

**Changement de couverture forestière dans le département de la Likouala dans la période de
1986 à 2015, République du Congo.**

Leslie Bouetou-Kadilamio¹, PhD student

Laboratoire de Géomatique et Ecologie Tropicale Appliquée

Brazzaville, République of the Congo

Suspense Averti Ifo^{1*}, PhD Assistant Professor

¹Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie

Tropicale Appliquée,

Université Marien N'GOUABI, BP 69,

Brazzaville, République of the Congo

Stoffenne Binsangou¹

¹Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie

Tropicale Appliquée,

Université Marien N'GOUABI, BP 69,

¹Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie

Tropicale Appliquée,

Université Marien N'GOUABI, BP 69,

Brazzaville, République of the Congo

Résumé

Une étude sur le Changement de la couverture forestière a été réalisée dans le département de la Likouala en République du Congo dans la période de 1986 à 2015. La superficie totale de la zone d'étude est de 155274 ha. Celle-ci avait pour but de calculer les superficies des différentes conversions des terres dans la période d'étude, mais aussi d'identifier les causes de la déforestation et de la dégradation des terres forestières. Les images Landsat TM (1986), ETM+ (2001) et OLI (2015) ont été utilisées pour réaliser cette étude. La méthode de la classification supervisée avec l'algorithme du "maximum vraisemblance" a été obtenue pour obtenir les différentes cartes d'occupation du sol. Les résultats révèlent que la forêt est passée de 133,624 hectares de forêts intactes en 1986 à 126980,89 ha de forêt primaire en 2001 et à 114,166 ha de forêt en 2015. Par ailleurs on a noté des augmentations ou des régressions de superficies des autres types d'occupation du sol.

Il ressort de cette étude que l'agriculture est le principal moteur de la conversion des terres forestières vers les terres non forestières. Vu l'importance de la couverture des forêts perdues, il apparaît urgent de renforcer la gestion durable de ces écosystèmes en vue d'une lutte contre les changements climatiques.

Mots clés : Forêt, Likouala, Landsat, Déforestation, République du Congo.

Abstract

A study on the change of forest cover was carried out in the Department of Likouala, Republic of Congo for the period from 1986 to 2015. The total area study was of 155274 ha. It was intended to calculate the areas of the different land conversions in the study period, but also to identify the causes of deforestation and forest land. Landsat TM (1986), Etm + (2001), and Oli (2015) images were used to carry out this study. The method of classification supervised with the algorithm of "maximum likelihood" was applied to obtain the different maps of land type. The results revealed the lost of forest, with 133.624 hectares of intact forests in 1986, 126980.89 ha of intact forests in 2001 and 114.166 ha of intact forests in 2015. There were also increases or regressions in areas of other types of land tenure.

This study shows that agriculture is the main driving force for the conversion of forest land to non-forest land. Given the importance of the coverage of lost forests, it appears urgent to strengthen the sustainable management of these ecosystems with a view to combating climate change.

Key words: Forest, Likouala, Landsat, deforestation, Republic of Congo.

Introduction

La situation du couvert forestier en République du Congo n'est pas uniforme sur l'ensemble du pays et varie en fonction de la densité de la population, de la qualité des infrastructures de base, du transport, de la richesse des forêts, de l'historique de leur exploitation enfin de l'existence de zones urbaines (NERF, 2016).

En effet, ces forêts subissent plusieurs changements et conversion des terres. Ces conversions peuvent avoir des impacts importants non seulement sur les flux et stocks de carbone, mais aussi sur la biocénose ainsi que sur les services écosystémiques de la forêt. Elles entraînent des émissions et absorptions des GES (GIEC, 2006).

Plusieurs études sur les changements de couverture forestière ont été faites ces dernières années en République du Congo. Ces études ont concerné la période 2000-2010. Mais d'autres études portent sur la période 2000-2013 (Global Forest Change). En considérant les études antérieures sur les pertes des forêts en République du Congo dans la période de 2000-2010, les pertes suivantes avaient été obtenues, GAF=112,452 ha ; FACET = 169,903 ha, alors que le produit Global Forest Change donnait un chiffre de 307,735 ha. Une étude plus récente publiée par le CNIAF sur les pertes dans la période de 2000-2014 arrive à des pertes de 295,957 ha soit une moyenne annuelle de 21,140 ha, avec un taux de perte de 0,062% (CNIAF, 2015).

Dans son étude, Makaya (2015) affirme que ces pertes de forêts concernent à 76 % les forêts primaires et à 24% les forêts secondaires. Par ailleurs, elle affirme que différents facteurs participent à des proportions différentes aux pertes : les infrastructures (29%), l'exploitation forestière (21%) et l'agriculture (20%).

Les causes de la déforestation et de la dégradation ont été étudiées par plusieurs auteurs (Geist et Lambin, 2001 ; Zhang et Guindon, 2005 ; Duveiller *et al.*, 2008 ; Tchatchou *et al.*, 2015). Elles sont multiples et l'on distingue les causes directes et les causes indirectes.

Les études ont été menées par le NERF(2016) afin de déterminer les différentes causes qui sont à l'origine de la déforestation et la dégradation des forêts en République du Congo. Plusieurs causes ont

été identifiées parmi lesquelles : la pratique non durable de l'agriculture itinérante sur brûlis, la production et consommation non durable du bois énergie ; l'exploitation forestière non durable ou illégale ;

Notre étude a été menée dans le département de la Likouala qui a la plus vaste étendue du couvert forestier (85 % du département). Cette étude a pour but de comprendre les moteurs de la déforestation dans cette localité ainsi que leur évolution dans la période d'étude considérée.

La présente étude a le mérite qu'elle s'étale sur 29 ans et a lieu sur l'une des régions la plus couverte des forêts de la République du Congo, le département de la Likouala.

I. Matériels et méthodes

1.1. Zone d'étude

La zone d'étude est située au nord de la République du Congo dans le Département de La Likouala qui couvre une superficie totale de 155274 ha. Elle est comprise entre $1^{\circ}27'52,85''$ et $2^{\circ}6'55,76''$ de latitude Nord et entre $17^{\circ}52'35,04''$ et $18^{\circ}04'32,65''$ de longitude Est. Cette zone regroupe les entités administratives d'Impfondo et de Dongou (figure 1°).

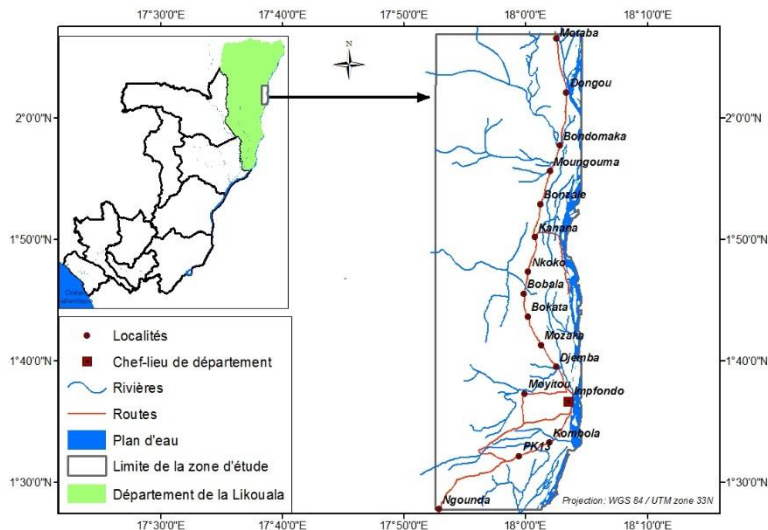


Figure 1: Localisation de la zone d'étude, département de la Likouala.

1.1.1. Climat

Le climat qui règne dans le département s'apparente aux climats équatoriaux et tropicaux humides du type guinéen forestier (**Figure 2**).

1.1 2.Végétation

A l'exception de quelques rares espaces non forestiers, savanes, implantations humaines, cultures et jachères, lits des cours d'eau, sol nu (Nkokolo Nkaya, 2013), l'ensemble du Département de la Likouala est couverte par des forêts appartenant aux forêts denses humides sempervirentes (Vennetier, 1966). La végétation de la Likouala précisément vers Epena, présente un aspect très classique avec une succession en hauteur des diverses essences : l'étage dominant constitué des grands arbres 40 à 60 m de haut tel que Limba (*Terminalia superba*), Iroko (*Milicia excelsa*), Ayous (*Triplochiton scleroxylon*), Azobé (*Lophira alata*), etc. La forêt marécageuse règne sur presque toute la Likouala (forêt inondée et forêt inondable) Vennetier (1966). La zone d'étude montre une variabilité d'écosystèmes forestiers partant de la forêt exondée à la forêt inondée et à la forêt dégradée pour les raisons agricoles. Le département de la Likouala se caractérise par une faible densité de la population humaine, mais aussi l'existence d'une superficie importante de forêt inondée.

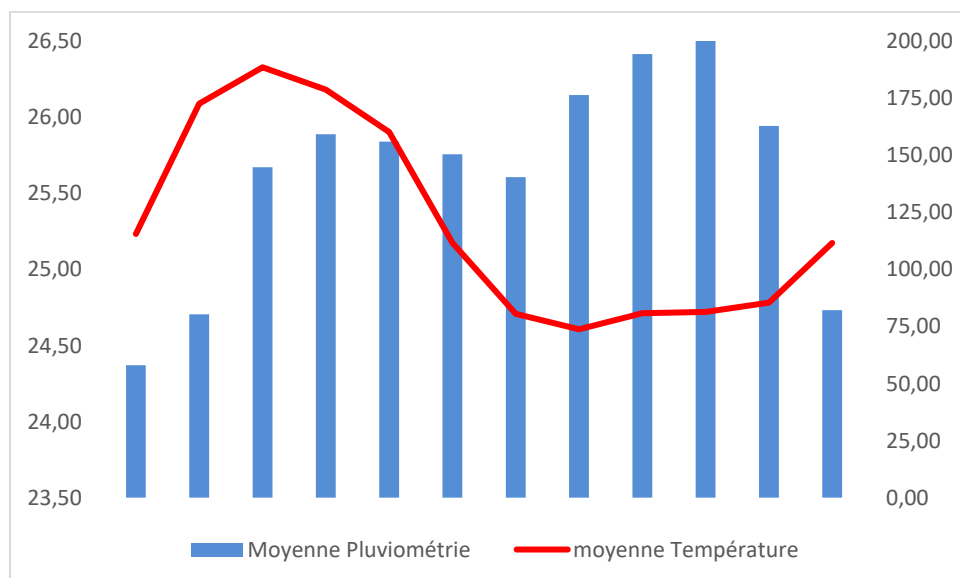


Figure 1 : Diagramme ombrothermique de la Likouala (moyenne de 1932-2015), ANAC Congo (2016)

1.2. Données et outils utilisés

Trois catégories de données ont servi à la réalisation de cette étude. La première catégorie est constituée des trois images satellitaires suivantes : une image TM du capteur Landsat datant du 18/12/1986, une image ETM+ datant du 18/02/2001 et une image OLI datant du 17/02/2015. Ces images satellitaires ont toutes été acquises en saison sèche. La seconde catégorie comprend des données dites auxiliaires. Elles sont composées des coordonnées géographiques (GPS), des observations directes sur le terrain et des cartes topographiques au 1/200.000 (feuilles d'Impfondo, de Dongou et de Gandou) ont constitué également des documents de référence. Une mission de terrain (septembre 2015) a permis de mieux discriminer les différents éléments de la zone. Ces données ont été traitées à l'aide des logiciels ENVI 5.1 et ArcGIS 10.2.

1.3. Prétraitements des images

Les prétraitements des images se résument en un ensemble d'opération, ayant pour but d'augmenter la lisibilité des images et de faciliter leur interprétation en vue d'une meilleure extraction de l'information. Les corrections radiométriques et atmosphériques ont été appliquées sur les images (Bonn et Rochon, 1992 ; Tabopda et Fotsing, 2010).

1.4. Traitements des images satellitaires

1.4.1. Calculs des indices de végétation

Deux indices ont été calculés, fournissant des informations sur les caractéristiques physiques et biologiques de la végétation: le Normalized Difference Vegetation Index ou indice de végétation normalisé $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$, qui a pour effet d'augmenter le contraste au niveau du thème « végétation chlorophyllienne » et de réduire ceux des autres thèmes (Lacombe, 2008) et le Brightness Index ou indice de Brilliance des sols $IB = \sqrt{R^2 + PIR}$ applique l'effet contraire (Bannari *et al.*, 1995) et met en évidence les éléments stériles (non chlorophylliens comme l'urbain et le sol nu).

1.4.2. Compositions colorées et la sélection des zones d'entraînement

Les deux indices créés ont été associés à la bande du proche infrarouge dans une composition colorée RVB (IB, NDVI et PIR) afin de mieux identifier les grands types de végétation. Sur ces compositions colorées, il a été procédé à une pré-interprétation visuelle (Brou *et al.*, 2008, Akadje *et al.*, 2014), des zones d'entraînement homogènes ont été choisies sur la base des données GPS, des informations reçues auprès des populations et des photos prises sur le terrain. Lors de ces opérations de saisies des zones d'entraînement, une attention particulière a été portée aux changements dus aux différences temporelles surtout pour les images de 1986 et de 2001. Pour s'assurer d'un contenu équivalent des classes d'occupation du sol de 2015 par rapport à 1986 et 2001, seuls les groupes de pixels inchangés ont été prioritairement sélectionnés. La sélection de ces zones d'entraînement était faite autour du point GPS de façon à obtenir les pixels représentant la classe d'occupation du sol les plus larges possibles tout en restant suffisamment minutieux pour ne pas intégrer différents types de classe. Ainsi, 78 points GPS ont permis de saisir les zones d'entraînement homogènes dans la zone d'étude. C'est ainsi on distingue onze (11) classes d'occupation du sol ont été dégagées en tenant compte de la classification de Yangambi (1956).

1.4.3. Classification supervisées

Sur la base des connaissances avérées du terrain, nous avons opté pour la classification supervisée avec l'algorithme du "maximum vraisemblance" (Koné *et al.*, 2007 ; Maman *et al.*, 2011). Cet algorithme utilise les statistiques des échantillons de parcelles d'entraînement pour calculer la probabilité d'appartenance de chaque pixel à l'une des classes d'occupation du sol qui a la plus forte probabilité (Skupinski, 2009 ; Shalaby *et al.*, 2007 ; Wu *et al.*, 2006).

1.4.4. Validation des classifications supervisées

Enfin, pour valider les classifications supervisées, des comparaisons entre les zones d'entraînement de départ et les nouvelles zones de validation dans lesquelles sont vérifiées les statistiques des pixels bien classés. Les résultats obtenus sont contenus dans des matrices de confusion. Ces matrices de confusion ont permis d'évaluer deux indices suivants : la précision globale (pourcentage de pixels correctement

classés par rapport à ceux mal classés) (Girard et Girard, 2010) et l'indice de Kappa (rapport entre le nombre de pixels bien classés et le total des pixels sondés) (Skupinski *et al.*, 2009). L'indice de Kappa informe sur la concordance entre les données à classer et les données de référence (Congalton, 1991). Cet indice constitue pour les télédéTECTEURS une mesure fiable dans l'évaluation des classifications thématiques (Stehman, 1996). L'indice de Kappa est malgré tout sensible aux erreurs de commission (Caloz et Collet, 2001) de la matrice de confusion. L'indice de Kappa a été utilisé pour apprécier la précision de la classification adoptée. D'après Pontus(2000) l'indice de Kappa (k) est utilisé pour valider et estimer la précision dans le schéma de la classification de la végétation.

1.5. Post-traitement des images

1.5.1. Restitution cartographique des classifications

Au cours de cette étape huit classes ont été finalement retenues : les forêts intactes ou primaires qui regroupent les forêts marécageuses et les forêts inondables, les forêts secondaires qui ne sont autres que les forêts dégradées, les cultures et jachères ; les plantations, les habitats, les savanes et l'eau. Trois cartes d'occupation du sol des années 1986, 2001 et 2015 sont ainsi produites.

1.5.2. Evaluation de la dynamique de l'occupation du sol

Les données obtenues de l'interprétation de chaque image Landsat TM (1986), ETM+ (2001) et OLI (2015) ont été analysées et comparées. Ainsi, pour chaque unité d'occupation du sol, le taux d'évolution annuel est calculé selon la formule de l'**équation** suivante (Mama *et al.*, 2003): $T_{\text{annuel}} = (V_f - V_i) / P * 100$

Où V_f représente la valeur de la statistique de la strate finale, V_i la valeur des statistiques de la strate initiale et P est la durée de la période d'observation entre les dates. Cette formule permet de faire une analyse diachronique de la dynamique d'occupation des sols sur la zone étudiée.

1.5.3. Mise en évidence des changements d'occupation du sol

Les croisements deux à deux (1986-2001 ; 2001-2015 ; 1986-2015) des trois cartes d'occupation du sol à partir du module Spatial Analyst de ArcGIS 10.2 ont donné des cartes de changements et trois matrices de transition (Godard, 2005). Ces matrices de transition traduisent la dynamique des classes d'occupation du sol (Barima, 2009 ; Mamadou, 2009 ; Mama, 2013). L'étude de l'évolution des unités d'occupation du sol est généralement fondée sur trois cas de figure liés aux matrices de transition. Il s'agit des modifications et des conversions de ces unités qui s'opposent aux situations sans changement. Par modification, il faut comprendre les changements intervenus à l'intérieur d'une même catégorie d'occupation du sol comme par exemple la savane boisée qui devient la savane arbustive ou vice versa, tandis que la conversion est le passage d'une catégorie à une autre comme par exemple des forêts denses qui deviennent des surfaces cultivées. L'expression « sans changement » se rapporte à l'ensemble des classes qui sont restées dans la même classe entre les deux dates de l'étude, c'est-à-dire celles n'ayant été affectées ni par les modifications, ni par les conversions. Chaque entité géographique (forêts, savanes, habitat, cultures et jachères, plantation, etc.) évolue à son rythme dans le temps (Robin, 2002).

2. Résultats

2.1. Evaluation de la précision de la classification

De l'analyse des images, huit classes d'occupation du sol ont été identifiées (figure 3, 4 et 5). Les matrices de confusion ont été élaborées pour évaluer la précision de la classification (**Tableaux 1, 2 et 3**). Il ressort de cette analyse que les trois images présentent une bonne précision globale pour l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi, l'image TM (1986) a une précision globale de 88,02% avec un indice de Kappa évalué à 86,60%, alors que l'image ETM+ (2001) a une précision globale de 92,15% avec un indice de Kappa évalué à 91,11% et l'image OLI (2015) a une précision globale de 93,56% avec un indice de Kappa évalué à 92,64%. Au niveau des différentes classes la précision n'est pas identique. Certaines classes d'occupation du sol sont classifiées avec plus de précision que d'autres. De même, les classes de la matrice de confusion de l'image OLI sont mieux classifiées que celles de l'image ETM+ et TM.

Une analyse plus fine de ces données montre que, la classe des forêts intactes (forêt marécageuse et forêt inondable) est mieux classifiée dans les trois dates c'est-à-dire plus de 90% de précision, alors que la classe forêt dégradée et la classe plantation présentent de fortes confusions. En effet, 34% des pixels de forêts dégradée se retrouvent classés dans les plantations, d'où le faible pourcentage de pixels de forêts bien classés (58%) sur l'image de 1986 (tableau 1). La classe de culture-jachère présente également de faibles pourcentages de pixels bien classés (61%) compte tenu de leur confusion avec la classe de forêt dégradée. Les autres types d'occupation du sol sont en général bien discriminés ou classifiés. Sur l'image de 2001, les plus faibles précisions ont été observées au niveau de classe savane où 12,18% et 10,55% des pixels de savane se retrouvent classés dans les classes cultures et jachères et habitat (tableau 2). Alors que, sur l'image de 2015, les plus faibles précisions ont été observées au niveau de la classe culture et jachère. On remarque en outre que la classe plantation présentait une confusion de 14% avec la classe forêt dégradée (tableau 3). Cette confusion peut être due à la présence de cultures de cacao et de palmier à l'huile qui se comporteraient comme des forêts dégradées (tableau 3).

Dans une étude de l'occupation des sols, lorsque l'indice de Kappa évalué dans les opérations de classification est compris entre 50 et 75 %, la classification adoptée est valable et les résultats peuvent être judicieusement utilisés (Pontus, 2000). Dans la présente étude, les indices de Kappa sont supérieurs à 85%. Les différents résultats d'évaluation des images obtenues par la méthode de la classification supervisée sont donc validés.

Tableau 1 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	100	2,81	0,59	0	0	0	0	0	0,33	4,22	13,3
2	0	58,9	31,1	0	0	0	0	0	0	0	10,8
3	0	4,16	61,8	0	0	0,14	9,75	0	0,16	0	8,83
4	0	34,1	1,3	100	0	0	0	0	0	0	6,05
5	0	0	1,65	0	100	0	0	0,12	0	0	12,6
6	0	0	3,18	0	0	91,8	2,87	0	1,15	0	10,2
7	0	0	0,35	0	0	8,08	87,2	0	0,16	0	7,48
8	0	0	0	0	0	0	0,19	99,9	0	0	12,3

9	0	0	0	0	0	0	0	0	97,9	0	8,57
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	95,8	9,86
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 88,02% ; Coefficient de Kappa : 0,866

1= Forêt primaire (forêt marécageuse et forêt inondable) ; 2= Forêt dégradée ; 3= champ ; 4= plantation ; 5= savane ; 6= habitat ; 7=bande sable ; 8= eau ; 9= nuage ; 10= ombre de nuage.

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 2001

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	93,52	6,33	0,76	0,45	0	0	0	0	0	0,61	9,53
2	6,48	88,03	11,33	9,55	0	0	0	0	0	0	11,12
3	0	2,75	87,61	1,36	12,18	0	0	0,59	3,11	0	10,12
4	0	2,89	0	88,64	0	0	0	0	0	0	3,09
5	0	0	0,3	0	77,27	0	0	10,43	0	0	8,47
6	0	0	0	0	10,55	100	5,41	1,17	0	0	10,93
7	0	0	0	0	0	0	92,43	0	0	0	8,55
8	0	0	0	0	0	0	0	87,81	0	0	8,55
9	0	0	0	0	0	0	2,16	0	96,89	0	8,66
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,39	20,99
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 92,15% ; **Coefficient de Kappa** : 0,911

1= Forêt primaire (forêt marécageuse et forêt inondable) ; 2= Forêt dégradée ; 3= champ ; 4= plantation ; 5= savane ; 6= habitat ; 7= bande sable ; 8= eau ; 9= nuage ; 10= ombre de nuage.

Tableau 3 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 2015

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
1	99	3,24	0	0,3	0	0	0	0	12,7
2	1,2	86	16,9	14	0	0	0	0	14,3
3	0	3,04	82,3	1,9	0,9	0,09	0	0	11
4	0	7,75	0,19	84	0	0	0	0	10,3
5	0	0	0,38	0	99	0	1,04	0,35	12,6
6	0	0	0,29	0	0	99,9	0	1,74	13,3
7	0	0	0	0	0	0	99	0	12,5
8	0	0	0	0	0	0	0	97,9	13,5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 93,56% ; **Coefficient de Kappa** : 0,9264

1 : Forêt primaire (forêt marécageuse et forêt inondable) ; 2 : Forêt dégradée ; 3 : champ ; 4 : plantation ; 5 : savane ; 6 : habitat ; 7 : bande sable et 8 : eau

2.2. Dynamique de l'occupation du sol dans le département de la Likouala

2.2.1. Cartographie de l'occupation du sol en 1986

En 1986, la zone d'étude est forestière à 85,99% avec 133,624 hectares de forêts intactes qui représentent le type d'occupation du sol le plus important (**figure 3**). Ces forêts intactes (primaires) regroupent les forêts marécageuses et les forêts inondables dont leur physionomie et leurs caractéristiques floristiques sont très différentes des forêts de terre ferme. Les cultures-jachères sont moins importantes avec 3,421 ha. Les savanes représentent une superficie moins importante avec 3,947 ha de la superficie totale de la zone. Les forêts secondaires sont constituées de 5,700 ha de la superficie totale de la zone. Il s'agit d'un faciès dégradé des forêts dense sempervirentes et semi-sempervirentes.

A cette date les plantations, l'habitat et les bandes de sable représentent des infimes parties et ont été estimé respectivement à 893 ha, 852 ha et 624 ha de la superficie totale de la zone d'étude.

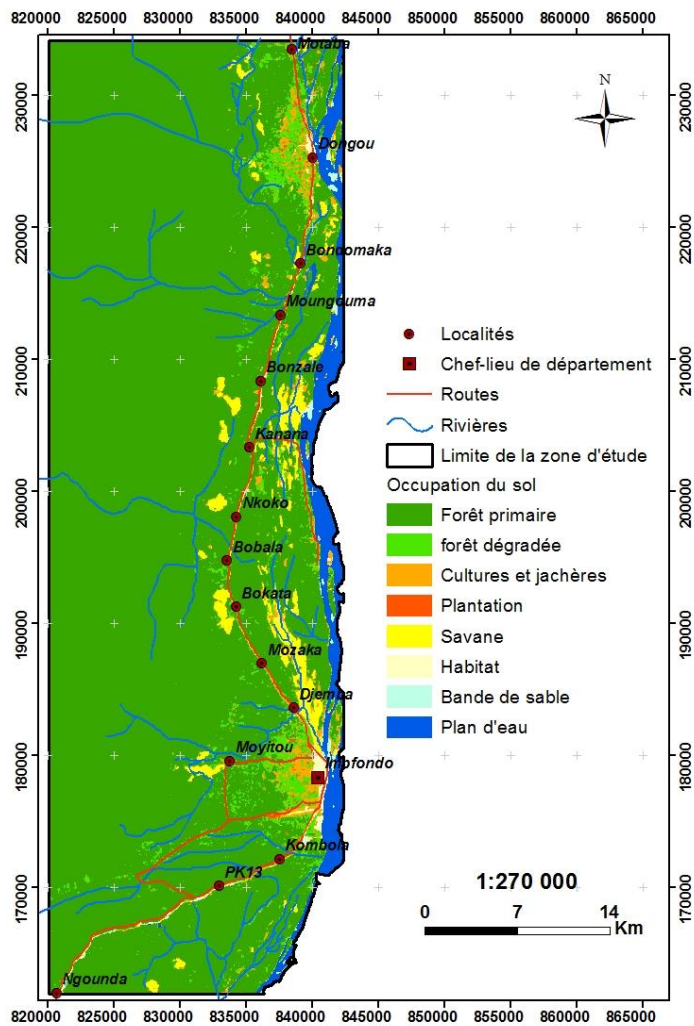


Figure 3: Carte d'occupation du sol en 1986

2.2.2 Cartographie de l'occupation du sol en 2001

En 2001, la zone est toujours dominée par la forêt intacte 81,71% avec 126980,89 ha de superficie totale de zone d'étude (figure 4). Les superficies des cultures-jachères (7556,81 ha) et forêts dégradées (8357,92 ha) sont importantes par rapport à celles de 1986. Les superficies de plantation, d'habitat et de bandes de sable représentent des infimes parties et ont été estimées respectivement à 269,35ha, 1064,62 ha, 1976,49 ha mais sont plus importantes que celles de 1986.

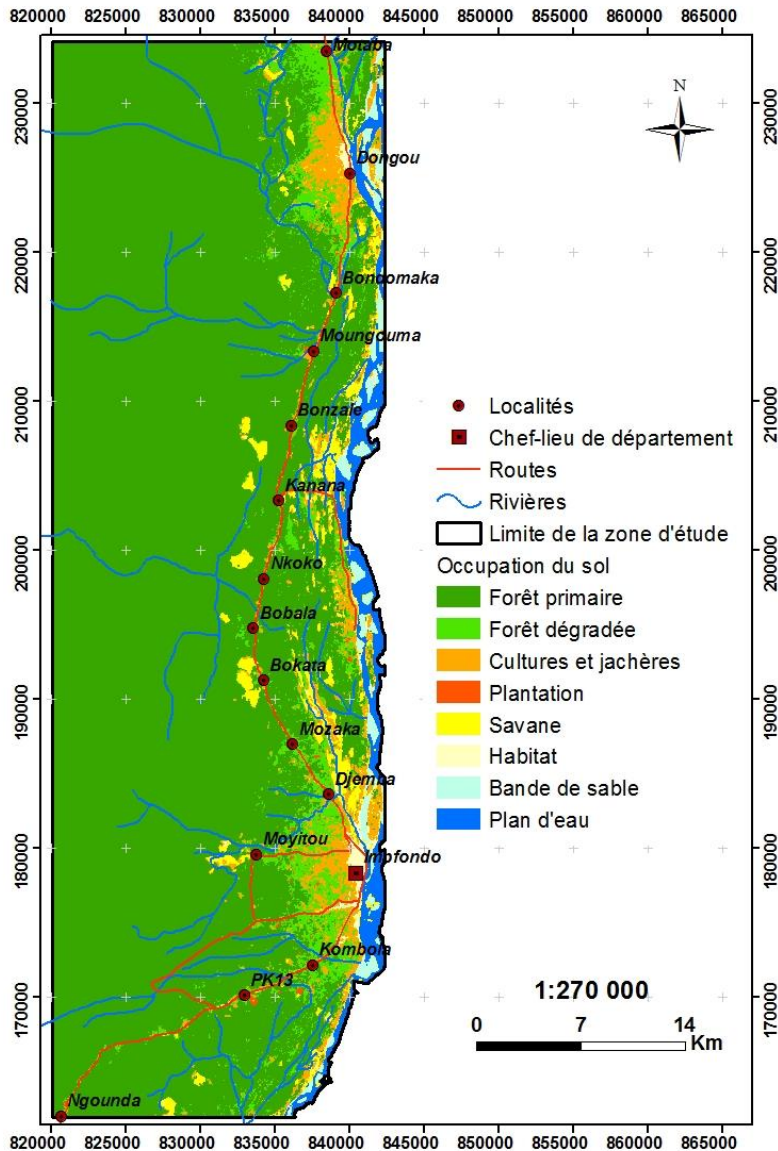


Figure 4: Carte d'occupation du sol en 2001

2.2.3. Cartographie de l'occupation du sol en 2015

La cartographie de l'occupation du sol en 2015 montre que les milieux naturels constitués de forêts intactes et de savane sont plus ou moins bien conservés, couvrant 114.166 ha soit 73,47% de la superficie totale de la zone pour les forêts intactes et 3.622 ha soit 2,33% de la superficie totale de la zone pour les savanes (**figure 5**). Physionomiquement, ces forêts observées constituent deux ensembles majeures : les forêts marécageuses et les forêts inondables évoluant toutes vers les faciès secondaires (dégradés). Les savanes observées sont les savanes herbeuses incluses. L'habitat s'étend sur 1,25% de la superficie totale de la zone. La majorité de terres autour du département (Impfondo), des localités et le long de la route est occupée par l'agriculture avec 7,82% des terres de la superficie

totale de la zone d'étude. Cette agriculture est pratiquée pour la plupart sur les surfaces modestes par des paysans utilisant des outils traditionnels et pratiquant l'agriculture sur brûlis. Les cultures pratiquées sont surtout le manioc, le maïs, le cacao, la banane, le taro, le palmier à huile, les arbres fruitiers (safou, oranger, etc).

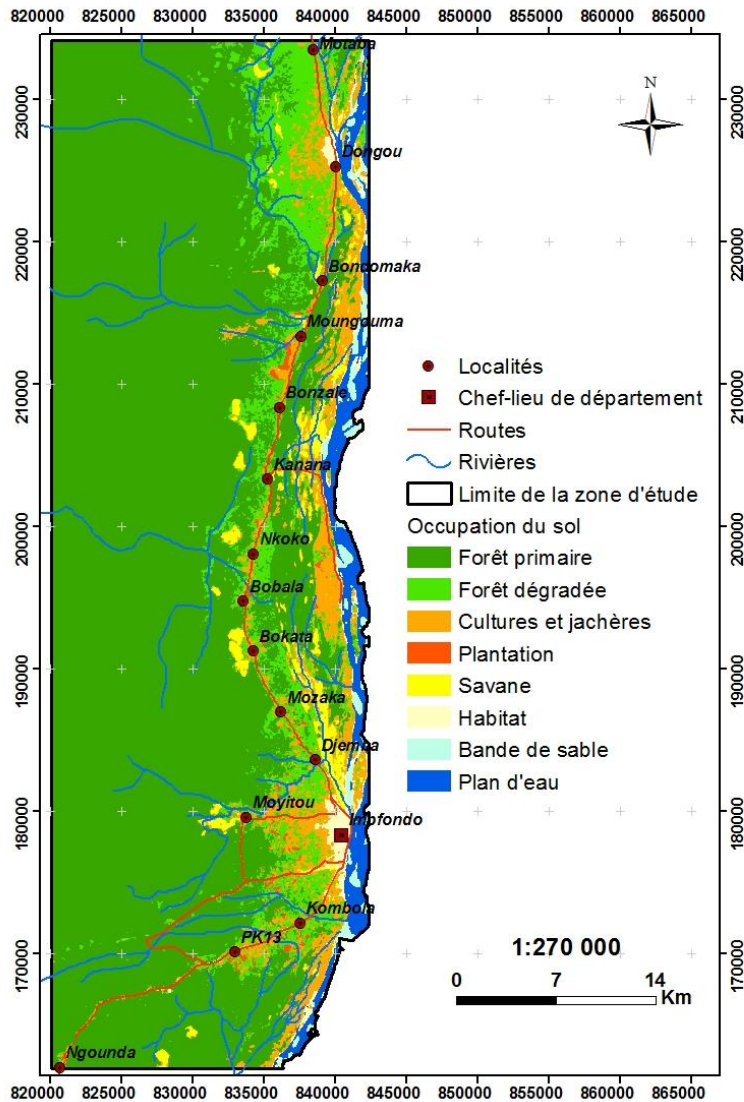


Figure 5: Carte d'occupation du sol en 2015

2.2.4.. Evaluation de la dynamique de l'occupation du sol de 1986-2001-2015

L'examen des cartes d'occupation du sol (Figures 3 et 4) et le Tableaux 4 associé à cette figure 6 montre une modification de l'occupation du sol en général et du couvert végétal entre 1986 et 2001. Ainsi, on constate une réduction de la forêt intacte ou la forêt primaire et l'eau en quinze ans. La forêt est passée de 85,98% en 1986 à 81,71% en 2001 et l'eau de 4,08% en 1986 à 2,03% en 2001. On

observe aussi une augmentation des superficies occupées par les forêts dégradées, les cultures-jachères, les habitats, les plantations et les bandes de sable qui passent de 3,91% à 5,38%, 2,26% à 4,86%, 0,55% à 0,69%, 0,28% à 0,17% et 0,40% à 1,27% respectivement.

Le tableau 4 indique des diminutions annuelles de 0,28%, 0,01%, et 0,07% respectivement pour la classe forêt, plantation et eau. On note une augmentation moyenne annuelle de 0,10%, 0,17%, 0,03%, 0,01% et 0,06% respectivement pour la classe forêt dégradée, cultures-jachère, savane, habitat et bande de sable.

L'analyse des cartes d'occupation du sol (**Figures 4 et 5**) et le Tableaux 4 associé à cette figure 6 montrent une modification du couvert végétal entre 2001 et 2015. Ainsi, on constate une réduction de forêts intactes, de savanes et de Bande de sable en quatorze ans. La forêt est passée de 81,71% en 2001 à 73,47% en 2015, la savane de 2,92% en 2001 à 2,33% en 2015 et les bandes de sable de 1,27% en 2001 à 1,02% en 2015. On observe aussi une augmentation des superficies occupées par les forêts dégradées, les cultures et jachères, les habitats, les plantations et l'eau qui passent de 5,38% à 10,13%, 4,86% à 7,82%, 0,69% à 1,25%, 0,17% à 0,60% et 2,99% à 3,39% respectivement.

Le tableau 4 indique des réductions annuelles de 0,59%, 0,04%, et 0,02% respectivement pour la classe forêt, savanes et bande de sable. On note une augmentation moyenne annuelle de 0,34%, 0,21%, 0,03%, 0,04% et 0,03% respectivement pour la classe forêt dégradée, cultures-jachère, plantation, habitat et eau.

L'analyse des cartes d'occupation du sol (**Figures 3 et 5**) et le Tableaux 4 associé à cette figure 6 qui montre une modification du couvert végétal entre 1986 et 2015. Ainsi, on constate une régression de forêts primaires, de savanes et de l'eau en vingt-neuf ans. La forêt est passée de 85,98% en 1986 à 73,47% en 2015, la savane de 2,54% en 1986 à 2,33% en 2015 et l'eau de 4,08% en 1986 à 3,39% en 2015. On observe aussi une augmentation des superficies occupées par les forêts dégradées, les cultures-jachères, les habitats, les plantations et les bandes de sable qui passent de 3,91% à 10,13%, 2,26% à 7,82%, 0,55% à 1,25%, 0,17% à 0,60% et 0,40% à 1,02% respectivement.

Le tableau 4 indique des diminutions annuelles de 0,43%, 0,01%, et 0,02% respectivement pour la classe forêt, savanes et eau. On note une augmentation moyenne annuelle de 0,21%, 0,19%, 0,01%,

0,02% et 0,02% respectivement pour la classe forêt dégradée, cultures-jachère, plantation, habitat et bande de sable.

Tableau 4: Taux d'évolution des classes de l'occupation du sol entre 1986-2001, 2001-2015 et 1986-2015

Classes	Année 1896-2001		Année 2001-2015		Année 1986 -2015	
	Tb(%)	Ta (%)	Tb(%)	Ta (%)	Tb(%)	Ta (%)
1	-4,27	-0,28	-8,25	-0,59	-12,51	-0,43
2	1,47	0,10	4,75	0,34	6,23	0,21
3	2,60	0,17	2,95	0,21	5,56	0,19
4	-0,11	-0,01	0,43	0,03	0,32	0,01
5	0,38	0,03	-0,59	-0,04	-0,21	-0,01
6	0,14	0,01	0,56	0,04	0,70	0,02
7	0,87	0,06	-0,26	-0,02	0,61	0,02
8	-1,09	-0,07	0,40	0,03	-0,69	-0,02

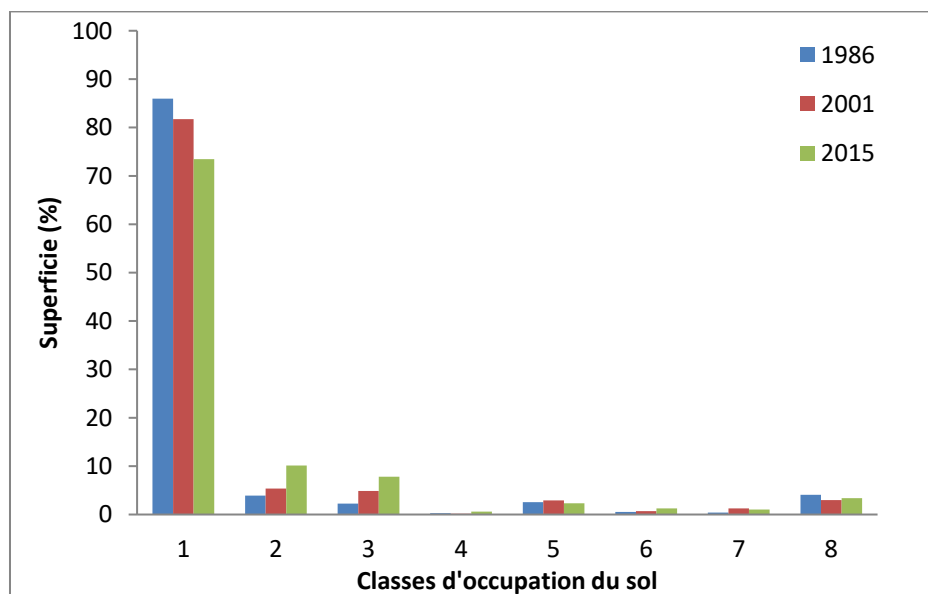


Figure 6 : Evolution des pourcentages des surfaces couvertes par chaque type d'occupation du sol de 1986-2001-2015

2.2.5. Changements d'état des classes d'occupation du sol

Au cours de la période 1986- 2001, les formations forestières primaires ont été les plus stables avec un taux de 79,13% (tableau 5), tandis que, la majeure partie des forêts primaires est convertie en forêt dégradée (1,20%), en culture-jachère (0,52%) et en savane (0,65%). Au niveau de la classe forêt dégradée, 0,41% a été convertie en culture-jachère et 0,11% de plantations a été convertie en culture-jachère entre 1986 et 2001. Cependant, la restauration de la végétation (9,08%) s'est produite dans une moindre mesure grâce à la conversion de toutes les autres classes (forêts dégradées, de cultures et jachères, de savanes, de l'habitat, de bande de sable et de l'eau) en forêts primaires.

La classe culture-jachère est convertie en plantations (0,11%) en savane (0,45%), et 0,41% en forêt dégradée. cela peut alors correspondre à des parcelles de culture abandonnées (longue période de jachère), une baisse de la pression sur cette classe entraînant sa reprise. Au niveau de la classe plantation 0,11% est convertie en culture-jachère et 0,02% est modifiée en forêt dégradée. Cela peut alors correspondre à des parcelles de culture de rente comme le palmier à huile et celles de cacao. Pour la classe savanes, 0,45% des surfaces savaniques ont été converties en culture-jachère qui est soit des jachères jeunes et 0,88% a été modifiée en forêt primaire. La classe eau, 2,62% de la surface initiale se trouve inchangée en 2001.

D'après l'analyse de cette matrice de transition, en quinze ans, plusieurs observations peuvent être faites :

Le maintien de la classe forêt primaire (79,13%), tandis que près de 5,46% de cette classe a été convertie à d'autres classes (forêts dégradées, de cultures et jachères, de savanes, de l'habitat, de bande de sable et de l'eau).

Entre 2001 et 2015, 72,39% des forêts primaires sont restées intactes, tandis que 0,89% sont devenues forêts dégradées et 0,21% ont été totalement converties en classe non forestière (tableau 6). Les forêts dégradées ont été modifiées en forêts primaires (6,11%) et en cultures-jachères (1%). Quant à la classe « cultures-jachères », sa proportion est passée de 4,88 à 7,78% durant la même période. Enfin, la classe « plantations », avec 0,04% de taux de permanence, a constitué la moins stable dans la zone d'étude. De manière globale cette période (2001-2015) se caractérise par trois principaux types de

dynamiques forestières à savoir la stabilité des classes (83,13%), la dynamique de densification de la couverture végétale (9,32 %) et la perturbation du milieu (3,84%).

En examinant ce tableau 7, les forêts primaires ont constitué la classe la plus stable avec un taux de 71,85%. Cependant, les forêts primaires ont connu une dynamique régressive de la dégradation de la couverture végétale au profit des forêts dégradées (0,85%), des cultures-jachères (0,31%), et des savanes (0,37%) contre 7,79% de classe forêt dégradée en forêt primaire, 4,75% des cultures-jachères en forêt primaire et 0,57% des savanes en forêt primaire. En 29 ans, la classe forêt dégradée est convertie en forêt primaire (7,79%), en culture-jachère (0,51%), en savane (0,27%). Au niveau de la classe culture-jachère 4,75% et 0,51% sont converties en forêt primaire et en savane. Tandis que la conversion des cultures-jachères en forêts dégradée (1,29%). Cela peut correspondre à la reconstitution de la forêt. La classe eau est restée stable à 2,83%, alors que le débit d'eau diminue ou l'eau se retire, les bandes de sable (0,16%), les forêts (0,22% de forêt primaires et 0,06% de forêt dégradée) et de cultures-jachères apparaissent. Les formations savanicole sont transformées en culture-jachère (0,24%), cela peut être les parcelles de jeune jachère. Et 0,57 % de savane sont convertis en forêt primaire. Il est à noter au cours de cette période que 78,51% des superficies n'ont pas changé de classes (stabilité), tandis que 16,76% des superficies ont évolué en termes de reconstitution végétale à travers un processus de succession. Par contre, 4,72% des superficies ont subi des perturbations (dégradation).

En résumé, on observe quatre grands processus qui se sont déroulés dans la zone d'étude en 29 ans. Il s'agit :

- ✚ du maintien de la forêt primaire (71,85%);
- ✚ de la dégradation de l'écosystème forestier ou la perte du couvert forestier (1,66%);
- ✚ de la régénération naturelle ou anthropique du couvert forestier qui a abouti à la restauration et à la formation de forêt primaire (14,13%) ;
- ✚ de l'ensablement et le dessèchement des plans d'eau et zones marécageuses qui ont entraîné une perte progressive des surfaces en eau.

Tableau 5 : Matrice de transition de l'occupation du sol (%) pour les périodes, 1986-2001,

	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
--	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

2001 1986									
1	79,13	1,20	0,52	0,03	0,65	0,09	0,05	0,05	81,71
2	3,51	1,22	0,41	0,09	0,09	0,04	0,02	0,01	5,38
3	2,03	1,19	0,86	0,11	0,45	0,09	0,04	0,11	4,88
4	0,14	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
5	0,88	0,15	0,26	0,01	1,26	0,04	0,04	0,27	2,91
6	0,07	0,05	0,13	0,00	0,06	0,26	0,05	0,06	0,69
7	0,10	0,04	0,05	0,00	0,01	0,01	0,11	0,95	1,27
8	0,14	0,04	0,04	0,00	0,02	0,02	0,10	2,62	2,99
Total	85,98	3,92	2,27	0,25	2,54	0,55	0,40	4,08	100,00

Tableau 6 : Matrice de transition de l'occupation du sol (%) pour les périodes, 2001-2015,

2015 2001	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
1	72,39	0,89	0,19	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	73,50
2	6,11	2,88	1,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	10,13
3	2,77	1,42	2,77	0,06	0,66	0,08	0,02	0,01	7,78
4	0,33	0,14	0,08	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,60
5	0,08	0,02	0,44	0,00	1,68	0,09	0,13	0,01	2,45
6	0,03	0,04	0,39	0,00	0,17	0,47	0,01	0,03	1,13
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,45	0,49	1,02
8	0,00	0,00	0,01	0,00	0,24	0,03	0,65	2,45	3,39
Total	81,71	5,38	4,88	0,17	2,91	0,69	1,27	2,99	100,00

Tableau 7 : Matrice de transition de l'occupation du sol (%) pour les périodes, 1986-2015

2015 1986	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
1	71,85	0,85	0,31	0,02	0,37	0,05	0,03	0,03	73,50
2	7,79	1,35	0,51	0,10	0,27	0,05	0,03	0,04	10,13
3	4,75	1,29	0,83	0,10	0,53	0,10	0,06	0,12	7,78
4	0,53	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
5	0,57	0,12	0,24	0,01	1,32	0,02	0,01	0,03	2,33
6	0,22	0,18	0,29	0,02	0,03	0,28	0,07	0,16	1,25
7	0,05	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,05	0,87	1,02
8	0,22	0,06	0,06	0,00	0,02	0,03	0,16	2,83	3,39
Total	85,98	3,92	2,27	0,25	2,54	0,55	0,40	4,08	100,00

III. Discussion

3.1. Approche méthodologique

Les précisions globales des classifications sont respectivement de 88,02% pour 1986, 92,15% pour 2001 et 93,56% pour 2015. Ces précisions sont acceptables car selon Congalton (1991), une classification est jugée acceptable lorsque la précision globale avoisine 80 %. Toutefois, en nous référant aux valeurs de l'indice de Kappa obtenues, selon les échelles de Pontus (2000), l'on peut conclure que les résultats de cette analyse sont statistiquement acceptables. Il convient cependant de noter que les grandes précisions cartographiques obtenues peuvent aussi dépendre du nombre réduit de classes utilisées et de la définition de parcelles homogènes lors du choix des sites d'entraînement (Caloz et Collet, 2001).

Ces précisions corroborent avec celles obtenues par d'autres auteurs tels que : N'Guessan *et al.*, (2006), dans une étude menée au niveau de la forêt classée de la Badénou avec des précisions globales de 88 % et 91 % ; N'DA (2007), lors d'une étude réalisée dans le Parc de la Marahoué, a obtenu des précisions globales de 82,59%, 82,65% et 86,13% ; Akadje *et al.*, (2014) lors d'une étude dans une zone humide de Ramsar de Grand-Bassam et ses environs ont obtenu des précisions globales de 90% et 92%. Adjonou *et al.*, (2010) ont trouvé une précision moyenne de 75% dans une étude sur la dynamique de l'occupation de la réserve de la forêt classée d'Abdoulaye au Togo.

L'analyse de la matrice de confusion aux différentes dates présente des pixels bien classés à plus de 70% par classe, avec une part plus importante de classe ayant des précisions supérieures à 90%. Ce sont des résultats acceptables. Néanmoins, une grande confusion existe entre forêt dégradée et culture-jachère et entre forêt dégradée et plantation. En effet 31,1% et 34,11% de pixels de thème culture-jachère et plantation en 1986 ont été commis à la classe forêt dégradée (**tableau 1**). Ces différentes classes sont des formations végétales boisées, avec une couverture forestière plus ou moins dense par l'endroit. La classe culture-jachère qui englobe de nombreuses cultures abandonnées et les plantations telles que le palmier et le cacaoyer se confondent aux forêts dégradées. Il faut souligner que dans la zone d'étude, les cultures pérennes telles que des plantations de cacaoyers sont généralement cultivées sous couvert forestiers, ce qui rend souvent difficile la discrimination des formations (forêt dense, forêt dégradée, plantation, cultures et jachères). Cette même remarque avait été faite par N'Guessan *et*

al., (2006) dans l'étude sur le suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques au niveau de la forêt classée du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. Toujours dans la même logique, Kouassi (2014) avait fait les mêmes constats lors d'une étude sur le Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : Cas de la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire).

Les classes d'occupations du sol identifiées par N'DA (2007) et Akadje *et al.*, (2014), ont des précisions supérieures de 50% et avec une part plus importante ayant des précisions supérieures de 90%. On note ainsi que nos résultats sont plus précis que ceux de N'DA et d'Akadje *et al* pour l'image de 1986.

3.2. Dynamique de l'occupation du sol dans les forêts de l'axe Impfondo-Dongou

L'analyse de la dynamique des changements a fait ressortir les différents processus d'évolution intervenus au sein du paysage entre 1986-2015. Une augmentation des surfaces des forêts dégradées et des cultures et jachères au dépend des autres catégories tels que la forêt primaire a été observée. Cette perte serait due aux pratiques agricoles, à la production du bois de chauffe et à l'exploitation artisanale, car la zone d'étude constitue en fait une zone où les cultures pérennes comme le palmier à huile et le cacao prédominent. C'est également une zone où les cultures vivrières telles que le manioc dominant d'où la dégradation avancée de la forêt primaire au profit de l'agriculture. La réduction des forêts peut aussi s'expliquer par le type d'agriculture pratiquée par les populations. En effet, après deux ou cinq années de cultures vivrières, les paysans abandonnent les parcelles en cultures pour coloniser de nouvelles terres forestières plus fertiles, laissant les premières en jachère afin de restaurer leur fertilité. Cette pratique agricole est associée à des feux de végétation et à l'abattage des arbres pour la fabrication de pirogues, des constructions des maisons, la récolte du miel et l'obtention du bois de chauffe. Ces différentes activités ont par ailleurs un impact sérieux sur la biodiversité végétale des forêts de la zone d'étude (Ifo et al. 2016).

Il faut aussi noter que ces dernières années, l'accroissement de la population a engendré une forte extension urbaine ainsi que la création de plusieurs villages ou campements. Ce qui a pour conséquence la pression sur les ressources forestières.

Dans une étude réalisée sur le changement du couvert forestier entre 2000 et 2010, GAF, (2013), ont trouvé que dans la partie nord du Congo, la construction des nouvelles routes ainsi que l'expansion des colonies existantes, les activités d'abattage sélectif et les plantations des palmiers à l'huile sont à l'origine de la déforestation et la dégradation des forêts.

Les résultats de l'étude réalisée sur l'occupation du sol au Togo en 2000, KPOGO *et al.*, (2005) ,ont trouvé que la pression démographique, les anomalies climatiques, les feux plus fréquents, l'extension des cultures constituaient les causes de la dégradation des forêts togolaises. Ce constat est aussi fait par Bamba (2010) dans une étude sur Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la Province du Bas-Congo (République Démocratique du Congo) et Kokou *et al.*, (2006) dans une étude sur la diversité des forêts denses du Togo. Ils ont montré que les causes de la dégradation des forêts sont d'origine anthropique.

Les résultats obtenus montrent que le changement du couvert forestier dans la zone d'étude est énorme. En effet, le taux de dégradation de 2001 à 2015 (8,25% sur 14 ans, soit 0,59 % par an) était supérieur au taux de perte dans le département de la Likouala pour la période 2000-2010, ce taux a été estimé à 0,49 % par FACET (2012) et à 0,32 % par le GAF (2013). Par ailleurs, pour la période 1986-2015, ce taux est chiffré à 0,43 % et est supérieur au taux de perte national estimé à 0,062% pour la période 2000-2012 (CNIAF, 2015), mais inférieur au taux de perte national estimé à 0,75%, pour la période 2000-2010 par le FACET (2012).

3.3. Analyse de quelques paramètres explicatifs des changements de couverture forestière

Plusieurs causes directes pourraient expliquer la perte des forêts dans le département de la Likouala parmi lesquelles :

La croissance urbaine

La descente effectuée sur le terrain nous a révélé que la ville s'agrandit au fur et à mesure avec l'augmentation de la population. Par exemple pour la ville d'Impfondo, une étude a été réalisée sur la

croissance urbaine révélant que cette communauté urbaine avait augmenté de 430,36 ha pendant la période 1986 à 2001 et de 320,01 ha pendant la période de 2001 à 2016 (Binsangou, 2016).

.Construction des infrastructures modernes

La forte concentration des cultures et des sols anthropisés à proximité des routes montre que ces dernières sont bien un facteur d'appropriation de l'espace par les populations. La création de ces routes entraîne alors dans un premier temps des coupes importantes des forêts pour leur implantation, puis elles sont le point de départ de défrichements pour la mise en culture de nouveaux espaces (LEROUX, 2012). D'après les résultats de GAF (2013), la déforestation due aux infrastructures est de 27,8% alors que la municipalisation a eu lieu dans le département en 2005.

L'agriculture itinérante sur brulis

L'agriculture est plus axée sur les cultures vivrières qui sont pour la plupart destinées à l'autoconsommation. Les cultures de rente pratiquées (cacao, café et palmier à huile) procurent l'essentiel des revenus aux paysans. Au fur et à mesure que la population augmente, la demande en produit agricole augmente et la production agricole augmente aussi. Dans ce département, une grande partie des forêts ont été détruites par les populations locales pour la mise en place des cultures variables telles que : des champs de culture de manioc, palmier à huile, maïs, bananier et bien d'autres. Ces cultures répondent à une diversité des demandes des populations urbaines. Cette activité est souvent réalisée par les populations non seulement pour leur alimentation, mais aussi pour l'obtention du revenu leur servant de satisfaire leurs besoins.

L'exploitation forestière

Partant du constat général d'une régression des formations végétales denses au profit des forêts dégradées, il convient d'analyser ces dynamiques au regard facteurs que sont notamment l'exploitation forestière artisanale, la récolte de bois de chauffe. Le département de la Likouala regorge plusieurs sociétés forestières d'exploitation. Cette opération qui permet d'extraire le bois, occasionne des pertes énormes de forêts. Le bois est toujours la principale source d'énergie domestique au Congo. Par conséquent, la demande de bois énergie (bois de chauffe) est entrain

d'augmenter rapidement dans et autour des grands centre urbain. Les pirogues, pagaies, mortiers, et pétrins sont confectionnés chacun à l'aide des troncs d'arbres des essences spécifiques extraits de la forêt (*Entandophragma cylindricum*, *Milicia excelsa*, *Strombosia grandifolia* *Staudtia gabonensis*).

A ces causes ci-dessus citées, s'ajoutent les causes indirectes. Nous pouvons citer :

Pression démographique

Dans la zone d'étude, les surfaces emblavées sont en hausse au détriment des forêts. Lors de notre mission terrain, plusieurs raisons ont été évoquées pour justifier cette situation notamment l'augmentation de l'effectif de la population qui est passée de 154.115 habitants en 2007 à 196.877 habitants en 2015 avec une densité de 2,5 hbt/km² (RGPH 2007). Cet accroissement de la population oblige les paysans à produire plus pour les besoins d'alimentation. A cela s'ajoutent, la baisse de la fertilité des sols et donc des rendements des cultures vivrières. Ainsi, plus la population augmente, plus la pression sur les ressources disponibles augmente.

L'arrivés des réfugiés de la guerre civile

Ayant fuis la guerre civile dans leurs pays respectifs : le Rwanda, la RDC et la Centrafrique, les populations de ces pays se sont installées dans le département de la Likouala. Les données collectées lors de notre visite sur le terrain auprès du service gouvernemental qui s'occupe de la gestion des réfugiés (CNAR), nous ont rapporté que dans la période de 2000 à 2014, 43290 réfugiés avaient été enregistrés dans ce département. Ces derniers ont contribué de façon significative à la perte de la couverture forestière, non seulement pour les besoins de construction des sites pour les hébergés mais aussi pour satisfaire leurs besoins.

Ces résultats confirment plusieurs recherches déjà réalisé sur les causes du changement de la couverture forestière parmi ces recherche nous pouvons cités les travaux de Geist et Lambin, 2001 ; Zhang et Guindon, 2005 ; Duveiller et *al.*, 2008 ; Tchatchou et *al.*, 2015 qui ont identifié les causes immédiates et les causes sous-jacentes.

Conclusion

Cette étude portant sur le changement de couverture forestière dans le département de la Likouala dans la période de 1986 à 2015. Les résultats issus de la cartographie ont indiqué des taux de déforestation estimés respectivement à 0,28% entre 1986 et 2001 et à 0,59% entre 2001 et 2015. Cette baisse des surfaces forestières s'est faite au profit des zones agricoles et des zones dégradées qui ne cessent de conquérir de nouveaux espaces forestiers.

Dans l'ensemble, les pressions anthropiques sur les surfaces forestières sont croissantes au regard des résultats obtenus. Cette étude nous permis de comprendre qu'il y a une réelle nécessité d'alerter les pouvoirs publics sur la nécessité pour eux de s'impliquer dans la gestion durable des forêts de la Likouala en général et de celles de l'axe Impfondo Dongou en particulier.

Références Bibliographiques

1. Adjonou K., Ali N., Kokutse. D. A, Novignon S. K. & Kouami K., 2010. Étude de la dynamique des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. (Fabaceae) surexploités au Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 306: 45-56.
2. Akadje L. Hauhouot A. C., 2014. Analyse par télédétection environnementales de 2000 à 2013 dans la zone Ramsar de Grand-Bassam (Sud de la Côte d'Ivoire). *Resige*, vol. 1, n° 001, 33-40
3. Bannari A. Morin D. Huete A.R. & Bonn F., 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Review*, n°13, 95-120
4. Barima Y. S. S., 2009. Dynamique, fragmentation et diversité végétale des paysages forestiers en milieux de transition forêt-savane dans le département de Tanda (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique.
- Binsangou Malonga S., 2016. Suivi par télédétection de la déforestation due par la croissance urbaine de deux localités de la république du Congo : communauté urbaine d'Impfondo et la ville de Ouessou pendant la période de 1986 à 2016. Mémoire en vue d'obtention du diplôme de Master. Université Marien N'Gouabi, Ecole Nationale d'Agronomie et de Foresterie, 105p.
5. Bonn F. & Rochon G., 1992. Précis de télédétection : principes et méthodes, *Presses de l'université du Québec*, Québec.
6. Brou Y. T., Oszwald J., Bigot S. & Servate E., 2008. Risques de déforestation dans le domaine permanent de l'état en Côte d'Ivoire : Quel avenir pour ces derniers massifs forestiers ? *Télédétection*, 5: 105-121.
7. Caloz R. & Collet C., 2001. Précis de télédétection. Volume 3: traitements numériques d'images de télédétection (Universités francophones). Presses Polytechniques du Québec, Canada.
8. Congalton R. G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.

9. Duveiller G., Defourny P., Desclée B. et Mayaux P., 2008. Deforestation in Central Africa – estimates at regional national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. *Remote Sens Environment*, 112: 1969 – 1981.
10. Forêts d’Afrique Centrale Evaluées par Télédétection (FACET), 2012. Étendue et perte du couvert forestier en République du Congo de 2000 à 2010. Observatoire Satellital des Forêts d’Afrique Centrale (OSFAC). 110p. <http://osfac.net/component/k2/itemlist/category/184-facet>.
11. GAF, 2013. SGDE Suivi Forestier Extension des Services REDD. S – Rapport des opérations de service pour la République du Congo – phase 3. Doc n°GSE-REDD-S6-RoC-Ph3, issue/Rev-n°1.0, 74pp.
12. GIEC, 2006. Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, 85p.
13. Geist H.J. et Lambin E. F., 2001. III Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Project IV. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP) V. International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), LUCC Report Series.
14. GIEC., 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Vol. 4: Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Hayama, Japon, IGES pour le GIEC (disponible aussi sur: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/index.html>).
15. Suspense Averti Ifo, Jean-MarieMoutsambote, Félix Koubouana, Joseph Yoka, Saint Fédriche Ndzai, Leslie Nucia Orcellie Bouetou-Kadilamio, Helischa Mampouya, Charlotte Jourdain, Yannick Bocko, Alima Brigitte Mantota, Mackline Mbemba, Dulsaint Mouanga-Sokath, Roland Odende, Lenguiya Romarick Mondzali, Yeto Emmanuel Mampouya Wenina, Brice Chérubins Ouissika, and Loumeto Jean Joel. (2016). Tree Species Diversity, Richness, and Similarity in Intact and Degraded Forest in the Tropical Rainforest of the Congo Basin: Case of the Forest of Likouala in the Republic of Congo. *International Journal of Forestry Research* Volume 2016, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7593681>

16. Khorram S., Biging G. S., Chrisman N. R., Colby D. R., Congalton R.G., Dobson J. E., Ferguson R. L., Goodchild M. F., Jensen J. R. & Mac T. H., 1999. Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection. *The American Society for photogrammetry and remote sensing*, Bethesda (MD).
17. Kokou K., Atato a., Bellefontaine R., Kokutse and., Caballe G., 2006. Diversité des forêts sèches du Togo. *Revue d'Ecologie*, vol.61, n°3, pp.225-246
18. Koné M., Aman A., Adou Yao C. Y., Coulibaly L. & N'Guessan K. E., 2007. Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savanesoudanienne en Côte d'Ivoire. *Télédétection*, 7: 433-446.
19. Kpogo Y. D. et Kokou E., 2005. Cartographie de l'Occupation et de l'Utilisation du Sol au Togo, Rapport du Projet West Africa Land-Use and Land-Cover, Centre Regional AGRHYMET, Niamey, Niger, 27 p
20. Lacombe, G., Cappelaere B., & Leduc C., 2008. Hydrological impact of water and soil conservation works in the Merguellil catchment of central Tunisia, *J. Hydrol.*, 359(3-4), 210-224.
21. Makaya H. A. J., 2015. Evaluation des proportions de changements des forêts en République du Congo. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme de Master Recherche. Option Gestion Durable des forêts, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie, Université Marien Ngouabi, Congo, 48p.
22. Leroux L., 2012. Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Landsat et MODIS-Cas d'étude du communal de Djougou, Rapport de travail, Hydrosciences Montpellier, France, ANR ESCAPE. 62p
23. Mama A., 2013. Antropisation des paysages au Benin : dynamique, fragmentation et développement agricole. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique 216 pp.429-441.
24. Mamadou A. S., 2009. Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et

2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. *Cybergeo: European Journal of Geography*. URL: <http://cybergeo.revues.org/index22707.html>.

25. Maman M. I., Mahamane A., Nbow C., Mahamane S. & Bachmann Y., 2011. Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 22: 108-16.
26. N'DA D. H., (2007). Etude et suivi par télédétection et système d'informations géographiques d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : cas du Parc National de la Marahoué. Thèse de Doctorat 181 p. Université de Cocody, Côte d'Ivoire
27. Niveau des Emissions de Références pour les Forêts(NERF) en République du Congo, 2016.
28. N'Guessan E., Dibi N'Dah H., Bellan M-F. & Blasco F., 2006. Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection. *Télédétection*, 5: 307-323.
29. Niveau des Emissions de Références pour les Forêts(NERF) en République du Congo, 2016.
30. Nkokolo Nkaya D., 2012. Suivi de la dynamique des jeunes tiges des essences de valeur commerciale dans les parcelles après exploitation: cas de l'AAC3-2012 de l'UFP1, l'UFA Mokabi-Dzanga, Société Mokabi Département de la Likouala. UMNG, IDR, BZV Congo 61P
31. Pham T. T. H., Bonn F. & Dubois J-M., 2007. Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcelé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale : application à une région littorale au Viêt-Nam. *Télédétection*, 1: 1-4.
32. Pontus R. G. J., 2000. Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 1011-1016.
33. Robin M., 2002. Télédétection, des Satellites au SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique, 2ème édition, Nathan Université.

34. Shalaby A. & Tateishi R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27: 28-41.
35. Skupinski G., Don B. T. & Weber C., 2009. Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain. Le cas de la basse vallée de Bruche (Bas-Rhin) *European Journal of Geography*. URL : <http://cybergeog.revues.org/21995>; DOI :10.4000/cybergeog.21995. France
36. Souza C. M. Jr., Roberts D. A. and Cochrane M. A., 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment* 98(2-3):329-343.
37. Stehman S. V., 1996. Estimating the Kappa coefficient and its variance under stratified random sampling. *Photogrammetric Engineering & remote sensing*, 62: 401-407.
38. Tabopda G. W. & Fotsing J-M., 2010. Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Sécheresse*, 21: 169-78.
39. Tchatchou B., Sonwa D.J., IFO S. et Tiani A. M., 2015. Déforestation et dégradation des forêts dans le bassin du Congo : Etat des lieux, causes actuelles et perspectives. Papier occasionnel 120. Bogor, Indonésie : CIFOR, 47p.
40. Trepanier I., Dubois J. M. M & Bonn F., 2002. Suivi de l'évolution du trait de côte à partir d'image HRV (XS) de Spot: application au delta du fleuve rouge, Viêt-Nam. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 917-937.
41. Yangambi, 1956. C.S.A. Specialist Meeting on Phytogeography / Réunion de spécialistes du C.S.A. en matière de phytogéographie. *Scientific Council for Africa South of the Sahara*, Yangambi, C.C.T.A, 35 p.
- Vennetier P., 1966. – Atlas du Congo. J.A., 38p.
42. 16. Wu Q., Li H., Wang R., Paulussen J., Hec Y., Wang M., Wang B. & Wang Z., 2006.
43. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS.
44. *Landscape and Urban Planning*, 78: 322-333.

45. Zhang Y. et Guindon B., 2005. Landscape Assessment of Human Impacts on Deforestation in the Great Lakes Watershed; *Canada Journal of Remote Sensing*, vol. 31, pp: 153 – 166.