

Évolution de la couverture forestière de la Côte d'Ivoire des années 1960 au début du 21^e siècle

[Evolution of the forest cover in Cote d'Ivoire since 1960 to the beginning of the 21st century]

Moussa KONÉ¹⁻², Yao L. KOUADIO¹⁻², Danho F.R. NEUBA¹⁻², Djah F. MALAN¹⁻², and Lacina COULIBALY³

¹UFR des Sciences de la Nature / Unité de Recherche Écologie et Biodiversité,
Pôle de Recherche Environnement et Développement Durable / Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

²Institut Botanique AKÉ ASSI d'Andokoi (IBAAN),
Abidjan, Côte d'Ivoire

³Faculté de foresterie Université de Moncton / Laboratoire de Géomatique Environnementale,
Campus d'Edmundston / Université de Moncton,
Edmundston, Nouveau-Brunswick, Canada

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Deforestation is a phenomenon that is a reality in Côte d'Ivoire. Thus, this study aims to determine the spatio-temporal evolution of her moist forests. For the 1960s, the moist forest cover of the country is determined through the vegetation mapping by digitizing. Those of decades 1980 and 2000 are obtained by treatment of Landsat TM and ETM+ satellite images. Supervised classification by maximum likelihood allowed getting maps of the land with, cartographic accuracy greater than 90%. Of these maps, the class of moist forests was extracted and converted to vector data format. The intersection of moist forests of decades 1980 and 2000 with those of the 1960s was used to determine their specific characterization. The results show a moist forest cover of about 8.14 million ha for 1960s with the presence of large blocks. The 1980s and 2000s have respectively forest cover of about 2.6 million ha and 1.35 million ha. These periods are characterized by high fragmentation and loss of rain forests in Côte d'Ivoire. Thus, since its independence, the country has lost more than 80% of its forest cover. Agricultural clearings related to demographic pressure and logging are the main causes of deforestation in Cote d'Ivoire.

KEYWORDS: Forests, Deforestation, Remote Sensing, Phytogeography, Côte d'Ivoire.

RESUME: La déforestation est phénomène qui est une réalité en Côte d'Ivoire. Ainsi, cette étude vise à déterminer l'évolution spatio-temporelle de ses forêts denses humides. Pour la décennie 1960, la couverture forestière dense du pays est déterminée à travers la cartographie la végétation par la digitalisation. Celles des décennies 1980 et 2000 sont obtenues grâce aux traitements des images satellitaires Landsat TM et ETM+. La classification supervisée par maximum de vraisemblance a permis d'obtenir les cartes de l'occupation du sol avec, des précisions cartographique supérieures à 90%. De ces cartes, la classe des forêts denses a été extraite et convertie en couche cartographique en format vectoriel. L'intersection des forêts denses des décennies 1980 et 2000 avec celles de la décennie 1960, a permis de déterminer leur caractérisation spécifique. Les résultats montrent une couverture forestière dense humide d'environ 8,14 millions ha pour les années 1960 avec la présence de gros blocs. Les décennies 1980 et 2000 ont respectivement un couvert forestier de 2,6 millions ha et 1,35 millions ha. Ces périodes sont caractérisées par une forte disparition et fragmentation des forêts denses humides en Côte

d'Ivoire. Ainsi, depuis son indépendance, le pays a perdu plus de 80% de son couvert forestier. Les défrichements agricoles liés à la pression démographique, et l'exploitation forestière sont les principales causes de la déforestation en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Forêts, Déforestation, Télédétection, Phytogéographie, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La déforestation en Côte d'Ivoire remonte à la période coloniale [1]. À l'indépendance du pays en 1960, les gouvernants décident d'axer le développement du pays sur l'agriculture industrielle, basée sur le binôme café-cacao [2]. À ces cultures il faut ajouter celles de l'hévéa, le palmier à huile, l'ananas, la banane etc. Toutes ces cultures, pratiquées dans la zone de forêt dense humide, vont nécessiter le défrichement de grandes surfaces forestières. Ainsi, les performances réalisées dans le secteur agricole sont faites au détriment de la forêt dense humide. Estimé à 16 millions d'hectares à la fin du 19^{ème} siècle [3], la surface des forêts denses humides est évaluée à 2,7 millions d'hectares à la fin du 20^{ème} siècle [4]. Ainsi, les ressources forestières de la Côte d'Ivoire sont soumises à une forte pression anthropique conduisant à la réduction de leurs surfaces et à leur fragmentation ce qui constitue une menace majeure pour la biodiversité [5], [6].

De nombreuses études ont tenté de déterminer la superficie des forêts en Côte d'Ivoire ([7], [8], [3], [4], [9], [10]). Pour la plupart, elles ont été réalisées à partir d'images satellitaires de faibles résolutions telles que NOAA/AVHRR [4], [9] ou de photographies aériennes [7]. Les méthodes d'estimations de la superficie du couvert forestier varient généralement d'un auteur à l'autre. La présente étude propose une cartographie et une estimation de la surface du couvert forestier pendant les décennies 1960 (1960 à 1969), 1980 (1980 à 1989) et 2000 (2000 à 2009).

La méthode utilisée est basée, sur l'extraction du couvert forestier dense de la carte la végétation de [11], pour les années 1960 et la caractérisation des formations forestières denses des décennies 1980 et 2000 à partir des images satellitaires haute résolution spatiale.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude porte sur la partie de la Côte d'Ivoire couverte par les forêts denses humides sempervirentes et les forêts denses humides semi-décidues. Il s'agit des secteurs mésophiles et ombrophiles, décrite par [12]. La zone d'étude (170 320 km²), se situe entre les latitudes 2°30' et 8°30' ouest et les longitudes 4°00' et 9°00' nord (Fig. 1).

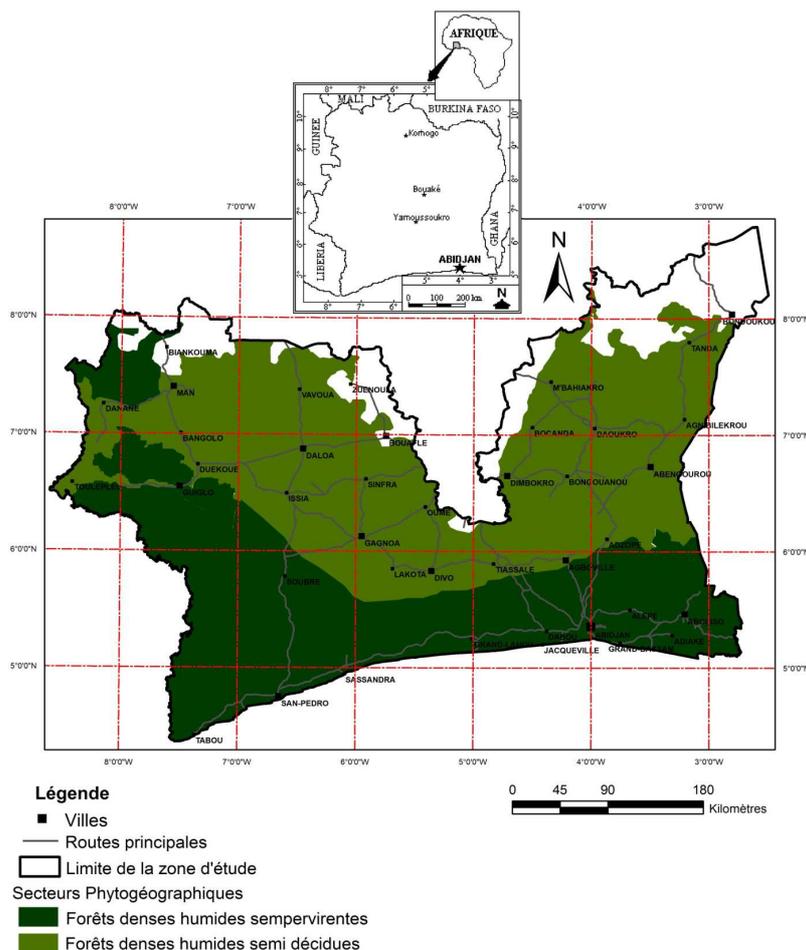


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Le relief de la Côte d'Ivoire est caractérisé par des plaines, des plateaux et des massifs montagneux. Toutes ces formes constituent un ensemble peu contrasté. Pour notre zone d'étude, les altitudes augmentent du sud vers le nord. Elles varient de 0 à 200 m au Sud et de 200 à 500 m pour le reste de la zone d'étude à l'exception de l'Ouest où les plus hauts sommets sont situés. Il s'agit du mont Nimba (1 752 m), du mont Momi (1 302 m), du mont Toura (1 170 m) et du mont Sangbé (1 072 m).

Le réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire tout comme celle de notre zone d'étude se compose principalement de quatre bassins majeurs qui sont d'est à l'ouest, la Comoé, le Bandama, le Sassandra et le Cavally [13]. Ces bassins charrient l'eau de nombreux affluents vers la mer au sud. Le littoral ivoirien est caractérisé par la présence de nombreuses lagunes.

Trois grands types de sols recouvrent la zone d'étude. Il s'agit du Sud vers le Nord des sols hydromorphes ou sols littoraux, suivi des sols ferrallitiques et enfin des sols ferrugineux.

Le climat de la Côte d'Ivoire est lié au déplacement de la ligne de démarcation entre les masses d'air humide venant de l'océan (Mousson) et les masses d'air sec et chaud venant du Sahara (Harmattan). Cette ligne est appelée le Front InterTropical (FIT). Le déplacement nord-sud du FIT permet de distinguer 3 climats pour la zone d'étude : le climat subéquatorial (au sud), le climat de montagne (à l'ouest) et climat tropicale humide [13]. Il y a 4 saisons pour les deux premiers et 2 pour le dernier type de climat.

2.2 MATÉRIELS

Deux sources de données ont servi à notre étude. Il s'agit des cartes et des images satellitaires.

La carte de la végétation de la Côte d'Ivoire, feuilles Sud-est et Sud-ouest, au 1/500000 [11] a été utilisée pour décrire la couverture forestière de la décennie 1960. Cette carte est considérée comme la représentation la plus crédible du couvert forestier de cette époque [1] mais, les auteurs se sont abstenus de faire une estimation de la surface des forêts denses. Elle a

été réalisée à partir d'une série de photographies aériennes de 1954 à 1956 mise à jour sur le terrain pendant les années 1960. Cette carte offre une bonne caractérisation de la répartition spatiale des forêts denses pendant la décennie 1960.

Les images satellitaires de haute résolution de Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM+, ont été utilisées pour déterminer le couvert forestier dense des décennies 1980 et 2000. Elles ont été téléchargées sur le site internet, "Global Land Cover Facility" (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu>). Toutes les bandes des scènes ont été téléchargées excepté, les bandes thermiques et panchromatiques. La décennie 1980 est caractérisée par des images allant de 1985 à 1988 excepté, la scène 196-56 pour laquelle aucune image n'est disponible, pour cette période. Nous avons donc utilisé l'image la plus proche, celle du 30/12/1990. Pour la décennie 2000, la série d'images est comprise entre 2000 à 2007. Pour Chaque décennie, ces images ont été traitées au niveau de chaque région. Dix huit régions couvrent notre zone d'étude. Les fenêtres couvrant chaque région pour chaque scène ont été extraites. Ainsi, 45 images ont été traitées par décennie soit 90 pour la période 1980 et 2000. Le tableau 1 présente la liste des images utilisées.

Tableau 1. Données images utilisées et les régions couvertes

n°	Régions		Scènes Landsat	Date images TM	Date images ETM+	Estimation du taux de couverture
1	Abidjan (District)	ABDJ	195-56 196-56	18/01/1986 30/12/1990	02/02/2000 15/03/2001	25% (Côté est) 75%(Côté ouest)
2	Agnéby-Tiassa	AGTI	196-56	30/12/1990	15/03/2001	100%
3	Cavally	CAV	198-55 198-56 199-55	07/01/1986 09/03/1988 14/01/1986	08/12/2006 01/01/2004 25/02/2007	20% (Côté nord) 75% 5% (Côté ouest)
4	Gbôklè	GBO	196-56 197-56 197-57	30/12/1990 16/01/1986 16/01/1986	15/03/2001 18/02/2001 23/04/2001	4% (Côté est) 90% 6% (Côté sud)
5	Gôh	GOH	196-56 197-55 197-56	30/12/1990 16/01/1986 16/01/1986	15/03/2001 20/01/2002 18/02/2001	3% (Côté est) 7% (Côté nord) 90%
6	Gontougo	GONT	195-54 195-55 196-54 196-55	12/11/1986 18/01/1986 09/01/1986 24/02/1988	02/02/2000 02/02/2000 29/01/2002 26/01/2001	30% (Côté nord-est) 30% (Côté sud-est) 20% (Côté nord-ouest) 20% (Côté sud-ouest)
7	Grands Ponts	GPON	196-56	30/12/1990	15/03/2001	100%
8	Guemon	GUE	198-55 198-56	07/01/1986 09/03/1988	08/12/2006 01/01/2004	98% 2% (Côté sud)
9	Haut-Sassandra	HSAS	197-55 197-56 198-55	16/01/1986 16/01/1986 07/01/1986	20/01/2002 18/02/2001 27/01/2002	55% (Côté est) 25% (Côté sud) 20%(Côté ouest)
10	Iffou	IFFOU	196-54 196-55	09/01/1986 24/12/1988	29/01/2002 21/01/2005	2% (Côté nord) 98%
11	Indénié-Djuablin	INDJU	195-55 195-56 196-55	18-01-1986 18-01-1986 24-12-1988	02-02-2000 02-02-2000 26-01-2001	45% (Côté nord) 45% (Côté sud) 10 % (Côté ouest)
12	Lôh-Djiboua	LOH	196-56 197-56	30/12/1990 16/01/1986	13/04/2000 23/04/2001	50% (Côté est) 50% (Côté ouest)
13	Marahoué	MARA	197-55	16/01/1986	16/01/2002	100%

14	Mé	ME	195-56 196-56	18/01/1986 30/12/1990	02/02/2000 15/03/2001	60% (Côté est) 40% (Côté ouest)
15	Nawa	NAWA	197-56 198-55 198-56	16/01/1986 07/01/1986 09/03/1988	18/02/2001 08/12/2006 27/04/2000	75% (Côté est) 2% (Côté nord) 23% (Côté ouest)
16	N'zi et Moronou	NZIMO	196-55 196-56	24/12/1988 30/12/1990	21/01/2005 13/04/2000	70% (Côté nord) 30% (Côté sud)
17	San-Pédro	SANP	197-56 197-57 198-56 198-57	16/01/1986 16/01/1986 09/03/1988 04/01/1985	23/04/2001 23/04/2001 01/01/2004 03/01/2005	20% (Côté nord-est) 30% (Côté sud-est) 25% (Côté nord-ouest) 25% (Côté sud-ouest)
18	Sud-Comoé	SCO	195-56	18/01/1986	02/02/2000	100%
19	Tonkpi	TON	198-54 198-55 199-55	07/01/1986 07/01/1986 14/01/1986	08/12/2006 08/12/2006 25/02/2007	5% (Côté nord) 85% 10% (Côté ouest)

2.3 MÉTHODE

➤ Extraction du couvert forestier dense de la décennie 1960

La carte de la végétation de [11] a été géoréférencée à partir de "ArcMap 10" du logiciel "ArcGIS 10". Le contour des différents types de formations forestières denses a été digitalisé. Dans la table attributaire, les champs "type" pour le type de formations forestière et "sp_caracte" pour les espèces caractéristiques ont été ajoutés. La numérisation des différentes forêts avec la notification de leur type et des espèces qui les caractérisent a permis d'avoir une base de données sur la couverture forestière dense humide de la Côte d'Ivoire. Après l'ajout d'un champ "Area", nous avons calculé la surface des forêts avec "ArcMap". La base de données sur la couverture forestière de la décennie 1960 va permettre déterminer les caractéristiques spécifiques de celles des décennies 1980 et 2000.

➤ Caractérisation du couvert forestier des décennies 1980 et 2000

Les images satellitaires des décennies 2000 et de 1980 ont été l'objet de plusieurs traitements. Les techniques classique de rehaussement linéaire, de composition colorée (RVB des bandes ETM3, ETM4 et ETM5 du satellite Landsat-7 ETM+ de même que, TM3, TM4 et TM5 de Landsat-5 TM), de classification non supervisée (Isodata) ont permis d'interpréter visuellement nos images pour aboutir à la classification supervisée. Cette interprétation visuelle a permis de retenir les classes suivantes lors de la classification supervisée basée sur la méthode du maximum de vraisemblance.

Classe 1 : Forêt dense (Fd), caractérise les formations forestières denses essentiellement présentes dans les aires protégées, c'est la classe qui constitue l'essence de cette étude.

Classe 2 : Forêt secondaire dégradée, Jachère arboré (Ja) et Cultures pérennes (Cp), ces thèmes ont été regroupés parce qu'ils présentent des propriétés spectrales semblable et sur le terrain ils se présentent souvent sous forme de mosaïque.

Classe 3 : Jachère herbacée arbustive (Jha), ce sont essentiellement des savanes arbustives avec une strate herbacée importante.

Classe 4 : Sol nu (SolN), caractérise les surfaces dénudées et souvent de savanes desséchées ou les propriétés spectrales du sol sont prépondérantes.

Classe 5 : Cours ou réservoir d'eau (EauCR).

En fonction de la région d'étude, d'autres classes peuvent être ajoutées. C'est le cas des classes suivantes :

Classe 6 : Forêt marécageuse (Fd2), présente des propriétés spectrales différentes de celles des forêts denses sur terre ferme dues à de la présence de l'eau, c'est le cas de la région du Sud Comoé.

Classe 7 : Zone brûlée (Zb), présente dans la région de la Marahoué pendant la décennie 1980 à cause des feux de brousse liés à la sécheresse ; Cette période de forte sécheresse en Afrique de l'ouest est observée par [14] et [15].

Le nombre de classe varie d'une image à l'autre. Le tableau 2 présente l'exemple de la description des classes (ou région d'intérêt, "region of Interest", ROI) utilisées dans la classification de l'image du 20/01/2002 de la région de la Marahoué.

Tableau 2. ROI utilisées dans la classification de l'image du 20/01/2002 de la région de la Marahoué

Image	Couleurs	Description	Identifiant	ROI
Isodata10C	Bleu	Fd	1	Roi00Mara_Fd
Isodata10C	Jaune, Magenta	Fsd, Ja, Cp	2	Roi00Mara_FsdJa
Isodata10C	Violet	Jha	3	Roi00Mara_Jha
CC345	-	Zb	4	Roi00Mara_Zb
CC345	-	SolN	5	Roi00Mara_SolN
CC345	-	EauCR	6	Roi00Mara_EauCR

Isodata10C=image de la classification non supervisée avec 10 classes, CC345= Composition colorée RVB, ETM3,4 et 5, Roi00Mara_x= fichier vecteur du ROI, dans le filtre Roi00Mara 00 représente la décennie 2000 et Mara pour la région Marahoué.

La digitalisation des ROI a été réalisée en tenant compte du nombre de bandes utilisées dans la classification. Selon [16] au moins 10n pixels de ROI sont collectés pour une classification avec n représentant le nombre de bandes. Pour cette étude les six bandes ont été utilisées dans la classification supervisée avec l'algorithme du maximum de vraisemblance. Cet algorithme qui effectue une classification statistique offre de meilleurs résultats ([17], [18], [19]). L'évaluation de la classification supervisée est basée la matrice de confusion à travers la comparaison de l'image classifiée avec des sites de vérification a priori différents des parcelles d'entraînement. Pour cette étude, la classification est retenue lorsque la précision cartographie est supérieure à 90%. L'accent a été mis sur la classe des forêts denses pour laquelle une faut moins confusion avec les autres thèmes. Le traitement des images satellitaires a été réalisé avec le logiciel "ENVI 4.5".

Après la classification supervisée, la classe des forêts denses (avec dans certain cas celle des forêts marécageuses) a été exporté sur le logiciel "ArcGIS 10" au format "Shapefile". Pour avoir une table attributaire avec la caractérisation spécifique des forêts denses, la carte de la décennie 1980 est croisée avec celle de la décennie 1960 grâce à la fonction "intersect" du logiciel "ArcGIS". Cela permet d'avoir une carte avec la répartition spatiale des différents types de forêt dense humide tels que déterminés par [12]. Le résultat de la décennie 1980 est, à son tour, croisé avec la couverture forestière de la décennie 2000. Après ces intersections, la surface des différents types de forêts a été calculée sur "ArcGIS 10". La mosaïque du couvert forestier dense des régions a permis d'avoir la couverture forestière de l'ensemble de la zone d'étude.

3 RESULTATS

3.1 COUVERTURE FORESTIÈRE DENSE HUMIDE DE LA CÔTE D'IVOIRE PENDANT LA DÉCENNIE 1960

Le couvert forestier de cette décennie est extrait de la carte de la végétation de [11]. La figure 2 présente la distribution spatiale des forêts denses humides de la Côte d'Ivoire pendant la décennie 1960. Elles couvrent **8,45 millions ha**. Le couvert forestier de cette décennie est caractérisé par la présence de grands blocs essentiellement localisé à l'ouest. Le tableau 3 présente la superficie des différents secteurs phytogéographiques et leur proportion au niveau de la couverture forestière totale de la Côte d'Ivoire.

Tableau 3. Superficie des forêts denses des secteurs phytogéographiques pendant la décennie 1960

Secteurs phytogéographiques	Superficie en (x 1000 ha)	Proportion (%)
Forêts denses humides sempervirentes (FDHS), Secteur ombrophile	4 347	51
Forêts denses humides semi décidues (FDHSD), Secteur mésophile	3 682	44
Zone de transition entre FDHS et FDHSD	305	4
Forêts marécageuses et mangroves, Secteur littoral	117	1
Total	8 450	100

Ce tableau montre une forte présence des forêts denses humides sempervirentes et des forêts semi décidue.

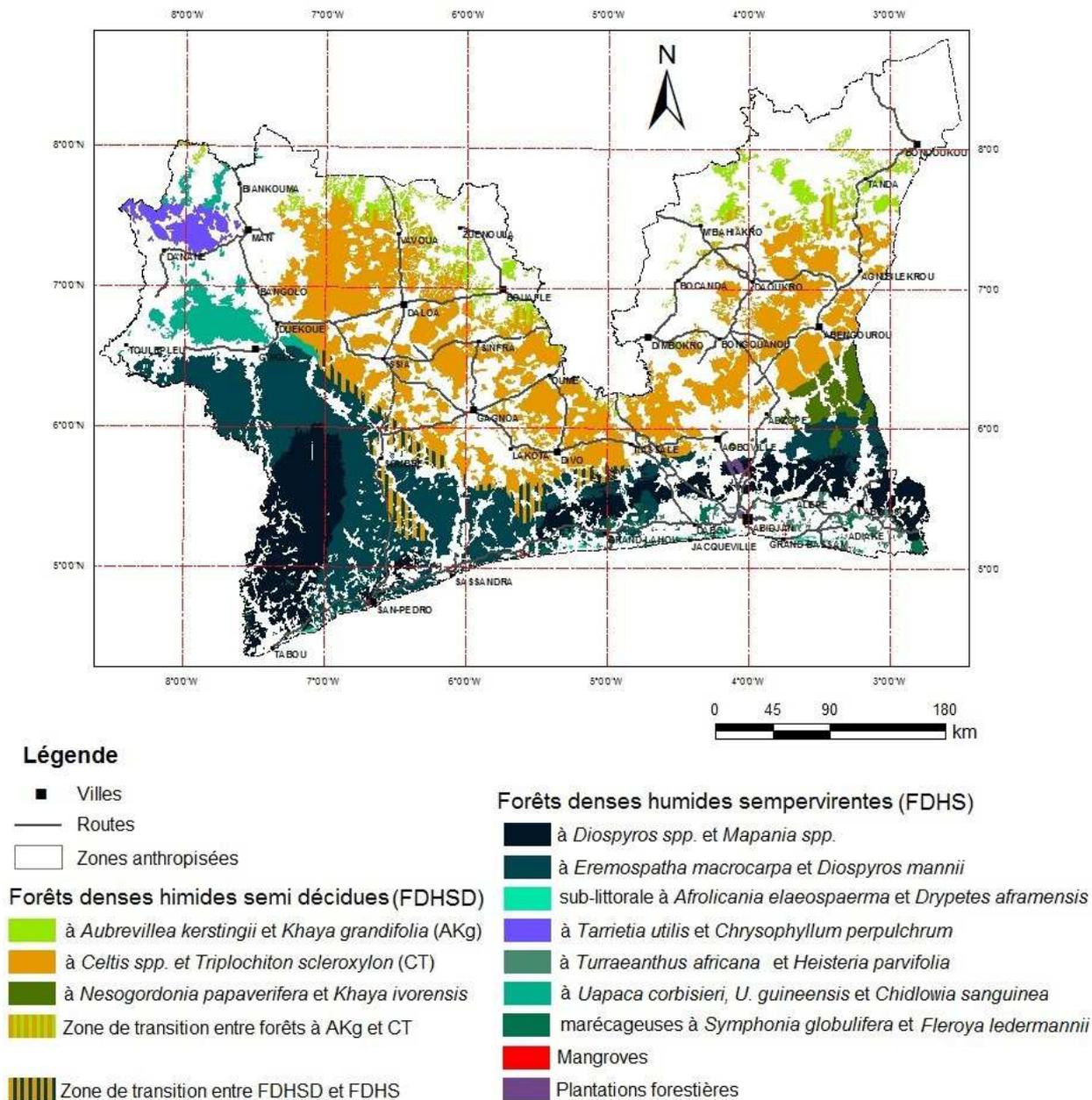


Fig. 2. Couverture forestière dense humide de la Côte d'Ivoire, décennie 1960

3.2 COUVERTURE FORESTIÈRE DENSE HUMIDE DE LA CÔTE D'IVOIRE PENDANT LA DÉCENNIE 1980

La décennie 1980 présente une forte baisse de la couverture forestière en Côte d'Ivoire. Elle est estimée à environ **2,6 millions ha**. La proportion du couvert forestier perdu depuis la décennie 1960 est de 69%. Cette perte correspond à un taux de déforestation de 2,78% par an. La répartition spatiale de la forêt dense humide des années 1980 est présentée par la figure 3. À l'exception des grands blocs qui semblent être localisés dans les aires protégées, le couvert forestier de cette décennie présente un aspect tigré dû à la fragmentation des forêts. Le plus grand bloc forestier est localisé dans le triangle Guiglo - Tabou – Sassandra. Il s'agit du Parc National de Taï, de la réserve du N'zo et de la Forêt classée du Haut Dodo.

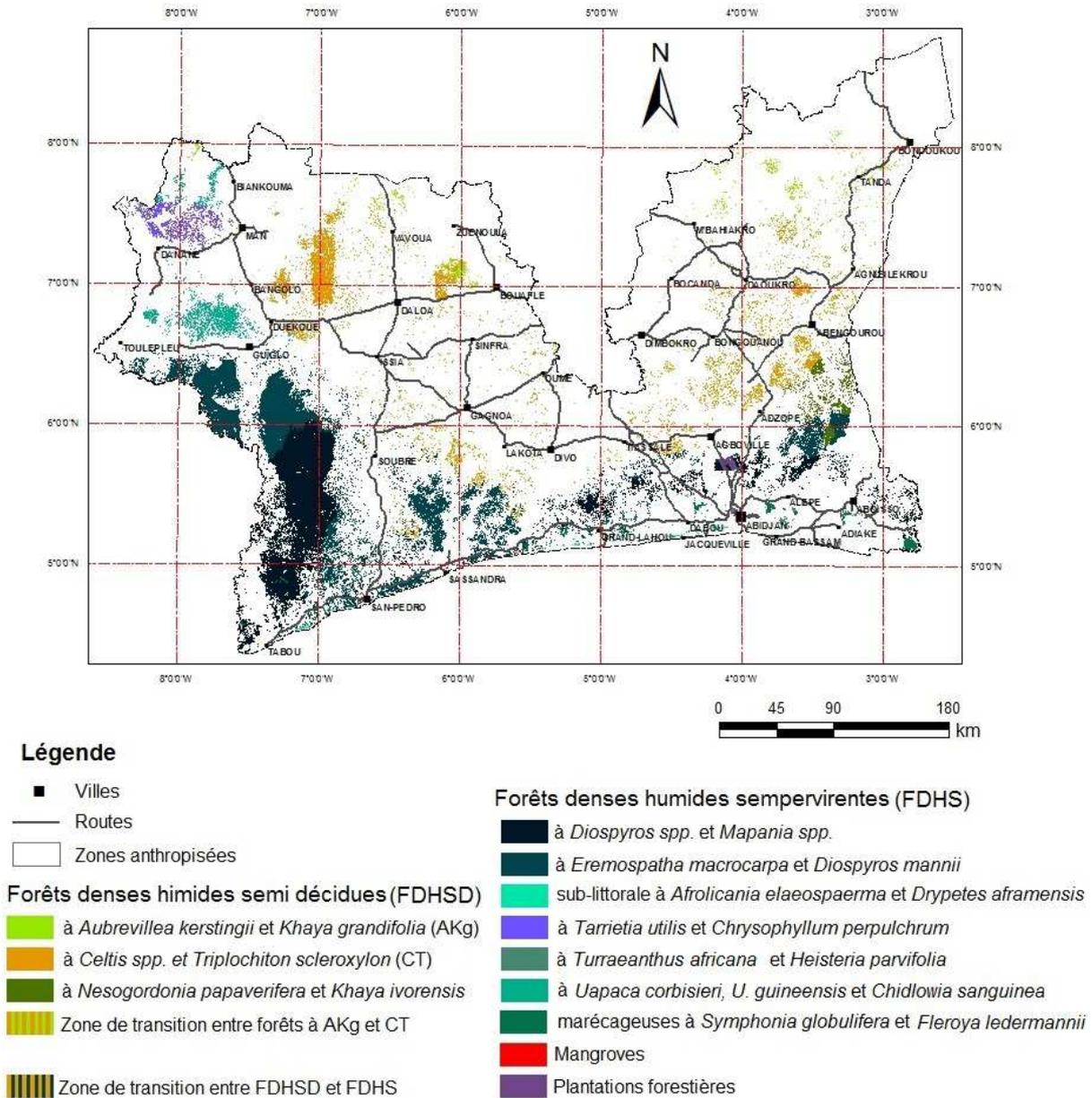


Fig. 3. Couverture forestière dense humide de la Côte d'Ivoire, décennie 1980

Le tableau 4 présente la superficie forestière des secteurs phytogéographiques, leur proportion et le Taux de Déforestation Globale (TDG) qui correspond au taux des superficies perdues. Il montre que les forêts denses humides sempervirentes constituent l'essentielle de la couvert forestier de cette décennie (73%). Les forêts denses humides semi décidues, compte tenu de leur superficie pendant la décennie 1960, ont connues très forte perte (84%). Globalement, les forêts denses humides de la Côte d'Ivoire ont perdues près de 70% de leur surface des années 1960 aux années 2000.

Tableau 4. Superficie des forêts denses des secteurs phytogéographiques pendant la décennie 1980

Secteurs phytogéographiques	Superficie en (x 1000 ha)	Proportion (%)	TDG 1960- 1980 (%)
Forêts denses humides sempervirentes (FDHS), Secteur ombrophile	1 928	73	56
Forêts denses humides semi décidues (FDHSD), Secteur mésophile	603	23	84
Zone de transition entre FDHS et FDHSD	44	2	86
Forêts marécageuses et mangroves, Secteur littoral	52	2	56
Total	2 627	100	69

3.3 COUVERTURE FORESTIÈRE DENSE HUMIDE DE LA CÔTE D'IVOIRE PENDANT LA DÉCENNIE 2000

La couverture forestière au début du 21^{ème} siècle est d'environ **1,385 millions ha**. Près de la moitié de la couverture forestière des années 1980 (47%) est perdu pendant la décennie 2000 (Tableau 5). Cette perte correspond à un taux de déforestation de 1,86% par an. Depuis la décennie 1960, le couvert forestier dense humide perdu est un peu plus de 7 millions ha soit 84% de sa surface. Cela correspond à un taux de déforestation annuelle de 1,66% pour une durée de 50 ans. Les forêts denses humides sempervirentes avec 84% constituent l'essentielle du couvert forestier dense actuel de la Côte d'Ivoire. Le secteur mésophile a été le plus affecté par la déforestation en Côte d'Ivoire (Tableau 5).

La distribution spatiale des formations de forêt dense humide de la décennie 2000 est présentée par la figure 4. Le couvert forestier dense est essentiellement localisé dans les forêts classées. Le plus grand bloc forestier est toujours localisé dans le triangle Guiglo - Tabou – Sassandra.

Tableau 5. Superficie des forêts denses des secteurs phytogéographiques pendant la décennie 2000

Secteurs phytogéographiques	Superficie en (x 1000 ha)	Proportion (%)	TDG 1960- 1980 (%)	TDG 1960- 1980 (%)
Forêts denses humides sempervirentes (FDHS), Secteur ombrophile	1 161	84	40	73
Forêts denses humides semi décidues (FDHSD), Secteur mésophile	189	14	69	95
Zone de transition entre FDHS et FDHSD	6	0	86	98
Forêts marécageuses et mangroves, Secteur littoral	29	2	44	75
Total	1 385	100	47	84

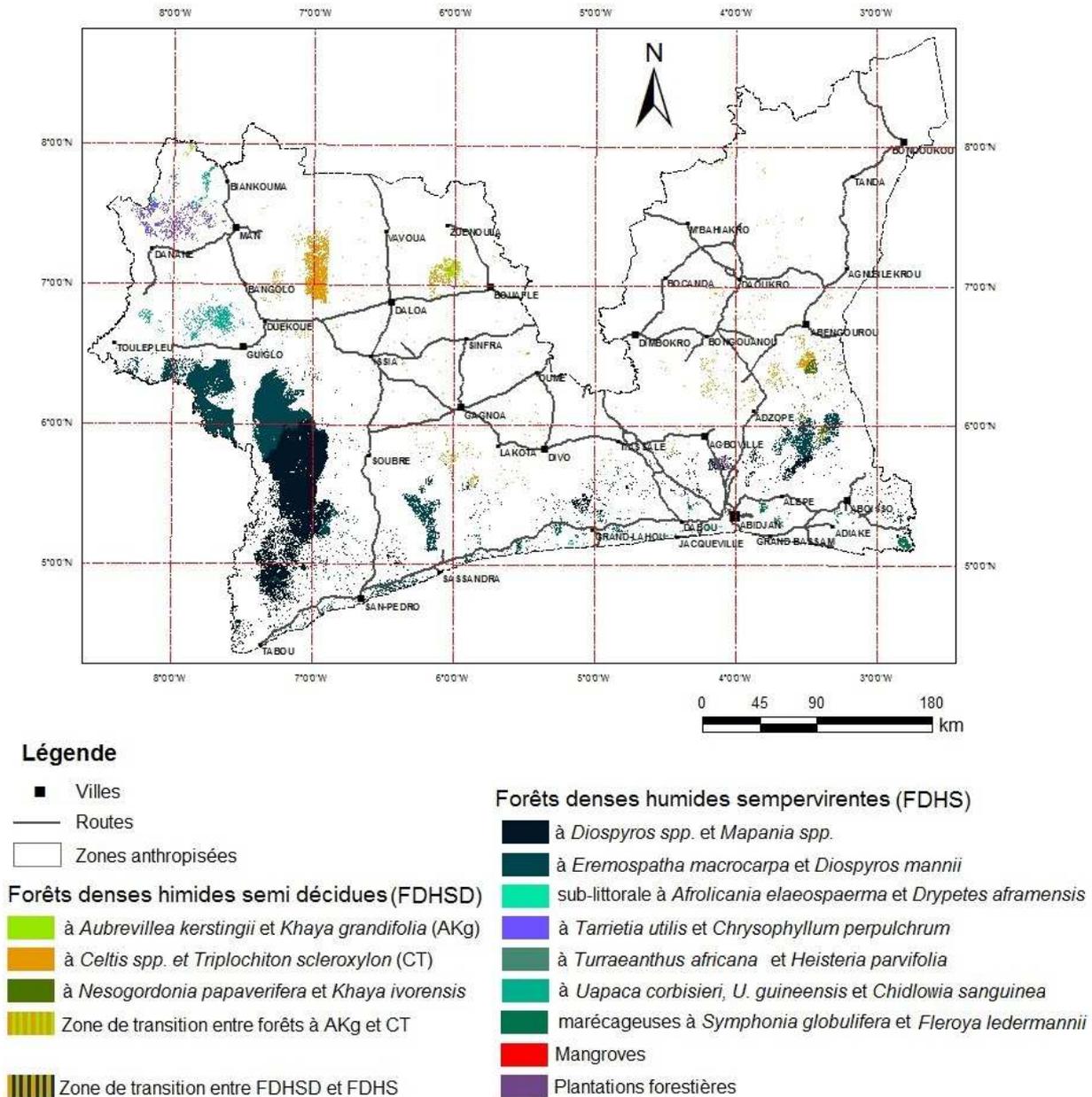


Fig. 4. Couverture forestière dense humide de la Côte d'Ivoire, décennie 2000

4 DISCUSSION

4.1 ESTIMATIONS DU COUVERT FORESTIER DE LA DÉCENNIE 1960

Les différentes estimations du couvert forestier pendant la décennie 1960 varient entre 8 et 10 millions d'hectares. C'est le cas en 1966 de [20], 8,985 millions ha et en 1967 de [7], 9,8 millions ha. La surface forestière obtenue par la présente étude (8,45 millions ha) semble proche de celle de [20]. La différence entre ces résultats serait liée à leur approche méthodologique. Ainsi, l'évaluation de [20] résulte de l'estimation du potentiel de bois d'œuvre et celle de [7], de l'extrapolation de l'analyse d'un échantillon de 170 photographies aériennes. La carte de la végétation de [11] a été réalisée à partir de photographies aériennes prises entre 1954 et 1956, suivi d'une mise à jour sur le terrain. Cette carte donne une représentation plus réaliste du couvert forestier ivoirien [1]. La référence [21] a obtenu couverture forestière de 8,64 millions ha en utilisant la même carte de [11]. Cette différence montre la limite de la méthode de cartographie utilisée qui serait liée à la précision de la digitalisation des cartes. Pour plus de précision, le calcul des surfaces, a été réalisé dans les différentes régions du pays en tenant compte leur zone UTM (29N ou 30N).

4.2 ESTIMATIONS DU COUVERT FORESTIER DE LA DÉCENNIE 1980

Divers auteurs ont tenté d'évaluer la couverture forestière de la Côte d'Ivoire pendant la décennie 1980. Ainsi, elle est estimée à environ 3,295 millions ha en 1980 par [2], à 4,46 millions ha toujours en 1980 par [20], à 3,623 millions ha en 1981 par [8] et à 4,458 millions ha par [22]. Selon [1], les chiffres portant sur l'année 1980 présente de graves lacunes dans leur évaluation du couvert forestier. Ainsi, ces résultats sont loin de celle de la présente étude qui évalue le couvert forestier à environ 2,627 millions ha. Ce résultat dérive de la classification d'images satellitaires de haute résolution. Ces images permettent d'identifier avec plus de précision les formations forestières [18]. La couverture forestière de cette décennie est plus proche de celle obtenue par [4] en 1992 qui estime la surface des forêts denses à environ 2,7 millions ha. Cette valeur résulte du traitement d'image NOAA/AVHRR de résolution spatiale. La différence entre les estimations est plus liée aux divers approches méthodologiques utilisées.

4.3 ESTIMATIONS DU COUVERT FORESTIER DE LA DÉCENNIE 2000

La référence [10] a estimé la surface des forêts denses en Côte d'Ivoire à 1,124 millions ha. Cette surface est très proche de celle obtenu par la présente étude qui est de 1,385 millions ha. La légère différence entre ces résultats serait liée à la résolution spatiale des images satellitaires utilisées. [10] a utilisé des images SPOT/VEGETATION, de faible résolution, comparable à celle de NOAA/AVHRR. Cette étude, en utilisant des images LANDSAT/ETM de haute résolution, permet une cartographie beaucoup plus fine des formations forestières. La présente étude a caractérisé le couvert forestier de cette décennie avec une série d'images allant 2000 à 2007. L'état des formations forestières est assez variable sur ces images. Cela pourrait aussi expliquer la différence entre les résultats obtenus.

Les analyses des variations du couvert forestier peuvent être altérées par la définition du terme "forêt" [1]. Ce terme englobe aussi bien les forêts denses que les forêts secondaires dégradées. Les forêts denses sont essentiellement concernées par le phénomène de la dégradation. Elles subissent généralement des pertes de surface. Les forêts secondaires sont concernées par les phénomènes de la dégradation et de la régénération [23]. Elles peuvent être défrichées à certains endroits et se reconstituer ailleurs à la suite d'abandon. Dans le cadre de la présente étude le couvert forestier est celui des forêts denses humides. Cela est conforme à la définition de [24] qui considère cet écosystème comme un couvert végétale dominé par les arbres sans sous étage d'herbe. Cette définition a été utilisée aussi par [8], [25], et [10].

4.4 CAUSES DE LA DÉFORESTATION EN CÔTE D'IVOIRE

La déforestation en Côte d'Ivoire a affecté tous les secteurs phytogéographiques. Les causes de la disparition rapide des massifs forestiers des années 1960 à celles de 2000 peuvent être résumées ainsi :

- les défrichements agricoles intensifiés à cause de la pression démographique et du développement des cultures d'exportations (café, cacao, ananas, hévéa, banane, palmier à huile, etc.) ;
- les feux de brousse, dont la pratique peut aggraver les effets des défrichements ; surtout pendant la décennie 1980 considérée comme très sèche par [14] et [15];
- l'exploitation forestière qui en plus des prélèvements de bois d'œuvre, va faciliter les défrichements par l'ouverture des voies d'accès dans les forêts ;
- la course à la terre vu que la terre appartient à celui qui la met en valeur ; cela est du à un code foncier rural pas clairement défini et qui va contribuer au défrichement de très grandes superficies de forêts [2] ;
- le soutien des prix du café et du cacao à travers l'ex Caisse de Soutien et de Stabilisation des Prix du Café et du Cacao (CSSPCC) ; Il a encouragé les paysans à augmenter leurs superficies, contribuant ainsi à la déforestation.

Toutes ces causes ont conduit à la dégradation du domaine forestier de l'état de la Côte d'Ivoire. Le domaine forestier permanent de l'état (les aires protégées) couvre 2,4 millions ha en zone de forêt. Il devrait constituer en 1990 l'essentiel des réserves forestières du pays [2]. Au début du 21^e siècle, ce domaine n'a pas joué son rôle car le couvert forestier actuel est presque la moitié de sa superficie. Cela est du aux défrichements clandestins dans les aires protégées.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer avec une plus grande précision la couverture forestière de la Côte d'Ivoire pendant les décennies 1960, 1980 et 2000. La cartographie du couvert forestier (décennie 1980 et 2000) a été réalisée grâce au traitement des images satellitaires à haute résolution spatiale des satellites Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM+. Ainsi, la couverture forestière est estimée respectivement pour les années 1960, 1980 et 2000 à 8,45 millions ha, 2,627 millions ha et

1,385 millions ha. Cette évolution des surfaces de la forêt dense montre l'ampleur de la déforestation en Côte d'Ivoire où près de 84% du couvert forestier des années 1960 est perdu en 2000.

Les défrichements agricoles du fait de la pression démographique sont les principales causes de la déforestation en Côte d'Ivoire. Tous les secteurs phytogéographiques ont connu une forte dégradation et une fragmentation de leur surface. Ainsi, la biodiversité animale et végétale est fortement menacée. Cette menace doit conduire à mieux protéger le peu de surface des forêts denses restantes. Il s'agira alors de déterminer avec précision la surface des forêts denses qui constitue le domaine permanent de l'état et à prendre les mesures idoines pour leur aménagement et leur protection.

REMERCIEMENTS

Merci à l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) qui nous a accordé une bourse de mobilité en 2010 et au Laboratoire de Géomatique Environnementale (LGE) de la Faculté de foresterie de l'Université de Moncton, Campus d'Edmundston au Canada qui nous a hébergé pour ce stage. Nous tenons également à remercier la "Global Land Cover Facility" (<http://glcfapp.glcf.umd.edu>), pour la mise à disposition des images satellitaires utilisées dans cette étude.

REFERENCES

- [1] J. Fairhead and M. Leach, *Reframing deforestation: Global analyses and local realities – studies in West Africa*, London, 227 p, Londre: Routledge, 1998.
- [2] A. Bertrand, "La déforestation en zone de forêt en Côte d'Ivoire," *Bois et forêts des tropiques*, vol. 202, pp. 3-17, 1983.
- [3] L. Aké-Assi et D. Boni, "Développement agricole et protection de la forêt. Quel avenir pour la forêt ?," *Mitt. Inst. Allg. Bot.*, vol. 23, n°a, pp. 169-176, 1988.
- [4] R. Päivinen, J. Pitkanen and R. Witt, "Mapping closed forest cover in West Africa, using NOAA/AVHRR-LAC data.," *Silva Carelica*, vol. 21, pp. 27-51, 1992.
- [5] J. F. Quinn and S. P. Harrison, "Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: evidence from biogeographic patterns.," *Oecologia*, vol. 75, pp. 132-140, 1988.
- [6] J. P. Gibbs, "Distribution of woodland amphibians along a forest fragmentation gradient," *Landscape Ecology*, vol. 13, pp. 263-268, 1998.
- [7] J. P. Lanly, "La régression de la forêt dense en Côte d'Ivoire," *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 127, pp. 45-59, 1969.
- [8] FAO, "Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales. Les ressources forestières de l'Afrique tropicale," Technical Report 2, Rome, 1981.
- [9] H. Dao, "Connaissance de l'environnement et systèmes d'information géographiques : le cas de la déforestation en Côte d'Ivoire.," *Thèse, Université de Genève*, 370 p, 1999.
- [10] P. Mayaux, E. Bartholomé, M. Massart, C. Van Cutsem, A. Cabral, A. Nonguierma, O. Diallo, C. Pretorius, M. Thompson, M. Cherlet, J. F. Pekel, P. Defourny, M. Vasconcelos, A. Di Gregorio, S. Fritz, G. De Grandi, C. Elvidge, P. Vogt and A. Belward, "A land cover map of Africa.," European Communities, Luxemburg, 2003.
- [11] J. L. Guillaumet et E. Adjanohoun, "Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire," E : 1/500 000. Feuilles Sud-Est et Sud-Ouest, ORSTOM, Bondy, 1969.
- [12] J. L. Guillaumet et E. Adjanohoun, *La végétation naturelle de la Côte d'Ivoire*, In : J. M. Avenard, M. Eldin, G. Girard, J. Sir Coulin, P. Touchebeuf, et A. Perraud, (Eds.), *Le milieu naturel de la Côte.*, vol. 50, Mémoire ORSTOM, pp. 161-261, 1971.
- [13] LTAAH, "Étude de faisabilité des forages manuels identification des zones potentiellement favorables.," *Rapport UFR STRM, Abidjan*, 73 pp., 2009.
- [14] S. E. Nicholson, "Sub-Sahara rainfall in the year 1976-1980 : Evidence of continued drought," *Monthly Weather Review*, vol. 3, pp. 1646-1654, 1983.
- [15] J. E. Paturol, B. Kouamé, E. Boyer et J. F. Servat, "Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahéenne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin," *Sécheresse*, vol. 6, n°11, pp. 95-102, 1995.
- [16] E. Tonyé, A. Akono et A. N. Nyongui, "Le traitement des images de télédétection par l'exemple," *Manuel utilisation VOIR*, 1999.
- [17] F. Achard, "Étude des rythmes saisonniers de la végétation en Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale," *Thèse Université Paul Sabatier Toulouse, France*, 246 p, 1989.
- [18] C. Chatelain, "Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière," *Thèse Université de Genève, Suisse*, 206 p, 1996.
- [19] M. Koné, A. Aman, C. Y. Adou Yao, L. Coulibaly et K. E. N'guéssan, "Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en Côte d'Ivoire," *Télédétection*, vol. 7, n°11-2-3-4, pp. 432-452, 2007.

- [20] CTFT, "Propositions méthodologiques pour la cartographie forestière," *Rapport techniques CTFT, Nogent sur Marne*, 62 p, 1988.
- [21] C. Chatelain, H. Dao, L. Gautier and R. Spichiger, *Forest cover changes in Côte d'Ivoire and Upper Guinea*, In : L. Poorter, F. Bongers, F. N. Kouamé and W. D. Hawthorne (Eds.) *Biodiversity of West African Forests, An Ecological Atlas of Woody Plant Species*, CABI Publishing, pp. 15-32, 2004,.
- [22] FAO, "An interim report on the state of forest resources in the developing countries.," Rome, 1988.
- [23] M. Koné, L. Coulibaly, D. F. Malan, D. F. R. Neuba, Y. L. Kouadio, F. H. Tra BI et K. E. N'Guessan, "Apport de la télédétection spatiale à l'étude de l'impact de la cacao-culture sur la déforestation dans la région de l'Indénié-Djuablin, à l'est de la Côte D'ivoire," *European Journal of Scientific Research*, vol. 98, n°14, pp. 489-509, 2013.
- [24] J. B. Hall, "Conservation of forest in Ghana," *Universitas*, vol. 8, pp. 33-42, 1987.
- [25] J. Sayer, C. S. Harcourt andt N. M. Collins, *Conservation atlas of tropical forests: Africa*, Conservation Monitoring Centre & UICN, 1992.