



Contribution de la géomatique à l'analyse de la dynamique de dégradation de la forêt classée de Mafé liée aux pressions anthropiques (Côte d'Ivoire)

Contribution of geomatics to the analysis of the dynamics of degradation of the Mafé classified forest linked to anthropic pressures (Côte d'Ivoire)

Ayé Gnangui Parfait SEKA^{1,*} et **Lazare TIA**^{1,2}

¹ Institut de Géographie Tropicale (IGT), Equipe Interdisciplinaire de Recherche GéoRESBIO, UFR SHS, UFHB 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01

*Auteur-correspondant :

Ayé Gnangui Parfait SEKA, E-mail: sekaparfait@yahoo.fr

Institut de Géographie Tropicale (IGT), Equipe Interdisciplinaire de Recherche GéoRESBIO, UFR SHS, UFHB 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Résumé

La compréhension du fonctionnement des domaines permanents de l'Etat et l'optimisation de leur rôle exigent la prise en compte de leur insertion dans des paysages anthropisés. Cependant, malgré les politiques élaborées et les nombreuses réformes entreprises en Côte d'Ivoire pour l'aménagement durable des forêts, celles-ci ont continué de se dégrader. Même le Domaine Forestier Permanent censé relever du domaine privé et public de l'Etat se trouve fortement agressé, avec le risque de voir disparaître les derniers lambeaux de forêts bien conservées. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude dont l'objectif est d'analyser la dynamique de dégradation de la forêt classée de Mafé liée aux pressions anthropiques à l'aide de la géomatique. Pour atteindre cet objectif, l'étude s'est basée sur des recherches documentaires, des enquêtes de terrain, l'utilisation d'images satellites et les Systèmes d'Information Géographique. Les résultats de l'étude ont permis de comprendre que les espaces forestiers de la forêt classée de Mafé ont connu une régression au profit des plantations de cacao, de l'hévéa, du palmier à huile, de la jachère, des sols nus et de la forêt dégradée. Ainsi, d'une superficie de 15468 ha en 1987, la superficie des espaces forestiers est passée à 14521 ha en 2002 pour atteindre 2020 ha en 2020 soit une perte de 13448 ha sur une période de 33 ans.

Mots clés: Dégradation, forêt classée de Mafé, géomatique, pression anthropique, Côte d'Ivoire

Abstract

Understanding the functioning of the permanent domains of the State and optimizing their role require taking into account their insertion in anthropized landscapes. However, despite the policies developed and the numerous reforms undertaken in Côte d'Ivoire for the sustainable management of forests, these have continued to deteriorate. Even the Permanent Forest Estate, which is supposed to come under the private and public domain of the State, is under severe attack, with the risk of seeing the last shreds of well-preserved forests disappear. It is in this

context that this study fits, the objective of which is to analyze the dynamics of degradation of the classified forest of Mafé linked to anthropogenic pressures using geomatics. To achieve this objective, the study was based on documentary research, field surveys, the use of satellite images and Geographic Information Systems. The results of the study made it possible to understand that the forest areas of the classified forest of Mafé have experienced a regression in favor of cocoa plantations, rubber, oil palm, fallow land, bare soil and degraded forest. Thus, from an area of 15,468 ha in 1987, the area of forest areas increased to 14,521 ha in 2002 to reach 2,020 ha in 2020, i.e. a loss of 13,448 ha over a period of 33 years.

Keywords: Dégradation, forêt classée de Mafé, géomatique, pression anthropogène, Côte d'Ivoire

1. INTRODUCTION

Les pressions anthropiques exercées sur les espaces forestiers ont des répercussions à l'échelle de la planète. Les écosystèmes et les habitats sont ainsi détériorés par la pollution, l'introduction d'espèces étrangères et la fragmentation résultant de différents aspects de l'activité humaine (Réseau Environnement, 2012 : 12).

En Côte d'Ivoire, les forêts denses humides ont joué un rôle primordial dans l'économie du pays. Elles sont exploitées pour les bois d'œuvres et surtout défrichées pour les cultures industrielles d'exportation. Entre autres, le cacao, le café, l'hévéa, l'ananas et la banane sont cultivés sur de grandes superficies. Les performances réalisées dans le domaine agricole sont faites au détriment des forêts. Cette perte de la couverture forestière est due à l'agriculture extensive, itinérante et à l'exploitation forestière illégale (Koné *et al.*, 2014 : 2).

Comme corollaire à cette situation, on assiste à une régression des espaces forestiers ivoiriens. Désormais, en l'absence des surfaces forestières cultivables, les populations agricoles se dirigent vers les domaines permanents de l'Etat représentés par les forêts classées et les parcs nationaux qui constituent les derniers vestiges de la forêt dense ivoirienne. Toutefois, certains de ces domaines permanents de l'Etat portent déjà les stigmates d'une agression de la part de ces

populations agricoles. Ainsi, la quasi-totalité des forêts classées est en voie de destruction en raison des occupations illégales et des défrichements sauvages.

Dès lors, l'aménagement durable des forêts constitue la voie primordiale pour assurer leur productivité soutenue ainsi que la conservation de la diversité qu'elles contiennent. A cet effet, en Côte d'Ivoire, des orientations majeures ont été périodiquement définies pour guider les gestionnaires forestiers dans la mise en œuvre de l'aménagement.

Malheureusement, de nombreuses faiblesses ont été enregistrées dans la conduite de ces dispositions, tant au niveau de l'application de la législation que de l'exécution technique des orientations. Parallèlement, le développement agricole, particulièrement des cultures industrielles, les infiltrations paysannes dans les forêts du Domaine Forestier Permanent et l'exploitation incontrôlée ont eu un impact considérable sur la réduction des surfaces forestières et la qualité des peuplements (Kadio, 2009 : 8).

Malgré toutes les dispositions prises par les pouvoirs publics, force est de constater que la création des domaines permanents de l'Etat qui avait pour ambition de contrer l'avancée du front agricole et des autres formes de pressions sur les écosystèmes naturels, sont aujourd'hui soumis à des pressions contribuant à leur dégradation (Zakari *et al.*, 2018 : 451). Dans ce contexte, la

forêt classée de Mafé, cadre de la présente étude, n'échappe pas à cette situation. De ces constats, se dégage la question fondamentale suivante : quelle est la dynamique de dégradation de la forêt classée de Mafé liée aux pressions anthropiques ?

La réponse à cette interrogation suscite l'intérêt de l'étude dont l'objectif est d'analyser la dynamique de dégradation de la forêt classée de Mafé liée aux pressions anthropiques en 1987, en 2002 et en 2020. L'approche méthodologique adoptée est basée sur des recherches documentaires, des enquêtes de terrain, des interviews, l'utilisation d'images satellites Landsat TM, ETM et OLI ainsi que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) connus comme des outils de diagnostic et modélisation de l'espace.

2. CADRE THEORIQUE

2.1. Définitions des concepts

2.1.1. Géomatique

Selon Lépine (1996 : 88), la géomatique est définie comme une discipline qui a pour objet la gestion de données à référence spatiale, c'est à dire la gestion de données auxquelles on peut attribuer une valeur de localisation géographique.

2.1.2. Dégradation des forêts

La dégradation des forêts est un phénomène qui détruit les habitats des plantes et des animaux, conduit à une érosion des sols et à l'envasement des rivières, des ruisseaux et détruit souvent les moyens de subsistance des personnes pauvres dépendantes des forêts. Les forêts dégradées sont généralement un mélange complexe de différents types d'occupation du sol, à savoir la végétation, les arbres morts, les sols, l'ombre, les cultures (UICN, 2014 : 13).

2.1.3. Forêt classée

La forêt classée est définie comme l'espace forestier défini et délimité comme tel, conformément à un texte législatif ou réglementaire, de façon à lui donner la protection légale nécessaire (Ministère des eaux et forêts, 2014 : 3).

2.2. Hypothèse

L'insécurité alimentaire, la croissance démographique avec une urbanisation sans cesse croissante ainsi que l'action conjuguée des différentes pratiques agricoles constituent autant de pressions anthropiques exercées sur la forêt classée de Mafé. Ces différentes pressions anthropiques se matérialisent par des changements d'occupation du sol dans l'espace forestier de Mafé. Ce qui induit sa dégradation qui se traduit par des pertes ou des gains en unité d'occupation du sol dans le temps et dans l'espace.

3. MATERIEL ET METHODE

3.1. Présentation de l'espace d'étude

L'espace soumis à la présente étude se compose de la forêt classée de Mafé et ses principaux villages riverains que sont M'Brou, Yaobou, Ottopé 1, Ottopé 2 et d'Attéhou. Située au Sud de la Côte d'Ivoire précisément dans le département d'Agboville (Figure 1), elle s'étend sur une superficie de 10140 ha (SODEFOR, 2019 :3).

Son classement s'est fait par arrêté général n° 2788 SE du 11 Septembre 1945, réservant au service forestier une forêt dans le cercle de l'Agnéby de l'époque, après analyse d'un avant-projet de classement. Son nom découle de la rivière Mafé qui la traverse dans sa partie nord.

Elle bénéficie d'un climat qui se caractérise par l'existence de deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur

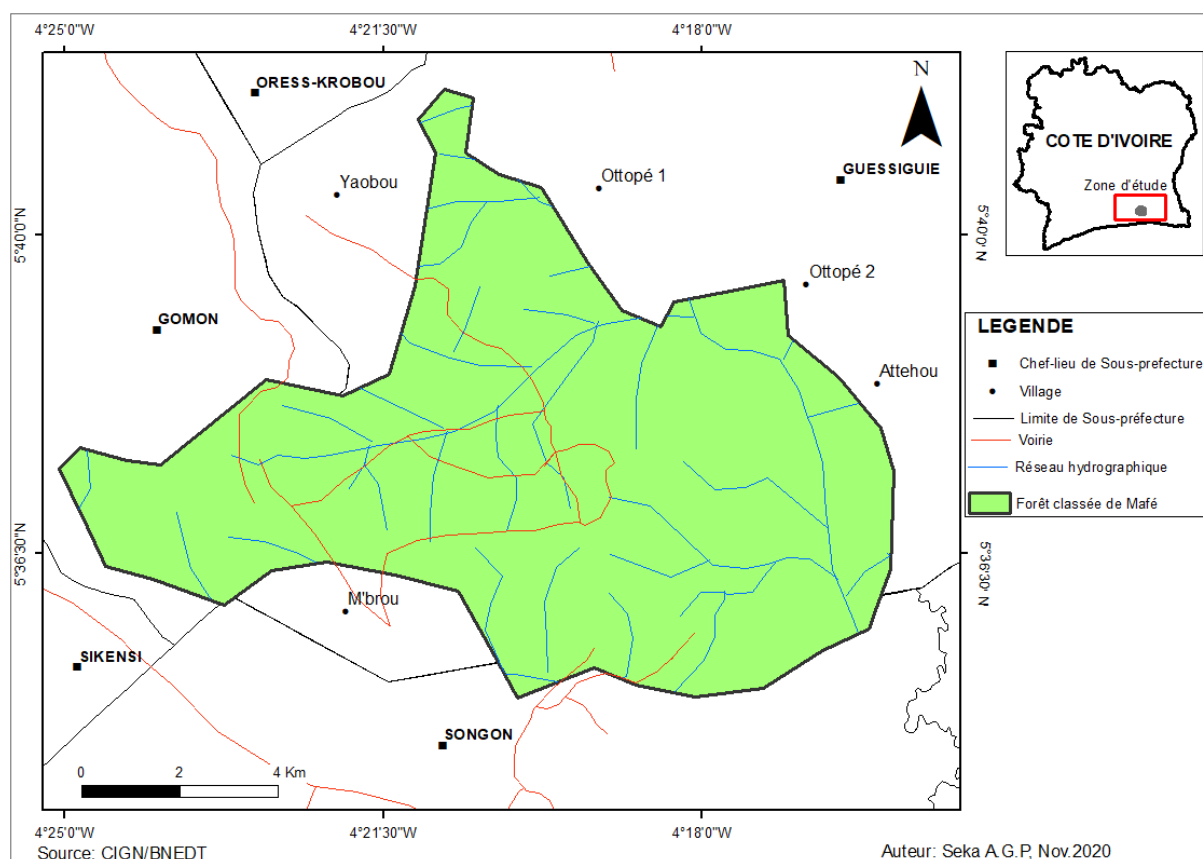


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

octobre. La grande saison sèche dure 3 à 5 mois, dont décembre, janvier et février (Eldin, 1971 : 77). Le relief est plat et bas dans l'ensemble. Il est fait d'une succession de bosses exondées et de bas-fonds plus ou moins marécageux (Chaléard, 1986 : 160).

Le massif forestier de Mafé est localisé sur un socle formé de schistes birimiens auxquels sont associées des formations granitiques isolées ou intruses (métagranites, granodiorites). L'altération de ces formations produit d'épaisses couches d'altérites dont l'épaisseur varie entre 4 et 40 m (N'Go *et al.*, 2005 : 130).

Le fleuve Agnéby et ses principaux affluents (M'pébo, Kavi et Séguié), la rivière Mafé... constituent son réseau hydrographique.

3.2. Données de travail

Les données satellitaires utilisées dans la présente étude sont issues du site internet (<http://earthexplorer.gov>) d'USGS. L'objectif

étant d'élaborer une carte d'occupation du sol à plusieurs dates pour l'évaluation de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal de la forêt classée de Mafé, neuf scènes des capteurs (TM, ETM et OLI) du satellite Landsat ont été choisies. Ces scènes codées en (*Path* et *Row*) lignes et colonnes ont été choisies en périodes de faible nébulosité de scènes à cause de la forte présence de nuage dans nos régions. En somme, trois images ont été utilisées pour réaliser l'étude. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristique des images satellites du capteur Landsat 8 OLI utilisé

Image	Bande	Scène (Path/Row)	Date d'acquisition
Landsat TM	1, 2, 3, 4, 5, 6	196 / 56	04/01/1987
Landsat ETM	2, 3, 4, 5, 6, 7	196 / 56	12/05/2002
Landsat OLI 8	2, 3, 4, 5, 6, 7	196 / 56	11/01/2020

Les données de cartographie utilisées sont entre autres, une couche numérique géoréférencée de la forêt classée de Mafé, réalisée et mise à jour par le BNETD (nouveau découpage administratif de Côte d'Ivoire 2013).

Les données de campagne terrain se composent des données relatives aux coordonnées des différentes unités d'occupation du sol sur le repérage d'éléments indispensables à l'étude qui ont été collectées à l'aide de l'utilisation d'un récepteur GPS.

3.3. Matériels

Les matériels se composent de logiciels et d'outils utilisés pour la réalisation de l'étude. Les logiciels suivants ont été utilisés :

- Le logiciel de traitements numériques d'images, ENVI (The Environment For Visualizing Images), version 5.3. Ce logiciel a été utilisé pour la correction atmosphérique, la mosaïque des différentes scènes ainsi que les rehaussements, les combinaisons de bandes, l'interprétation et le relevé de linéaments des images ;
- Le logiciel SIG ArcGIS 10.5 a été indispensable pour une meilleure présentation et gestion des résultats cartographiques.

Les outils de travail utilisés pour la collecte des données se composent d'un GPS, qui a permis de prendre les points de contrôle pour les différents types d'occupation (espace naturel et artificiel), d'un appareil photo numérique pour des prises de vues et d'une fiche technique d'enquête.

3.4. Méthode de traitement des données

La méthodologie adoptée pour la carte d'occupation du sol a débuté par les prétraitements des images. Les images Landsat TM, ETM et OLI8 sont d'office corrigées géométriquement. Donc sont superposables l'une à l'autre et également avec les couches vectrices. Par conséquent, nous avons procédé directement à la correction radiométrique.

La méthode de correction atmosphérique utilisée est celle qui fait intervenir les paramètres du capteur, lors de la prise de vue appelée la méthode *Flaash*, Ainsi, l'outil *FLAASH Atmospheric correction* dans ENVI 5.3 permet d'afficher l'onglet d'intégration des paramètres. L'extraction de la zone d'étude sur les neuf images est faite avec la même procédure. L'outil *region of interest* dans ENVI 5.3 a permis d'extraire la zone d'étude en forme rectangulaire. Ensuite est extraite la zone d'étude qui est la région à partir du contour « shape » sur chaque scène. Chaque bande spectrale des images LANDSAT apparaît en tons de gris ; elle correspond à une portion du spectre électromagnétique. La production d'image de composition colorée (image de couleur naturelle) a été faite tout en superposant trois bandes spectrales avec des filtres de couleurs rouge, verte et bleue. L'ACP contrastée des images de la forêt classée a permis de distinguer les sites d'entraînements de parcelle représentant tous les types d'occupation de la réserve.

Une mission a été réalisée en plusieurs jours sur le terrain à partir d'une prise de points de contrôle avec le GPS portatif. La correspondance des classes d'occupation du sol de la forêt classée a ensuite été reprise sur les scènes de 1987, 2002 et celle de 2020. La mission de terrain a permis de définir les classes de : forêt dense, forêt dégradée, jachère, hévéa, palmier à huile, cacao et sol nu (bâti et surface dénudé). Plus de «300 points » ont été collectés pour la validation de données des sites d'entraînement. La connaissance de la zone nous a permis d'opter pour une classification supervisée en utilisant l'algorithme *Maximun de vraisemblance* de l'image Landsat OLI8, ETM et TM. Ensuite, une évaluation par la matrice de confusion de la qualité statistique des noyaux (RIO) a été faite afin de quantifier le nombre de pixels d'une classe de référence que l'on retrouve dans la même classe d'affectation. Enfin, la validation, conditionnée par la précision globale, le

coefficient de Kappa, par la suite nous a permis d'obtenir une précision générale.

La numérisation a été la dernière étape du traitement des images satellites. Il s'est agi de convertir la classification en mode vecteur (polygones) afin de pourvoir la gestion dans un logiciel de SIG, tel qu'ARCGIS. Le rendu cartographique a consisté à réaliser la carte d'occupation du sol en ajoutant les éléments sémiologiques d'une carte pour l'embellir : le Nord géographique, la légende, l'échelle, et les coordonnées géographiques.

4. RESULTATS

4.1. Evaluation de la précision globale et de l'indice Kappa

Les classifications effectuées ont fait l'objet d'une évaluation par les matrices de confusion à travers le calcul de la précision globale et de l'indice Kappa (Tableau 2).

Tableau 2 : Récapitulatif des précisions globales et des indices Kappa

	1987	2002	2020
Précision Globale (%)	77,2152	83,4856	88,0255
Coefficient Kappa	0,5020	0,6903	0,7880

Les résultats issus du traitement permettent d'avoir une approche statistique de l'occupation du sol et de mettre en évidence la dynamique des types d'affectation au sol aux différentes dates (Tableau 3).

Tableau 3 : Occupation du sol dans la FC Mafé

Classe d'occupation du sol	Superficie 1987 (ha)	Superficie 2002 (ha)	Superficie 2020 (ha)
Forêt dense	15 468	14 521	2 020
FD	1 822	2 922	2 213
Jachère	1 836	1 463	2 536
Hévéa	375	661	1 575
PH	825	1 068	825
Cacao	659	413	655
Sol nu	1 741	1 678	12 902

Abréviations du tableau 3 : FC = forêt classée, FD = forêt dégradée, PH = palmier à huile

4.2. Etats successifs de l'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé

4.2.1. Occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 1987

En 1987, l'important manteau forestier à l'intérieur de la forêt classée de Mafé est encore remarquable à travers l'existence de la forêt dense (Figure 2). En effet, à cette époque, 15 468 ha (forêt dense) de sa superficie échappaient encore aux pressions anthropiques.

Quant aux espaces anthropisés, ceux-ci occupent une faible cadence en termes de représentation dans ladite forêt. Ainsi, la forêt dégradée occupe 1 822 ha ; la jachère (1 836 ha) ; l'hévéa (375 ha) ; le palmier à huile (825 ha) ; le cacao (659 ha) et les sols nus (1741 ha). Dans l'ensemble, tout cela ne représentait pas une menace significative d'autant plus que la forêt classée était sous un contrôle strict de l'administration forestière.

4.2.2. Occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 2002

Quinze ans plus tard, précisément en 2002, l'espace de la forêt classée de Mafé connaît une dégradation presque généralisée de la couverture végétale forestière (Figure 3). Les fronts d'attaque ouest, sud et centre ont pris des proportions importantes progressant au cœur de la forêt classée à cause de l'implication des villages périphériques qui exercent désormais des activités dans ladite forêt.

En effet, les surfaces de forêt dense sont passées de 15 468 ha en 1987 à 14 521 ha en 2002 soit une perte de 947 ha. Les rares reliques de forêt sont visibles dans la partie Est et Nord de la forêt classée. Les superficies de la forêt dégradée sont passées de 1 822 ha en 1987 à 2 922 ha en 2002 soit une augmentation de 1100 ha. Toutes les

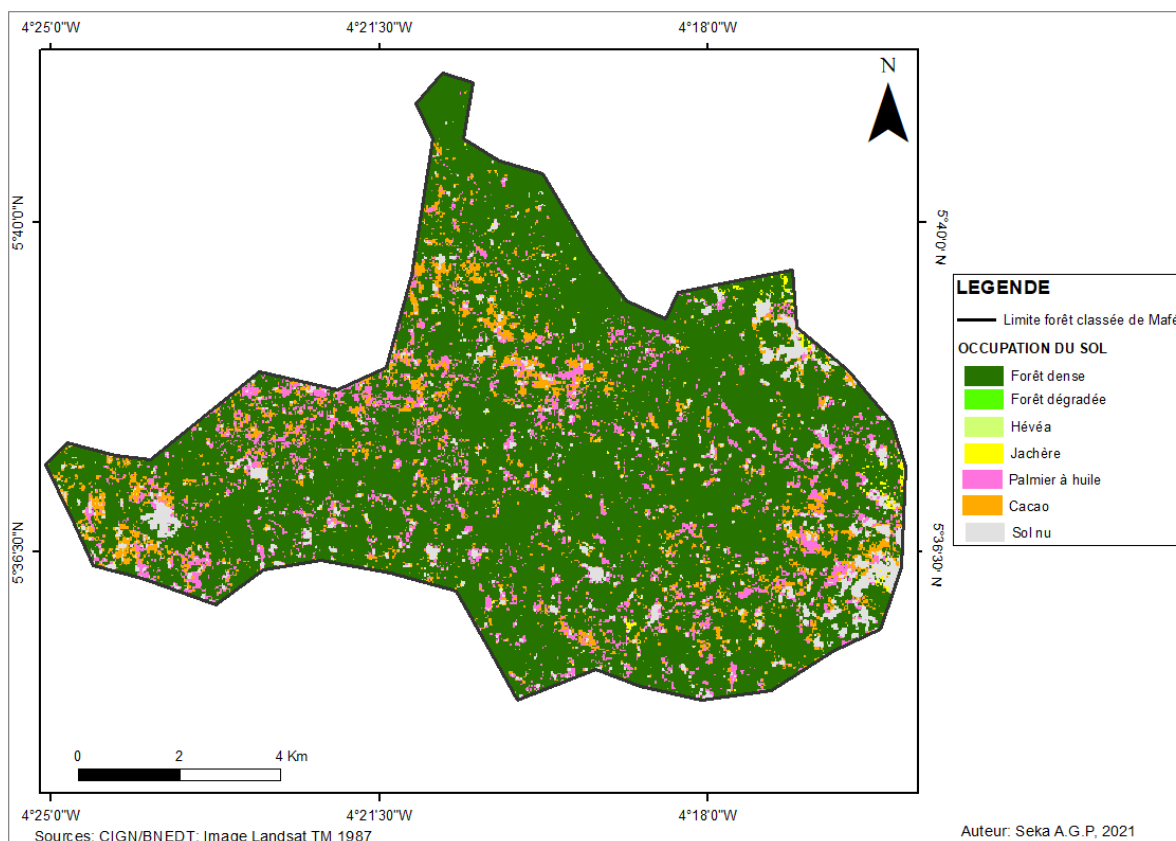


Figure 2: Etat de l'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 1987

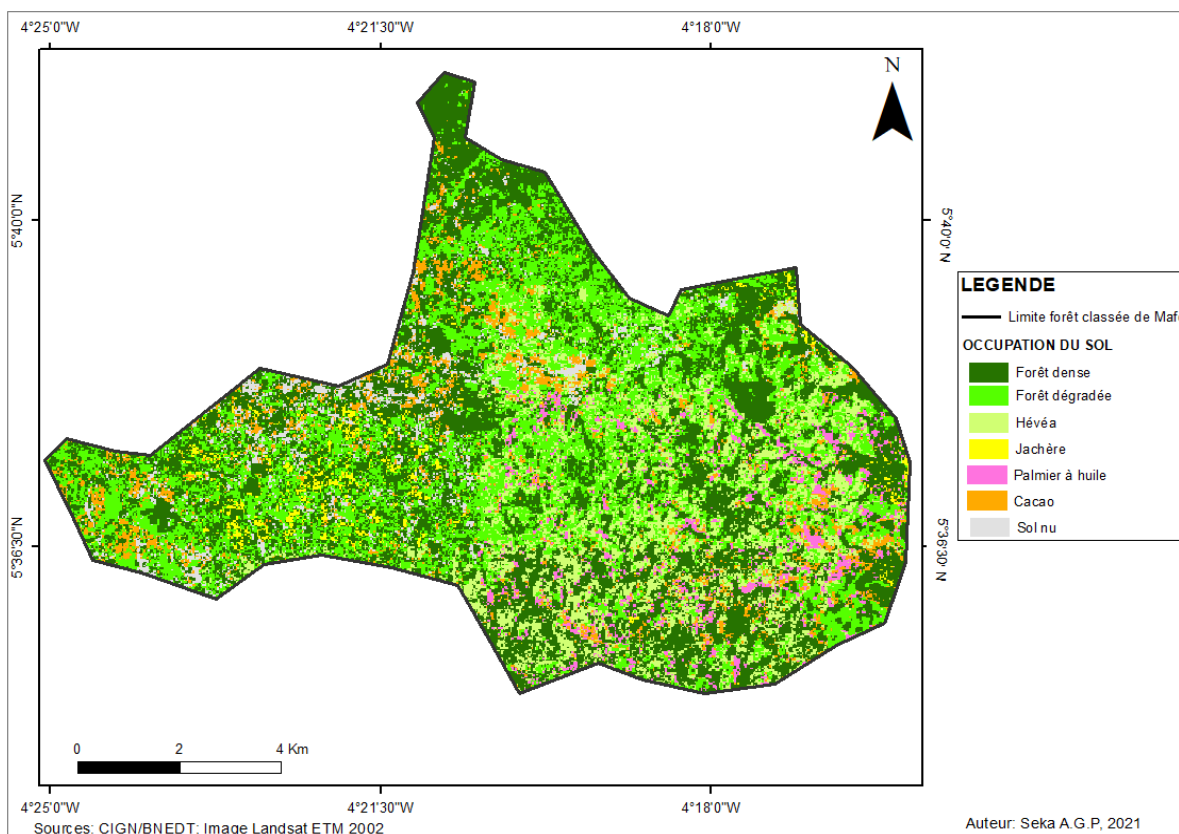


Figure 3: Etat de l'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 2002

surfaces humanisées sont passées à 1463 ha pour la jachère ; 661 ha pour l'hévéa ; 1068 ha pour le palmier à huile ; 413 ha pour le cacao et 1 678 ha pour les sols nus.

4.2.3. Occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 2020

En 2020, l'espace de la forêt classée de Mafé connaît une dégradation considérable de la couverture végétale forestière du fait des d'activités anthropiques (Figure 4). En effet, on enregistre une perte de 12501 ha de la superficie totale de la forêt dense en espace de 18 ans où celle-ci était de 14 521 ha en 2002 pour atteindre 2 020 ha en 2020. Les surfaces de l'hévéa sont passées de 661 ha en 2002 à 1 575 ha en 2020 soit une consommation de 914 ha de la couverture forestière. Aussi, les surfaces du cacao sont passées de 413 ha en 2002 à 655 ha en 2020 soit une consommation de 242 ha de la couverture forestière. Les surfaces des sols nus sont passées de 1 678 ha en 2002 à 12 902 ha en 2020 soit une consommation de 11224 ha de la couverture forestière.

Cette situation s'explique par l'installation des populations en provenance des zones touchées par la crise militaro-politique de 2002 au sein de la forêt classée où celles-ci y ont développé des activités agricoles. Elle est aussi imputable à l'implantation de nombreux foyers de peuplement (campement et gros village) dans la forêt classée de Mafé où les populations qui y résident travaillent dans de nombreuses plantations d'hévéa, de palmier à huile et de cacao. Quant à la superficie du palmier à huile, celle-ci a connu une légère régression. En effet, la surface du palmier à huile est passée de 1 068 ha en 2002 à 825 ha en 2020. La superficie de la jachère a connu une augmentation passant de 1 463 ha en 2002 à 2 536 ha en 2020. La superficie de la forêt dégradée quant à elle est passée de 2 922 ha en 2002 à 2 213 ha en 2020. Les fronts d'attaque concernent toutes les parties de la forêt classée avec des proportions importantes du fait de l'augmentation de la population et des différents mouvements migratoires dans la zone d'étude.

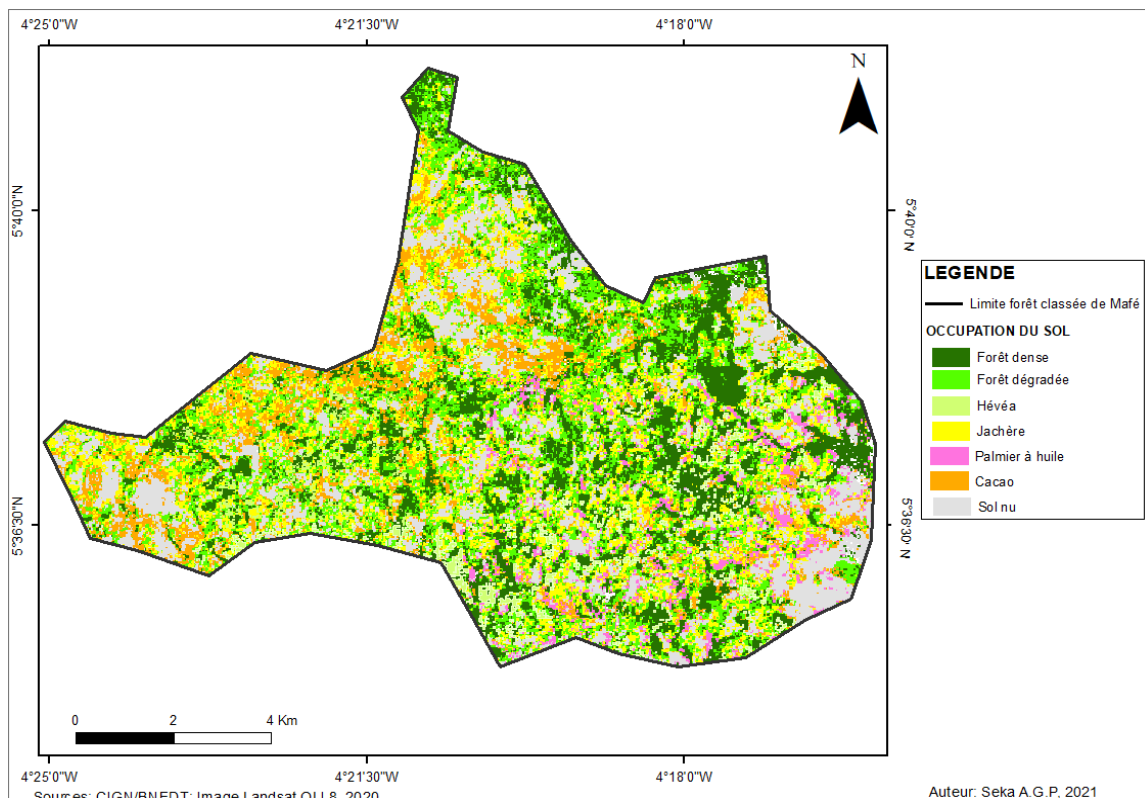


Figure 4: Etat de l'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 2020

4.2.4. Dynamique spatiale de la forêt classée de Mafé de 1987 à 2020

Au bout de trente-trois ans, la forêt classée de Mafé connaît une évolution très marquée en matière d'utilisation des terres à travers la multiplication des espaces anthropisés en permanence, qu'il s'agisse de surfaces agricoles, des habitats ou des jachères.

De 1987 à 2020, les espaces forestiers de la forêt classée de Mafé ont connu une régression au profit des plantations de cacao, de l'hévéa, du palmier à huile, de la jachère, des sols nus et de la forêt dégradée. Ainsi, d'une superficie de 15 468 ha en 1987, la superficie des espaces forestiers est passée à 14 521 ha en 2002 pour atteindre 2 020 ha en 2020 soit une perte de 13448 ha. La superficie de la forêt dégradée est passée de 1 822 ha en 1987 à 2 922 ha en 2002 pour atteindre 2 213 ha en 2020. La superficie de la jachère est passée de 1 836 ha en 1987 à 1 463 ha en 2002 pour atteindre 2 536 ha en 2020. La superficie de l'hévéa est passée de 375 ha en 1987 à 661 ha en 2002 pour atteindre 1 575 ha en 2020. La superficie du palmier à huile est passée de 825 ha en 1987 à 1 068 ha en 2002 pour atteindre 825 ha en 2020. La superficie du cacao est passée de 659 ha en 1987 à 413 ha en 2002 pour atteindre 655 ha en 2020. La superficie des sols nus est passée de 1741 ha en 1987 à 1678 ha en 2002 pour atteindre 12 902 ha en 2020.

4.3. Analyse de la dynamique et prévision du mode d'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé

4.3.1. Validation de la chaîne de Markov spatialisée par comparaison des surfaces de référence et modélisées occupées par chaque classe d'occupation du sol

Les résultats du test de validation du modèle qui a consisté en la comparaison des aires observées et simulées de 2020 n'ayant pas servi à calibrer le modèle, ont montré qu'il n'y a pas de

différence significative entre les données réelles et les données simulées (Tableau 4).

Tableau 4: Superficies des classes d'occupation du sol observées et simulées

Classe	Surface observée en 2020 (ha)	Surface prédite en 2020 (ha)	Erreur de prédiction (%)
Forêt	1029,74	998,50	0,03
Forêt dégradée	1243,84	3222,32	-1,591
Jachère	2073,33	1410,80	0,32
Hévéa	2029,48	1337,73	0,341
Palmier	577,56	1595,98	-1,763
Cacao	1091,71	634,76	0,419
Sol nu	1848,52	694,08	0,625

Les valeurs absolues les plus élevées des erreurs de prédictions concernent la classe « Palmier » et la classe « forêt dégradée » du fait de la très grande variété des activités définissant ces classes. Cela s'explique par la valeur de probabilité de non changement (0.2735 et 0.2631) la plus faible donnée par la matrice de transition. La valeur moyenne absolue de l'erreur de prédiction est de 0,727 et est inférieur à 1%. Ainsi, la différence entre les valeurs observées et simulées n'est pas significative par conséquent le modèle de Markov spatialisé traduit la réalité.

4.3.2. Prévision du mode d'occupation du sol pour l'horizon 2050 à l'aide d'un modèle de Markov spatialisé

La carte d'occupation du sol prédite par le modèle à l'horizon 2050 montre que l'ensemble des classes connaîtront des changements. Ainsi, selon le modèle des chaînes de Markov spatialisées, de 2020 à 2050, la forêt dense diminuera de 2,34 %, soient (231,56 ha), les jachères diminueront de 2,81%, soient (277,75 ha). Les hévéas et les palmiers augmenteront respectivement de 7,20 % et 7,05% soient (698,29 ha) et (712,45 ha). Les sols nus connaîtront la baisse la plus forte. En effet selon le modèle, les sols nus diminueront de 14,71 % soient (1455,65

ha). Les cacaos augmenteront de 2,03% soient (201,26 ha) et la forêt dégradée augmentera de 31,93 % soient (3159,31 ha). L'application combinée de la chaîne de Markov observable et de l'automate cellulaire a permis d'obtenir le mode d'occupation du sol pour 2050. La carte d'occupation du sol prédite par le modèle à l'horizon 2050 (Figure 5) montre qu'à cette date, la grande partie des forêts denses sera constituée d'îlot de forêts résiduelles parsemé sur la zone d'étude. Les forêts dégradées et les jachères couvriront la majorité de la zone d'étude. Le cacao connaîtra une augmentation poussée dans la partie nord de la zone d'étude tandis que les hévéas et les palmiers connaîtront une augmentation dans la partie sud et également dans la partie centrale. Quant aux sols nus, ils se situeront à l'ouest de la zone d'étude et également dans la zone sud-est. Les sols nus ne connaîtront pas d'augmentation.

5. DISCUSSION

5.1. Evaluation de la précision globale, de l'indice Kappa et de la méthode

Les valeurs des précisions globales des traitements estimées à 77,2152 %, 83,4856 % et 88,0255 % respectivement pour les années 1987, 2002 et 2020 restent proches des valeurs obtenues par d'autres auteurs ayant travaillé sur la dégradation des domaines permanents de l'Etat. De celles-ci, se dégage une précision générale de 82,9088 % et une erreur générale de 17,091 %. En effet, Adama *et al.* (2021 : 6-7) ont obtenu des précisions globales variant de 93,89 % à 95,23 % et des valeurs du coefficient Kappa élevés avec 0,92 et 0,93 dans l'étude réalisée sur la dynamique d'occupation du sol et diversité floristique de la forêt classée de la Palé (Côte d'Ivoire).

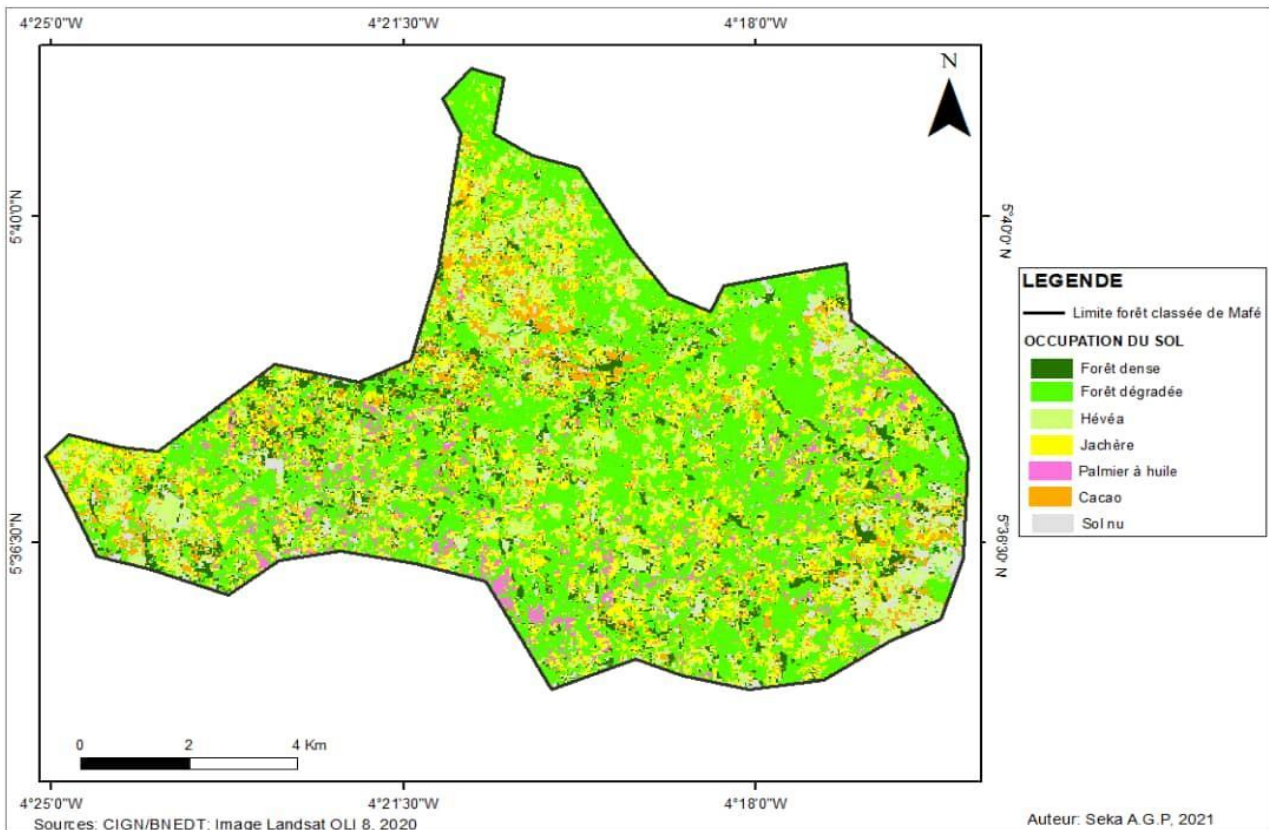


Figure 5: Evolution prospective de l'occupation du sol dans la forêt classée de Mafé en 2050

Aussi, N'Guessan *et al.* (2019 : 92-93), dans l'étude sur la cartographie de la dynamique du couvert végétal de la forêt classée d'Agbo 1 (Côte d'Ivoire), ont obtenu des précisions globales de 90,70 %, 91,78 % et 92,19 % et des coefficients Kappa respectifs de 0,89 ; 0,90 et 0,91. De même, Biaou *et al.* (2019 :8), ont obtenu une précision globale de 87,86 % dans l'étude sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord du Bénin. Ainsi, les valeurs des indices Kappa des classifications des années 1987, 2002 et 2020 sont respectivement de 0,5020; 0,6903 et 0,7880. Ce qui donne une moyenne de 0,6601. Dans la présente étude, la précision globale et le coefficient Kappa pour les trois classifications dépassent la norme de 80 % requise par Chalifoux *et al.* (2006 :12). Ce qui permet de déduire que les résultats des différentes classifications sont exploitables. En outre, l'utilisation des outils de la télédétection s'est avérée indispensable dans cette étude car ils ont permis l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol à travers 07 classes d'occupation du sol (forêt dense ; forêt dégradée, jachère, hévéa, palmier à huile, cacao et sol nu) sur une période de 33 ans.

Par ailleurs, l'utilisation du modèle de Markov spatialisé a permis de faire la prévision du mode d'occupation du sol pour l'horizon 2050 conformément à l'étude réalisée par Ladet *et al.* (2005 : 12), où la construction d'un modèle de simulation de paysage basé sur les processus Markoviens spatialisés à l'aide des modèles d>IDRISI a permis d'obtenir des paysages simulés, qui de l'avis des experts consultés, sont réalistes. Tel est le cas pour Mari *et al.* (2018 : 21) dans l'étude réalisée sur la simulation temporelle et spatiale des changements d'occupation du sol par modélisation stochastique. En effet, ceux-ci ont présenté une méthode générique pour simuler les dynamiques d'occupation du sol qui s'appuie sur des modèles stochastiques. Le même formalisme chaînes et champs de Markov a permis de modéliser l'évolution temporelle et

spatiale. Le territoire est représenté comme un assemblage de "patches" qui sont eux-mêmes représentés par des images "rastérisées". Ils ont simulé l'occupation d'un pixel sur la base des occupations des 2 années précédentes et des pixels voisins. En pareille circonstance, Ravonjimalala (2019 :1) a utilisé un modèle mathématique et informatique de simulation (CA-Markov), capable de prédire les secteurs à risque et les évolutions de la tendance des fragments forestiers dans l'étude réalisée sur la modélisation spatiale des changements d'occupation du sol et de la fragmentation de la forêt dense sèche du sud-ouest de Madagascar : cas de la commune d'Analamisampy.

5.2. Dynamique forestière dans la forêt classée de Mafé

La compréhension des phénomènes de changement d'utilisation des terres est un outil d'aide à la prise de décision politique de la gestion efficace des écosystèmes. A cet effet, les processus de la dynamique d'occupation du sol ont été décrits par plusieurs auteurs.

Il ressort de la présente étude que la forêt classée de Mafé connaît une évolution très marquée en matière d'utilisation des terres. Cela s'observe à travers la multiplication des espaces anthropisés dans l'espace d'étude. L'extension des surfaces anthropisées s'est faite en lieu et place de formations naturelles à savoir la forêt dense. Ces formations ont été défrichées au profit des habitats, des jachères et des cultures d'exportation dont les plus importantes restent le cacao, le palmier à huile et l'hévéa en plein essor dans la zone d'étude.

Ainsi, de l'analyse conjointe des cartes et de l'évolution des superficies des unités d'occupation du sol obtenues à partir des différentes tables attributaires, il ressort les observations suivantes : de 1987 à 2020, les espaces forestiers de la forêt classée de Mafé ont connu une régression au profit des plantations de

cacao, de l'hévéa, du palmier à huile, de la jachère, des sols nus et de la forêt dégradée. Ainsi, d'une superficie de 15 468 ha en 1987, la superficie des espaces forestiers est passée à 14 521 ha en 2002 pour atteindre 2 020 ha en 2020 soit une perte de 13448 ha sur une période de 33 ans.

La superficie de la forêt dégradée est passée de 1 822 ha en 1987 à 2 922 ha en 2002 pour atteindre 2 213 ha en 2020. La superficie de la jachère est passée de 1 836 ha en 1987 à 1 463 ha en 2002 pour atteindre 2 536 ha en 2020. La superficie de l'hévéa est passée de 375 ha en 1987 à 661 ha en 2002 pour atteindre 1 575 ha en 2020. La superficie du palmier à huile est passée de 825 ha en 1987 à 1 068 ha en 2002 pour atteindre 825 ha en 2020. La superficie du cacao est passée de 659 ha en 1987 à 413 ha en 2002 pour atteindre 655 ha en 2020. La superficie des sols nus est passée de 1741 ha en 1987 à 1678 ha en 2002 pour atteindre 12 902 ha en 2020. Dans ce contexte, l'étude de l'occupation des terres dans le complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado dans la région de Maradi au Niger a révélé une conversion plus significative des superficies de la steppe arborée en zones sous cultures et l'apparition des zones dégradées à partir de l'année 1994. En effet, la carte d'occupation des sols de 1975 (date de départ) a montré une couverture végétale appréciable contrairement à celle de 1994 (Abdourhamane et *al.*, 2012 : 20).

Ces changements spatiaux et la vulnérabilité des unités d'occupation des terres ont été aussi observés dans la forêt classée de Pénéssoulou au Bénin de 1995 à 2005 et de 2005 à 2015. En effet, les savanes arborées et arbustives, les champs et les jachères ont régressé au profit des formations forestières naturelles et des plantations de 1995 à 2005 suggérant un renforcement des actions de reforestation, de restauration et de surveillance. Par contre, la tendance inverse s'observe de 2005 à 2015 où les champs et les jachères ainsi que les habitations ont une forte expansion au détriment des forêts denses

semi-décidues et des forêts claires. La dégradation et la déforestation se sont accentuées au cours de cette période. Les forêts denses semi-décidues, les forêts galeries et les forêts claires ont été les plus vulnérables (Dossa et *al.*, 2021 : 61).

Ces différents changements ont été aussi opérés dans la forêt classée de Koutal. En effet, l'analyse de l'évolution de la végétation de 1954 à 1989 a révélé que la situation de changement des unités d'occupation du sol est dominée par les mosaïques des champs qui occupent 29% de la surface étudiée. Il se dégage un recul des formations végétales constituées de savanes et de steppes au détriment des tannes et des surfaces cultivées. On constate alors que les savanes arborées et boisées ont totalement disparu. Elles ont été remplacées par les savanes dégradées et herbeuses (Fayé, 2021 : 23). Cette situation a été aussi signalée dans la forêt classée d'Ouénou-Béno au Bénin où les changements d'utilisation des terres induits par les pressions anthropiques ont participé fortement à la modification de la densité de son couvert. De ces changements, il ressort une régression des formations naturelles au profil des formations anthropiques caractérisées par les champs, les jachères et les plantations fruitières (Biaou et *al.*, 2019 : 16). Pareilles situations s'observent dans la forêt classée d'Okromodou en Côte d'Ivoire, où l'évolution la plus marquante en matière d'utilisation des terres est la multiplication des espaces humanisés en permanence, qu'il s'agisse de surfaces agricoles, des habitats ou des jachères. L'extension des surfaces humanisées s'est faite au détriment de formations plus ou moins naturelles que sont la forêt dense et la forêt dégradée. Ces formations ont été défrichées au profit des cultures pérennes dont la plus importante reste le cacao et de cultures vivrières (banane, manioc, maïs et riz). Les superficies des forêts peu ou pas dégradées ont fortement diminué concomitamment. En effet, en 2001, le couvert végétal n'occupe plus que 6 % de la surface totale de cette forêt classée, contre environ 72 % en

1986 (Konan et Mafou, 2015: 43-44).

6. CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que les espaces forestiers de la forêt classée de Mafé ont subi de fortes pressions anthropiques, ce qui traduit la réduction de leur superficie au profit de celles des cultures et jachères. Les sols nus ont quant à eux progressé en superficie pour faire face aux besoins d'implantations des populations en perpétuelle croissance. En effet, d'une superficie de 15 468 ha en 1987, la superficie des espaces forestiers est passée à 14 521 ha en 2002 pour atteindre 2 020 ha en 2020 soit une perte de 13448 ha sur une période de 33 ans.

La superficie de la forêt dégradée est passée de 1 822 ha en 1987 à 2 922 ha en 2002 pour atteindre 2 213 ha en 2020. La superficie de la jachère est passée de 1 836 ha en 1987 à 1 463 ha en 2002 pour atteindre 2 536 ha en 2020. La superficie de l'hévéa est passée de 375 ha en 1987 à 661 ha en 2002 pour atteindre 1 575 ha en 2020. La superficie du palmier à huile est passée de 825 ha en 1987 à 1 068 ha en 2002 pour atteindre 825 ha en 2020. La superficie du cacao est passée de 659 ha en 1987 à 413 ha en 2002 pour atteindre 655 ha en 2020. La superficie des sols nus est passée de 1741 ha en 1987 à 1678 ha en 2002 pour atteindre 12 902 ha en 2020. Ces chiffres confirment l'hypothèse de l'étude selon laquelle la dynamique de dégradation de la forêt classée de Mafé se traduit par des pertes et des gains en unité d'occupation du sol dans le temps et dans l'espace.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDOURHAMANE Hamidou, MOROU Boubé, MAHAMANE Ali, SAADOU Mahamane et ISSAKA Abassa, 2012, « Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts classées de Dan kada Dodo -Dan Gado (région de Maradi, Niger) » *Journal*

des Sciences de l'Environnement, 1(1), pp16-26.

ADAMA Silue Pagadjovongo, SORO Dramane, KOUASSI Edouard Konan et SORO Dodiomon, 2021, « Dynamique d'occupation du sol et diversité floristique de la forêt Classée de la Palé (Côte d'Ivoire) » *European Scientific Journal*, [En ligne] URL <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p1>, Consulté le 09 Avril 2022

BIAOU Séverin, HOUETO Felix, GOUWAKINNOU Gérard, BIAOU Samadori Sorotori Honoré, AWESSOU Beranger, TOVIHESSI Sèwanou et TETE Raphaël, 2019, « Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin », [En ligne] URL, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal>, Consulte le 24 Juin 2020

CHALEARD Jean Louis, 1986, « Intensification agricole et ravitaillement urbain : le cas des périmètres vivriers du département d'Agboville », *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 39 (154), pp 157-178

CHALIFOUX Stéphane, NASTEV Miroslav, LAMONTAGNE Charles, LATIFOVIC Rasim et FERNANDES Richard, 2006, « Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie », *Téledétection*, vol. 6, n° 1, pp 9-17

DOSSA Nounagnon Sourou Ogougbé Léonce, DASSOU Gbèwonmèdéa Hospice, ADOMOU Cossi Aristid, AHONONGA Codjo Fiacre et BIAOU Séverin, 2021, « Dynamique spatio-temporelle et vulnérabilité des unités d'occupation du sol de la Forêt Classée de Pénésoulou de 1995 à 2015 (Bénin, Afrique de l'Ouest) » *Science de la vie, de la terre et agronomie*, Rev. RAMRES, 9(2), pp55-63

- ELDIN Michel, 1971, « Le climat », *In* : AVENARD Jean-Michel, ELDIN Michel, GIRARD Georges, SIRCOULON Jacques, TOUCHEBEUF de Lussigny Pierre, GUILLAUMET Jean-Louis, ADJANOHOUN Edmond et PERRAUD Alain (Ed.), *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Mémoire ORSTOM, n° 50, Paris, ORSTOM, 401 p.
- FAYE Babacar, 2021, « Les effets du surpâturage et des pratiques agricoles dans la transformation du couvert végétal de la forêt classée de Koutal », *Revue Canadienne de Géographie Tropical Canadian Journal of Tropical Geography*, [En ligne] URL <https://revuecangeotrop.ca/current-issue-2/>, Consulté le 24 Juillet 2022
- KADIO Adjumane Aimé, 2009, *Rapport national sur l'aménagement durable des forêts en Côte d'Ivoire suivant les critères et indicateurs de l'OIBT*, Organisation Internationale des Bois Tropicaux, Ministère de l'environnement des eaux et forêts, 76p.
- KONAN Kouadio Eugène et MAFOU Kouassi Combo, 2015, « Apport de la télédétection et des SIG dans l'étude de la pression humaine sur la forêt classée d'Okromodou, sud-ouest ivoirien », *Revue de Géographie Tropical et d'Environnement*, n° 1, pp 40-46
- KONÉ Moussa, KOUADIO Kouassi, KOUADIO Yao Lamber, DANHO Neuba Fursy Rodelec et MALAN Djah François, 2014, « Dégradation de la forêt dense humide tropicale, cas de la région de l'indénié-Djuablin à l'est de la Côte d'Ivoire », *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 21, 15 p.
- LADET Sylvie, DECONCHAT Marc, MONTEIL Claude, LACOMBE Jean Pierre et BALENT Gérard, 2005, « Les chaînes de Markov spatialisées comme outils de simulation : usages, avantages et limites », [En ligne] URL <https://www.researchgate.net/publication>, Consulté le 24 Octobre 2020
- LEPINE Pierre, 1996, « Géomatique et cartographie numérique : ou de la disponibilité des systèmes d'information à référence spatiale dans les bibliothèques » *Documentation et bibliothèques*, 42(2), [En ligne] URL <https://doi.org/10.7202/1033285ar>, Consulté le 14 Décembre 2021
- MAYAUX Philippe, EVA Hugh, PALUMBO Ilaria, Grégoire Jean-Marie, FOURNIER Anne et SAWADOGO Louis, 2007, *Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest*, Paris, IRD, 8 p.
- MARI Jean-François, GOBILLO Arnaud et BENOIT Marc, 2018, Simulation temporelle et spatiale des changements d'occupation du sol par modélisation stochastique, *Revue Internationale de Géomatique, Lavoisier, Revue Internationale de Géomatique*, 28 (2), pp.219-242
- Ministère des Eaux et Forêts, 2014, « Le nouveau code forestier ivoirien », [En ligne] URL <http://ci.chm-cbd.net>, Consulté le 05 Juin 2020
- N'GUESSAN Anny Estelle., AKPA You Lucette, YAO N'Go Alexis et N'DJA Justin Kassi, 2019, « Cartographie de la dynamique du couvert végétal de la forêt classée d'Agbo 1 (Côte d'Ivoire) », *Agronomie Africaine* 31 (1), pp.1-14
- N'GO Yao Alexis, GONE Droh Lanciné, SAVANE Issiaka et Goblé MM, 2005, « Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : Caractérisation hydro climatique et

physique », *Afrique Science*, vol. 01, n° 1, pp 127-144

RAVONJIMALALA Hibrahim Rijaso, 2019, *Modélisation spatiale des changements d'occupation du sol et de la fragmentation de la forêt dense sèche du sud-ouest de Madagascar : cas de la commune Analamisampy*, Université d'Antananarivo, Thèse de Doctorat, 140 pages.

Réseau environnement, 2012, « Contexte et enjeux en biodiversité », [En ligne] URL <https://www.reseau-environnement.com/wp-content/uploads/>, Consulté le 03 Juin 2020

SODEFOR (Société de Développement des Forêts), 2019, « Décision n°02655-19/DG/DARH du 05 juin 2019 portant nouveau découpage des unités de gestion forestière », [En ligne] URL <http://sitesodefortest.e-bordereaux.ci/images/pdf/liste-fc.pdf>, Consulté le 14 Août 2022

UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), 2014, « Les facteurs de déforestation et de dégradation des forêts : Résultats d'une analyse participative dans les Paysages TNS et TRIDOM (Cameroun, Congo, Gabon et RCA) », Yaoundé, Cameroun, [En ligne] URL <https://cbff.afdb.org/sites/default/files>, Consulté le 14 Août 2022

ZAKARI Soufouyane, ISMAÏLA Toko Imorou, OMER Thomas, MAMADJAOUGA et OUSSENI Arouna, 2018, « Application de la Télédétection et du Sig au suivi des formations végétales de la Forêt Classée des trois rivières au Nord-Est du Bénin », *European Scientific Journal*, vol.14, n° 1, pp 1857- 7431