

CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE DU COUVERT VEGETAL DE LA FORET CLASSEE D'AGBO 1 COTE D'IVOIRE

A. E. N'GUESSAN¹, Y. L. AKPA², N'G.O. YAO³, J. N'D. KASSI⁴

¹Assistante au Laboratoire de Botanique, U.F.R. Biosciences Université Félix Houphouët-Boigny (Cocody-Abidjan), Côte d'Ivoire, 22 BP 582 Abidjan 22 E-mail : annyestellen@yahoo.fr

²Assistante au Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët-Boigny (Cocody-Abidjan), Côte d'Ivoire, 22 BP 801, Abidjan 22 E-mail : lucette.akpa@curat-edu.org

³Doctorant au Laboratoire de Botanique, U.F.R. Biosciences Université Félix Houphouët-Boigny (Cocody-Abidjan), Côte d'Ivoire, 22 BP 582 Abidjan 22 E-mail : olivierao82@yahoo.fr

⁴Maitre de Conférences au Laboratoire de Botanique, U.F.R. Biosciences Université Félix Houphouët-Boigny (Cocody-Abidjan), Côte d'Ivoire, 22 BP 582 Abidjan 22 E-mail : kassindja@yahoo.fr

RESUME

Pour garantir l'utilisation durable et l'équilibre écologique de la forêt classée d'Agbo 1, il est important d'acquérir des informations sur la dynamique de la végétation. Ainsi la présente étude a pour objectif d'évaluer la dynamique spatio-temporelle de la forêt classée d'Agbo 1 (Côte d'Ivoire) à partir des images Landsat datant de 1987, 2002 et 2017. Une analyse diachronique des données satellitaires a été réalisée et l'approche de la classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance à partir des compositions colorées de type 4/5/7 (TM et ETM+) et 5/6/7 (OLI) ont été retenues en vue de la discrimination des classes et l'élaboration des cartes d'occupation du sol de la forêt de 1987, 2002 et 2017. Cinq classes d'occupation du sol ont été discriminées. Les précisions globales et les coefficients Kappa obtenus pour les images classifiées sont respectivement de 90,70 % (0,89) ; 91,78 % (0,90) et de 92,19 % (0,91) pour 1987, 2002 et 2017. La couverture forestière de cette forêt qui déjà, en 1987 ne représentaient que 50,64 % de la superficie totale cette forêt classée a régressé davantage jusqu'à 28,85 % de la superficie totale en 2017. Les taux moyens annuels calculés pour la période de 1987 à 2017 montrent une régression des forêts anciennes (-3,26) et des forêts secondaires (-1,26). On observe parallèlement une progression des classes zone agricole (0,08) et (2,35).

Mots-clés : Dynamique, Télédétection, Déforestation, Gestion durable, Forêt classée Agbo 1

ABSTRACT

MAPPING OF VEGETATION COVER DYNAMICS OF THE AGBO 1 FOREST (CÔTE D'IVOIRE)

To ensure the sustainable use and ecological balance of the Agbo 1 Forest, it is important to acquire information on vegetation dynamics. Thus, the objective of this study is to evaluate the spatio-temporal dynamics of the Agbo 1 forest (Ivory Coast) using Landsat images dating back to 1987, 2002 and 2017. A diachronic analysis of the satellite data was carried out and the maximum likelihood-directed classification approach from type 4/5/7 (TM and ETM+) and 5/6/7 (OLI) color compositions were selected for the discrimination of classes and development of forest land cover maps of 1987, 2002 and 2017. Five classes of land use were discriminated against. The overall accuracies and Kappa coefficients obtained for the classified images are respectively 90.70% (0.89); 91.78% (0.90) and 92.19% (0.91) for 1987, 2002 and 2017. The forest cover of this forest, which in 1987 represented only 50.64% of the total area of this forest. Forest decreased further to 28.85% of the total area in 2017. The annual average rates calculated for the period 1987 to 2017 show a regression of old-growth forests (-3.26) and secondary forests (-1.26). At the same time, there is an increase in agricultural classes (0.08) and (2.35).

Key-words : Dynamic, Remote Sensing, Deforestation, Sustainable Management, Agbo Forest

INTRODUCTION

Les forêts constituent une source de nombreux biens et services pour l'humanité. Elles représentent le socle de la conservation de la biodiversité et conditionnent la présence des espèces animales et végétales (Tabopda et Huynh, 2009 ; Tankoano, 2017). En dépit de leur importance, la forte pression humaine sur les ressources forestières constitue aujourd'hui, une menace pour la pérennisation des biens et services qu'elles fournissent (Tankoano, 2017).

En Côte d'Ivoire comme dans la plupart des pays africains francophones (Centrafrique, Cameroun, Congo Brazaville, Gabon...), la création des aires protégées a été entreprise par l'administration française durant la période d'occupation coloniale avant les indépendances de ces pays en 1960 (Aké-Assi, 1984). Les objectifs de la création de l'ensemble des réserves forestières du « domaine forestier » tels que définis par l'administration coloniale sont : empêcher une trop grande déforestation du pays, créer un vaste domaine classé, conserver et améliorer ce domaine et constituer des barrières climatiques végétales (Aké-Assi, 1998). De nos jours, ce domaine classé de l'Etat sert de site de conservation de la biodiversité (Aké-Assi, 1998 ; Adingra 2017) et de réservoirs de biens et services pour les populations locales. Cependant, le fort taux d'accroissement démographique et la pratique de l'agriculture extensive entraînent une demande de plus en plus accrue des terres agricoles et une surexploitation des terres cultivées (Tankoano *et al.*, 2015). Chaque année, plusieurs hectares de forêts ivoiriennes disparaissent, du fait des activités anthropiques (Adingra, 2017). Ainsi, la Côte d'Ivoire est placée parmi les pays où la déforestation s'est le plus accrue (Kassi, 2006). De 16 millions d'hectares à la fin du 19^{ème} siècle (Aké-Assi, 1984), la forêt dense humide est passée à 9 millions d'ha en 1965 puis à 2,7 millions d'ha en 2014 (Kone *et al.*, 2014). Selon Adingra et Kassi (2016), l'ampleur de la pression exercée sur les ressources forestières en Côte d'Ivoire, s'illustre par le fait que les fronts agricoles n'épargnent aucune formation végétale qu'elle soit protégée (aire protégée) ou non.

La forêt classée d'Agbo 1, à l'instar des forêts classées de la Côte d'Ivoire subissent ainsi d'énormes infiltrations de la part d'agriculteurs

et d'exploitants forestiers qui menacent son intégrité. Cette pression anthropique sur le milieu au fil des années entraîne selon Touré (2010) des changements dans l'occupation du sol et la modification du paysage.

Pour atteindre les objectifs de production de bois et pour garantir l'utilisation durable et l'équilibre écologique des forêts classées, Il est nécessaire d'élaborer des plans d'aménagements pouvant concilier les besoins croissants des populations locales et la conservation de la biodiversité. Cependant la forêt classée d'Agbo 1, fortement dégradée malgré son statut ne dispose pas d'informations précises sur la dynamique de la végétation, préalables à un bon plan d'aménagement. Cette étude vise donc à combler cette lacune en mettant à la disposition des gestionnaires des données utiles à l'aménagement et à la gestion durable de la forêt classée de l'Agbo 1. Elle s'articule autour de ces questions de recherches :

- quel est le niveau d'anthropisation de la forêt classée d'Agbo 1 malgré son statut ?
- quelles mutations se sont opérées dans cette forêt au cours des dernières décennies ?

Cette étude a pour objectif principal d'améliorer les connaissances sur la mutation du paysage de la forêt classée d'Agbo 1 par la production d'information sur l'occupation du sol pour les années 1987 et 2017. Plus spécifiquement, il s'agira de cartographier et de suivre la dynamique spatio-temporelle des différents types d'occupation du sol présent dans la forêt.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

La forêt classée d'Agbo 1 avec pour coordonnées géographiques (6°24' et 6° 41' latitude Nord, 4° 50' et 4° 09' longitude Ouest) est située dans la Région de la Mé, au Sud-Est de la Côte d'Ivoire et s'étend sur une superficie 15 575 hectares (Figure 1). Il s'agit d'une forêt dense semi-décidue soumise à un climat tropical sub-humide, appartenant au secteur mésophile d'après les subdivisions établies par Guillaumet et Adjanooun (1971). Les moyennes annuelles de température et de pluviométrie sont respectivement de 26,5°C et 1645,35 mm.

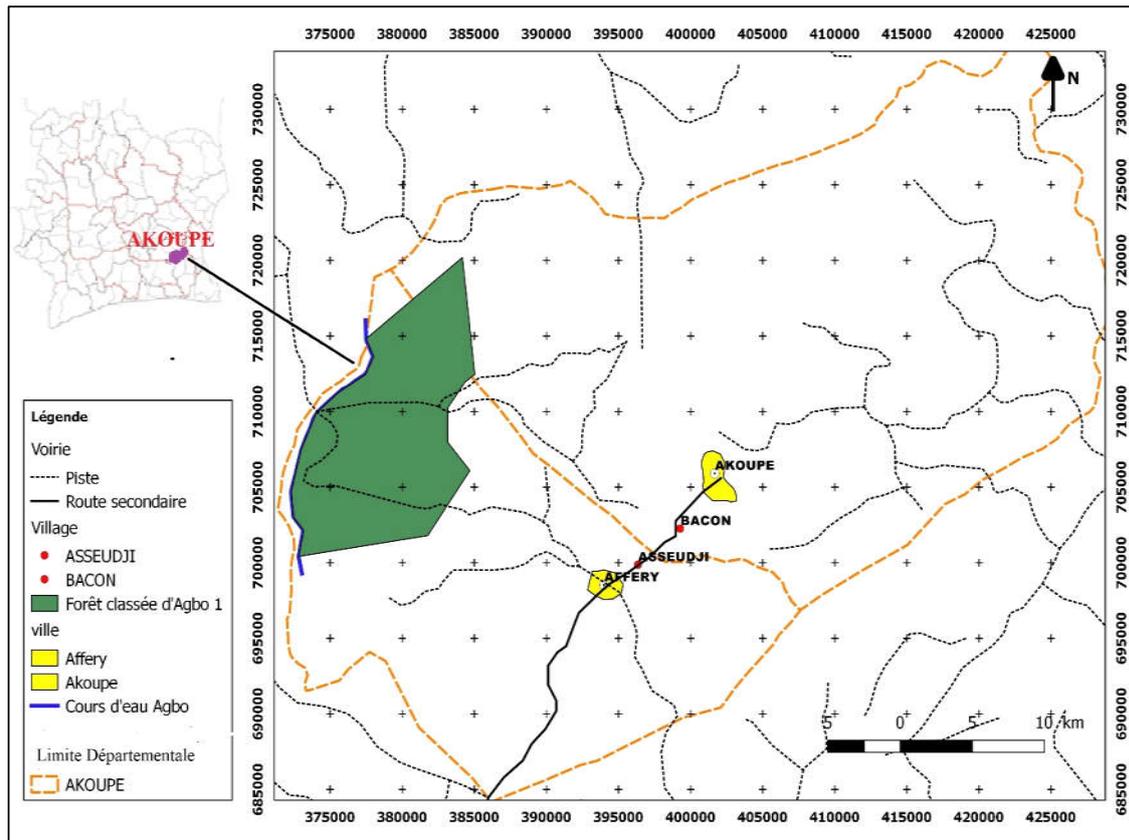


Figure 1 : Cartes de localisation de la forêt classée d'Agbo 1 au Sud-Est de la Côte d'Ivoire.

Location maps of the Agbo 1 forest in South-East Côte d'Ivoire.

MATERIEL

Les images satellitaires Landsat ont été utilisées pour la cartographie et le suivi de la dynamique spatio-temporelle de la couverture forestière. Il s'agit de la scène 196-056 (Landsat 5 TM de décembre 1987, Landsat ETM+ de décembre 2002 et Landsat 8 OLI de janvier 2017). Toutes ces images satellitaires sont disponibles librement dans la base de données de *United States Geological Survey* (USGS, www.landsat.usgs.gov/). Les logiciels *Envi 5.3* et *QGIS 2.18* ont été utilisés respectivement pour l'analyse et le rendu cartographique. Des données de terrain ont été également collectées en complément des images satellitaires pour la validation des différentes classifications réalisées.

METHODES

La méthodologie adoptée pour la cartographie a démarré par les prétraitements des images. Ici les images acquises avaient déjà subies un prétraitement (corrections géométriques) avant

leur mise en ligne sur le site de téléchargement, les prétraitements effectués n'ont concerné que les corrections atmosphérique et radiométrique. Ces opérations de prétraitements ont pour objectif de corriger les déformations géométriques et radiométriques des plates-formes, des capteurs spécifiques, afin d'améliorer la lisibilité des images en éliminant tous les effets atmosphériques (Jofack-Sokeng, 2016). Par la suite nous avons procédé à l'extraction de la zone d'étude de la scène entière sur la base du contour de la Forêt classée d'Agbo 1. En effet, à l'aide de l'outil « *Resize data* » (spatial/spectral), du logiciel *Envi 5.3*, la zone d'étude a été extraite aux dates de 1987, 2002 et 2017. Pour permettre une bonne discrimination des différentes formations végétales à l'intérieur de la zone extraite, des compositions colorées de type 4/5/7 pour les capteurs TM et ETM+ et de type 5/6/7 pour le capteur OLI de Landsat 8 ont été réalisées et les indices de végétation (indices biophysiques) ont été calculés (Goel et Quin, 1994). Ce sont l'indice de brillance des sols (Brightness Index), l'indice d'humidité (Wetness Index), l'indice de verdure (Greenness Index) et

l'indice de végétation normalisé (Normalized Difference Vegetation Index). L'interprétation visuelle des compositions colorées a permis de sélectionner plusieurs points d'échantillonnage pour caractériser les formations végétales identifiées. Les différentes phases de collecte de données sur le terrain de Janvier à Mai 2017.

Sur la base des classes d'occupation du sol décrites sur le terrain, une classification dirigée par maximum de vraisemblance a été effectuée (Diallo *et al.*, 2011 ; Tra Bi, 2013) et a abouti à la carte d'occupations du sol de la forêt. La classification supervisée s'est appuyée sur quelques points des formations visitées lors des prospections sur le terrain utilisés pour l'entraînement (Sangne *et al.*, 2015). La validation de cette classification a été réalisée à partir d'autres points, utilisés comme parcelles de contrôle. La validation a été faite en deux étapes. Une première validation dite thématique est basée sur une analyse visuelle comparée entre l'image des différentes compositions colorées et l'image classifiée. La seconde validation dite statistique est basée sur l'analyse de la matrice de confusion à travers la précision globale et le coefficient Kappa. La précision globale de la classification correspond à la moyenne des pourcentages des pixels correctement classés. Le coefficient Kappa donne une estimation plus précise (qui tient compte des pixels bien classés) de la qualité de la classification (Congalton, 1991). Un filtre médian 3 x 3 pixel a été appliqué à toutes les images classifiées en vue de les rendre plus nettes par élimination de pixels isolés. Ensuite, la vectorisation des images classifiées a été réalisée. Enfin, les fichiers vectorisés de chacune des images traitées ont permis de générer les cartes d'occupation de sol et les superficies des différents types d'occupation de sol pour les années 1987, 2002 et 2017.

Pour évaluer les changements opérés dans le temps, des matrices de transition ont été élaborées pour les périodes 1987 - 2002 ; 2002-2017 et 1987 - 2017. Ces matrices ont permis d'apprécier les taux de reconversion des classes d'occupations du sol (Schlaepfer, 2002) sur la période étudiée. Le taux du changement (T_c) de l'occupation du sol entre deux dates a été calculé pour chaque classe d'occupation du sol sur la base de la formule suivante (Toyi *et al.*, 2013) :

$$T_c = \left(\frac{A_2 - A_1}{A_1} \right) \times 100$$

A1 et A2 sont respectivement la superficie initiale et finale de la classe d'occupation du sol.

Le taux d'évolution moyen annuel de chaque classe d'occupation des terres a été calculé suivant la formule ci-après Puyravaud (2003).

$$r = \left(\frac{100}{t_2 - t_1} \right) \times \ln \frac{A_2}{A_1}$$

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.

RESULTATS

OCCUPATION DE SOL DE LA FORET CLASSEE D'AGBO 1 DE 1987 A 2017

La classification dirigée par maximum de vraisemblance effectuée sur les images Landsat (2017, 2002 et 1987) a permis d'identifier cinq classes d'occupation du sol (Figure 2). Ces classes sont :

- la classe forêts anciennes (îlots de forêts où qu'il n'y a pas eu de rupture de l'état boisé par une mise en valeur agricole) constituées de plusieurs strates et un sous-bois dense avec de nombreuses lianes et caractérisées par l'abondance des espèces telles que *Nesogordonia papaverifera*, *Celtis zenkeri*, *Triplochiton scleroxylon*, *Pycnanthus angolensis*, *Mansonia altissima*, *Guibourtia ehie*, etc qui constituent la strate arborescente supérieure (30 - 40 m) ;
- la classe forêts secondaires constituées forêts dégradées, vieilles jachères de 15ans à plus et de plantations forestières (reboisement adulte) ;
- la classe zone agricole 1, constitué de cultures pérennes (café et cacao) en production ;
- la classe zone agricole 2 composé de cultures annuelles (rizières, bananeraies, etc.), jeunes cultures pérennes, jeunes reboisements et jeunes jachères ;
- la classe sol nu ou habitation.

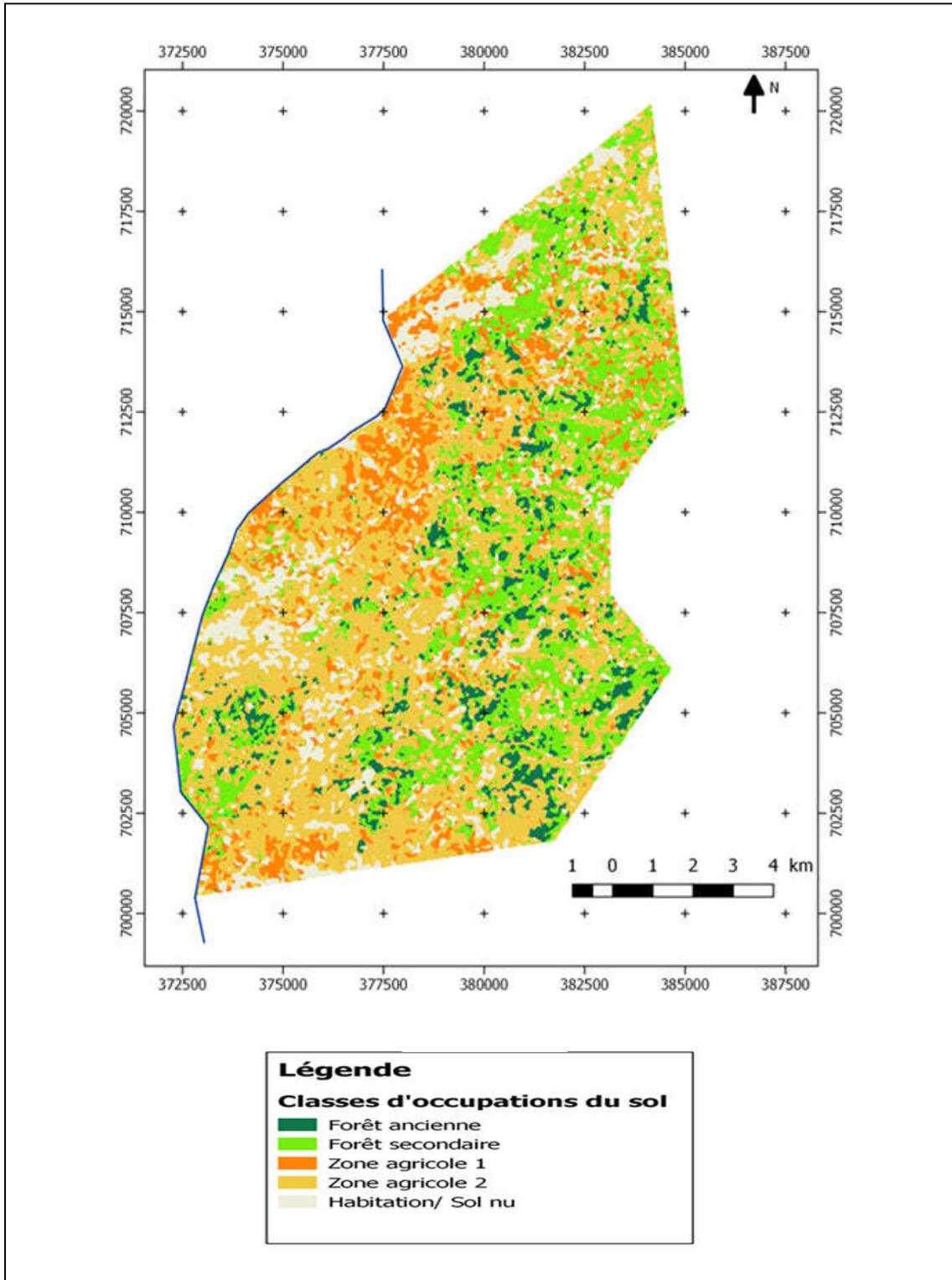


Figure 2 : Carte des types d'occupation de sol de la forêt classée d'Agbo en 2017.

Maps of the state of occupation of the soil of the years 2017.

La distinction entre les différentes classes d'occupation de sol significative pour les images de 1987, 2002 et 2017 de 1987. En effet, les résultats des matrices de confusions (Tableau 1, 2 et 3) sont dans l'ensemble très similaires, avec des précisions globales variant de 90,70 % ; 91,78 % ; à 92,19 % et des valeurs du coefficient Kappa assez élevées de 0,89 ; 0,90

et 0,91 respectivement pour 1987; 2002 et 2017. Néanmoins, ces matrices montrent qu'il existe quelques confusions mineures entre des classes pour les trois images. Ces confusions ont été observées entre les classes forêts anciennes et forêts secondaires, entre les classes forêts secondaires et zone agricole 1 et les classes zone agricole 2 et sol nu ou habitation.

Tableau 1 : Matrice de confusion de la classification de 1987 en pourcentage (%).

Confounding matrix of the 1987 classification as a percentage (%).

Classes	C1	C2	C3	C4	C5
C1	91,49	8,38	0	0,7	0
C2	7,68	78,58	4,13	9,77	0,09
C3	0,11	6,19	94,21	0,07	1,73
C4	0,71	6,72	0,38	83,42	6,25
C5	0	0,12	1,28	6,04	91,92

Précision globale = 90,70 % ; Coefficient Kappa = 0,89

Precision global = 90,70 % ; Coefficient Kappa = 0,89

C1 : Forêts anciennes ; C2 : Forêts secondaires ; C3 : Zone agricole 1 ; C4 : Zone agricole 2 ; C5 : habitations-sols nus

C1 : old forests ; C2 : Secondary forests ; C3 : Agricultural area 1 ; C4 : Agricultural area 2 ; C5 : bare-floor dwellings

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification de 2002 en pourcentage (%).

Confounding matrix of the 2002 classification as a percentage (%).

Classes	C1	C2	C3	C4	C5
C1	94,8	7,62	0	1,36	0
C2	4,72	77,27	7,33	9,04	0,05
C3	0	9,67	89,41	1,07	1,14
C4	0,48	5,43	1,44	80,95	6,87
C5	0	0	1,82	7,58	91,95

Précision globale = 91,78 % ; Coefficient Kappa = 0,90

Precision global = 91,78 % ; Coefficient Kappa = 0,90

C1 : Forêts anciennes ; C2 : Forêts secondaires ; C3 : Zone agricole 1 ; C4 : Zone agricole 2 ; C5 : habitations-sols nus

C1 : old forests ; C2 : Secondary forests ; C3 : Agricultural area 1 ; C4 : Agricultural area 2 ; C5 : bare-floor dwellings

Tableau 3 : Matrice de confusion de la classification de 2017 en pourcentage (%).

Confounding matrix of the 2017 classification as a percentage (%).

Classes	C1	C2	C3	C4	C5
C1	94,69	9,88	0	3,14	0
C2	4,75	84,78	3,72	7,33	0
C3	0	2,17	96,28	0,52	0
C4	0,56	2,96	0	86,13	4,43
C5	0	0,2	0	2,88	95,57

Précision globale = 92,19 % ; Coefficient de Kappa = 0,91

Precision global = 92,19 % ; Coefficient Kappa = 0,91

C1 : Forêts anciennes ; C2 : Forêts secondaires ; C3 : Zone agricole 1 ; C4 : Zone agricole 2 ; C5 : habitations-sols nus

C1 : old forests ; C2 : Secondary forests ; C3 : Agricultural area 1 ; C4 : Agricultural area 2 ; C5 : bare-floor dwellings

Les cartes de l'occupation du sol montrent qu'en 1987, les zones forestières (forêts anciennes et forêts secondaires) représentaient 50,64 % (7493,04 ha) de la superficie total de la forêt, avec 18,90 % (2795,94 ha) de forêts anciennes et 31,74 % (4697,1 ha) de forêts secondaires (Figure 3). Comparativement aux zones forestières, les zones agricoles (cultures pérennes, cultures annuelles et sols nus ou habitations) occupaient 49,36 % de la superficie

totale cartographiée, correspondant à 7304,85 ha. En 2002, le couvert végétal forestier avec 7022,07 ha ; occupait 47,45 % de la superficie totale de la forêt classée. Les zones agricoles, avec une superficie de 7777,44 ha en occupaient 52,55 %. La cartographie de l'occupation du sol en 2017 révèle que les zones forestières occupaient 28,85 % de la superficie de la forêt classée, soit 4269,42 ha contre 71,15 % de zones agricole soit 10528,02 ha.

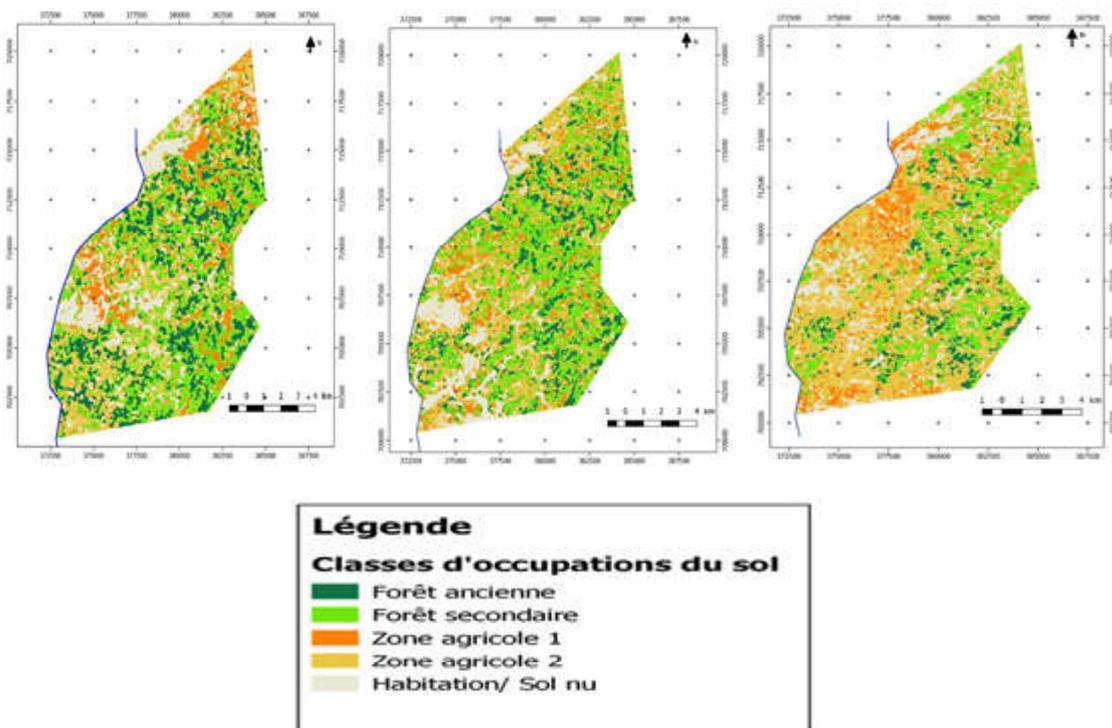


Figure 3 : Cartes d'évolution des types d'occupation du sol de la forêt de 1987 à 2017.

Evolution maps of land cover types of the forest from 1987 to 2017.

DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DE LA
FORET CLASSEE AGBO 1 DE 1987 A 2017

Les résultats cartographiques et statistiques

obtenus ont permis de mettre en évidence l'évolution progressive de chaque classe d'occupation de sol entre les années 1987-2002 et entre les années 2002-2017 (Tableau 4).

Tableau 4 : Evolution des occupations du sol et changement globaux de 1987 à 2017.

Evolution of land occupations and global change from 1987 to 2017.

		Classe d'occupation du sol					
		C1	C2	C3	C4	C5	
Superficie des classes d'occupations par année	1987	ha	2795,94	4697,1	1855,35	3309,21	2140,29
		%	18,9	31,74	12,54	22,36	14,46
	2002	ha	2035,08	4986,99	1631,79	4391,91	1753,74
		%	13,75	33,7	11,02	29,68	11,85
	2017	ha	1052,37	3217,05	1898,46	6692,76	936,8
		%	7,11	21,74	12,83	45,23	13,09
perte ou gain de superficie (ha)	1987-2002		-760,86	289,89	-223,56	1082,7	-386,55
	2002-2017		-982,71	-1769,94	266,67	2300,85	183,06
	1987-2017		-1743,57	-1480,05	43,11	3383,55	-203,49
Taux de changement (Tc) en (%)	1987-2002		-27,21	6,17	-12,05	32,72	-18,06
	2002-2017		-48,29	-35,49	16,34	52,39	10,44
	1987-2017		-62,36	-31,51	2,32	102,25	-9,51
Taux d'évolution moyen annuel (r) en (%)	1987-2002		-2,12	0,4	-0,86	1,89	-1,33
	2002-2017		-4,4	-2,92	1,01	2,81	0,66
	1987-2017		-3,26	-1,26	0,08	2,35	-0,33

Légende : ha : hectare ; % : Pourcentage ; C1 : Forêts anciennes ; C2 : Forêts dégradées et vieilles régénérations ou jachères ; C3 : Mosaïque cultures pérennes matures et reboisements adultes ; C4 : mosaïque jeunes cultures pérennes, cultures annuelles et jeunes reboisements ; C5 : habitations-sols nus

Legend : ha : hectare ; % : Percentage ; C1 : Old forests ; C2 : Degraded forests and old regenerations or fallows ; C3 : Mosaic mature perennial crops and mature reforestation ; C4 : mosaic young perennial crops, annual crops and young reforestation ; C5 : bare-floor dwellings

De 1987 à 2002, la classe forêt ancienne a connu une régression de 27,21 % de sa superficie, soit une perte annuelle de 2,12 % (Tableau 4). Ces îlots de forêts anciennes se sont généralement convertis en forêt secondaire, zones agricoles ou en sol nu ou habitation (Tableau 5). Les classes zone agricole 1 et sol nu où habitation ont respectivement régressées de 12,05 % et 18,06 % de leurs superficie, soit des pertes annuelles moyennes de 0,86% et

1,33 %. La classes de forêt secondaires et zone agricole 2 ont quant à elles connu respectivement des progressions de 6,17 % et de 32,72 % du fait de la conversion majoritairement de la classe zone agricole 1 en forêt secondaire et de la classe sol nu en classe zone agricole 2 (Tableau 5). Ces progressions sont estimées à un gain moyen de 0,40 % pour la classe de forêt secondaires et 1,89 % de superficie par an pour la classe zone agricole 2.

Tableau 5 : Matrices de transitions entre types d'occupation du sol en pourcentage de 1987 à 2002 ; 2002 à 2017 et de 1987 à 2017.

Matrix of transitions between land cover types as a percentage from 1987 to 2002; 2002 to 2017 and from 1987 to 2017.

	classes	C1	C2	C3	C4	C5
1987-2002	C1	46,32	14,49	1,48	6,03	0,90
	C2	26,85	43,55	37,45	28,02	14,71
	C3	6,84	10,66	24,55	12,12	13,32
	C4	14,35	26,22	30,92	39,13	33,53
	C5	5,64	5,08	5,60	14,70	37,54
	Class Total	100	100	100	100	100
	Class Changes	53,68	56,45	75,45	60,87	62,46
2002-2017	C1	37,41	7,84	0,19	2,14	0,27
	C2	22,69	34,99	15,15	16,51	3,36
	C3	6,55	12,54	37,29	12,12	8,40
	C4	29,40	38,76	31,36	52,77	39,71
	C5	3,95	5,87	16,01	16,46	48,26
	Class Total	100	100	100	100	100
	Class Changes	62,59	65,01	62,71	47,23	51,74
1987-2017	C1	27,12	8,58	1,19	3,15	0,73
	C2	22,24	27,63	22,11	19,17	11,16
	C3	12,62	14,88	17,51	13,95	11,69
	C4	30,9	40,19	42,85	47,29	41,41
	C5	7,12	8,72	16,34	16,44	35,01
	Class Total	100	100	100	100	100
	Class Changes	72,88	72,37	82,48	52,70	64,99

Légende : C1 : Forêts anciennes ; C2 : Forêts dégradées et vieilles régénérations ou jachères ; C3 : Mosaïque cultures pérennes matures et reboisements adultes ; C4 : mosaïque jeunes cultures pérennes, cultures annuelles et jeunes reboisements ; C5 : sols nus et habitations.

Legend : C1 : Old forests ; C2 : Degraded forests and old regenerations or fallows ; C3 : Mosaic mature perennial crops and mature reforestation ; C4 : mosaic young perennial crops, annual crops and young reforestation ; C5 : bare-floor dwellings

La période allant de 2002-2017 est marquée par une plus forte régression des classes de végétations de forêts. Ainsi la classe forêt ancienne a perdu 48,29 % de sa superficie et celle de forêt secondaire a perdu 35,49 % de sa superficie. Ces pertes sont estimées à 4,4 % en moyenne par an pour la classe forêt ancienne et à 2,92 % pour la classe forêt secondaire. La majorité de ces surfaces se sont converties en forêt secondaire et en zone agricole 2 pour les forêts anciennes et en zone agricole 2 pour les forêts secondaires. L'on note ainsi un gain des surfaces des classes zone agricole 1, zone agricole 2 et sol nu où habitation. La classe zone agricole 2 a le plus augmenté en superficie soit 52,39 % de sa superficie initiale avec un taux annuel de progression de 2,81 %. La classes

zone agricole 1 et la classe sol nu ou habitation ont quant à elles gagnées respectivement 16,34 % et 10,44 % de leurs superficies initiales. Cette progression est estimée en moyenne à 1,01 % par an pour la classes zone agricole 1 et à 0,66 % par an pour la classe sol nu où habitation.

La forêt classée d'Agbo 1 a connu d'importants changements durant la période de 1987 à 2017. Cette mutation se traduit par une baisse importante des surfaces forestières (classe forêt ancienne et forêt secondaire) au profit des classes zones agricoles et sols nus / habitations. La synthèse de tous ces changements est représentée par la figure 4. Cette figure montre clairement que les surfaces forestières ont régressé entre 1987 et 2017.

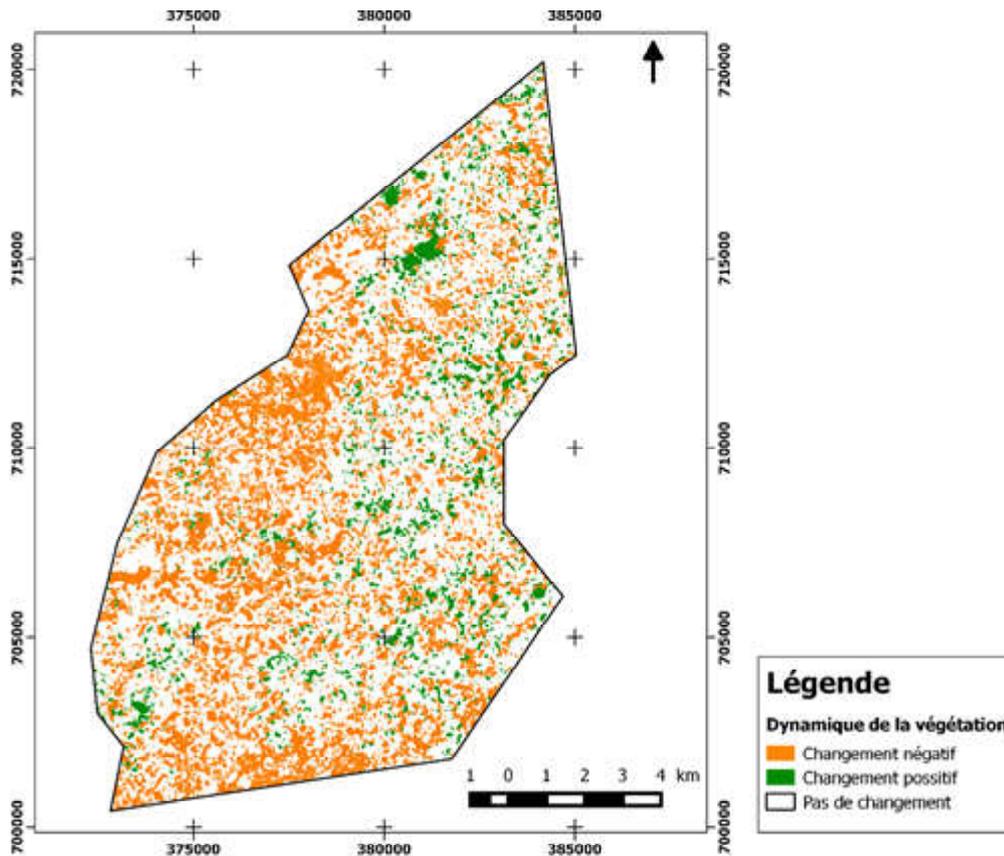


Figure 4 : Cartes de la dynamique d'occupation du sol entre 1987 et 2017.

Maps of land use dynamics between 1987 and 2017.

DISCUSSION

DISTINCTION DES TYPES D'OCCUPATIONS DU SOL

Sur la base de la description de la végétation et des observations de terrain, il a été identifié cinq (5) classes d'occupation du sol dans la forêt classée d'Agbo 1. Ces classes n'ont pas toujours été bien différenciées, mais les erreurs de confusion sont moindres. Cela s'expliquerait par la connaissance de notre site d'étude et par le nombre réduit de classe. Selon Mama et Oloukoi (2003), les erreurs de confusion diminuent quand le nombre de classes de l'occupation du sol diminuent. On a 9,88 % de confusions observées entre la classe forêt secondaire et la classe forêts ancienne, 7,33 % de confusions ont été observées entre la classe forêt secondaire et la classe zone agricole 1 et 4,43 % entre la classe zone agricole 2 et la classe habitations-sol nu.

Ces confusions sont dues d'une part, à la physiologie de la végétation de la classée

d'Agbo 1. En effet, les forêts anciennes et les forêts secondaires matures sont des formations qui présentent une grande similarité au niveau physiologique et structural. D'autre part, les confusions sont du fait de la ressemblance floristique entre les classes de forêts favorisant des réponses spectrales proches ou similaires pour ces formations végétales (N'Da *et al.*, 2008 ; Tabopda et Huynh, 2009 ; Diallo *et al.*, 2011 ; Tankoano *et al.*, 2015 ; Koffi, 2016). Aussi, les confusions observées entre les classes des zones agricoles et la classe forêt secondaire est lié au fait que les arbres utiles épargnés dans les champs donnent à ces classes par endroits l'aspect d'une végétation forestière. Les résultats cartographiques obtenus sont satisfaisants. En effet, les indices de Kappa obtenus sont de 0,89 ; 0,90 et 0,91 respectivement pour les images de 1987 ; 2002 et 2017. La classification adoptée est valable et les cartes générées peuvent être exploitables car les indices de Kappa et les taux de classification global sont supérieurs à 50 % (Lauginie, 2007 ; Kabba et Li, 2011).

DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DE LA FORET CLASSEE AGBO 1 DE 1987 A 2017

La couverture végétale est le meilleur repère pour apprécier les changements du milieu entre différentes périodes dans une région (Tankoano, 2017). Ainsi, il a été noté que de la forêt classée d'Agbo 1 a connu une dynamique très remarquable de 1987 à 2017. En effet, l'analyse des résultats cartographiques a révélé une dégradation du couvert végétal au détriment des zones agricole. Cette régression est due aux pressions exercées par les populations sur la forêt. En effet, les populations à proximité de la forêt sont essentiellement rurales et l'agriculture avec des cultures de rente (cacao, café, etc.) et de subsistance (riz, banane, igname, manioc, maïs, etc.) est l'une des activités principales pratiquées. Cette disparition du couvert végétal s'est traduite par la perte de 1743,57 ha de forêt sur les 2795,94 ha qui préexistaient en 1987, soit une régression de 62,36 % sur la période 1987 - 2017. Aussi, comme dans bien d'autres travaux, cette disparition de la forêt est imputable à l'installation des activités agricoles et à l'extension des superficies cultivées au sein de la forêt (N'Da, 2008 ; Diallo *et al.*, 2011 ; Kouassi *et al.*, 2012). Les résultats de la cartographie présente l'apparition de 102,25 % de zones de culture pérenne, culture annuelle et de jeune jachère. Ces résultats confirment les travaux de plusieurs auteurs qui montrent que les défrichements agricoles sont des facteurs importants dans la dynamique régressive des ligneux (Tabopda et Huynh, 2009).

Durant la période 1987 - 2002, les classes forêt ancienne et habitation-sols nus et zones agricoles ont régressé. Ces classes sont passées respectivement de 2140,29 à 1753,74 ha et 1855,35 à 1631,79 ha. La régression de ces zones agricoles pourrait s'expliquer par la prise en main de la forêt par la SODEFOR en 1992 - 1993. En effet, les patrouilles de surveillances de la SODEFOR ont entraîné le déguerpissement de quelques clandestins avec destruction et abandon de certains lieux d'habitations, l'abandon de quelques parcelles de cultures et la baisse des infiltrations clandestines. Cependant, les patrouilles ont eu une efficacité limitée, compte tenu du fait qu'elles ne couvraient pas l'ensemble de la forêt classée. Cette situation explique la progression de 1082,7 ha de zone agricole 2. La réalité est que de nombreuses zones forestières échappent aux contrôles. En effet, selon Amani (2011), dans les forêts classées du Sud-Ouest de la Côte

d'Ivoire, seuls 39 % des paysans ont fait l'objet d'interpellations par les services de la SODEFOR sur une période de 5 ans, avec 22 % de récidivistes. En plus du manque de couverture globale des patrouilles, l'insuffisance d'agent forestier pourrait expliquer la persistance des défrichements agricoles dans les forêts classées (Labrousse, 2004)

La période allant de 2002 - 2017 est marquée par une plus forte régression des zones de végétations de forêts. Ainsi, la forêt ancienne a perdu (48,29 %) de sa superficie et la forêt secondaire a perdu (35,49 %) de sa superficie. L'on note parallèlement, un gain des surfaces des zones agricoles, (52,39 %) pour la classe zone agricole 2, (16,34 %) pour la classe zone agricole 1 et (10,44 %) pour les zones d'habitation-sol nu. Cette baisse des ressources forestières au profit des zones agricole est un phénomène qui prend de l'ampleur ces dernières décennies en Afrique de l'ouest (N'Da *et al.*, 2008; Konan, 2009; Mama *et al.*, 2013; Koumou *et al.* 2013). Ici, la régression alarmante des zones forestières peut être imputée à une cause qui est la crise militaro-politique de 2002 à 2011 qu'a connue la Côte d'Ivoire. En effet, pour Tankoano *et al.*, (2015), les populations déplacées, en quête du mieux-être et compte tenu du manque nouvelles terres agricoles et fertiles s'infiltrèrent dans les réserves forestières et forêts classées. Aussi, selon Tabopda et Fotsing (2010) pendant les périodes de crise, les aires protégées sont parfois soumises à l'assaut des populations riveraines en quête de zones de cultures. La crise militaro-politique de 2002 à 2011 qu'a connue la Côte d'Ivoire a donc favorisé la ruée des populations dans la forêt classée d'Agbo 1 comme dans bien d'autres forêts classées en Côte d'Ivoire (Sangne *et al.*, 2015). Ce qui reste des forêts naturelles de la forêt classée d'Agbo 1 est représenté par une sorte de « rideau forestier » de largeur oscillant entre 20 et 50 mètres en bordure des routes. En effet paysans clandestins évitent les zones forestières proches des voiries à l'intérieur de la forêt compte tenue des patrouilles fréquentes à ces endroits. La zone de prédilections de ces clandestins est la zone centale comme le montre la carte de la forêt. Dans cette zone les patrouilles sont moins fréquentes à cause de l'accès difficile.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'améliorer les connaissances sur la dynamique spatio-temporelle de

la forêt classée d'Agbo 1 de 1987 à 2017 au moyen de la télédétection et des données de terrain. Elle donne aux gestionnaires des outils d'aide à la décision indispensables à la mise en place d'une politique de gestion durable de cette forêt classée. Il ressort de l'interprétation des images satellitaires Landsat (Landsat TM de 1987, Landsat ETM+ de 2002 et Landsat OLI de 2017) et des données de terrain qu'il existe 5 classes d'occupations du sol dans la forêt :

La classe forêt ancienne, la classe forêt secondaire, la classe zone agricole 1, la classe zone agricole 2 et la classe sols nus-habitations. Trois cartes d'occupation du sol de la forêt classée de 1987, 2002 et 2017 ont été élaborées. Il en ressort que les formations forestières de la forêt classée ont régressé entre 1987 et 2017, en passant de 50,64 à 28,85 % de la superficie totale de cette aire. La régression des zones forestière du site est imputable dans sa majorité à l'agriculture (culture de rente et vivrière) et à la faible protection ou surveillance de la forêt par endroits.

De ce fait l'élaboration d'un plan d'aménagement en vue de concilier bien-être des populations riveraines et la gestion durable de la forêt est une aubaine. Par ailleurs, un renforcement de la surveillance à l'intérieur comme aux périphéries de cette forêt en collaboration avec les populations riveraines s'imposent.

Afin d'approfondir ce travail, il serait nécessaire de faire des mises à jour régulières des cartographies, pour suivre l'évolution des différents modes d'occupation du sol dans le temps.

REFERENCES

- Aké-Assi L., 1984. Flore de la Côte d'Ivoire: étude descriptive et biogéographique, avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de Doctorat, Université Nationale d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 1206 p.
- Aké Assi L., 1998. Impact de l'exploitation forestière et du développement agricole sur la conservation de la biodiversité biologique en Côte d'Ivoire. *Le flamboyant* 46 : 20 - 22.
- Adingra M.M.A.O., 2017. Dynamique du peuplement et stock de carbone dans la mosaïque de végétation de la forêt classée de Bamo (Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 158 p.
- Adingra OMMA. & Kassi N'.J., 2016. Diversité floristique, structure et dynamiques des jachères post-culturelles de la forêt classée de Bamo (Côte d'Ivoire). *Agron. Afr.* 28 (1) : 24 - 32.
- Amani Y.C., 2011. Logiques des infiltrations paysannes dans les forêts classées en Côte d'Ivoire. *ESJ Research*. 66 (1) : 143 - 152.
- Congalton R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Rem. Sen. of Env.* 37 (1) : 35 - 46.
- Diallo H., Bamba I., Sabas Barima Y. S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. & Bogaert J., 2011. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Séch.* 22 : 97 - 107.
- Guillaumet J.-L. & Adjanohoun E., 1971. La végétation de la Côte d'Ivoire. *In : Avenard J.M., E. Éldin, G. Girard, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J.L. Guillaumet, É. Adjanohoun & A. Perraud (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires de l'ORSTOM* 50 : 157 - 263.
- Goel N. S. & Quin W., 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indexes and LAI and FPAR : a computer simulation, *Remote Sensing of Environment*, vol 10,no.2, pp. 309 - 347.
- Jofack-Sokeng V-C., 2016. - Cartographie des potentialités en eaux souterraines dans les Hauts Plateaux de l'Ouest - Cameroun : contribution de la Télédétection (optique et radar), des Systèmes d'Informations Géographiques et des Réseaux de Neurone. Thèse de Doctorat (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny, (Côte d'Ivoire), 273 p.
- Kabba S.T.V. & Li J., 2011. Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China. *Jrnl. of Geo. and Geo.* Vol. 3 : pp. 104 - 118.
- Kassi N.J., 2006.- Successions secondaires post-culturelles en forêt dense semi-décidue (Côte d'Ivoire): nature, structure et organisation fonctionnelle de la végétation. Thèse de Doctorat, Université de Picardie Jules Verne d'Amiens (France), 212 p.
- Koffi K.A.D., 2016. Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du Parc national d'Azagny (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 186 p.
- Konan D., 2009.- Évaluation de l'impact de la cacaoculture sur la flore de la végétation en zone dense humide semi-décidue : cas du Département d'Oumé. Mémoire de D.E.A.

- de Botanique, UFR Biosciences, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 61 p.
- Koné M., Kouadio Y.L., Neuba D. F.R., Malan D. & Coulibaly L. 2014. Evolution de la couverture forestière de la Côte d'Ivoire des années 1960 au début du 21^e siècle. *Int. J. of Inn. and App. Stud.* 7 (2) : 782 - 794.
- Kouassi A.M., Kouamé K. F., Ahoussi K. E., Oularé S. & Biemi J. 2012. Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire), *Rev. Ivoir. Sci. Technol.* 20 : 124 - 146.
- Koumou Z., Alassane A., Djangbedja M., BoukpeSSI T. & Kouya A-E., 2013.-Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Centre-Togo. *Revue de Géographie Ahoho*, 10 (7) : 163 - 172.
- Labrousse A., 2004. -Enjeux des réformes récentes de la fiscalité forestière dans le bassin du Congo, *Bois et forêts des tropiques*, 281 : 3 p.
- Lauginie F., 2007. Conservation de la nature et des aires protégées en Côte d'Ivoire. *NEI/ Hachette et Afr. Nat.*, Abidjan, 668 p.
- Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013. -Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicult*, 31 : 78 - 88.
- Mama. J. & Oloukoi J., 2003. Occupation du sol et transhumance : Cas de la région de Savé au Bénin. *Centre de Recherches Agricoles Centre-Savé*, 173 - 187.
- N'Da D.H., 2008. Étude et suivi par Télédétection Système d'informations géographiques d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : cas du Parc national de la Marahoué. Thèse Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, (Côte d'Ivoire), 181p.
- N'Da D.H., N'Guessan K.É., Égnankou W.M. & Kouadio A., 2008. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télé. 8 (1)* : 17 - 34.
- Puyravaud J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation, *For. Ecol. and Mang.* Vol. 177 (4) : 206 - 219.
- Schlaepfer R. 2002. Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2. Lausanne. Laboratoire de gestion des écosystèmes (GECOS), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, (Suisse), p.11.
- Sangne Y. C., 2009. -Dynamique du couvert forestier d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : cas de la forêt classée de Téné dans le département d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 220 p.
- Sangne, C. Y., Barima, Y. S. S., Bamba, I., & N'Doumé, C. T. A. 2015. Dynamique forestière post-conflits armés de la Forêt classée du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire), *Vert.* 15 (3) : 1 - 18.
- Touré F. 2010. Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006). Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo-Ife, Nigéria, 69 p.
- Tabopda G.W. & Fosting J.M., 2010. -Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au Nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Séch. Vol.* 21 (3) : 169 - 178.
- Tabopda W. G. & Huynh F. 2009. Caractérisation et suivi du recul des ligneux dans les aires protégées au Nord du Cameroun: analyse par télédétection spatiale dans la réserve forestière de Kalfou. Journée d'Animation Scientifique de l'AUF, Alger, 11 p.
- Tankoano B., 2017. Contribution de la télédétection et des Systèmes d'Informations Géographiques à l'évaluation de l'impact des activités humaines sur la couverture végétale : cas du Parc National des Deux Balé (PNDB), à l'Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Nazi Boni (Burkina Faso) ; 111 p.
- Tankoano B., Hien M., Sanon Z., Dibi N. H., Yameogo T. J. & Somda I. 2015. Dynamique spatio-temporelle des savanes boisées de la Forêt Classée de Tiogo au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (4) : 1983 - 2000.
- Toyi MS, Barima YSS, Mama A, André M, Bastin J-F, De Cannière C, Sinsin B & Bogaert J., 2013. Tree plantation will not compensate natural woody vegetation cover loss in the Atlantic Department of Southern Benin. *Tropicult.* 31 : 62 - 70.
- Tra Bi Z. A., 2013. Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc). Thèse de Doctorat, Université d'Artois (France), 189 p.