, Doctorant
Université Félix Houphouët-Boigny, Cote d'Ivoire

Abstract

The Mabi-Yaya Natural Reserve (RNMY) was created through decree n° 2019-897 of October 30, 2019 by the government of Côte d'Ivoire in response to the anthropogenic pressure on the area. It is located in the South-east of Côte d'Ivoire and possesses a very rich floral biodiversity. This study aimed to improve knowledge of the forest potential and the various pressures on the reserve for its sustainable management. This study was carried out through remote sensing approaches which consisted in the classification of the two Sentinel-2A images from 2015 and 2020. The classification of Sentinel images was thereafter confirmed by field observations. The results showed six (6) land cover classes in the RNMY in 2015 and 2020, with dense humid forests as the dominant class. The spatio-temporal analysis of the images depicted a map of the dynamics in 2015 and an updated map of 2020. The analysis of these different maps revealed that the RNMY is heavily affected by anthropogenic pressure. Land use dynamics revealed an annual loss of nearly 1 % of dense humid forests each year mainly due to the production of perennial crops (cocoa, rubber and coffee).

Keywords: Forest potential, land use, plant dynamics, remote sensing, natural reserve, Mabi-Yaya, Mé region, Côte d'Ivoire

Introduction

Selon la FAO et le PNUE (2020), la superficie totale des forêts, ressources renouvelables indispensables pour l'humanité est de 4,06 milliards d'hectares, soit 30,80 % de la superficie terrestre. Parmi celles-ci,

les forêts tropicales (46 % des forêts) constituent des réservoirs exceptionnels de biodiversité (Ciais *et al.*, 2014). Malheureusement, ces dernières sont aujourd'hui menacées par la déforestation qui a entraîné une réduction 4,30 % de la ressource entre 1990 et 2020 (FAO et PNUE, 2020). Cette déforestation s'est accélérée dans le domaine tropical depuis le XX^e siècle, en particulier dans les pays en développement (FAO, 2016).

La Côte d'Ivoire qui a perdu 57% de ses ressources forestières entre 1990 (7,8 millions d'hectares) et 2015 (3,4 millions d'hectares) n'échappe pas à cette réduction des ressources forestières (BNETD, 2016 et SEP-REDD+, 2017). Les rares forêts encore existantes se trouvent dans le Sud-ouest et Sud-est du pays (Ouattara *et al.*, 2021). Ces dernières qui sont principalement localisées dans le domaine privé permanent de l'état et particulièrement dans les forêts classées, sont malheureusement soumises à des pressions anthropiques sans cesse croissantes, donc non favorables à leur gestion durable (Oszwald *et al.*, 2007).

Face à cette situation, le gouvernement de la Côte d'Ivoire a décidé de la création de nouvelles réserves naturelles gérées par l'OIPR. La réserve naturelle Mabi-Yaya (RNMY), une des dernières reliques forestières du Sud-est du pays, créée par le décret n° 2019-897 du 30 octobre 2019 (OIPR, 2021) est un exemple des efforts du gouvernement dans la lutte contre la déforestation. Toutefois, les données de base pour un état des lieux dans ladite réserve permettant sa gestion durable restent très insuffisantes. Aussi, la collecte de données de terrain et la production d'informations se présentent comme une priorité pour les autorités forestières de l'OIPR. Au titre des données indispensables à une bonne prise en mains de la nouvelle réserve, l'occupation du sol et sa dynamique ces dernières décennies font partir des plus importantes eu égard à l'importante des pressions agricoles. De nombreuses approches pour la collecte de données et informations existent, toutefois, celles impliquant la Télédétection et le Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) qui sont adaptées à la gestion et l'aménagement sur de vastes espaces (Kemavo, 2019) ont été privilégiées dans cette étude.

C'est dans ce contexte que la présente étude a été initiée avec pour objectif principal d'améliorer la gestion de la nouvelle réserve naturelle Mabi-Yaya. De façon spécifique il s'agissait de (1) caractériser et cartographier les différents types d'occupation du sol de la réserve en 2015 et 2020 ; et (2) évaluer la dynamique du potentiel forestier de la RNMY.

Presentation de la zone d'étude

Selon OIPR (2021), la Réserve Naturelle de Mabi-Yaya (RNMY) est née de la fusion de deux forêts classées anciennement sous la responsabilité de la SODEFOR. Ce sont l'ex-forêt classée de Mabi d'une superficie de 59

614 ha et l'ex-forêt classée de Yaya d'une surface de 23 873 ha. Ces deux forêts classées ont été fusionnées depuis 2016, suite aux actions du Conseil Général de la Mé, des ONG telles que Nitidae dans le cadre du Projet REDD+ de la Mé et d'une grande majorité de la population riveraine (OIPR, 2021). En 2019, le gouvernement a décidé par décret n°2019-897 du 30 octobre 2019 de la création de la Réserve Naturelle de Mabi-Yaya d'une superficie de 61 282,559 ha. La RNMY est située entre 05°36' et 05°48'05" de latitude Nord et 3° 25' et 3° 40' de longitude Ouest. Elle est située dans la région de la Mé et est à cheval sur les départements d'Alépé (à travers les Sous-préfectures d'Aboisso-Comoé, Alépé, Alossou et Danguira) et de Yakassé Attobrou par la Sous-préfecture de Biéby (Figure 1). Elle est limitée dans sa crête Nord-est par le département de Bettié (au niveau de la sous-préfecture de Bettié).

La région de la Mé appartient à la zone subéquatoriale avec un climat de type Attiéen comprenant quatre saisons, dont deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La plus grande saison des pluies couvre la période de mars à juillet avec un maximum de précipitation en juin. La petite se situe entre septembre et novembre. Cette région est caractérisée par une pluviométrie qui varie entre 850 mm et 1250 mm/an (Adjonou *et al.*, 2019). La température maximale moyenne est de 31,25 °C entre décembre et avril, et la minimale est de 28 °C entre juillet-septembre (Adjonou *et al.*, 2019).

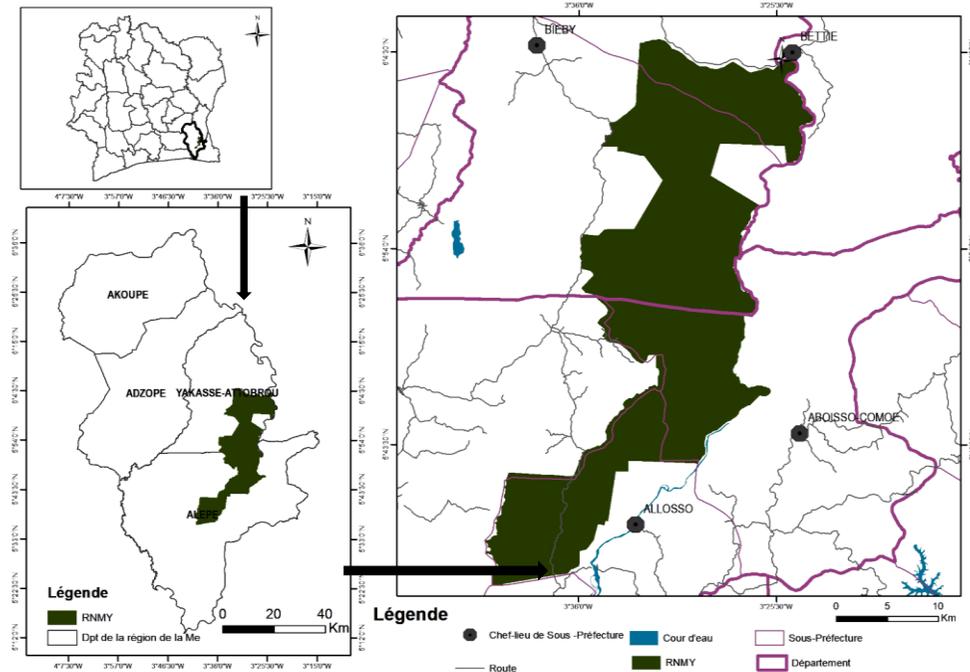


Figure 1. Carte de localisation de la Réserve Naturelle Mabi-Yaya

Materiel et methodes

Matériel

Deux types de matériel ont été exploités dans la collecte de données et leur traitement. Il s'agit du matériel biologique et du matériel technique.

Le matériel biologique se compose essentiellement de la description des formations végétales rencontrées sur le terrain. Quant-au matériel technique, il se scinde en 3 catégories que sont :

- **Les données satellitaires et cartographiques**

Elles sont constituées des données numériques de notre zone d'étude. Elles ont été obtenues gratuitement sur le site web de la NASA (www.earthexplorer.usgs.gov/). Le choix des images Sentinel-2A, s'explique par leur haute résolution (jusqu'à 10 m de précision). Ces images sont également munies d'un senseur MSI (Image Multi Spectral) qui fournit des vues dans 13 bandes spectrales en lumières visibles et proche infrarouge. Dans cette perspective, les dates retenues ont été : 2015 et 2020.

Il a également été fait recours aux données vecteurs des limites de la réserve sous le format Shapefile issues de l'OIPR.

- **Le matériel de collecte de terrain**

Le matériel de collecte de terrain qui a été utilisé dans cette étude se compose essentiellement : d'un GPS (Global Position Système) récepteur de marque Garmin GPSMAP 64sx pour enregistrer les coordonnées (X ; Y) des différents types d'occupations du sol présent, d'un appareil photographique numérique pour la prise de vue des paysages observés ; des fiches d'inventaire et des stylos pour la consignation des données collectées ; des machettes pour se frayer le chemin ; et des bottes pour la sécurisation des pieds.

- **Le matériel pour le traitement de données**

Le traitement de données a été effectuées avec le matériel informatique qui est l'ordinateur sur laquelle on à utiliser les logiciels suivent : Envi -5.3, QGIS Desktop - 3.24 et Microsoft Excel – 2019.

Méthodes

Caractérisation et cartographie des types d'occupation du sol de la RNMY

La caractérisation et la cartographie les différents types d'occupation du sol de la RNMY ont été faite à partir d'images satellitaires. Les images fournies par les satellites ont ainsi fait l'objet de traitement avant d'aboutir aux cartes d'occupation du sol.

Prétraitement. Les images Sentinel-2A ont été téléchargées sur le site www.earthexplorer.usgs.gov/. Elles ont fait l'objet d'un prétraitement

(Girard et Girard, 1999) au niveau radiométrique par la conversion des comptes numériques en valeur de radiance et la correction artefacts qui ont perturbé les mesures, notamment les défauts du capteur. Au niveau atmosphérique, elle a rectifié les perturbations du rayonnement électromagnétiques induites par la traversée de l'atmosphère suite aux interactions. Pour ces traitements, l'outil Radiométrique et atmosphérique a été utilisé avec le logiciel QGIS-3.24. L'extraction de la zone d'étude a été la dernière étape du prétraitement. Elle a consisté à extraire la fenêtre d'étude par superposition du fichier vecteur de contour de la réserve sur l'image satellitaire, puis l'élaboration et l'application d'un masque sur l'image dans le logiciel ENVI. Le même processus a été répété sur chaque image.

Caractérisation de l'occupation du sol de la réserve. Deux niveaux de caractérisation complémentaires ont été appliqués. Le premier niveau a été une caractérisation des différents types d'occupation du sol basée sur la recherche documentaires. Cette première approche a permis de noter que les forêts avec différents niveaux de dégradation, les exploitations agricoles dominées par la cacaoculture et l'hévéaculture occupent l'espace de la réserve. Selon les données de l'OIPR les limites de la réserve ont été tracées de sorte à isoler les zones de forêts intactes des zones infiltrées par l'agriculture. La seconde partie de la caractérisation des types d'occupation du sol s'est appuyée sur le traitement des images satellitaires visant à extraire les types d'occupation du sol. Les traitements appliqués ont exploité le calcul des indices biophysiques et les améliorations d'images.

Au niveau des indices biophysiques, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), le BI (Bright Soil Index) et le NDWI (Normalized Difference Wetness Index) ont été respectivement calculés pour discriminer les différentes formations végétales par rapport à leur intensité photosynthétique, leur recouvrement au sol et le niveau d'humidité contenu dans la végétation.

Le NDVI est l'un des indices les plus couramment utilisés. Il varie de -1 (végétation chlorophyllienne absente) à +1 (végétation chlorophyllienne dense). Cet indice est calculé selon la formule [1].

Le BI est sensible aux sols dénudés ou couverts de végétation faible. Cet indice est calculé selon la formule [2].

Le NDWI maximise la réflectance des surfaces humides (les surfaces en eau). Cet indice est calculé selon la formule [3].

$$\begin{aligned} \text{NDVI} &= \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}} & [1] & \quad \text{BI} = (\text{R}^2 + \text{PIR}^2)^{\frac{1}{2}} & [2] \\ \text{NDWI} &= \frac{(\text{PIR} - \text{MIR})}{(\text{PIR} + \text{MIR})} & [3] & \end{aligned}$$

Avec PIR : Proche infra-rouge ; R : Rouge ; MIR : Moyen infra-rouge

Avec un niveau de précision plus fin, les compositions colorées exploitant les bandes brutes et néo canaux issus des Analyses en Composantes Principales (ACP) ont permis d'avoir le détail des unités cartographiques. L'ACP a converti les bandes multispectrales corrélées en un nouvel ensemble de composants non corrélés. Les trois premières bandes de l'ACP alors obtenues, présentent des informations plus contrastées et non redondantes (Dibi *et al.*, 2008). Elles ont été ainsi exploitées dans les compositions colorées pour une meilleure discrimination de l'occupation du sol. Il s'est agi de l'approche ultime pour la préparation de la collecte des données de terrain. Les compositions colorées (Rouge-Vert-Bleu) : Sentinel 8-12-4 et ACP 1-2-3 appliquées ont permis l'identification de 6 classes d'occupation du sol que sont : les forêts denses humides ; les forêts dégradées ; les champs de cacao ; les champs d'hévéa ; les sols nus, localités et les jeunes jachères ; et les plans d'eau.

La préparation de la collecte de données de terrain a consisté à faire le choix de 100 points à visiter. Ces derniers représentaient les différentes typologies d'écosystèmes présentes sur le site d'étude intégrant les localités, les pistes, les plans d'eau, les limites de la RNMY. Les coordonnées géographiques des points ont été relevées et intégrées au GPS avec le logiciel QGIS-3.24 pour la préparation de la mission de terrain.

La mission de collecte de données dans la réserve qui a duré une semaine a permis de parcourir et de décrire des différents types d'occupation du sol sur la base des critères que sont : la structuration verticale (hauteur) et horizontale (recouvrements), la topographie du site et les traces de pressions anthropiques (Annexe 2). Au-delà des points sélectionnés au laboratoire, un deuxième jeu de points au nombre de 140 a été directement collectés sur le terrain pour servir à la validation poste-classification.

La classification d'images adoptée dans le cadre de cette étude est celle de la Classification Orientée Pixels (COP) dans le logiciel Envi. Elle a été faite en deux étapes :

- La première a consisté à digitaliser des parcelles d'entraînement représentant tous les types d'occupation du sol du site (100 parcelles) ;
- La seconde étape a consisté au choix de l'algorithme (maximum de vraisemblance), puis à son implémentation (Dibi *et al.*, 2008) dans le logiciel Envi.

Les résultats des classifications obtenues au format raster ont été exportés dans le logiciel QGIS pour des conversions au format vecteur.

L'évaluation de la classification supervisée a été faite par la production des matrices de confusions à travers la précision globale et le

coefficient de Kappa. Selon Skupinski *et al.*, (2009) l'indice de Kappa caractérise le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés. Les 140 parcelles collectées directement sur le terrain ont servi de base à cette évaluation. Une précision cartographique globale supérieure à 80% a été le seuil minimal pour la validation de notre traitement. Une fois la classification validée, un filtre médian 3x3 a permis de réduire l'hétérogénéité intra classe par élimination des pixels isolés.

La production de la carte historique de 2015 suit le même protocole que celle de 2020 en s'appuyant sur les points qui n'ont pas subi de mutation entre les deux dates. Les points invariants sont ceux qui n'ont pas changé d'affectation des terres dans la période d'analyse des données (2015-2020).

Evaluation de la dynamique du potentiel forestier de la RNMY.

L'estimation des superficies des types d'occupation du sol sur le pas de temps de 2015-2020 a permis d'évaluer le taux d'évolution moyen annuel selon la formule proposée par Puyravaud (2003).

$$r = \left(\frac{100}{t2 - t1} \right) \times \ln \frac{A2}{A1}$$

r : taux d'évolution annuel de la classe i; A1: superficie de la classe i au temps t1 ; A2 : superficie de la classe i au temps t2.

Selon Sanon (2019), la matrice de transition met en évidence les différentes formes de conversion des classes d'occupation du sol entre deux dates données. La matrice de transition offre l'avantage de dire avec précision comment la réduction d'une classe « X » a profité aux autres classes, ou bien comment l'augmentation de la superficie d'une classe « Y » s'est faite au détriment des autres classes entre 2015 et 2020. Elle est fréquemment utilisée dans l'analyse des changements de l'occupation du sol (Bamba *et al.*, 2008 ; Mama *et al.*, 2013 ; Tankoano *et al.*, 2016 ; N'Guessan *et al.*, 2019).

Resultats

Les types d'occupation du sol de la RNMY

Six (6) principaux types d'occupation du sol que sont les forêts denses humides, les forêts dégradées, les champs de cacao, les champs d'hévéa, les sols nus/localités/jeunes jachères et les plans d'eau.

Forêts denses humides

Cette formation présente trois strates ligneuses (haute, moyenne, basse) et une strate herbacée (basse) clairsemée. La strate ligneuse est haute de 25 à 35 m pour un recouvrement de 30 à 50 %. Des espèces telles

que *Heritiera utilis* (Malvaceae), *Triplochiton scleroxylon* (Malvaceae), *Terminalia superba* (Combretaceae) sont prédominantes.

Forêts dégradées

Les forêts dégradées ont subi des formes de pressions anthropiques par le passé, modifié leur physionomie à deux strates ligneuses (haute et basse). La strate ligneuse haute de 15 à 25 m a un recouvrement variant de 20 à 50 % et dominées par des espèces comme : *Cecropia peltata* (Urticaceae), *Musanga cecropioides* (Urticaceae), *Thaumatococcus daniellii* (Marantaceae). Dans ces forêts dégradées, des traces de reboisement de certains Combretaceae tel que : *Terminalia superba* et *Terminalia ivorensis* ont été observés.

Champs de cacao et d'hévéa

Dans la réserve naturelle Mabi-Yaya, plusieurs dizaines d'hectares ont été défrichés pour l'installation de cultures pérennes de cacao et d'hévéa.

Sols nus, localités et les jeunes jachères

Les sols nus sont constitués de parcelles dénudées, d'espaces agricoles aménagés et de localités ou sites habités.

Plans d'eau

Quatre (4) types de plans d'eau ont été principalement observés : le fleuve Comoé ; les rivières, les marigots et les mares d'inondation. Le fleuve Comoé est une limite naturelle de la réserve dans sa partie Est. La rivière de Mabi et celle de Mebifon traversent la réserve dans sa partie Nord-est. On note également la présence de quelques marigots et des mares d'inondation pendant la saison des pluies tout au long de la réserve.

Occupation du sol en 2020 et 2015 de la Réserve naturelle Mabi-Yaya

La précision globale de la classification est de 94,74 % (Tableau 1), contre 91,45 % pour l'image de 2015 (Tableau 2). Les sols nus-localités-jeunes jachères et les champs de cacao ont enregistré les plus faibles précisions de pixels bien classées avec respectivement 78 et 63% pour les années 2020 et 2015.

Tableau 1. Matrice de confusion de la classification de l'image Sentinel-2A (2020)

Overall Accuracy = 0,947362621 = 94.7363 %

Kappa Coefficient = 0.9311

Occupation du sol (%)	FDH	Fd	CCACA	CHEV	SN_LO_JAJ	PE
FDH	98,84	0,26	0,00	0,02	0,00	0,00
Fd	0,47	98,86	1,89	1,86	0,00	0,00
CCAC	0,00	0,00	98,07	3,86	30,42	0,00

CHEV	0,70	0,88	0,03	94,25	0,00	0,00
SN_LO_JAJ	0,00	0,00	0,00	0,00	63,97	0,00
PE	0,00	0,00	0,00	0,00	5,61	100
Total	100	100	100	100	100	100

FDH = forêts denses humides ; **Fd** = forêts dégradées ; **CCACA** = Champs de cacao ; **CHEV** = Champs hévéa ; **SN_LO_JAJ** = sols nus_ localités_ jeunes jachères ; **PE** = plans d'eau.

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image Sentinel-2A (2015)
Overall Accuracy = 0,9145282595 = 91,4528 %
Kappa Coefficient = 0.8859

Occupation du sol (%)	FDH	Fd	CCACA	CHE	SN_LO_JAJ	PE
FDH	98,91	0,23	1,16	0,00	0,00	0,00
Fd	0,13	98,90	3,36	1,28	0,00	0,00
CCAC	0,00	0,00	78,85	0,00	0,20	0,00
CHE	0,09	0,88	2,62	98,72	0,00	0,00
SN_LO_JAJ	0,00	0,00	11,63	0,00	99,80	0,00
PE	0,86	0,00	2,37	0,00	0,00	100
Total	100	100	100	100	100	100

FDH = forêts denses humides ; **Fd** = forêts dégradées ; **CCACA** = Champs de cacao ; **CHEV** = Champs hévéa ; **SN_LO_JAJ** = sols nus_ localités_ jeunes jachères ; **PE** = plans d'eau.

Les cartes des figures 10 et 12, ainsi que du tableau 3 indiquent que les superficies des différents types d'occupation du sol varient de 2015 à 2020.

Tableau 3. Superficies en hectares (Ha) des classes d'occupation du sol de 2015- 2020

Classes	Superficies (ha) 2015		Superficies (ha) 2020	
FDH	51117,89	88,79%	54410,68	83,42%
Fd	3311,20	2,11%	1293,66	5,40%
CCACA	4316,01	7,48%	4582,58	7,04%
CHEV	1697,73	1,56%	957,76	2,77%
SN_LO_JAJ	741,97	0,05%	2,41	1,21%
PE	94,29	0,00%	31,99	0,15%

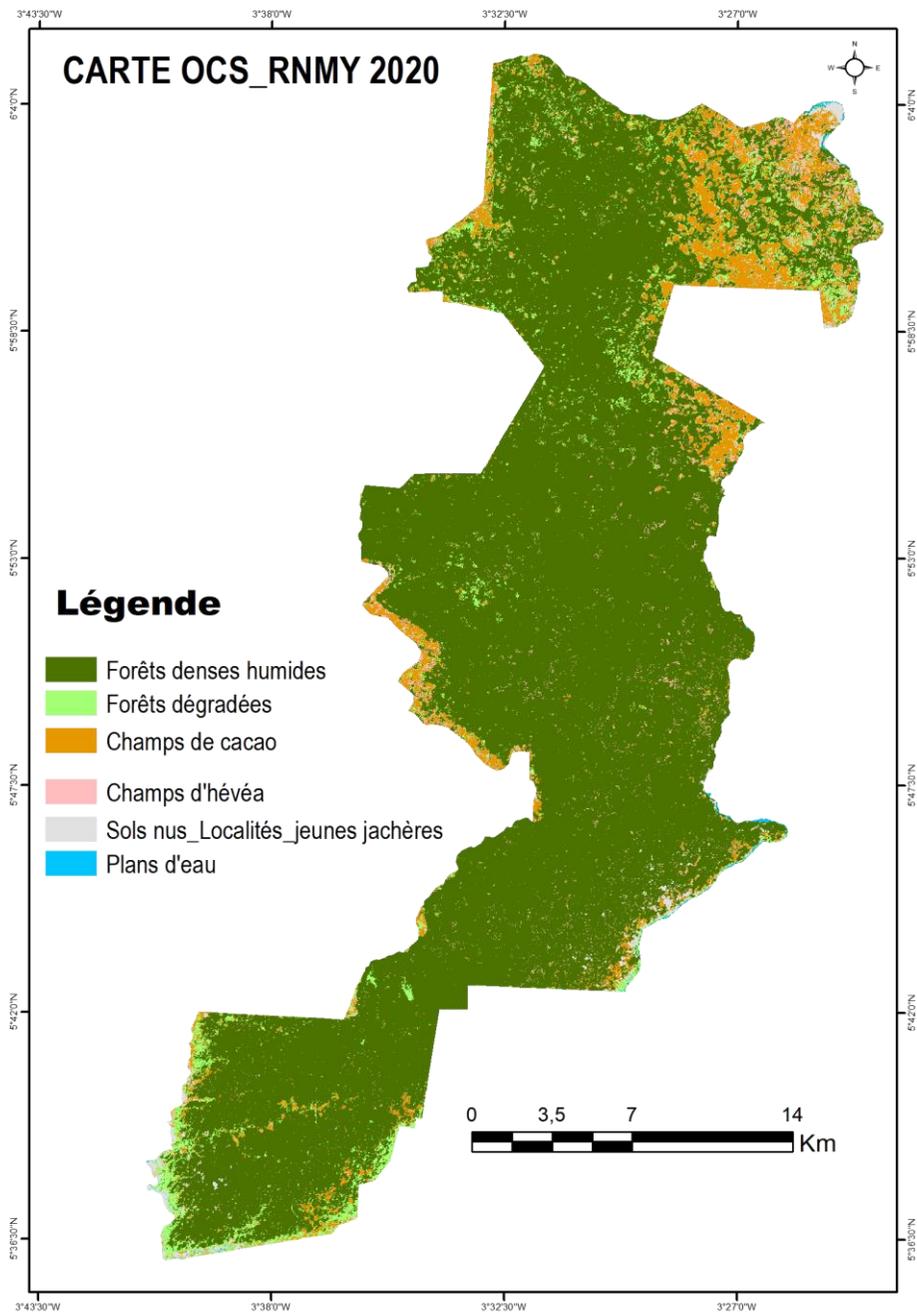


Figure 2. Carte d'occupation du sol actualisée de la Réserve Naturelle Mabi-Yaya en 2020

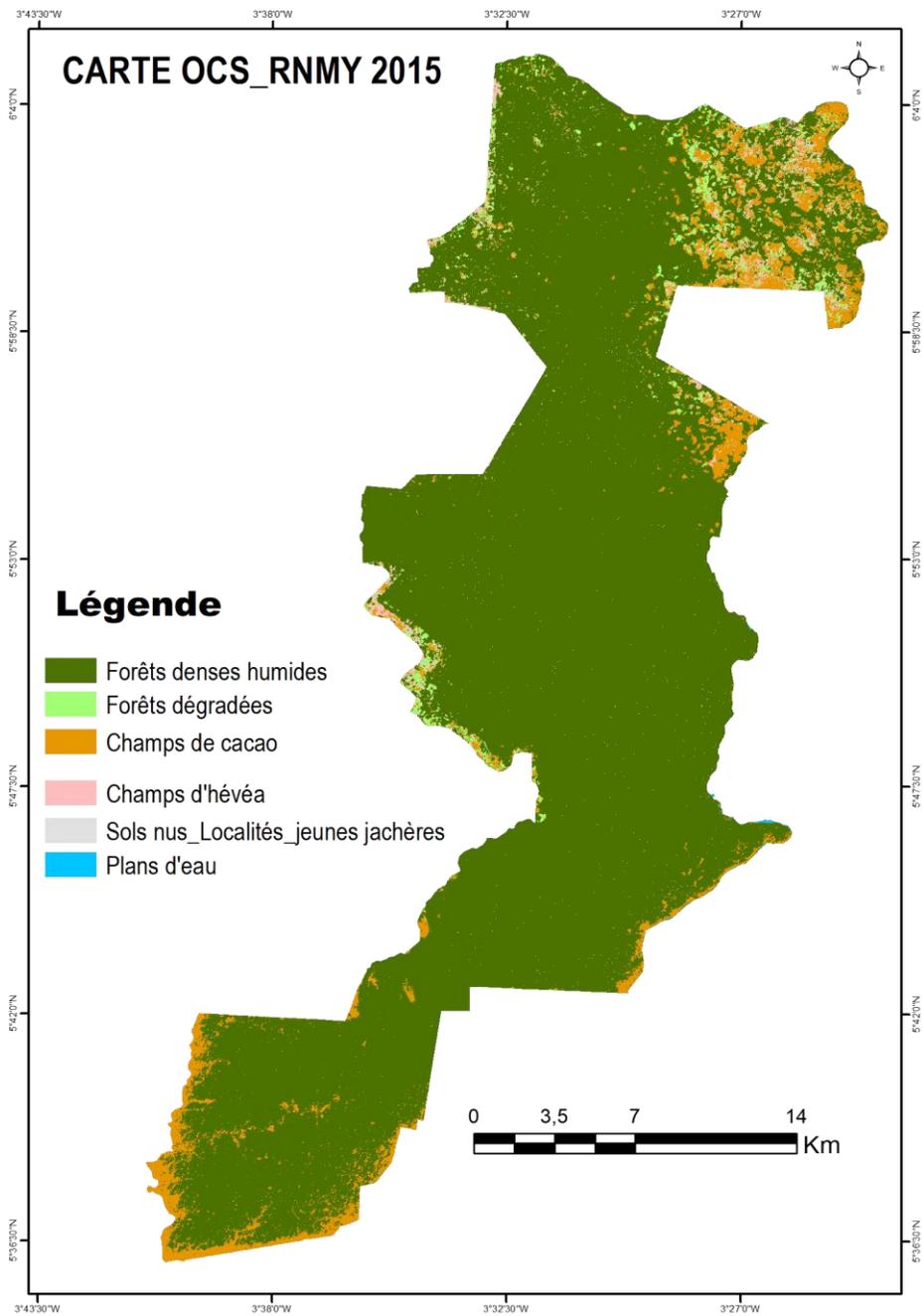


Figure 2. Carte d’occupation du sol historique de la Réserve Naturelle Mabi-Yaya en 2015

Evaluation de la dynamique du potentiel forestier de la RNMY

La dynamique du potentiel forestier de la RNMY a été déterminée à partir de la matrice de transition pour la période de 2015 à 2020 (Tableau 5). L'analyse de la matrice de transition montre que les changements les plus importantes ont été observés entre :

- Les forêts dégradées qui ont subi une transition de la grande partie de leur superficie totale en champs de cacao avec un taux de 57,25 % entre 2015 et 2020 ;
- Les sols nus, les localités et les jeunes jachères qui ont subi également une forte mutation avec un taux de 51,81 % de leur superficie totale en champs de cacao ;
- Les champs d'hévéa ont été transformés en champs de cacao et en forêts dégradées avec des taux respectifs de 47,88 % et 13,93 % ;
- Les champs de cacao qui ont été convertis en forêts dégradées avec un taux de 35,18 % ;
- Et enfin, les forêts dégradées qui ont également subi un changement d'occupation du sol en forêts denses humides et en champs d'hévéa avec un taux respectifs de 11,36 % et 10,00 %.

Cette dynamique du potentiel forestier montre que la nouvelle réserve naturelle Mabi-Yaya est en perpétuelle évolution, grâce aux règles de la nature et aux pressions anthropiques.

Le calcul du taux d'évolution moyen annuel de chaque classe d'occupation du sol a permis de distinguer les types d'occupation du sol qui ont régressés ou augmentés de superficie avec le temps.

Les forêts denses humides et les champs de cacao ont été les classes qui perdent approximativement 1 % de leurs superficies totales chaque année pendant les 5 ans. Cette perte a été recouverte par les autres classes d'occupation du sol qui augmentent de superficie chaque année grâce aux activités humaines et aux phénomènes naturels (Tableau 6).

La carte de changement d'état a été établie en croisant la carte d'occupation du sol de 2015 avec celle de 2020. Elle résume la matrice de transition et illustre les trois situations que peut connaître un paysage : la stabilité, la régression et la progression. Cette carte a révélé que les forêts stables (la stabilité) occupent le maximum de superficie et qu'elles ont été plus concentrées au cœur de la réserve. Elle montre aussi que la perte des forêts (la régression) a été plus observée dans les zones périphériques de la RNMY. Elle informe également que le gain des forêts (la progression) a été plus identifié dans la partie Sud-Ouest de la réserve (Figure 4).

Tableau 3. Matrice de transition des types d'occupation du sol entre 2015 et 2020 (%)

		2015					
Occupation du sol (%)		FDH	Fd	CCACA	CHEV	SN_LOC_JAJ	PE
2020	FDH	93,68	11,36	0,02	0,10	0,00	0,00
	Fd	2,39	20,60	35,18	13,93	0,00	0,00
	CCACA	1,82	57,25	46,35	47,88	51,81	0,03
	CHEV	1,55	10,00	7,91	37,55	4,25	0,00
	SN_LOC_JAJ	0,53	0,79	9,49	0,54	43,94	1,79
	PE	0,03	0,00	1,06	0,00	0,00	98,17
	Total général	100	100	100	100	100	100

FDH = forêts denses humides ; **Fd** = forêts dégradées ; **CCACA** = Champs de cacao ; **CHEV** = Champs hévéa ; **SN_LO_JAJ** = sols nus_ localités_ jeunes jachères ; **PE** = plans d'eau.

Tableau 4. Taux d'évolution moyen annuel des classes d'occupation du sol

Classes d'occupation du sol	Taux (%) d'évolution moyen annuel
FDH	-1,25
Fd	18,80
CCACA	-1,20
CHEV	11,45
SN_LO_JAJ	114,55
PE	21,62

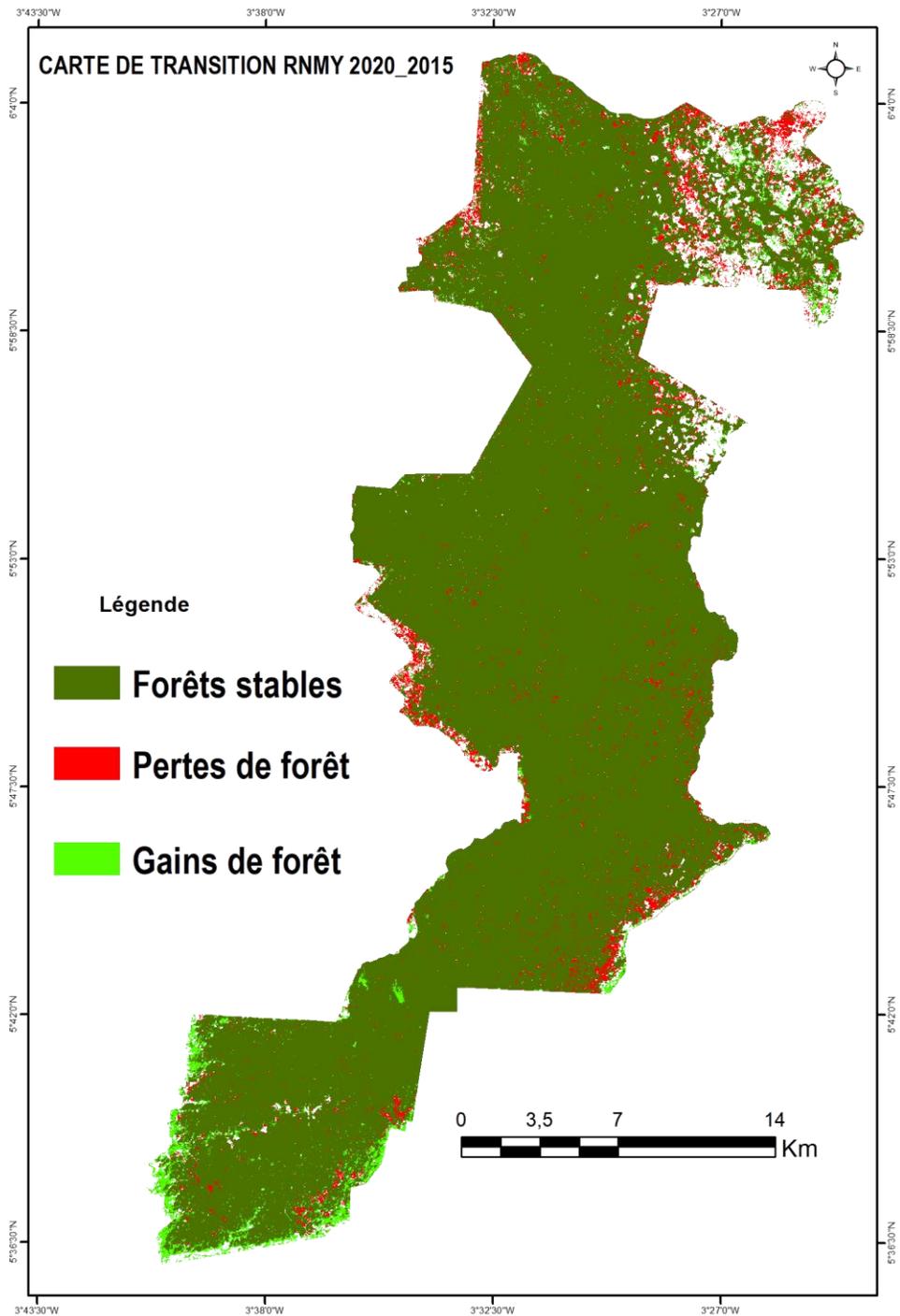


Figure 3. Carte de transition de la forêt dense humide dans la Réserve Naturelle Mabi-Yaya (2015-2020)

Discussion

La précision globale obtenue dans le traitement à travers la classification maximum de vraisemblance est de 94,74 % pour l'image Sentinel-2A de 2020 et de 91,45 % pour l'image Sentinel-2A de 2015. Le coefficient Kappa obtenu est de 89 % en 2015 et 93 % en 2020. Selon Girard et Girard (1999), une classification est jugée acceptable lorsque la valeur du coefficient Kappa est supérieure à 75 %. Il en résulte donc que les traitements de cette analyse sont statistiquement acceptables. Ouattara *et al.* (2021) ont rapporté une précision globale respective de 97 % et 87 % dans leurs études basées sur les changements d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. Nos résultats diffèrent de ceux obtenus par Ouattara *et al.* (2021). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que l'étude actuelle a concerné qu'une partie de leurs superficies totales. De plus, l'approche méthodologique pour l'extraction des unités d'occupation du sol pourrait être aussi déterminante dans la divergence des précisions globales obtenues.

La grande confusion observée avec le traitement des types d'occupation du sol de ces deux images se trouve entre les champs de cacao et les sols nus, localités et jeunes jachères. Cela peut s'expliquer par le fait que les nouveaux champs de cacao peuvent avoir les mêmes signatures spectrales que les jeunes jachères.

Concernant les types d'occupation du sol dans la RNMY, six (6) variables principales ont été obtenues contrairement à Ouattara *et al.* (2021) qui ont eu 16 occupations et usages des terres. Malgré que les deux études soient menées dans la même localité (sud-est de la Côte d'Ivoire), l'étendue de la présente zone d'étude est nettement inférieure. Cette zone est incluse dans le périmètre de sondage de Ouattara *et al.* (2021), ce qui pourrait justifier la divergence par rapport aux types d'occupation du sol. Il faut également signaler que dans cette étude, les sols nus, les localités et les jeunes jachères ont été associés comme un seul type d'occupation à cause de leur faible densité, alors qu'ils ont été considérés individuellement par Ouattara *et al.* (2021) comme des types d'occupation et d'usage de terre à part entière.

L'observation des deux (2) cartes renseigne que les formes de pression anthropique sont plus concentrées au niveau des différentes voies d'accès dans la réserve. Cela peut s'expliquer par le fait que les cultivateurs préfèrent travailler dans des endroits qui sont faciles d'accès et au niveau desquels, ils peuvent aisément acheminer leurs récoltes vers les grandes voies commerciales. Malgré la présence et le fait que le fleuve Comoé puisse être un obstacle naturel dans la partie Est de la nouvelle réserve, la plus grande dégradation forestière a été observé de ce côté. On peut élucider cela à travers le fait que les agents forestiers, n'étant pas nombreux dans cette

zone de conservation, n'arrivent pas à bien contrôler cette partie de la réserve qui leur est difficile d'accès. Tandis que les planteurs de l'autre rive traversent le fleuve à l'aide des pirogues pour implanter leurs champs dans la RNMY.

L'analyse globale de la dynamique des transitions effectuées a montré que les formations végétales naturelles diminuent pour faire place aux cultures pérennes. Ces mutations sont dues à la propagation des cultures pérennes qui sont les principales sources de revenus pour les populations riveraines. Il y a également la saturation de l'espace rural, qui pousse les individus à avoir recours à de nouvelles terres propices à l'agriculture. C'est à travers cela que les formations végétales naturelles sont converties en formations végétales artificielles. Ces résultats corroborent avec ceux de Bigot *et al.* (2005), qui ont montré que les modifications des paysages forestiers se font dans une logique de dégradation. Les conversions de la végétation naturelle en zones agricoles et non végétalisées, observées dans la zone de la RNMY sont courantes dans toute l'Afrique de l'Ouest (Ouédraogo *et al.*, 2010 ; Houessou *et al.*, 2013).

Il est important de signaler également qu'il y a eu des mutations selon la matrice de transition au niveau de chaque unité d'occupation du sol mais certaines classes sont restées plus ou moins stables comme les plans d'eau. Les mutations les plus importantes sont observées dans les forêts dégradées, les sols nus_ localités_ jeunes jachères et dans les champs d'hévéa qui deviennent tous en grande partie des champs de cacao. Les forêts dégradées qui se transforment en champs de cacao témoignent la présence d'activités humaines dans la réserve. Les sols nus, les localités et les jeunes jachères ayant la même signature spectrale que les nouveaux défrichements, cela justifie le fait qu'ils sont devenus en grande partie des champs de cacao pendant 5 ans. Les champs d'hévéa qui ont subi une mutation pour devenir des champs de cacao s'explique par la rentabilité économique lieu à la culture du cacao.

La matrice de transition montre qu'une partie des cultures pérennes s'est transformée en forêts dégradées. Cela peut s'expliquer par le fait qu'avant et après la création de la nouvelle réserve, les autorités compétentes ont fait déguerpir certains campements qui se trouvaient dans la zone de conservation. Ceci a poussé certains cultivateurs à abandonner leurs champs. Au fil du temps, la nature commence à se reconstituer d'elle-même.

Le taux d'évolution moyen annuel des classes d'occupation du sol révèle que les sols nus-localités-jeunes jachères et les plans d'eau ont été les plus impactés en termes de gain de superficie proportionnel. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'ils ont une superficie assez réduite par rapport aux autres types d'occupation du sol. Selon Abotchi (2002), la prolifération des sols nus-localités-jeunes jachères est un phénomène particulièrement

remarquable en Afrique. En effet, les fortes densités démographiques et la crise d'espace agricole conduisent les populations à la recherche de nouvelles terres. L'augmentation de superficie des plans d'eau serait globalement liée aux phénomènes récurrents des inondations à travers la variabilité pluviométrique interannuelle, qui peut entraîner une augmentation des superficies d'eau temporaire et des zones inondables, en raison d'une année caractérisée par une bonne pluviométrie (Adjonou *et al.*, 2019).

Bien que les changements d'utilisation et d'occupation des sols induits dans la zone de la RNMY génèrent des bénéfices sociaux et économiques à plusieurs niveaux, surtout pour le bien-être de la population, il faut noter que leur développement est responsable de la dégradation écologique à différentes échelles spatiales.

Cependant, il faut observer que malgré les changements intervenus et les conversions observées au cours de la période de cette étude (2015 à 2020), la zone d'étude est restée en grande partie recouverte de végétation naturelle et dispose encore d'un bon potentiel pour la conservation de la biodiversité. La zone de la réserve regorge d'importantes ressources végétales associées à une diversité d'écosystèmes aux fonctions multiples.

Conclusion

La présente étude portant sur l'apport des données d'observation de la terre dans l'évaluation du potentiel forestier de la réserve naturelle Mabi-Yaya, a permis de discriminer principalement six (6) classes d'occupation du sol, à l'aide d'images Sentinel-2A de 2015 et 2020. Ces images ont permis de cartographier la RNMY avec une précision globale de 91,45 % pour l'image de 2015 et 94,74 % pour l'image de 2020. Les six (6) classes d'occupation du sol qui ont été obtenues sont : les forêts denses humides, les forêts dégradées, les Champs de cacao, les Champs d'hévéa, les plans d'eau et les sols nus - localités - jeunes jachères.

En outre, la dynamique de la réserve naturelle Mabi-Yaya entre 2015 et 2020 révèle une perte assez importante des ressources floristiques naturelles au profit des cultures pérennes. Les Forêts denses humides ont subi une perte approximative de 1 % de leurs superficies totales chaque année de 2015 à 2020. L'agriculture constitue la principale forme de pression anthropique. Les traces d'activités agricoles ont été identifiées un peu partout dans la réserve et elles ont été observées d'une façon concentrée sur les zones périphériques d'accès. Ces différents résultats confirment les hypothèses qui ont été formulées au début de cette étude.

La présente recherche, au-delà de son aspect pratique, est un moyen d'investigation dans la gestion des aires protégées, notamment les parcs et réserves en Côte d'Ivoire.

En somme, la réserve naturelle Mabi-Yaya est un espace très riche du point de vue ressources floristiques naturelles, mais qui reste soumise à une forte pression anthropique causée principalement par les cultures pérennes telles que la cacao-culture et l'hévéaculture.

Les résultats des types d'occupation du sol pendant ces différentes dates interpellent à renforcer les mesures de la conservation pour pérenniser les ressources floristiques naturelles de la RNMY.

Remerciements

Au terme de cette recherche, nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux et celles qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation. À cet effet, nous adressons nos remerciements au personnel du Centre d'Excellence Africain sur le Changement Climatique, la Biodiversité et l'Agriculture Durable (CEA-CCBAD), avec l'appui de ses partenaires financiers.

Nous remercions Dr **DIBI N'Da Hyppolite** (Maître de Conférences) au Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) et Dr **TUO Seydou** (Maître Assistant) à l'Unité Pédagogique et de Recherche de Physiologie et Pathologie Végétales de l'UFR Biosciences, tous de l'Université Félix Houphouët-Boigny, qui ont accepté la direction scientifique de ce mémoire, malgré leurs multiples occupations. Leurs conseils, directives, soutiens et rigueur au travail ont été des sources de réconfort et de motivation incommensurables, qui nous ont permis d'atteindre nos objectifs académiques. Nous ne saurions les remercier assez pour leur suivi.

References:

1. Abotchi T., 2002. Colonisation agricole et dynamique de l'espace rural au Togo: cas de la plaine septentrionale du Mono. *Revue du C.A.M.E.S. Sciences Sociales et Humaines*. Série B, 4 : 97-108.
2. Adjonou K., Bindaoudou I.A. K., Idohou R., Salako V., Glele-Kakai R. & Kokou K., 2019. Suivi satellitaire de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans la réserve de biosphère transfrontière du Mono entre le Togo et le Bénin de 1986 à 2015. In : *Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Conférence OSFACO*, Cotonou, Bénin. 1-24.
3. Bamba I., Mama A., Neuba D.F.R., Koffi K.J., Traoré D., Visser M., Sinsin B., Lejoly J. & Bogaert J., 2008. Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D.Congo). *Sciences et Nature*, 5 (1) : 49-60.
4. Bigot S., Brou T.Y., Oszwald J. & Diedhiou A., 2005. Facteurs de la

- variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 16 (1) : 5-13.
5. BNETD, 2016. Réalisation d'une étude sur l'identification, l'analyse et la cartographie des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en Côte d'Ivoire. Rapport technique. Abidjan, Côte d'Ivoire, BNETD, 104 p.
 6. Dibi N.H., N'Guessan E.K., Wajda M.E. & Affian K., 2008. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 8 (1) : 17-34.
 7. FAO (Food and Agriculture Organization), 2016. Situation des forêts du monde 2016. Forêts et agriculture : défis et possibilités concernant l'utilisation des terres. Rome. Italy, 137 p.
 8. FAO (Food and Agriculture Organization) et PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 2020. La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome, Italy, 223 p. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>.
 9. Girard M.C. & Girard M.C., 1999. Traitement des Données de Télédétection. 1 ère édition, Dunod, Paris, France, 529 p.
 10. Houessou L.G., Teka O., Toko Imorou I., Lykke A.M. & Sinsin B., 2013. Land Use and Land-Cover Change at "W" Biosphere Reserve and its Surroundings Areas in Benin Republic (West Africa). *Environment and Natural Resources Research*, 3 (2); ISSN 1927-0488.
 11. Kemavo A., 2019. Potentialités des données de télédétection optique et radar libres d'accès pour l'évaluation et le suivi des écosystèmes forestiers tropicaux : Études de cas au Togo, en République Démocratique du Congo, en Guyane Française et en République Dominicaine. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Paris, 258 p.
 12. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J. 2013. Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *TROPICULTURA*, 31 (1) : 78-88.
 13. N'Guessan A.E., Akpa Y.L., Yao N'G.O. & Kassé. J.N'D. 2019. Cartographie de la dynamique du couvert végétal de la forêt classée d'agbol Cote d'Ivoire. *Agronomie Africaine* : 88-99.
 14. OIPR (Office Ivoirien des Parcs et Réserves), 2021. Office Ivoirien des Parcs et Réserves, <https://www.oipr.ci>, consulté le 18/04/2022 à 10 h 16 mn.
 15. Ouattara T.A., Kouamé K.F., Zo-Bi I. C., Vaudry R. & Grinand C., 2021. Changements d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : impact des cultures de rente sur la forêt. *Bois et Forêts des Tropiques*, 347: 89-104.

16. Ouédraogo I., Tigabu M., Savadogo P., Compaore H., Oden P.C. & Ouadba J.M., 2010. Land cover change and its relation with population dynamics in burkina faso, West Africa. *Land Degrad. Dev.* 21: 453–462.
17. Oszwald J., Kouakou Atta J.M., Kergomard C. & Robin M., 2007. Représenter l'espace pour structurer le temps : approche des dynamiques de changements forestiers dans le sud-est de la Côte d'Ivoire par télédétection. *Télédétection*, 7 (1-2-3-4) : 271-282.
18. Puyravaud J. P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177: 593-596.
19. Sanon Z., 2019. Dynamique de l'occupation du sol et diversité floristique ligneuse de la végétation de la forêt classée de Koulibi dans le Sud-Ouest du Burkina Faso, Thèse de doctorat, Université Nazi Boni, Burkina Fasso, 159 p.
20. SEP-REDD+, 2017. Niveau d'émissions de référence pour les forêts de la Côte d'Ivoire. Présentation à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. République de Côte d'Ivoire, 43 p.
21. Skupinski G., Binh Tran D. & Weber C., 2009. Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France), Cybergeog : *European Journal of Geography*, 439 : 95 p.
22. Tankoano B., Sanon Z., Hien M., Dibi N.H., Yameogo J.T. & Somda I., 2016. Pression anthropique et dynamique végétale dans la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso : apport de la télédétection. *TROPICULTURA*, (34) 2 : 193-207.