

## Evaluation par télédétection des changements d'un couvert forestier de la région forestière de Kisangani

### [ Assessment by remote sensing of forest cover change in a forest region of Kisangani ]

Jean-fiston N. Mikwa<sup>1-2</sup>, Lumbuenamo Raymond<sup>4</sup>, Anitambua Sungu<sup>2</sup>, Jean-Marie Kahindo<sup>3</sup>, and Pierre Defourny<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Gestions des Ressources Naturelles Renouvelables,  
Université de Kisangani, BP 2012, Kisangani, RD Congo

<sup>2</sup>Unité de recherche en sol et systèmes d'informations spatiales, RUSSIS,  
Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables,  
Université de Kisangani, BP 2012, Kisangani, RD Congo

<sup>3</sup>Faculté des sciences, Université de Kisangani, BP 2012, Kisangani, RD Congo

<sup>4</sup>Faculté des sciences agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

<sup>5</sup>Research unit in Environmental and Geomatics,  
Université Catholique de Louvain, ENGE, Croix du Sud 2, bte. 1348  
Louvain-la-Neuve, Belgium

---

Copyright © 2016 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:** This survey is based on the assessment by remote detection of the deforestation in the forest region of Masako in Kisangani (RDC), it aims to quantify the dynamics of the soil occupation while using the techniques of the cartography by remote detection as well as those of the systems of geographical information.

We had used of the Landsat pictures TM p176r060 of January 1990 and March 2001, to make the cartography of the soil occupation, the method of the post-classifications has been used, six classes have been kept in order to apply a SIG under Arcgis 10, The matrix of confusion has been used to validate the results of the classification, the matrix of transition and the yearly rate of deforestation, have been used to quantify the fragmentation of the forest landscape.

Of the gotten results, the methods prove that him ya had a change in the occupation of soil of it spaces it of 11 years. So while comparing the gotten results, we noted that the forest landscape is in full change in Kisangani. Fragmentation remains intense for the classes of the dense forests and the secondary drill. The dominant class is the one of the fields and fallows.

**KEYWORDS:** deforestation, remote detection, fragmentation, geographical information system, spatial structure, Masako.

**RESUME:** Cette étude est basée sur l'évaluation par télédétection de la déforestation dans la région forestière de Masako à Kisangani (RDC), elle vise à quantifier la dynamique de l'occupation du sol en utilisant les techniques de la cartographie par télédétection ainsi que celles des systèmes d'informations géographiques.

Nous avons utilisé des images Landsat TM p176r060 de Janvier 1990 et de Mars 2001, pour faire la cartographie de l'occupation du sol, la méthode des post-classifications a été utilisée, six classes ont été retenues afin d'appliquer un SIG sous Arcgis 10, La matrice de confusion a été utilisée pour valider les résultats de la classification, la matrice de transition et le taux annuel de déforestation, ont été utilisés pour quantifier la fragmentation du paysage forestier

Des résultats obtenus, les méthodes prouvent qu'il ya eu un changement dans l'occupation du sol en l'espace de 11 ans. Ainsi en comparant les résultats obtenus, nous avons constaté que le paysage forestier est en plein changement à Kisangani. La fragmentation reste intense pour les classes des forêts denses et de la forêt secondaire. La classe dominante est celle des champs et jachères.

**MOTS-CLEFS:** déforestation, télédétection, fragmentation, système d'information géographique, structure spatiale, Masako.

## **1 INTRODUCTION**

Ces extraordinaires écosystèmes des forêts denses humides dotés d'une grande diversité biologique sont très fragiles et peuvent disparaître, entraînant des bouleversements tant du point de vue de la biodiversité que sur les populations et leurs activités [11]. La déforestation, phénomène mondial d'ampleur notable, rapide et en accélération, provoque la disparition de bon nombre d'espèces végétales et animales de grande valeur scientifique et économique et, par la dégradation, la fragilisation des écosystèmes [26].

La surexploitation des ressources naturelles par l'humanité, suite à la forte croissance démographique, a fait un boom ces quarante dernières années entraînant d'énormes modifications des écosystèmes, lesquelles ont des répercussions sur le climat, la biodiversité et l'occupation du sol. Ce rythme de consommation des ressources naturelles excède leurs rythmes de renouvellement [27].

Selon la [14] la surface totale mondiale des forêts a été estimée à 3.952 millions d'hectares soit 30,3 % de la surface totale de terre. Cela correspond à une moyenne de 0,62 ha par individu pour une population mondiale de 6,3 milliards d'individus. Par contre l'étendue des forêts africaines a été estimée à 635 millions d'hectares soit 16,1% de surface totale de forêt ; 21,4% de la surface des continents et 0,73 ha par individu pour une population de 868 millions d'individus en Afrique, [1].

La dernière évaluation de l'Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation [15] constate que 13 millions d'hectares de forêts ont disparu chaque année entre 2000 et 2005, en grande partie en Amérique du Sud, en Asie du Sud-Est et dans le Bassin du Congo. Durant les 15 années qui se sont écoulées entre 1990 et 2005, l'Afrique a perdu plus de 9% de sa superficie forestière [12].

Les forêts hébergent plus de 50% de la diversité spécifique terrestre, elles constituent des réservoirs stables pour 46% du carbone terrestre et absorbent le dioxyde de carbone qui nourrit l'effet de serre et jouent un rôle prépondérant dans le cycle de l'eau [15]. Les forêts tropicales humides participent à la purification et au recyclage de l'eau, de même elles sont essentielles à la lutte contre le réchauffement climatique car, plus qu'aucun autre écosystème, elles ont la faculté d'emprisonner le CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone). La destruction des forêts conduit à une perte de 2 à 3% de la biodiversité par décennie. L'estimation faite est qu'environ 137 espèces disparaissent chaque jour dans le monde du fait de la déforestation tropicale ; alors que 90% de la population pauvre, soit 1,5 milliard de personnes, dépendent totalement ou partiellement des forêts pour vivre [25].

Autrefois, entièrement recouverte de forêts tropicales depuis le Sénégal jusqu'à l'Ouganda [4] l'Afrique est largement dénudée aujourd'hui [8]. Et l'effeuillage s'accélère en raison de la déforestation causée par divers facteurs, l'un d'eux étant l'exploitation industrielle du bois sur le continent.

Le territoire de la République Démocratique du Congo (RDC) demeure boisé aux deux tiers, conservant pas moins de 145 millions d'hectares de forêts, dont 86 millions sont des forêts humides (40 % de la superficie du pays) [18]. Les forêts du Congo couvrent 1.700.000 km<sup>2</sup> de superficie et l'on y recense 400 espèces de mammifères et 10.000 espèces de plantes parmi lesquelles, 3.300 espèces de plantes et 39 espèces de mammifères sont endémiques. A l'échelle de la planète, on sait que la quantité de CO<sub>2</sub> piégée par les forêts est de 45 fois supérieure à celle émise chaque année par l'exploitation des énergies fossiles et la fabrication de ciment [32]. Or, il s'avère que le massif forestier de la RDC renferme seul 8% de ce volume ; ce qui fait de lui le premier piège forestier à carbone d'Afrique et le quatrième dans le monde [7]. De plus, certaines prévisions tablent sur une disparition de 40% des forêts du Congo d'ici à l'horizon 2050. D'où la nécessité de développer une gestion forestière respectueuse de l'environnement [9].

La plupart de ces forêts sont en train de subir des processus de déforestation et de dégradation plus ou moins sévères entraînant leur fragmentation ayant des impacts négatifs, non seulement sur les écosystèmes et les modes de vie des populations locales en particulier, mais aussi sur l'humanité toute entière, et ceci en raison du changement climatique global et de la perte de la biodiversité [36]. En effet, la pauvreté, la croissance démographique galopante, l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation forestière, l'exploitation minière, l'exploitation de bois, l'intensification des terres agricoles, le

développement des infrastructures, l'urbanisation croissante et de plus en plus l'instabilité socio- politique constituent les causes principales de la fragmentation de la végétation naturelle dans les régions tropicales [34].

En République Démocratique du Congo, lors des dernières décennies, ces causes profondes ont été aggravées suite à un cadre juridique et institutionnel inadéquat. Elles sont exacerbées par un contexte politique défavorable caractérisé par une instabilité et des conflits destructeurs de l'environnement. On a enregistré des pertes de 3701000 ha des forêts entre 1995 et 1999 [13]. Par ce fait la R.D. Congo se classe en 7<sup>e</sup> position au niveau mondial sur la liste des pays ayant un fort pourcentage de déforestation après la Russie, le Brésil le Canada, les E-U, la Chine, et l'Inde.

Par ailleurs, la déforestation est reconnue comme un problème majeur de conservation, mais on s'est peu soucié à sa quantification à petite échelle et à ses conséquences.

Dans la gestion des écosystèmes forestiers il est important de garder à l'esprit que les gestionnaires se heurtent à des systèmes dont la dynamique se décline à diverses échelles. [10], Cela conduit à des difficultés de décider de l'ampleur et du degré des impacts d'interventions humaines appropriées sur les systèmes en constante évolution, faute de connaissances suffisantes. Pourtant, faudrait-il d'abord comprendre et maîtriser cet environnement par sa caractérisation, le suivi pluriannuel de son évolution et l'étude des changements et leur impact sur l'écologie du milieu. Ceci est possible avec des nouveaux outils et techniques, comme la télédétection spatiale et les systèmes d'informations géographiques et les traitements de données plus performants, pouvant aider à mieux comprendre la dynamique des écosystèmes forestiers.

C'est précisément cette étude éco-paysagère qui sera abordée ici et qui consistera à calculer à l'aide de la cartographie par télédétection et l'analyse des structures spatiales, un certain nombre d'indices spatiaux qui correspondent à des indicateurs de l'état de transformation de la structure spatiale du paysage. On pourrait alors supposer que la Région forestière de Masako connaîtrait une forte pression anthropique qui induirait une fragmentation intense de la forêt, conduisant soit à une occupation très diversifiée des sols et soit à un isolement des unités fonctionnelles.

## 2 MILIEU D'ETUDE MATERIELS ET METHODES

### 2.1 MILIEU D'ETUDE

#### 2.1.1 REGION FORESTIERE DE MASAKO

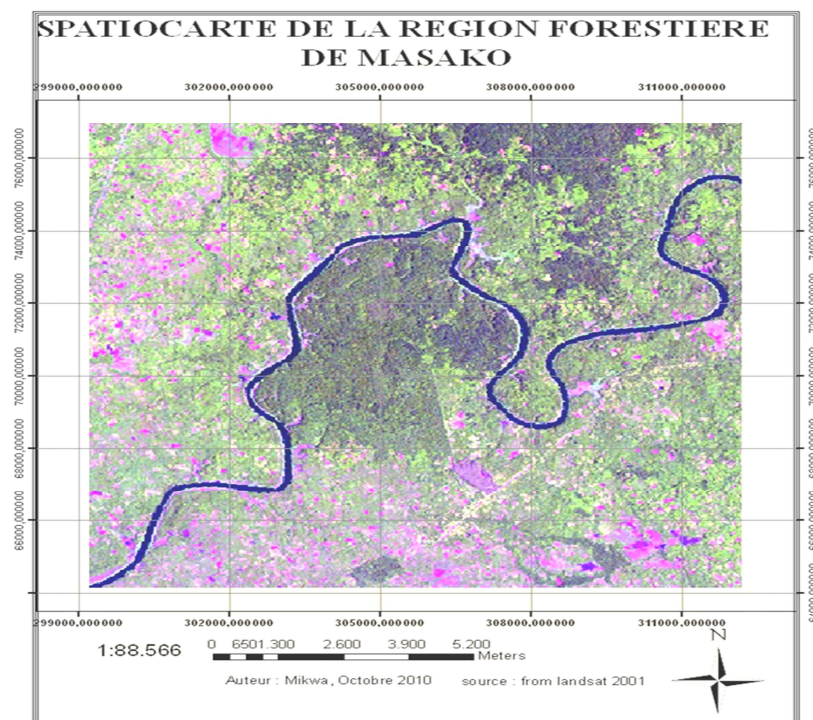


Figure 1: Spatiocarte de la région forestière de Masako

Sur base de cette spatiocarte, notre zone d'étude a une superficie de 14400 ha, elle englobe toute la réserve forestière de Masako, nous expliquons les caractéristiques physiques de la réserve qui est un échantillon représentatif de la zone d'étude.

### 2.1.2 RESERVE FORESTIERE DE MASAKO

La Réserve Forestière de Masako (0°36'N et 25°13'E) est située à 15 km de la ville de Kisangani, dans la direction N-E sur l'ancienne route Buta dans la localité Batiabongena qui est une entité administrative de la collectivité secteur Lubuya-Bera, commune de la Tshopo, ville de Kisangani, province Orientale. La Réserve s'étend sur une superficie d'environ 2.105 ha. Elle est une propriété du Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts, créée par l'ordonnance-loi n°052/378 du 12 novembre 1953.

La Réserve se trouve située en totalité dans une boucle formée par la rivière Tshopo qui fait une concavité tournée vers le Sud (Figure 2.4). La Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani y a installé un Centre d'Ecologie Forestière au Congo (CEFOC) en vue de mener des études sur le fonctionnement de cet écosystème forestier.

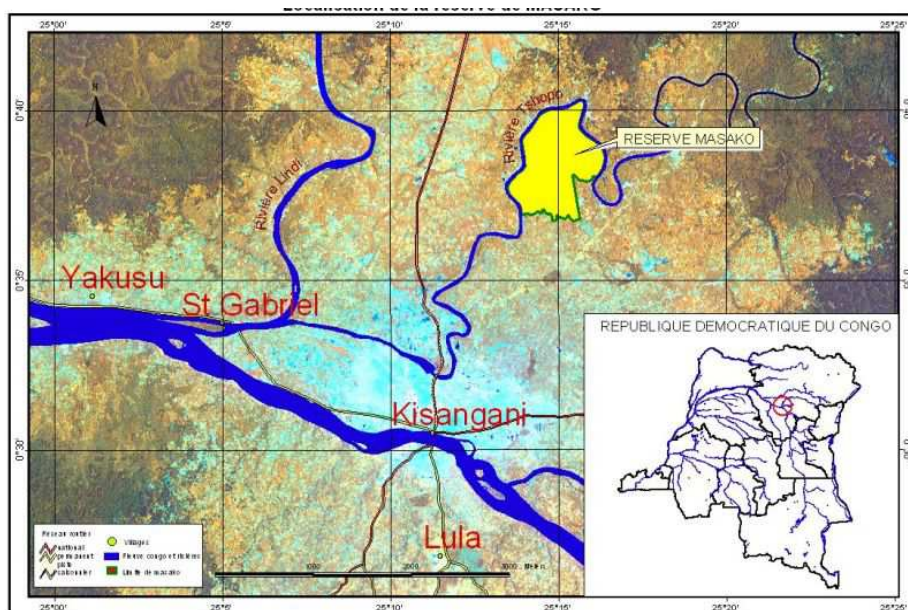


Figure 2 : Localisation de la Réserve Forestière de Masako.

## 2.2 MATERIELS D'ETUDE

Les images satellitaires utilisées dans ce travail couvrent une période allant de 1990 à 2001. Chacune des données nous a fourni des informations différentes sur le phénomène de la déforestation et de la dégradation des forêts. Dans le cadre de notre étude, nous avons pu bénéficier des images satellitaires de la ville de Kisangani à l'observatoire satellitaire des forêts d'Afrique central (Osfac) ainsi qu'à l'institut d'Environnement de l'Université catholique de Louvain-la-Neuve en Belgique.

Pour réduire l'impact des conditions atmosphériques sur les signaux enregistrés et permettre une comparaison, les dates d'acquisition des images se situent pendant la même période de l'année, pendant la saison sèche.

## 2.3 METHODOLOGIE

### 2.3.1 METHODE CARTOGRAPHIQUES

#### 2.3.1.1 COMPOSITES COLOREES DES BANDES PANCHROMATIQUES ( STACK LAYER)

Cette opération consiste à combiner les bandes panchromatiques pour obtenir une composition colorée. Signalons que le "stack" est composé des bandes 3, 4 et 5, qui permettent une bonne lecture de la végétation. Nous avons utilisé le cas échéant, l'outil " Layer Stacking " sur le logiciel ENVI 4.6.

### 2.3.1.2 CLASSIFICATION DES IMAGES

Classer des données satellitaires, c'est grouper les unités primaires qui les composent (pixels) en un nombre donné thématiquement connu ou spectralement homogène [13]. Les procédures de classifications permettent la confection des cartes thématiques.

Pour des raisons précitées, nous avons utilisé la classification non-supervisée à l'aide du logiciel ENVI. L'ensemble de la zone d'étude sur les images était divisée en plusieurs classes ; ainsi, la classification, l'interprétation des images ainsi que le calcul des différentes superficies de ces classes ont été réalisées à l'aide d'ENVI 4.6 et la cartographie proprement dite a été réalisée sur ArcGIS 10.1

Dans le cas de cette étude, il a été défini sur chaque image 100 classes (à raison de 7 itérations), que l'on a reclassifié (post-classification) en 6 classes sur base de la classification de Duveiller, (2008) et renommé à savoir :

- Forêt dense (forêt primaire).
- Forêt secondaire (Longue jachère et forêt secondaire).
- Champs et jachère (Agriculture et petite jachère)
- Sol nu et aire urbaine
- Plantations (Végétation non forestière)
- Eau

### 2.3.1.3 MISE EN PAGE ( LAYOUTS)

Elle a consisté à la présentation cartographique des résultats de la classification sur le logiciel ArcGIS 10.1 avec la table d'attribut pour chaque classe d'occupation du sol pour l'année 1990 et celle de l'année 2001.

### 2.3.2 MATRICE DE CONFUSION

L'estimation de la qualité de la classification a été faite par le biais d'une matrice de confusion [34]. À partir de cette matrice, la qualité de l'utilisateur ou le taux de pixels bien classés de la classe  $i$  ( $P_u(i)$ ) a été déterminée avec l'équation 1 :

$$P_u(i) = \frac{M_c(i)}{m_1} \times 100 \text{ (équation 1)}$$

où  $M_c(i)$  est le nombre de pixels de la classe  $i$  ayant effectivement été affectés à celle-ci après classification et  $m_1$  la somme des pixels de la classe  $i$  dans l'image.

La précision du producteur  $P_p(i)$  a été obtenue suivant l'équation 2 :

$$P_p(i) = \frac{M_c(i)}{m_2} \times 100 \text{ (équation 2)}$$

Où  $m_2$  est le nombre de pixels appartenant effectivement à la classe  $i$ .

Une valeur élevée de  $P_p(i)$  indique que la classe a été peu affectée par les échantillons des autres classes. À l'inverse, un taux faible indique que cette classe a souvent été choisie à la place d'autres classes.

La précision globale de la classification a été donnée par la moyenne des pourcentages des pixels correctement classés (MPCC)

$$MPCC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_u(i) \text{ (équation 3)}$$

$n$  étant le nombre total des pixels inclus dans la matrice.

Le coefficient de Kappa ( $K$ , équation 4) donne une estimation plus précise (qui tient compte des pixels bien classés) de la qualité de la classification [31] :

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^r M_c(i) - \sum_{i=1}^r m_1 m_2}{n^2 - \sum_{i=1}^r m_1 m_2} \times 100 \quad (\text{Équation 4}) \text{ où } r \text{ est le nombre de rangées de la matrice.}$$

### 2.3.3 MATRICE DE TRANSITION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL

La matrice de transition permet de mettre en évidence les changements d'occupation du sol pendant une période donnée [18], [32]. Les cellules de la matrice contiennent la valeur d'une variable ayant passé d'une classe initiale  $i$  à une classe finale  $j$  pendant la période considérée. Les valeurs des colonnes représentent les proportions des aires occupées par chaque classe d'occupation du sol au temps  $j$  et celles des lignes, au temps initial  $i$ .

### 2.3.4 TAUX ANNUEL DE DEFORESTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le taux annuel de déforestation est le pourcentage que perd la forêt chaque année dans un territoire forestier bien défini. Ce taux a été calculé comme suit : L'analyse de la dynamique de l'occupation des terres a été faite à partir du calcul du taux de déforestation annuel [23], [30], [36] a été utilisée. La variable considérée ici est la superficie ( $S$ ). Ainsi, pour  $S_0$  et  $S_1$ , correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation des terres en 1990 et en 2001, le taux de déforestation spatiale moyen annuel  $T$ ,

$$T = \frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{t \ln e} \times 100 \quad (\text{Équation 5})$$

où :  $t$  est le nombre d'années d'évolution ;  $\ln$  le logarithme népérien ;  $e$  la base des logarithmes népériens ( $e = 2,71828$ ) et  $S$  la superficie.

## 3 RESULTATS

### 3.1 CARTOGRAPHIE PAR TELEDETECTION DE LA REGION FORESTIERE DE MASAKO

#### 3.1.1 PRESENTATION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL

Les cartes produites suite aux différents traitements sont présentées dans les Figures 3.1 et 3.2. On constate dans l'ensemble une variation dans la disposition et la constitution des différents éléments dans la zone d'étude. Sur la carte de 1990 (Figure 3.1), la matrice est constituée par la classe champs et jachères comme classe dominante tandis qu'en 2001 (Figure 3.2), c'est la classe forêt secondaire qui devient la classe prépondérante, la forêt dense à garder la même architecture visuellement bien qu'il ait une réduction de son étendue.

Dans l'ensemble, à la vue des cartes, on constate qu'entre 1990 et 2001, la structure générale du paysage a changé ; les matrices de même que la répartition des taches des classes ont également changé. Les grandes taches des forêts secondaires et des forêts denses ont disparu et font place à de taches plus petites ou souvent à d'autres classes. La jachère n'a pas changé de structure et se retrouve confinée aux mêmes endroits, quant aux Jachères et champs, ils sont repartis dans tout le paysage de 2001. Probablement que les Forêts ont fait les frais de techniques et habitudes culturelles des populations locales.

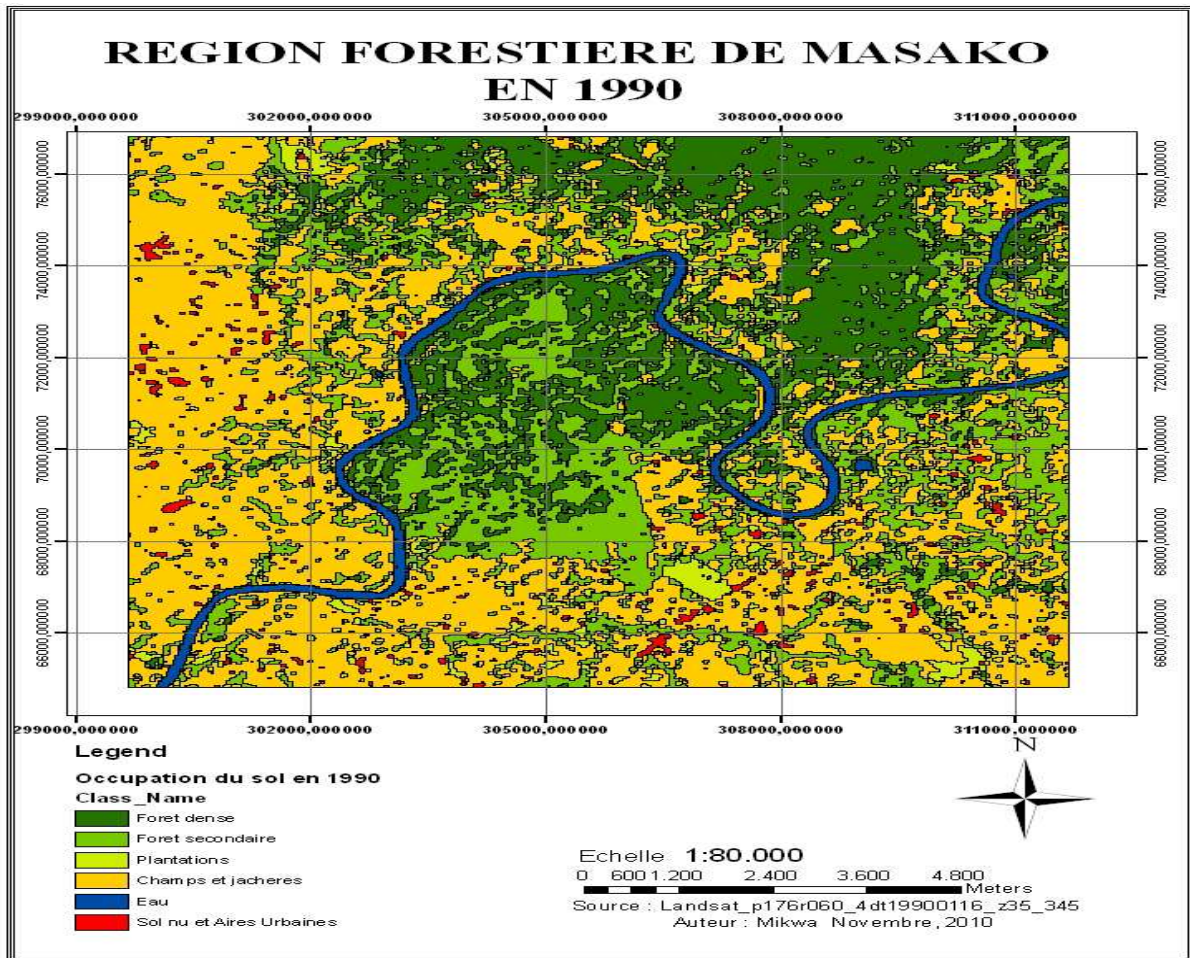


Fig 3. : Carte d'occupation du sol de la région forestière de Masako en 1990

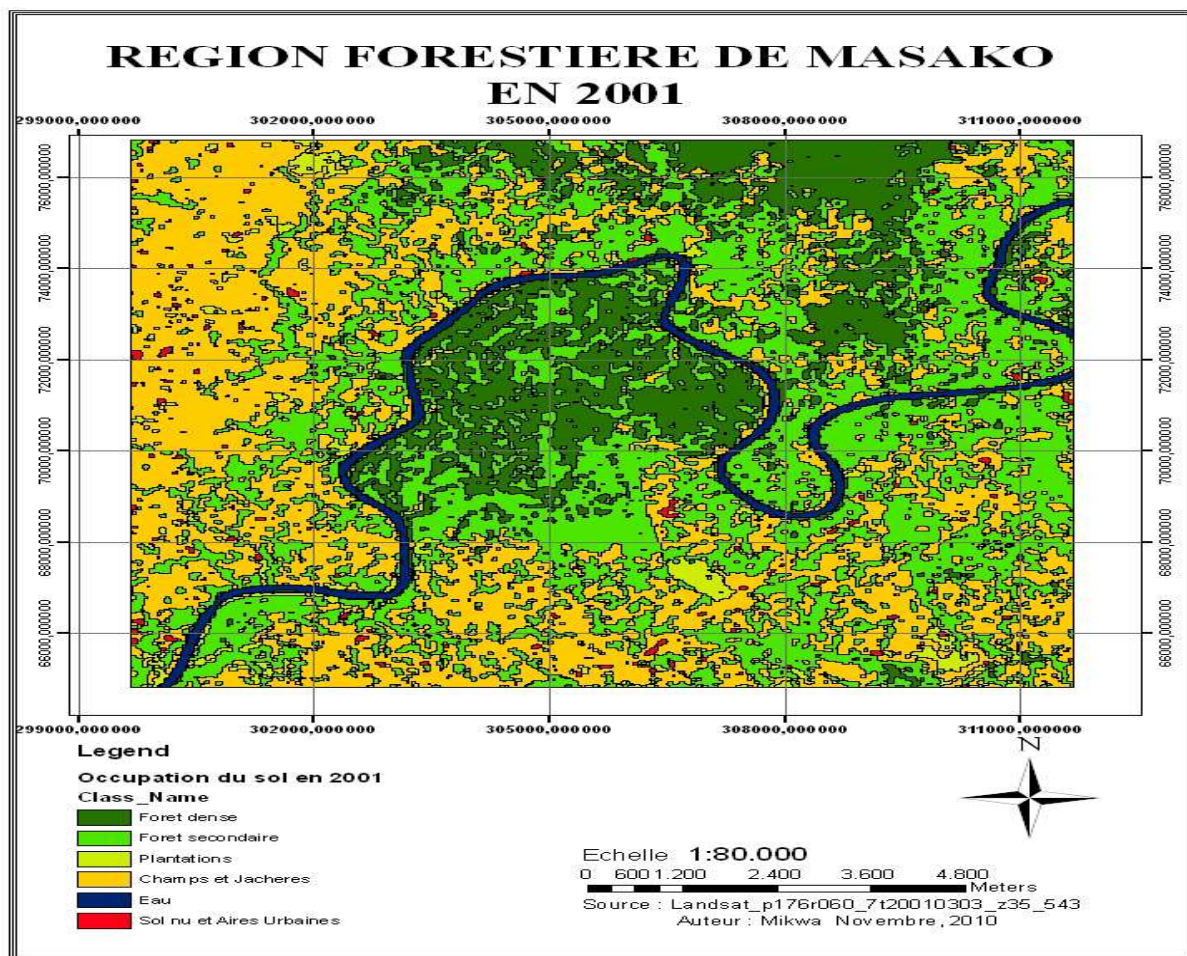


Fig4 : Carte d'occupation du sol de la région forestière de Masako en 2001

3.1.2 VALIDATION DES RESULTATS DE LA CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

Des données de référence ont été obtenues à partir des relevés obtenus en généralisant des points aléatoires. Un plan d'échantillonnage aléatoire a été réalisé sur la base des classes d'occupation du sol retenues. Cents sites de vérification ont été choisis de manière à se trouver dans des zones homogènes [37].

Tableau 3.1 : Matrice de confusion de la classification de 1990

Classifiée	forêt dense	forêt secondaire	champs et jachères	plantation	sol nu	eau	total	Pp%
forêt dense	19	1	1	0	0	0	21	90
forêt secondaire	1	26	4	0	0	0	31	83
champs et jachères	0	1	40	0	0	0	41	75
Plantation	0	0	1	3	0	0	4	97
sol nu	0	0	0	2	0	2	2	100
Eau	0	0	0	0	0	1	1	100
<b>Total</b>	20	28	46	3	2	1	100	
<b>Pu%</b>	95	92	86,9	100	100	100		
<b>MPCC</b>								91 %
<b>K</b>								92 %



Tableau 3.2. : Matrice de confusion de la classification de 2001

Classifiée Reference	forêt dense	forêt secondaire	champs et jachères	plantation	sol nu	eau	total	Pp%
forêt dense	12	2	0	0	0	0	14	85
forêt secondaire	1	35	0	0	0	0	36	97
champs et jachères	1	3	36	0	0	0	40	90
Plantation	0	0	0	7	0	0	7	100
sol nu	0	0	0	0	1	0	1	100
Eau	0	0	0	0	0	2	2	100
<b>Total</b>	14	40	36	7	1	2	100	
<b>Pu%</b>	85	87.5	100	100	100	100		
<b>MPCC</b>								93 %
<b>K</b>								92,8 %

Les rangées correspondent aux classes définies sur le terrain (données de référence) et les colonnes aux classes obtenues par classification de l'image Landsat ETM+. Pu, Pp et MPCC sont respectivement la qualité de l'utilisateur, la précision du producteur et la moyenne des pourcentages des pixels correctement classés. K est le coefficient de Kappa.

Les matrices de confusion des images Landsat ETM+ 1990 et celle de 2001 (tableau 6.1 et 6.2) indique une MPCC 91 % et de 93 % respectivement pour les deux années. En général nous constatons que la qualité du producteur et celles de l'utilisateur sont bonne parce que toutes ces valeurs sont au-dessus de 85 %.

### 3.1.3 MISE EN EVIDENCE DES CHANGEMENTS A L'ECHELLE DU PAYSAGE : MATRICE DE TRANSITION

#### 3.1.3.1 MATRICE DE TRANSITION

Tableau 3.3. Matrice de transition illustrant en hectare le changement des surfaces des classes d'occupation du sol entre 1990 et 2001

		2001						
		Forêt dense	Foret Sec.	Champs et jachères	Plantation	Sol nu	eau	total
1990	Forêt dense	<b>1675,62</b>	885,6	285,2	38,34	0,8	21,06	2906,62
	Foretsecondaire	474,9	<b>2755,35</b>	887,4	70,11	10,8	4,14	4202,7
	Champs et jachères	19,53	2077,7	<b>3820,95</b>	203,94	71,01	3,3	6196,43
	Plantation	5,1	110,16	232,38	<b>116,19</b>	8,82	0,7	473,35
	Sol nu	0	36,54	159,21	6,9	<b>9,9</b>	0,09	212,64
	Eau	28,17	10,71	20,07	3,96	0,36	<b>344,79</b>	408,06
	<b>Total</b>	2203,32	5876,06	5405,21	439,44	101,69	374,08	<b>14400</b>

En effet de la lecture du tableau 6.4 issu du tableau 6.3, nous constatons que des 20 % qu'occupait la forêt dense en 1990, 11,64 % est restée intacte, 6,15 % est maintenant occupée par la forêt secondaire, et 2 % par la classe champs et jachères, la classe forêt dense a reculé d'environ 5 %.

Tableau 4.4. Matrice de transition de l'occupation du sol (en pourcentage) entre 1990 et 2001

		2001						
		Forêt dense	Forêt Sec.	Champs et jachères	Plantation	Sol nu	eau	Total %
1990	Forêt dense	<b>11,64</b>	6,15	1,98	0,27	0,01	0,15	20%
	Forêt secondaire	3,30	<b>19,13</b>	6,16	0,49	0,08	0,03	29%
	Champs et jachères	0,14	14,43	<b>26,53</b>	1,42	0,49	0,02	43,03%
	Plantation	0,04	0,77	1,61	<b>0,81</b>	0,06	0,00	3,20%
	Sol nu	0,00	0,25	1,11	0,05	<b>0,07</b>	0,00	1,47%
	Eau	0,20	0,07	0,14	0,03	0,00	<b>2,39</b>	2,83%
	Total %	15,30%	40,80%	37,53%	3,05%	0,71%	2,60%	100%

Au niveau de la classe forêt secondaire, 3 % est devenu forêt dense et 6 % transformé en champs et jachères et nous constatons qu'en dix ans la classe a augmenté de 10 %. S'agissant de la classe Champs et jachère, de ses 43 % en 1990 ; 26 % sont restés intacts et 14 % sont devenus forêt secondaires, ce passage de la jachère à la classe forêt secondaire serait due par le fait que sous l'appellation forêt secondaire, nous avons aussi la classe longue jachère c'est-à-dire aggradation de la petite jachère à la jachère vieille qui fait partie de la classe forêt secondaire [18].

Les valeurs des diagonales, indiquent la permanence des classes, celles au-dessus indiquent la tendance à la déforestation tandis que celles en dessous de la diagonale indiquent la tendance à la reforestation. Nous constatons que la classe la plus stable est celle de la forêt secondaire. En somme l'analyse des transferts d'occupation du sol entre 1990 et 2001 permet de départager l'importance relative des dynamiques paysagères à savoir : la stabilité des classes 60,57 %, la tendance à la déforestation de la couverture végétale 17,31 % du paysage et la tendance à la reforestation 22,14 %

### 3.1.4 TAUX DE DEFORESTATION ANNUELLE MOYEN (LE SIGNE NEGATIF EXPRIME LA REDUCTION DU COUVERT FORESTIER)

Tableau 4.5. Taux de déforestation spatiale annuelle entre 1990 et 2001

	Aire 1990 ha	Proportion 1990 %	Aire 2001 ha	Proportion 2001 %	T(%)
<b>Forêt dense</b>	2906,64	15,30 %	2 203,38	20 %	-2,50
<b>Forêt secondaire</b>	4202,73	40,80 %	5876,1	29 %	3,03
<b>Champs et jachères</b>	6196,50	37,53 %	5 405,22	43,03 %	-1,23
<b>Plantation</b>	473,4	3,05 %	439,47	3,2 %	-0,67
<b>Sol nu</b>	212,67	0,71 %	101,7	1,47 %	
<b>Eau</b>	408,06	2,60 %	374,13	2,83 %	
<b>Total</b>	14 400,00		14 400,00		-1,38

La lecture de ce tableau montre que la région forestière de Masako accuse un taux de déforestation annuelle moyen de 1,38 %.

## 4 DISCUSSIONS

### 4.1 CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

Plusieurs auteurs ont utilisées la cartographie et les indices des structures spatiales pour l'étude de la détection des changements d'occupation du sol. Plusieurs types de classification existent pour une étude de la détection des changements, nous avons utilisé la méthode des classifications utilisant la classification Iso-data ou non supervisée pouvant nous aider à obtenir des classes d'occupation du sol. Plusieurs auteurs ont utilisés la classification non-supervisé pour l'étude des changements, [3], [6], [15],[20], [24],[36], [37], utilisé la classification non supervisée pour le suivi du changement d'occupation du sol en Egypte, en Asie, en Amérique latine et en Afrique centrale ; la même méthodologie a été appliquée en 2007 [16] pour les études de la déforestation en Afrique centrale. [24] a utilisé la classification non supervisée avant

d'appliquer la classification orienté-objet pour une étude de suivi du changement des forêts tropicales ils ont constaté que la classification non supervisée a donné des bons résultats pour des études de changements.

ces méthodes sont simples et fournissent des informations sur la nature des changements, ce qui est important dans le cas présent cependant, cette méthode est critiquée parce qu'elle crée des erreurs d'omission [3] c'est-à-dire qu'elle a tendance à sous-estimer les changements, pour résoudre ce problème, nous proposons donc d'ajouter une autre méthode, la méthode orienté-objet, puisqu'elle permet d'isoler les pixels pour lesquels il n'y a pas eu de changements et de classer seulement les pixels correspondant à un changement [2], [36].

#### 4.2 VERIFICATION DE LA CLASSIFICATION D'OCCUPATION DU SOL

L'évaluation de la classification a été faite par le biais d'une matrice de confusion [34], plusieurs auteurs ont utilisé la matrice de confusion pour vérifier l'exactitude de la classification [2], [6], [22],[29]. La précision de l'utilisateur et celle du producteur a été déterminé selon [31], [38], ainsi que le coefficient Kappa K[17], [35]. Selon ces auteurs, il faut une moyenne de 85 % d'exactitude et ne pas avoir une classe moins de 70 %, le USGS propose une exactitude de 85 % comme une valeur minimale pour une classification d'occupation du sol utilisant. D'après Pontius une étude de l'occupation du sol peut être validée si K est > 75 %

#### 4.3 MATRICE DE TRANSITION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL

Trois processus importants ont été observés dans l'interprétation de la matrice de transition, la stabilité des classes de 60,57 %, la tendance à la déforestation de la couverture végétale 17,31 % du paysage et la tendance à la reforestation 22.14 % au niveau du paysage forestier.[36] a utilisé la matrice de transition pour quantifier la dynamique paysagère et a abouti aux résultats selon lesquels la stabilité du paysage était de 33,56 % du paysage, la dynamique de densification de la couverture végétale de 18,26 % et l'ouverture du paysage de 48,18 %. [23] ont trouvé que du point de vue spatial, 22,3 % du secteur étudié ne change pas, 59,4 % est en régression et 18,3 % connaît une expansion lors d'une étude sur la modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. Par contre Bamba, 2010 a constaté Premièrement la savanisation, c'est-à-dire la création ou formation de savanes; elle s'est faite par le maintien des savanes préexistantes (9,30 %) et surtout par la disparition de la classe forêt secondaire (14,23 %). Deuxièmement la dégradation de l'écosystème forestier, surtout de la forêt secondaire (-22,63 %). Finalement la succession naturelle spontanée : c'est l'évolution normale vers un état climacique. Il s'agit de la restauration et formation de forêts (+1,85 %) dans un paysage du Bas-Congo en République Démocratique du Congo.

#### 4.4 TAUX ANNUEL DE DÉFORESTATION

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé l'équation proposée par [23], [30], [36] pour évaluer la déforestation annuelle qui est estimée à 1,38 % pour la région forestière de Masako qui représente la forêt tropicale. Selon les estimations de la Fao, 2004 cité par Anonyme, 2006, le taux annuel de déboisement du massif forestier de la RDC est estimé à 0.6%. Pour [30], le taux annuel du changement de la couverture forestière est de 0,26 % par an pour des zones identifiées comme des aires de changement rapide et varie jusqu'à 1 % voire 2,3 % par an pour des zones affectées par des activités paysannes.

### 5 CONCLUSIONS

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'application des techniques de la cartographie par télédétection multitemporelle en vue de caractériser la dynamique de l'occupation du sol entre 1990 et 2001 par les indices de structure spatiale dans la région forestière de Masako à Kisangani en R. D. Congo. Nous avons utilisé deux cartes d'occupation du sol issues des images Landsat des années 1990 et 2001.

La classification non supervisée a été appliquée sur ces images Landsat en utilisant des logiciels de télédétection, la matrice de confusion a été utilisée pour valider les cartes produites, la matrice de transition a été utilisé pour percevoir le taux de changement, le taux annuel de déforestation a été appliqué pour percevoir les pertes annuelles de la couverture végétale.

A la suite de ces analyses le paysage est soumis à une forte pression anthropique, nous relevons dans l'ensemble que le paysage a beaucoup changé en 11 ans. La matrice de transition prouve qu'il ya eu déforestation et dégradation de la couverture végétale, le taux de déforestation est de 1,32 % dans la zone d'étude.

Néanmoins comme nous l'avions signalé, cela est une tendance et nous devons éviter de tirer une conclusion hâtive sans avoir auparavant approfondi les études par l'utilisation d'autres types de données tels que les images satellites d'autres types des capteurs, utiliser une classification par une segmentation Orienté-Objet et les photos aériennes des périodes intermédiaires entre ces deux dates.

C'est pourquoi nous prévoyons dans la suite les démarches suivantes :

- Acquérir d'autres cartes ou données complémentaires pour mieux élaborer un suivi diachronique de plus de 50 ans de l'occupation du sol de cette zone à intervalle de 10 ans ;
- Approfondir l'étude de la structure spatiale par la prise en compte d'autres phénomènes tels que le facteur de graduation K ;
- Insérer l'accessibilité de la population dans l'interprétation des résultats.
- Superposer plusieurs cartes physiques et celles d'utilisation du sol afin de détecter les changements potentiels.
- Proposer une modélisation de la dynamique du paysage forestier pour les 50 années futures

## REFERENCES

- [1] Anonyme, Etat des forêts d'Afrique centrale en 2006, 2006.
- [2] B. Desclée., C. Wasseige., P. Bogaert. & P. Defourny. Tropical forest monitoring by object-based detection: Towards an automated method in an operational perspective. Proceedings of the 1st international conference on object-based image analysis (OBIA 06), July 4–5, 2006, Salzburg, Austria. 2006.
- [3] Béland, M. K. Goïta. Bonn, F. and Pham, T.T.H. Assessment of land-cover changes related to shrimp aquaculture using remote sensing data: a case study in the GiaoThuyDistrict. Vietnam International Journal of Remote Sensing, vol. 27, no8, pp. 1491-1510, 2006.
- [4] Bogaert., J. Lejoly. Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo). *Science & Nature*, Vol.5 N°1 pp. 49-60, 2008.
- [5] C. Petit, T. Scudder. E. and Lambin. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. International Journal Remote Sensing, vol. 22, no17, p. 3435-3456, 2001.
- [6] C. Vancutsem., J. Lubamba., X. Blaes., J. Pekel., de Wasseige C. & Defourny P., the Land CoverMap of the Democratic Republic of Congo, presses universitaires de Louvain ISBN2-87463-019-5, UCL-Geomatics, Louvain-la-Neuve, 2006.
- [7] C.D. Hargis, J.A. Bissonette & J.L. David. Understanding measures of landscape pattern. In: Wildlife and landscape ecology (eds. Bissonette J.A.), pp. 231-261. Springer, Berlin Heidelberg, New York. 1997.
- [8] D. Lu., P. Mausel. E. Brondizio. and E. Moran. Change detection technique. International Journal of Remote Sensing, vol. 25, no12, pp. 2365-2407, 2004
- [9] Déclaration de Bruxelles. - La gestion durable des forêts en République Démocratique Congo, (disponible sur [www.confordrc.org](http://www.confordrc.org)), 2007.
- [10] F. Gourmelon., F. Bioret. & L. Sauve. Potentialités de l'imagerie satellitaire spot 5 pour la cartographie de la végétation terrestre. *Cybergeo*, Cartographie, Imagerie, Sig, Article 325.juin 2007.
- [11] F. White. La végétation de l'Afrique. UNESCO, AETFAT et UNSO. 384p. <http://www.theses.ulaval.ca/2007/24216/ch03.html>, 1986.
- [12] F.A.O. Recherches actuelles et perspectives pour la conservation et le développement. Département des forêts (site internet: <http://www.fao.org/docrep/X2161F/X2161F00.htm>). 1999.
- [13] F.A.O. *Gestion durable des forêts tropicales en Afrique centrale, recherche d'excellence*. Dép. Forêt série N°143, 124 p, 2003.
- [14] F.A.O. Evaluation des ressources forestières mondiales progrès vers la gestion forestière durable. Rome, <http://www.fao.org/forestry/fr/>.2005.
- [15] F.A.O. *Situation des Forêts du monde 2007*. Rome, pp. 143, 2007.
- [16] G. Duveiller., P. Defourny., B. Desclée. P. Mayaux.-Déforestation in Central Africa : Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112 (5), pp 1969 – 1981, 2008.
- [17] G. Rosenfield. & K. Fitzpatrick-Lins. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, pp. 52(2), 223–227, 1986.
- [18] I. BAMBA. Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, pp. 205, 2010.

- [19] I. Bamba. Etude de la structure spatiale et de la dynamique spatio-temporelle d'un paysage dans l'ex-Bas-Congo (R.D. Congo). Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, Université libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 2006.
- [20] J. A. Richards. Remote sensing digital image analysis. An introduction (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag. 340 pp, 1993.
- [21] J. Bogaert., I. Bamba., J.P. Kabulu., K.J. Koffi. C De Cannière. M Visser. & S Sibomana.. Fragmentation of Forest Landscapes in central Africa: causes, consequences and and management. pp. 25, 2008.
- [22] J. Gao. and D. Skillcorn. Capability of SPOT XS data in producing detailed land-cover maps at the urban – rural periphery. International Journal of Remote Sensing, pp. 2877-2891, 1998.
- [23] J. Oloukoi., JM. Vincent., FB. AGBO. modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin in journal canadien de télédétection vol. 6, n° 4, pp. 305-323, 2006.
- [24] J. T. Tou. & R. C. Gonzalez. Pattern recognition principles. Reading, MA: Addison-Wesley. 1974.
- [25] J.C. Bergonzini. & J.P. Lanly. Les forêts tropicales. Cirad / Karthala, pp. 164.2000.
- [26] J.R. Mercier. La déforestation en Afrique : Situation et perspectives. Imprimeri Rhodes Chaudoreille, Edisud, Aix-en-Provence. pp. 177, 1991.
- [27] K. Djibu. - Evaluation de l'état de la fragmentation des forêts au Katanga. *Mémoire DEA, Université Libre de Bruxelles, 85 p.* 2007.
- [28] M. Story. & R. G. Congalton, Accuracy assessment: a user's perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(3), pp.397–399, 1986.
- [29] Q. Zhan., J. Wang., X. Peng., P. Gong., & P. Shi., Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. International Journal of Remote Sensing, 23,3057–3078,2002.
- [30] R. Caloz. et C. Collet. Précis de Télédétection, vol. 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy, pp. 386, 2001.
- [31] R. G. Congalton. & K. Green. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Boca Raton: Lewis Publishers. 1999.
- [32] R. Schlaepfer. *Analyse de la dynamique du paysage*. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. pp.10, 2002.
- [33] R.G. Congalton. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, pp. 35-46. 1991.
- [34] V. Godard. Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Évaluation des dégâts forestiers à l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. Revue Internationale de Géomatique, 15 (3) : pp. 281-302, 2005.
- [35] W. Hudson. & C. Ramm. Correct formula of the Kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(4), 421–422. 1987.
- [36] Y. Barima. 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, 2009.
- [37] Z. Daolan., O. David., W and H. Zhanqing Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea. 1997.
- [38] Z. Campbell. Introduction to remote sensing (3rd ed.). New York: The Guilford Press. 2002.