

CONFIGURATION D'UNE FORÊT DOMANIALE SOUMISE À DES PRESSIONS ANTHROPIQUES EN CÔTE D'IVOIRE : CAS DU NORD DE LA FORÊT CLASSÉE DU HAUT-SASSANDRA

**Yao Sadaïou Sabas BARIMA* , Akoua Tamia Madeleine
KOUAKOU et Issouf BAMBA**

*Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement,
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, e-mail : byssabas@gmail.com

RÉSUMÉ

De 2002 à 2011, la Côte d'Ivoire a connu des épisodes de conflits ayant entraîné la partition du pays en deux zones. Globalement, le Nord, le Centre et l'Ouest du pays étaient contrôlés par des groupes rebelles à l'autorité gouvernementale et le Sud et l'Est étaient sous administration gouvernementale. L'objectif de cette étude était de déterminer l'impact de ces conflits sur les configurations des forêts dans la partie Nord de la forêt classée du Haut-Sassandra (N-FCHS), qui échappait aux autorités légales. Pour cela, les forêts situées à l'intérieur et à la périphérie du N-FCHS ont été identifiées à partir de la classification de deux images satellites couvrant la période de conflit. Ensuite, la structure des taches de forêt a été déterminée en utilisant des descripteurs spatiaux suivant des orientations différentes afin d'identifier le principal front d'anthropisation du N-FCHS.

Enfin, le processus de transformation spatiale dominant, observé pendant cette période a été identifié afin de connaître l'impact des conflits sur la dynamique des forêts. Les résultats ont montré que la fragmentation forestière s'est intensifiée pendant la période des conflits. Ainsi, les fragments de forêts ont été multipliés au moins par 30 à l'intérieur et à la périphérie du N-FCHS. La configuration des forêts, régulières avant les conflits, est devenue de plus en plus complexe à la fin des crises. Cependant l'indice de la dimension fractale, obtenu à partir du double de la pente linéaire issue du log du périmètre et du log de l'aire des forêts s'est avéré inadapté pour caractériser les formes forestières. À la fin des conflits en 2013, les forêts situées à l'Ouest et au Nord-Ouest de la zone d'étude, avec des taux de déforestation de plus de 90 % (entre 2002 et 2013), étaient les fronts d'anthropisation les plus importants en dépit de la présence d'une barrière naturelle constituée par un fleuve.

Finalement, cette étude a permis de mettre en évidence l'impact des guerres civiles et des instabilités politiques sur la dynamique des ressources forestières ivoiriennes.

Mots-clés : *conflits armés, fragmentation des forêts, forme des forêts, télédétection, descripteurs spatiaux, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT

Configuration of a state forest subjected to anthropogenic pressures in Ivory Coast : the case of the northern classified forest of Haut-Sassandra

From 2002 to 2011, Côte d'Ivoire has experienced episodes of conflict that led to the partition of the country into two zones. Overall, North, Centre and West of the country were controlled by rebel groups and South and East were under government administration. The objective of this study was to determine the impact of these conflicts on the forests configurations in the northern part of the classified forest of Haut-Sassandra (N-CFHS), which got out of the legal authorities. For this, forests located within and on the periphery of the N-CFHS were identified from the classification of two satellite images covering the period of conflict. Then, the structure of forest patch was determined using spatial descriptors in different directions in order to identify the main anthropisation front of the N-CFHS.

Finally, the dominant spatial transformation process observed during this period were identified in order to know the impact of conflicts on forest dynamics. Results showed that forest fragmentation has intensified during conflict period. Thus, fragments of forests has increased by at least 30 times inside and on the periphery of the N-CFHS. Forests configuration, regular before conflicts, has become increasingly complex at the end of crises. However the fractal index dimension, obtained from the double of slope of linear regression of the log perimeter of the log of forest area has proven inadequate to characterize forest forms of CFHS. At the end of conflict, forests located in West and North-West of the study area, with deforestation rates over of 90 %, were the most significant human impact fronts despite the presence of a natural barrier consisting of the river. Finally, this study highlights the impact of civil wars and political instability on the dynamics of Ivorian forests.

Keywords : *armed conflicts, forest fragmentation, forest shape, remote sensing, spatial descriptors, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

La région Ouest-Africaine reste l'un des foyers de conflits en Afrique depuis plus de vingt ans [1, 2]. Ces conflits, généralement non structurés impliquent de multiples intervenants, chacun défendant ses propres intérêts [3, 4]. Pendant une décennie, la Côte d'Ivoire est rentrée dans cette spirale de conflits après un coup d'Etat manqué en 2002, ayant entraîné la partition du pays en deux : les parties Nord et Ouest du pays contrôlées par des groupements rebelles et la partie Sud restée sous administration gouvernementale. Entre ces deux parties, une zone tampon est contrôlée par les forces onusiennes et les soldats français (**Figure 1**). Malgré la présence de ces soldats, des incursions militaires ont été observées dans les deux zones et ont atteint leur paroxysme en 2011 suite au conflit militaire né de l'élection présidentielle. Ces différentes crises politiques et militaires auraient affecté diversement l'équilibre social des populations [5, 6] mais également l'environnement.

En effet les activités liées à la guerre ont des impacts négatifs directs ou indirects sur tous les niveaux de la biodiversité, des gènes aux écosystèmes [7]. Les impacts directs peuvent être la chasse ou la destruction de l'habitat par les armées ; les impacts indirects se traduisent par exemple à travers les activités des réfugiés et autres personnes déplacées ou le retrait du personnel de la conservation des forêts [8]. Les effets indirects des conflits ont souvent des répercussions de plus grande portée que la destruction directe sur les champs de bataille. Les dépenses militaires peuvent, en effet, se faire au détriment d'autres programmes gouvernementaux, y compris la gestion des ressources naturelles [9]. En Côte d'Ivoire, durant ces crises, de nombreuses régions sont restées sans administration légale, quand d'autres ont été simplement délaissées au profit de nouvelles priorités.

La région du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire reste de loin, la région la plus affectée par ces conflits [6] : importants déplacements de populations, baisse de revenu, pertes agricoles, perte de bétail, nombre élevé de victimes, etc. La situation de conflits dans cette région a aussi fait ressortir les problèmes liés à la ressource foncière dans la zone. Les nombreux mouvements de populations ont amplifiés les conflits fonciers déjà récurrents dans cette région. Pourtant, les populations du Centre-Ouest ivoirien sont fortement tributaires de la forêt et de ses fonctions, non seulement pour l'agriculture mais aussi pour les produits forestiers non-ligneux qu'elle procure [10]. Au niveau national, de la région du Centre-Ouest, est issue la deuxième plus grande production de cacao et de café. Ces productions sont les principales ressources financières de la Côte d'Ivoire intervenant à plus de 20 % de son produit intérieur brut. La région du Centre-Ouest abrite aussi l'une des plus importantes forêts protégées de

Côte d'Ivoire à savoir la forêt classée du Haut-Sassandra. D'une superficie de 1024 km², cette aire protégée était avant les conflits, l'une des réserves forestières les mieux protégées de Côte d'Ivoire [11]. Sous administration des groupements rebelles durant les conflits, le N-FCHS était fortement sujet à d'importantes infiltrations par les populations locales et par les immigrants pour l'exploitation du bois et surtout pour la culture du cacaoyer [12 - 14]. L'objectif de cette étude était de déterminer l'impact de ces conflits sur les configurations des taches de forêt dans la partie Nord de la forêt classée du Haut-Sassandra. Cet objectif est fondé sur les hypothèses suivantes : (1) la configuration des taches de forêt du N-FCHS a été modifiée et la déforestation, déjà observée dans la région, s'est amplifiée durant cette période de crises ; (2) les forêts situées dans la partie occidentale du N-FCHS sont les moins modifiées par l'Homme par rapport aux forêts des autres zones à cause de la présence d'une barrière naturelle que constitue le fleuve ;

(3) l'anthropisation du N-FCHS augmente à mesure que l'on s'éloigne des limites de cette aire protégée et diminue lorsque l'on y pénètre. Pour tester ces hypothèses, les taches de forêts, situées à l'intérieur et à la périphérie du N-FCHS, seront identifiées à partir de la classification de deux images satellitaires couvrant la période de conflits en Côte d'Ivoire et, des descripteurs spatiaux permettront de les caractériser. Ensuite, la configuration des forêts sera déterminée suivant différentes orientations (d'Est en Ouest) afin d'identifier le principal front d'anthropisation. Enfin, le processus de transformation spatial dominant observé pendant la période de conflits sera déterminé afin d'évaluer l'impact des conflits sur la dynamique des écosystèmes forestiers. Finalement, cette étude permettra de mieux comprendre l'impact des guerres civiles et des instabilités politiques sur la dynamique des forêts denses tropicales africaines.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Sites de recherche

Cette étude a été menée dans la partie septentrionale de la forêt classée du Haut-Sassandra (N-FCHS) dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire (**Figure 1**). Le climat de cette région est du type subéquatorial avec une grande saison de pluies (Février à Novembre) et une petite saison sèche (Novembre à Janvier). La pluviométrie annuelle est de 1460 mm et la végétation de la forêt classée du Haut-Sassandra est un mélange de forêts denses, de savanes et d'inselbergs. Plus de 1047 espèces de plantes vasculaires avaient été recensées dans cette forêt par [15].

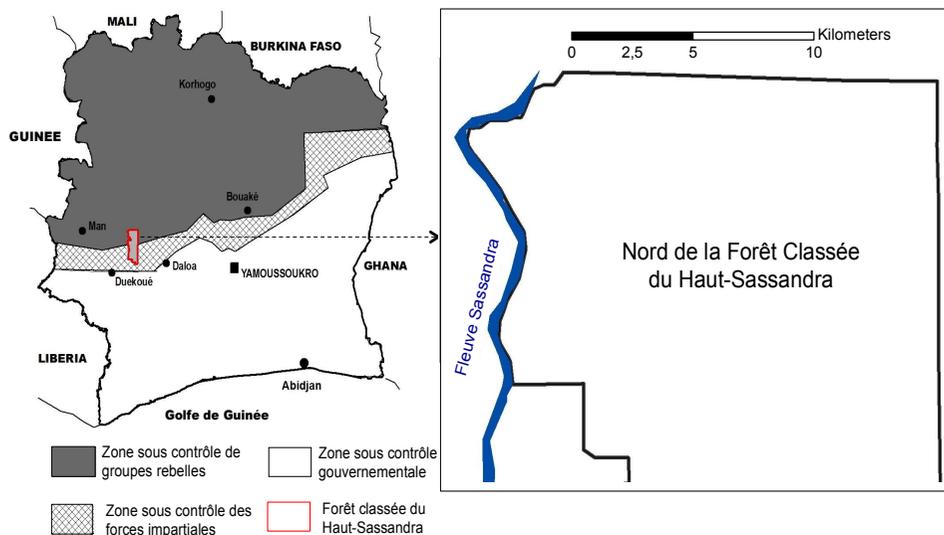


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude en Côte d'Ivoire. L'étude a été réalisée dans le Nord de la forêt classée du Haut-Sassandra

II-2. Identification des taches de forêt à partir de la télédétection

Les taches de forêt de la zone d'étude ont été identifiées sur base de la classification radiométrique de deux images issues du capteur SPOT, datant du 14 / 12 / 2001 (SPOT 4, 20 m résolution) et du 28 / 12 / 2013 (SPOT 5, 10 m résolution). Le géo-référencement réalisé par le fournisseur a été vérifié à partir de coordonnées géographiques de points invariants. L'image de 2001, de 20 m de résolution, a été ré-échantillonnée spatialement à partir de la méthode du plus proche voisin [16] afin d'obtenir une image de 10 m de résolution, comparable à celle de 2013. La proportion de pixels « purs » étant ceux obtenus sur les images de résolution plus grossière (2001), la segmentation du pixel de 20 m en 10 m a permis d'affiner le diagnostic. Une découpe a été faite sur les deux images incluant la partie Nord de la forêt classée du Haut-Sassandra (dénommée intérieur) et sa périphérie sur environ 10 km (dénommée périphérie). En nous référant à des anciennes cartes d'occupation du sol de la région [11, 17] et de missions sur le terrain, une classification orientée objet a été réalisée. En effet, 150 zones d'entraînement composées de pixels homogènes mesurant chacune au moins un quart d'Ha ont été déterminées dans les classes d'occupation du sol suivants : forêt, savane, exploitations agricoles, sol nu et habitat. Ces zones d'entraînement ont été utilisées pour effectuer une classification supervisée des 2 images avec les bandes spectrales Vert (0,52-0,60 μm), Rouge (0,62 - 0,70 μm) et Proche-infrarouge (0,70 - 1,30 μm). Les canaux Rouge et Proche-infrarouge sont, en effet, les plus employés pour les études de végétation car ils permettent de discriminer au mieux la végétation [18].

II-3. Carte forêt et non-forêt et vérification de la classification

Dans l'optique d'obtenir une carte forêt et non-forêt, les classes savanes, exploitations agricoles, sols nus et habitats ont été groupées dans la classe non-forêt. Finalement, deux cartes forêt et non-forêt (**Figure 2**), l'une datant du 14 / 12 / 2001 et l'autre du 28 / 12 / 2013 ont été produites et seront utilisées dans les analyses à venir. La vérification de la classification a été faite à partir d'observations de terrain réalisées dans 140 parcelles unitaires de 250 m². Dans chacune de ces parcelles, les types de milieu ont été notés. Pour aider à l'interprétation des résultats cartographiques, les types d'activité, le degré de dégradation ou d'artificialisation ont également été relevés. L'estimation de la qualité de la classification a été faite par le biais du coefficient de Kappa qui donne une précision globale de la classification [19, 20]. Les logiciels ENVI 4.4 et ArcGIS 9.3 ont été utilisés respectivement, pour les analyses d'images satellites et pour la cartographie.

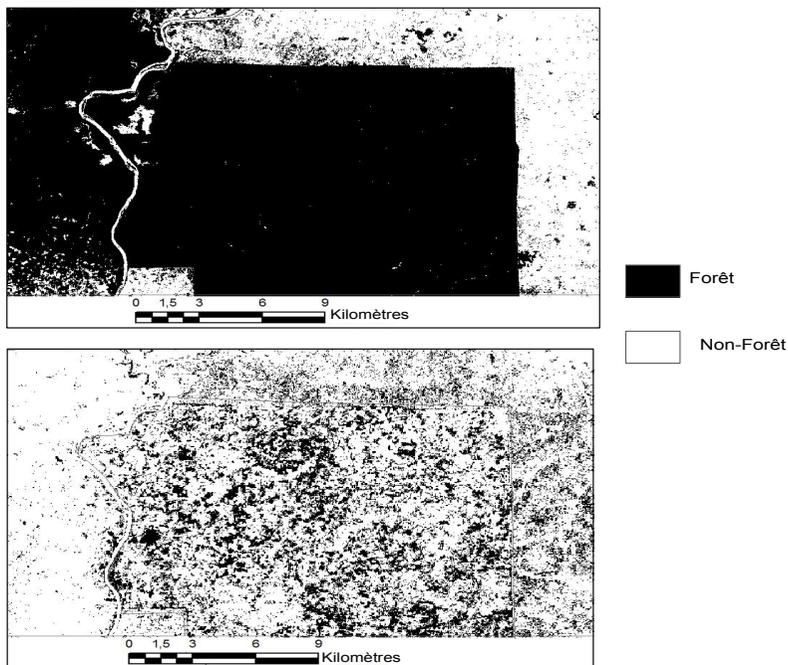


Figure 2 : Cartes forêt et non-forêt de la forêt classée du Haut-Sassandra et sa périphérie avant les conflits en 2001(en haut) et après les conflits en 2013 (en bas)

II-4. Plan d'échantillonnage

Les analyses paysagères ont été faites suivant des parcelles d'échantillonnage de 1 x 1 km (10 000 pixels). Ces échantillons ont été distribués suivant 5 km à

l'intérieur du N-FCHS et 10 km à sa périphérie dans les orientations Est, Nord-Est, Nord, Nord-Ouest et Ouest (**Figure 3**). Les orientations Est et Nord-Est étaient proches (40 km) d'une importante base rebelle (Vavoua). L'orientation Nord est proche de la ville de Séguéla, une autre base militaire rebelle, situé proche d'un site d'orpaillage clandestin. L'intérieur et la périphérie du N-FCHS sont séparés dans les orientations Nord-Ouest et Ouest par le fleuve Sassandra, qui forme ainsi une barrière naturelle d'environ 200 m de large. En somme, 10 zones d'échantillonnage ont été installées dans chaque orientation à la périphérie du N-FCHS sur 10 km (soit 50 parcelles au total), et 5 parcelles dans chaque orientation à l'intérieur du N-FCHS sur 5 km (25 parcelles au total) (**Figure 3**).

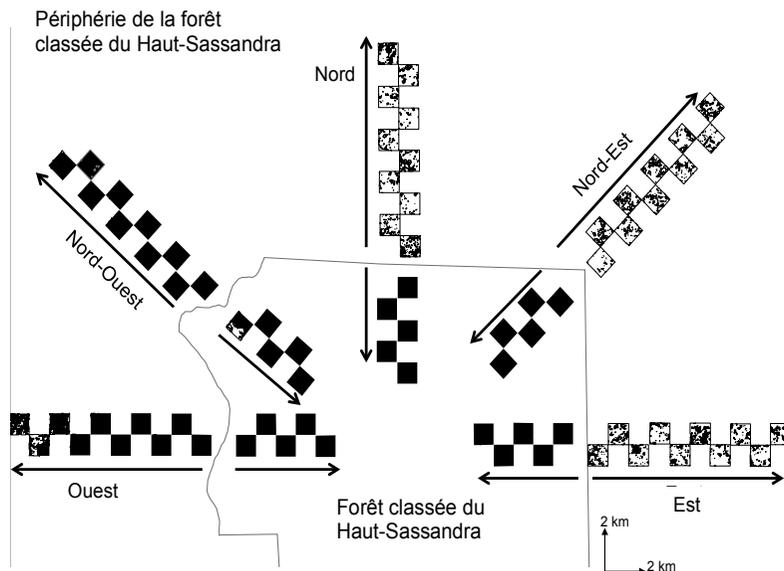


Figure 3 : Plan d'échantillonnage. L'unité d'échantillonnage était constituée d'un carré de 1 km² orientées dans les cinq orientations (Est, Nord-Est, Nord, Nord-Ouest et Ouest) à la périphérie et à l'intérieur de la forêt classée du Haut-Sassandra. Les lignes grises représentent les limites de la zone d'étude.

II-5. Paramètres de composition et de configuration des forêts

La structure spatiale et la composition des forêts dans chaque parcelle d'échantillonnage ont été caractérisées à partir du nombre total (np), de l'aire totale (A) et du périmètre (Peri) des taches forestières. Ces paramètres sont reconnus comme étant les principaux éléments de la configuration paysagère [21 - 23]. Sur base de ces paramètres, la composition (np et A) et la configuration, caractérisées par les ratios aire / périmètre, (indice de dimension

fractale et indice de forme et indice de fragmentation de Monmonnier) des taches de forêt ont été déterminées avant et après la période de conflits en Côte d'Ivoire. La dimension fractale (Df) a été utilisée pour mesurer la complexité des formes des taches [24]. Elle est aussi considérée comme un indice d'anthropisation du paysage [25]. En théorie, la configuration des taches de forêt modifiées par l'Homme (exploitations agricoles, jardins, zones urbaines, etc.) ont tendance à avoir des formes régulières et uniformes comme le rectangle ou le carré ; au contraire une zone naturelle a des formes plus complexes [26, 27]. Df a été obtenu suivant la **Formule** ci-dessous [28, 29] :

$$Df = 2 \times \frac{\ln\left(\frac{Peri}{4}\right)}{\ln(A)} \quad (1)$$

Pour une forme parfaitement régulière comme un carré, Df = 1 ; quand pour des formes de plus en plus complexes, D tend vers 2 [28]. Cependant, cette formule est une simplification dont la validité reste contestée par certains auteurs [25, 30]. La méthode considérée la plus correcte serait celle de la double régression [25, 26, 30]. Mais son application requiert un nombre important de taches et une régression linéaire significative entre np et A [25, 30]; condition qui n'est pas toujours réunie dans notre cas d'étude avant les conflits. L'indice des formes (IF) est basé sur le principe iso-périmétrique et est usuellement utilisé pour étudier la compacité des taches [31, 32]. Comme dans la Df, la forme peut être liée à des degrés d'artificialisation et des pratiques culturelles. L'indice de forme (IF) a été obtenu à partir de la **Formule** suivante :

$$IF = \frac{A}{Peri^2} \quad (2)$$

La valeur maximale de la forme la plus compacte représentée par la forme carrée du pixel est égale à 1 / 16. La fragmentation de la forêt a été déterminée en utilisant l'indice de fragmentation de Monmonnier (F) qui montre la relation entre le nombre total de taches de forêt et le nombre de pixels forestiers (*m*) (Monmonnier, 1974 cité par [33]) :

$$F = \frac{np-1}{m-1} \quad (3)$$

Le paysage est considéré comme fragmenté lorsque F tend vers 1.

II-6. Processus de transformation spatiale de la forêt

En assumant qu'il existe un nombre limité de configurations spatiales [21], le processus dominant de transformation des forêts a été obtenu en comparant np

et A avant (np_{2001} , A_{2001}) et après les conflits (np_{2013} , A_{2013}) [23, 34, 35]. La création, la dissection et la fragmentation des forêts sont associées à une augmentation du nombre de taches de forêt ($np_{2013} > np_{2001}$) quand l'agrégation et la suppression sont associés à une baisse du nombre de taches ($np_{2013} < np_{2001}$). Les autres processus n'induisent pas d'augmentation ou de réduction du nombre de taches ($np_{2013} = np_{2001}$). La comparaison des aires a servi à identifier d'une part le processus de création, d'agrégation et d'agrandissement ($A_{2013} > A_{2001}$) et d'autre part, les processus de fragmentation et de dissection ($A_{2013} < A_{2001}$) [23]. La fragmentation étant associée à une plus grande perte en superficie que la dissection [34, 35].

II-7. Analyses statistiques des indices spatiaux

Les indices de composition et de configuration de l'intérieur et de la périphérie du N-FCHS ont été comparés en utilisant le test t de Student, avant et à la fin de la période de conflit. Pour déterminer le principal front d'anthropisation, la composition et la configuration des parcelles de forêt ont été calculées et comparées via une ANOVA à un facteur avec le test de Tukey HSD (*Honest Significant Difference*) pour les orientations Est, Nord-Est, Nord, Nord-Ouest et Ouest. Le lien entre les paramètres spatiaux et la distance à la FCHS a été obtenu à partir d'une régression linéaire. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica 7 au seuil de significativité $\alpha = 5\%$.

III - RÉSULTATS

III-1. Classification des images et proportions des classes d'occupation du sol

Des coefficients de kappa de 85 % et 94 % ont été obtenus respectivement pour les cartes d'occupation du sol (carte forêt-non forêt) de 2001 et 2013 (**Tableau 1**). Avant les conflits (2001), la forêt occupait 70 % de la zone d'étude (forêt classée et sa périphérie). À la fin du conflit, seulement 15 % de la zone d'étude était encore couverte par la forêt. Les taux de déforestation étaient autour de 21 % entre 2001 et 2013.

Tableau 1 : Coefficients de Kappa des cartes de 2001 et 2013 ainsi que les proportions des classes d'occupation du sol

	Coefficient de Kappa (%)	Proportion de forêt	Proportion de non-Forêt
2001	85	70	30
2013	94	15	85

III-2. Composition du paysage avant et après les conflits

La composition du paysage en 2001 et 2013, mesurée par np et A, pour l'intérieur et la périphérie du N-FCHS, est illustrée à la **Figure 4**. En 2001, le nombre moyen de taches de forêt à l'intérieur du N-FCHS était de 2 taches.km⁻² ; ces taches avaient une surface moyenne de 96 Ha.km⁻². A la périphérie, np était de 20 taches.km⁻² couvrant une superficie moyenne de 43 Ha.km⁻². Avant les conflits, np et A étaient statistiquement différents à la périphérie et à l'intérieur de la N-FCHS ($p < 0,05$). À la fin des conflits en 2013, il y avait en moyenne 63 taches.km⁻² à l'intérieur du N-FCHS et 68 taches.km⁻² à sa périphérie ; mais ces valeurs ne sont pas statistiquement différents ($p > 0,05$). Les superficies correspondant à ces taches étaient plus élevées à l'intérieur (33 Ha.km⁻²) qu'à la périphérie (10 Ha.km⁻²) du N-FCHS. A et np varient aussi bien à la périphérie qu'à l'intérieur du N-FCHS suivant les cinq orientations étudiées. Dans les deux zones, np était statistiquement plus élevée en 2013 qu'en 2001 (test t, $p < 0,05$) dans les cinq orientations (**Figures 5A et 5B**).

En 2001, à l'exception de l'orientation Nord-Ouest avec une moyenne de 6 taches.km⁻², toutes les autres parties de la forêt comptaient 1 tache.km⁻² en moyenne. Ce nombre a augmenté en 2013 avec une moyenne de 60 taches.km⁻². Mais aucune différence significative dans une orientation particulière n'a été trouvée (ANOVA, Tukey HSD, $p > 0,05$). A la périphérie, les forêts situées dans le Nord-Ouest ont été les moins disloquées avec une moyenne de 1 et 10 taches.km⁻², respectivement en 2001 et 2013 (**Figure 5B**). Les taches de forêts les plus nombreuses étaient présentes dans l'Est, le Nord et le Nord-Est avec une moyenne de 20 taches.km⁻² en 2001 et 67 taches.km⁻² en 2013. En ce qui concerne les superficies des forêts, à l'intérieur du N-FCHS, les aires obtenues en 2001 dans les cinq orientations étaient statistiquement plus élevées (test t, $p < 0,05$) que celles obtenues en 2013 (**Figure 5 C**). Cependant, les aires sont statistiquement les mêmes dans les différentes orientations au sein de la même année A la périphérie de la FCHS, avec des aires allant de 88-100 Ha.km⁻² en 2001 à moins de 4 Ha.km⁻² en 2013 (**Figure 5D**), le Nord-Ouest et l'Ouest semblaient les plus déboisées pendant la période de conflits.

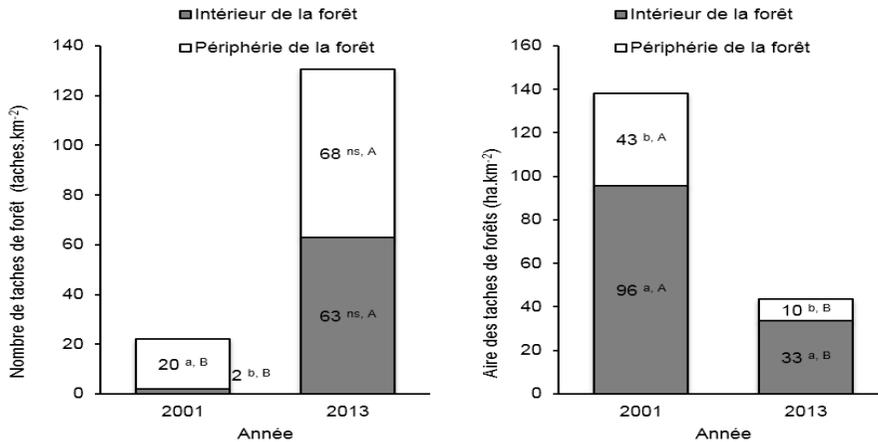


Figure 4 : Aire (Ha) et nombre de taches de forêt par km² en 2001 et 2013 à l'intérieur et à la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra. Les lettres minuscules représentent des différences significatives entre l'intérieur et la périphérie de la forêt au cours de la même année. Les lettres majuscules représentent les différences significatives entre l'intérieur et la périphérie de la forêt entre 2001 et 2013. ns = pas de différences significatives. Différent si $p < 0,05$

III-3. Configuration des taches de forêt avant et après les conflits

Les valeurs de l'indice de dimension fractale (Df) avant les conflits étaient proches de 1 et plus faibles que celles obtenues en 2013 (test t, $p < 0,05$), sauf pour les forêts situées dans le Nord-Ouest à l'intérieur du N-FCHS (**Tableau 2**). Concernant les orientations, il n'y a, non plus, pas de différences particulières dans les Df en 2001 et en 2013 à l'intérieur du N-FCHS. A la périphérie, Df des forêts situées dans le Nord-Ouest et l'Ouest sont proches de 1 avant et après les conflits (**Tableau 2**). Cette tendance générale à la complexité des formes des taches forestières après les conflits semblait être confirmée par l'IF. En effet, avant les conflits, l'IF à l'intérieur du N-FCHS variait de $5,14 \times 10^{-2}$ dans le Nord-Ouest à $6,22 \times 10^{-2}$ dans le Nord-Est, tendant donc vers la valeur représentant la forme carrée. A la périphérie du N-FCHS, les mêmes tendances globales sont également observées ; les valeurs de IF avant les conflits étant plus élevées que celles obtenues après les conflits. Les valeurs des indices de fragmentation de Monmonnier (F) étaient plus élevées en 2013 qu'en 2001 aussi bien à l'intérieur de la N-FCHS qu'à sa périphérie et dans toutes les orientations (**Tableau 2**). En effet, 2001, la fragmentation était quasiment nulle à l'intérieur de la forêt alors qu'elle était plus élevée à la périphérie ($F = 4,91 \times 10^{-2}$). En 2013, ces valeurs sont passées $16,39 \times 10^{-2}$ et $6,65 \times 10^{-2}$ respectivement à l'intérieur et à la périphérie de la zone d'étude. Concernant les orientations, le Nord-Est, le Nord et le Nord-Ouest sont les orientations qui affichent les indices de fragmentation les plus élevés (**Tableau 2**).

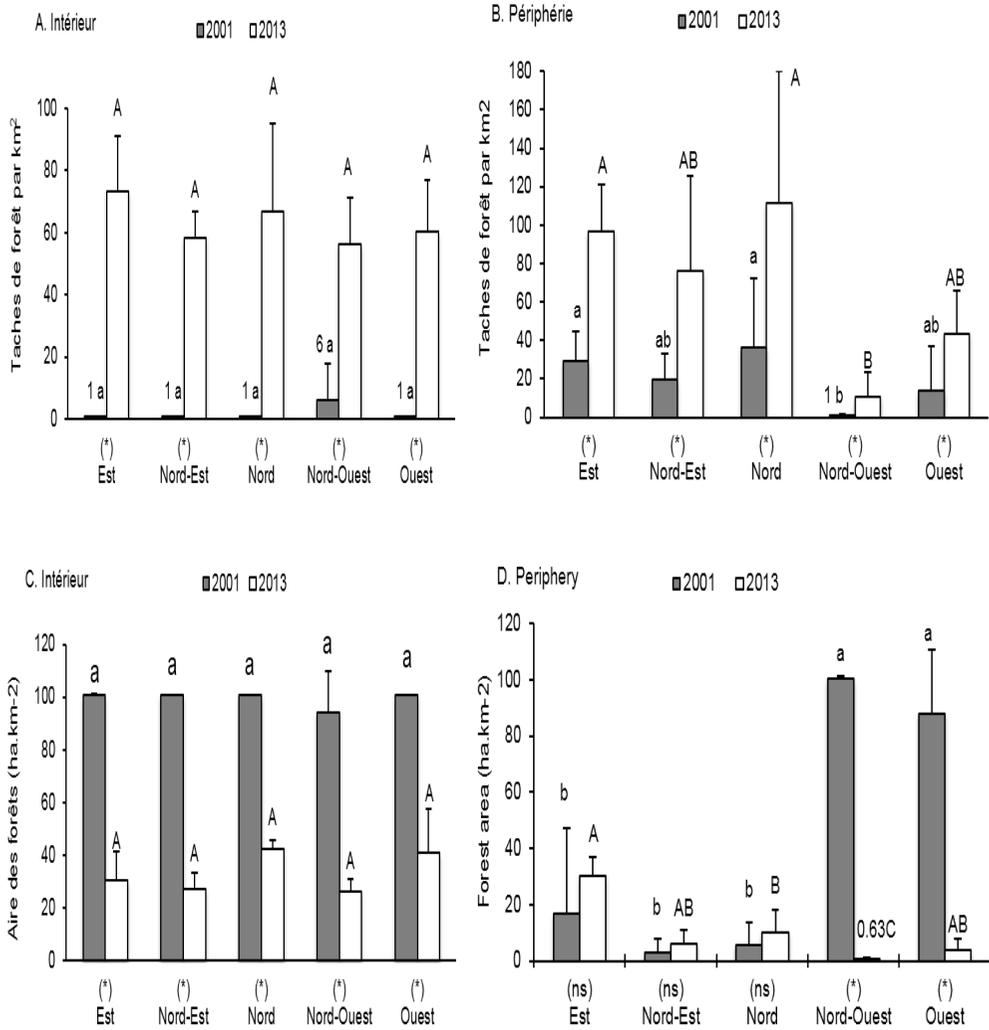


Figure 5 : Nombre de taches de forêts (au-dessus) et l'aire des forêts (en dessous) à l'intérieur et à la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra suivant différentes orientations. Les lettres minuscules et majuscules représentent des différences significatives respectivement en 2001 et 2013 selon une ANOVA (test de Turkey HSD). (*) Indique une différence significative pour la même orientation. ns = pas de différences significatives. Différence si $p < 0,05$.

Tableau 2 : Dimension fractale, indice de forme et l'indice de fragmentation des forêts de la zone d'étude ainsi que dans les différentes orientations en 2001 et 2013. *p* = pValue. *p* en gras indiquent les différences significatives entre 2001 et 2013. Les lettres différentes indiquent des différences significatives pour l'année considérée. Significatif si $p \leq 0,05$

		Dimension fractale			Indice de forme ($\times 10^{-2}$)			Indice de fragmentation ($\times 10^{-2}$)		
		2001	2013	<i>p</i>	2001	2013	<i>p</i>	2001	2013	<i>p</i>
Intérieur	Zone entière	1,01 ^b	1,34 ^a	0,001	5,94 ^a	0,09 ^b	0,001	0,81 ^b	16,39	0,001
Périphérie	Zone entière	1,13 ^a	1,38 ^a	0,023	2,08 ^b	0,48 ^a	0,001	4,91 ^a	6,65	0,001
Intérieur	Est	1,01 ^a	1,35 ^a	0,001	6,06 ^a	0,07 ^a	0,001	0,03 ^a	9,60 ^a	0,001
	Nord-Est	1,01 ^a	1,35 ^a	0,001	6,22 ^a	0,08 ^a	0,001	0,03 ^a	8,52 ^a	0,001
	Nord	1,01 ^a	1,34 ^a	0,001	6,18 ^a	0,08 ^a	0,001	0,03 ^a	6,25 ^a	0,001
	Nord-Ouest	1,06 ^a	1,34 ^a	0,221	5,14 ^a	0,10 ^a	0,001	0,25 ^a	8,58 ^a	0,001
	Ouest	1,01 ^a	1,32 ^a	0,001	6,12 ^a	0,11 ^a	0,001	0,03 ^a	5,87 ^a	0,001
Périphérie	Est	1,20 ^{ab}	1,40 ^a	0,031	0,28 ^b	0,04 ^b	0,001	7,09 ^b	12,76 ^c	0,001
	Nord-Est	1,31 ^b	1,41 ^a	0,002	0,42 ^b	0,16 ^b	0,001	25,09 ^a	50,27 ^a	0,002
	Nord	1,34 ^a	1,43 ^a	0,002	1,26 ^b	0,07 ^b	0,001	25,56 ^a	64,17 ^a	0,007
	Nord-Ouest	1,03 ^c	1,28 ^b	0,001	4,58 ^a	1,95 ^a	0,001	0,63 ^c	44,29 ^b	0,036
	Ouest	1,14 ^c	1,36 ^a	0,001	3,70 ^a	0,20 ^b	0,001	1,30 ^c	4,26 ^d	0,009

III-4. Impact des distances sur les paramètres spatiaux

Les coefficients de régressions linéaires entre les indices de composition et de configuration et la distance par rapport à la limite du N-FCHS sont résumés dans le **Tableau 3**. A la périphérie, avant les conflits, les paramètres de configuration et de composition (np, Df, IF et F) calculés sont statistiquement corrélés aux distances à la forêt ($p < 0,05$; **Tableau 3**). Ainsi, une baisse de superficies forestières ($r = -0,73$) était observée à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie du N-FCHS pour s'enfoncer dans le milieu rural. Au contraire, np, Df, IF et F étaient positivement corrélés à la distance. Après la période de conflits, en dehors de la fragmentation forestière qui augmente à mesure que l'on se rapproche du milieu rural, les autres paramètres considérés n'étaient pas statistiquement corrélés à la distance ($p > 0,05$). En 2001, à l'intérieur de la forêt, aucune corrélation linéaire n'existait entre les paramètres et la distance ($p > 0,05$; **Tableau 3**), même si les coefficients de détermination étaient supérieurs à 50 %. En 2013, les régressions entre le np et l'indice de fragmentation de Monmonnier ($r = -0,88$) semblent indiquer une forte dislocation des forêts à mesure que l'on s'enfonce dans la forêt classée.

Tableau 3 : Paramètres des régressions linéaires entre les indices de composition et de configuration et la distance de la limite de la forêt classée du Haut-Sassandra. R^2 : coefficient de détermination, r : coefficient de corrélation de Pearson, p : pValeur. np = nombre de taches de forêt, A : aire des forêts, Df : dimension fractale, IF : indice moyen de forme ; F: indice de fragmentation. Régression significative ($p < 0,05$) sont en gras.

			np	A	Df	IF	F
Intérieur	2001	R^2	0,500	0,37	0,74	0,50	0,50
		r	-0,70	0,61	-0,86	0,71	-0,71
		p	0,181	0,294	0,058	0,180	0,181
	2013	R^2	0,77	0,06	0,19	0,43	0,77
		r	-0,88	-0,24	-0,44	0,65	-0,88
		p	0,045	0,694	0,457	0,232	0,048
Périphérie	2001	R^2	0,72	0,54	0,36	0,51	0,72
		r	0,85	-0,73	0,60	-0,71	0,85
		p	0,007	0,025	0,05	0,021	0,007
	2013	R^2	0,08	0,007	0,013	0,59	0,63
		r	0,17	0,09	0,11	0,77	0,79
		p	0,643	0,817	0,749	0,009	0,018

III-5. Transformation spatiale des taches de forêt et front d'anthropisation

La comparaison de np et A avant et après les conflits a été utilisée pour déterminer le processus de transformation spatiale dominant de cette période de conflit en Côte d'Ivoire. De façon générale, pour l'ensemble de la zone étudiée, $np_{2013} > np_{2001}$ et $A_{2013} < A_{2001}$ aussi bien à l'intérieur qu'à la périphérie du N-FCHS (**Figure 6**). Le processus de transformation dominant la zone d'étude pendant la période d'étude est donc la fragmentation. Dans les détails, la fragmentation des forêts est aussi observée à l'intérieur de la FCHS, quelque soit l'orientation étudiée (**Figure 7**). Cependant à la périphérie, deux processus de transformation spatiale sont observés suivant les orientations. A l'Est, au Nord-Est et au Nord, des processus de création ont été observés ($np_{2013} > np_{2001}$ et $A_{2013} > A_{2001}$). A l'Ouest et Nord-Ouest, l'on a observé une fragmentation des forêts (**Figure 7**).

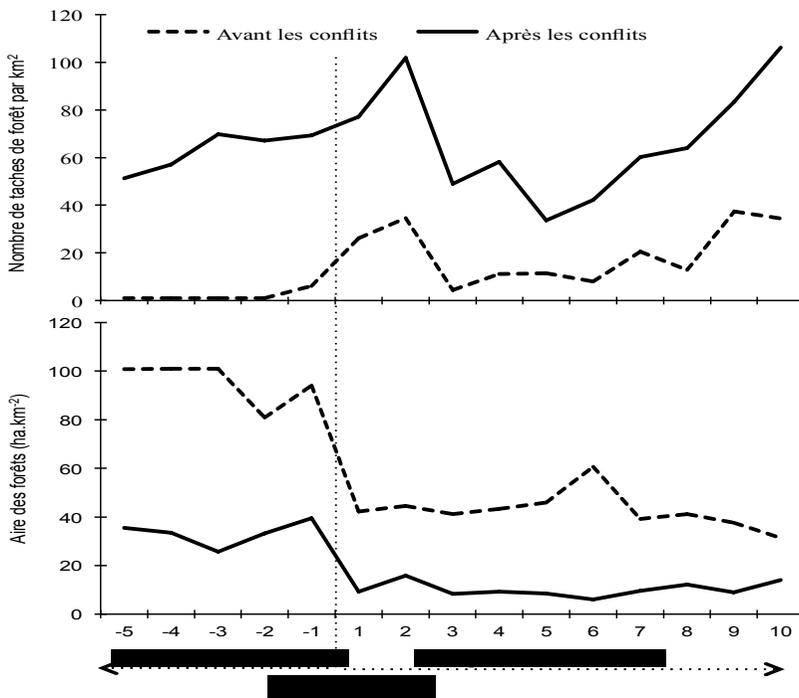


Figure 6 : Évolution du nombre de taches de forêt et de l'aire des forêts dans la zone d'étude suivant la distance à l'intérieur et l'extérieur Nord de la forêt classée du Haut-Sassandra (N-FCHS) en 2001 (avant les conflits, tiret) et 2013 (après les conflits, trait plein). Les distances de -1 à -5 km correspondent aux distances depuis la bordure jusqu'à 5 km à l'intérieur de la forêt classée du Haut-Sassandra. Les distances de 1 à 10 km correspondent aux distances depuis la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra vers la zone rurale

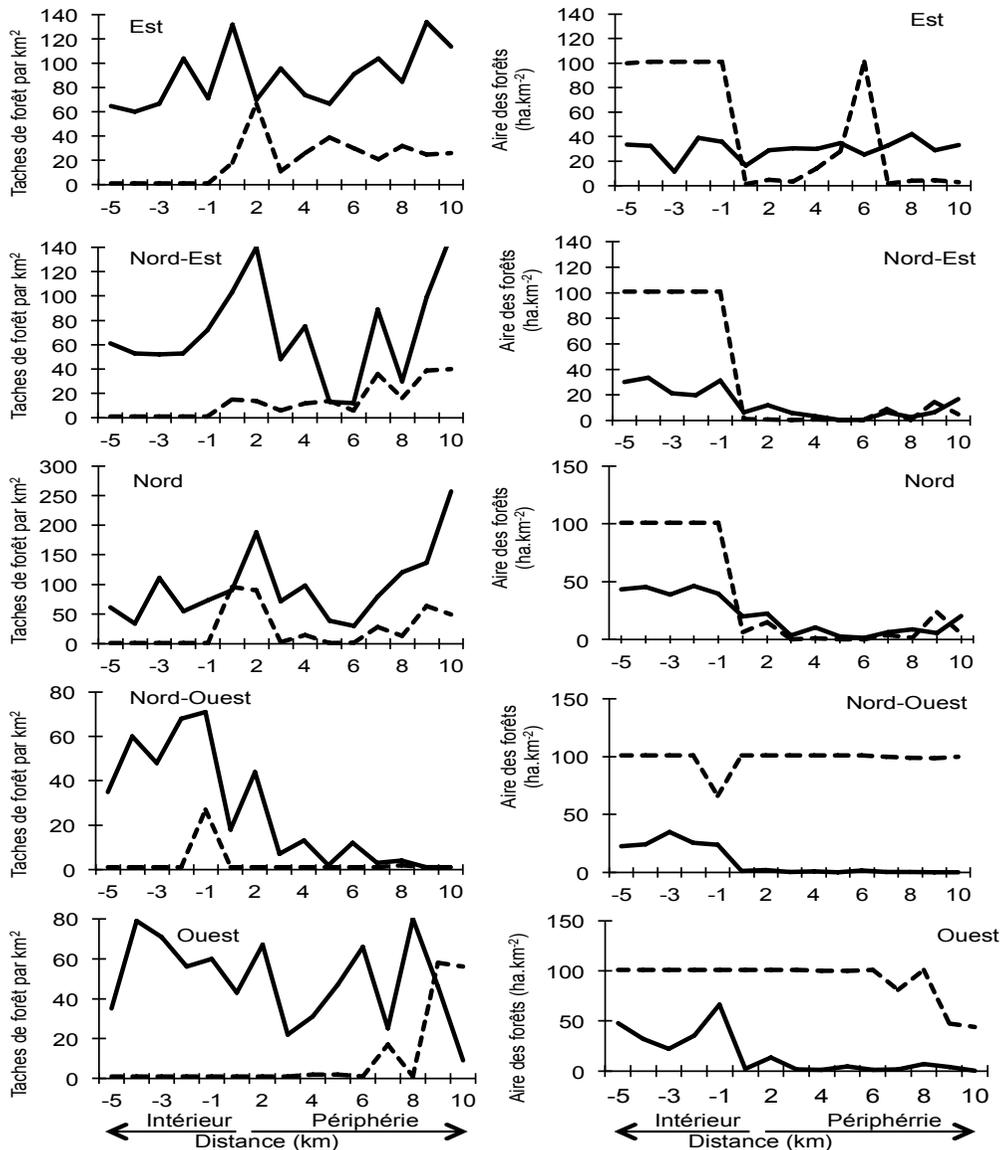


Figure 7 : Evolution du nombre de taches forestières ainsi que leur aire dans les différentes orientations suivant la distance à l'intérieur et à l'extérieur du Nord la forêt classée du Haut-Sassandra (N-FCHS) en 2001 (avant les conflits, en pointillé) et 2013 (après les conflits, en traits pleins). Les distances de -1 à -5 km correspondent aux distances depuis la bordure jusqu'à 5 km à l'intérieur de la forêt classée du Haut-Sassandra. Les distances de 1 à 10 km correspondent aux distances depuis la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra vers la zone rurale.

IV - DISCUSSION

IV-1. Choix des images et des méthodes d'analyse du paysage

En raison de facteurs limitant tels que le manque d'infrastructures de transport et la vaste étendue des paysages dans certaines régions d'Afrique, l'imagerie par satellite est souvent la seule source de données fiables actuellement disponibles pour la quantification de la couverture de la forêt africaine à différentes échelles locale, nationale ou régionale [36]. Cette observation est vérifiée en Côte d'Ivoire où l'instabilité politique et la guerre ont rendu inaccessibles certaines régions du pays pendant environ 10 ans. Les forêts de la zone d'étude ont donc été identifiées sur base de la classification radiométrique de deux images issues du capteur SPOT (SPOT 4, scène 190.53, 20 m résolution et SPOT 5, scène 192.53, 10 m résolution). Concernant les dates d'acquisition des images, nous avons utilisé des images datant du 14 / 12 / 2001 et 28 / 12 / 2013 alors que les conflits en Côte d'Ivoire ont débuté en Septembre 2002 et officiellement pris fin en Avril 011. Cependant, la différence (de mois) entre les dates de prise de vue et les dates des crises ne devrait pas changer sensiblement les résultats rapportés dans cet article. En effet, nous avons supposé que l'état général des forêts en décembre 2001 devrait refléter la situation générale en Septembre 2002. En outre, la date officielle de fin du conflit n'a pas été suivie par la fin des activités des populations dans la forêt classée du Haut-Sassandra.

Au contraire, beaucoup ont amplifié leurs activités pour augmenter « leur butin de guerre » avant l'arrêt définitif des activités illégales [37] ; le retour de l'administration forestière dans la zone d'étude s'étant opéré progressivement. Les méthodes d'analyse spatiale utilisées dans cette étude ont permis de limiter certaines erreurs liées à l'analyse d'images diachroniques. Le pas de temps de 12 ans (2001-2013) pourrait paraître trop élevé pour comprendre les dynamiques du paysage pendant cette période de conflits en Côte d'Ivoire. Cependant, la forte inertie des classes forestières et non-forestières exclut que les forêts disparaissent et réapparaissent cycliquement sur une période de 12 ans. De plus, la dynamique saisonnière et interannuelle, non quantifiable ici, ne sont pas en mesure de dominer la dynamique décennale. En outre, le choix de deux images de la même saison (Décembre 2001, Décembre 2013) contribue à la réduction des effets saisonniers potentiels. Cette étude ne prétendra pas analyser toutes les dynamiques mais faire ressortir au moins la cinématique, c'est à dire, l'état avant et après les conflits. Mais la prise en compte des évolutions des classes forêt et non-forêt ainsi que les processus de transformations spatiales pourraient donner des informations sur les dynamiques internes aux taches de forêts étudiées. Les observations sur le

terrain via les transects et les segments permettent d'identifier et de comprendre les différentes activités anthropiques ou naturelles à la base des changements observés pendant la période de conflits. Enfin, l'utilisation de parcelles d'échantillonnage de 1 x 1 km a permis d'avoir un jeu de données nécessaires pour l'analyse statistique.

IV-2. Fragmentation de l'intérieur et de la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra

Les résultats ont montré qu'après la période des conflits, le nombre de taches de forêt a augmenté considérablement par rapport à 2002. En revanche, à la fin, les superficies de ces forêts étaient inférieures à celles observées avant les conflits (**Figure 4**). Ces résultats ont été confirmés par l'indice de fragmentation de Monmonier (**Tableau 2**) et le processus de transformation spatiale des forêts (**Figure 6**). En effet, la fragmentation des forêts a lieu quand une grande partie de la forêt est divisée en une collection de petites taches de forêt [22, 38, 39]. En d'autres termes, la fragmentation des forêts est un événement qui crée un plus grand nombre de taches de forêt qui sont de plus petites tailles que la forêt contiguë originale [34, 40] comme représenté sur la **Figure 5**. Les observations effectuées dans les placettes le long des transects réalisés dans le N-FCHS ont permis de constater que les causes de la fragmentation des forêts sont principalement d'origine humaine, dont les plus récurrentes étaient l'agriculture (en particulier la culture du cacao) et l'exploitation forestière illégale. Ces observations confirment celles déjà faites dans la zone d'étude par [17, 41 - 43].

La plupart des exploitations de cacaoyers dans le N-FCHS ont des âges inférieurs à 10 ans, prouvant ainsi qu'elles ont été installées pendant la période des conflits en Côte d'Ivoire et confirmant les observations de [14]. Le processus de fragmentation observé actuellement semble donc être le prélude à la suppression de taches de forêt (déforestation) et leur remplacement par des exploitations cacaoyères. Cependant, la fragmentation à l'intérieur de la forêt est moins importante que celle observée à la périphérie, aussi bien avant et après les conflits (**Tableau 2, Figure 3**). La périphérie étant en zone rurale, elle a été fortement employée pour les activités agricoles et prouve aussi la saturation foncière du milieu rural [44]. L'agriculture itinérante sur brulis, qui est légion dans la zone d'étude, combinée à la croissance démographique et aux mouvements des populations sont parmi les facteurs qui augmentent cette pression sur les ressources forestières [45]. Cette saturation du milieu rural aurait amplifié la pression sur le N-FCHS. Avant les conflits, les superficies des forêts étaient naturellement plus élevées à l'intérieur du N-FCHS du fait du relatif respect de l'interdiction d'y implanter des exploitations agricoles.

Mais les conflits ont entraîné un déficit de contrôle par l'autorité administrative et militaire ; la priorité étant concentrée dans les zones de combat armé. Cette situation a entraîné une infiltration du N-FCHS pour, spécifiquement, la culture du cacaoyer.

IV-3. Configuration des taches de forêt

Les valeurs des indices de dimension fractale (Df) et de forme (IF) des taches forestières étaient généralement plus élevées à la fin des conflits qu'en 2001 (**Tableau 2**). Df et IF étaient respectivement proches de 1 et de 0,062 avant les conflits et impliquaient que les taches de forêts avaient des formes compactes. Ces formes devenaient de plus en plus complexes en 2013. Ce résultat pourrait surprendre et est contraire à la théorie des fractales [25, 28] et du principe iso-périmétrique de la géométrie euclidienne. En effet, en théorie, des valeurs décroissantes de la dimension fractale reflètent les actions anthropiques sur la structure du paysage, à savoir, une tendance vers des formes plus régulières ou compactes. A l'inverse des valeurs croissantes de l'IF indiqueraient une anthropisation de milieu [32]. Cependant, la méthode utilisée dans cette étude pourrait justifier cette tendance inverse. En effet, la placette unitaire est constituée d'un carré de 1 x 1 km, dans laquelle la couverture forestière a été déterminée. Ainsi, avant les conflits, sans forte perturbation, la parcelle d'échantillonnage renfermait majoritairement ou presque entièrement la classe forêt et épouserait donc la forme carré et compact de la parcelle unitaire (**Figure 3 et Figure 8**).

Dans ces conditions, Df tend vers 1 [28, 29] et IF tend vers 0,062 [32]. Pendant les conflits, les forêts ont été disloquées ou rognées par les populations. A la fin de ces conflits en 2013, les superficies des taches de forêt étaient inférieures à 1 km² par parcelle d'échantillonnage et les formes étaient donc moins compactes (**Figure 3 et Figure 8**). Df tend alors vers 2 [28, 29] et IF est proche de 0. L'utilisation de Df et de IF pour déterminer l'action humaine dans un environnement naturel devra donc être faite avec prudence au risque d'obtenir une tendance contraire à la théorie des fractales et du principe iso-périmétrique. Concernant l'indice de la dimension fractale, la méthode recommandée pour le déterminer s'obtient à partir de la régression du log Peri par rapport à log A. Le graphe log-log donne alors la pente de la régression qui est égale à Df / 2. La valeur de la dimension fractale est donc le double de la valeur de la pente de la droite de régression obtenue à condition que la régression soit significative [25, 46]. Cette condition n'est pas toujours respectée dans un environnement où le nombre de taches est peu variable comme ce fut le cas avant les conflits (**Figure 5**). Dans ces conditions le calcul de Df via la formule de [28, 29] s'avère utile. En somme, dans la zone d'étude, les forêts avec des

formes compactes observées avant les conflits, ont été érodées par les populations. Après un conflit, ces forêts ont des formes irrégulières en raison de l'installation des parcelles agricoles dans ces forêts.

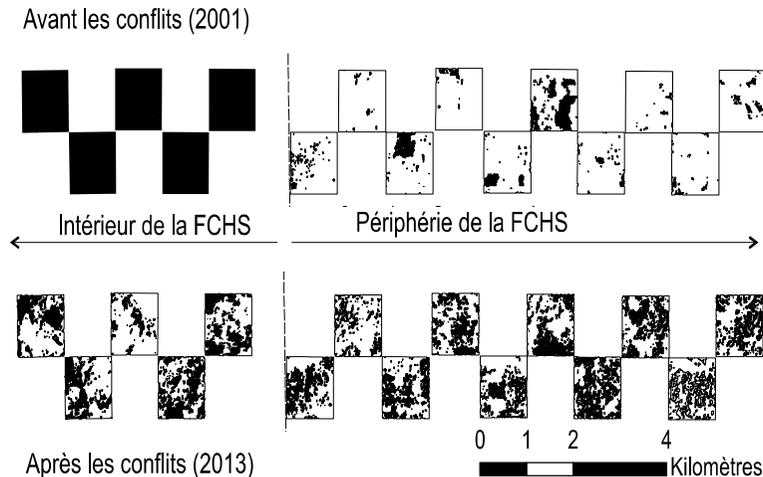


Figure 8 : *Fragmentation des forêts à l'intérieur et à la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra, avant et après les conflits. Après les conflits, les formes des taches de forêts étaient plus complexes que celles observées avant les conflits*

IV-4. Fronts d'anthropisation

Les résultats ont révélé qu'il n'existait pas, avant les conflits, un front d'anthropisation particulier à l'intérieur de la zone d'étude (**Figure 2, A et C**). Cette aire protégée était donc relativement bien conservée avant la guerre. A la fin des conflits, les forêts de l'Ouest et du Nord-Ouest étaient les fronts d'anthropisation les plus importants malgré la présence d'une barrière naturelle constituée par le Fleuve Sassandra qui borde la partie occidentale de la forêt classée du Haut-Sassandra. En effet, les forêts situées au Nord-Ouest et l'Ouest avaient des taux de déforestation de plus de 90 % pendant la période d'étude (**Figure 5**). Le fleuve Sassandra, d'une envergure de plus de 100 m, qui devait constituer une barrière étanche, est cependant traversé par les populations pour des activités agricoles au sein du N-FCHS. Cette pratique a encore été observée lors de nos missions sur le terrain. Des traces de sciages clandestins sont encore visibles dans cette partie ; les grumes étant transportées vers les régions où l'exploitation est autorisée, après la traversée du fleuve Sassandra. Avant les conflits, toute la bordure Ouest de la forêt classée du Haut-Sassandra était une réserve biologique et donc exempt de toute activité humaine légale comme l'exploitation officielle de grumes ou l'aménagement forestier. Cette réserve

était donc une zone refuge pour les animaux et un vestige de forêt dense. Pendant la période de conflits et du fait de l'absence de l'autorité gouvernementale dans cette zone, elle fut la proie de braconnier, d'exploitants forestiers illégaux et de cacaoculteurs. Aujourd'hui, les observations faites sur le terrain au cours de nos missions ont montré que cette réserve biologique a presque entièrement disparue.

IV-5. Effet de la distance sur les paramètres de composition et de configuration paysagère

A la périphérie du N-FCHS, avant les conflits, à mesure que l'on s'éloigne de la forêt classée, le np augmente et A diminuait (**Tableau 2**). En plus, les formes des taches devenaient de moins en moins complexes, stipulant dans notre cas d'étude, que la forêt dense occupait l'ensemble de notre unité d'échantillonnage (1 km x 1 km). Ce résultat suggère que le milieu est de plus en plus morcelé et fragmenté à mesure que l'on se rapprochait des habitats comme l'avaient déjà démontré certains auteurs dont [35, 47, 48]. La fragmentation des forêts du N-FCHS était donc "centrifuge" et avait une configuration insulaire [49] comme cela avait déjà été observé par [50] au Cameroun et [51] en République Démocratique du Congo. La technique agricole (l'agriculture itinérante sur brulis) ainsi que l'augmentation de la population observée dans la région étudiée [11] pourraient être des facteurs explicatifs de ces modes de colonisation des forêts denses. En effet, les populations défrichent graduellement de nouveaux espaces dans la forêt avoisinant leur précédente exploitation. Cette dernière est souvent laissée en jachère, mais le plus souvent, monopolisée par une espèce agricole pérenne comme le cacaoyer ou le caféier. Par contre en période de conflits, la distance n'est plus un paramètre qui expliquerait la fragmentation des forêts. Les fronts d'anthropisation ne se font plus graduellement. Au contraire, plusieurs fronts sont ouverts suggérant une colonisation anarchique du N-FCHS pouvant être assimilé au type en *patch* [49]. La matrice du N-FCHS, constituée par la forêt avant le déclenchement des conflits, est désormais constituée de plantations agricoles.

V - CONCLUSION

Cette étude a montré l'importance de la télédétection pour le suivi de l'occupation du sol dans des zones inaccessibles du fait des conflits armés. Elle a mis en évidence l'impact de la perturbation en raison des instabilités politiques et militaires sur la conservation des aires protégées en Côte d'Ivoire. Des techniques de télédétection combinées à des méthodes de l'écologie du paysage, ont montré que le nombre de taches de forêt par km^2 a augmenté de plus de 3000 % et 340 % respectivement à l'intérieur et à la périphérie de la

partie nord de la forêt classée du Haut-Sassandra après les conflits par rapport à leur nombre avant les conflits. Au contraire, les superficies couvertes par ces taches ont été réduites d'environ 34 % à l'intérieur contre environ 23 % à la périphérie de cette aire protégée. Le principal processus de transformation spatiale qui a eu lieu dans le nord de la forêt classée du Haut-Sassandra pendant les conflits en Côte d'Ivoire était la fragmentation des forêts. À la fin des conflits, les forêts de l'Ouest et du Nord-Ouest ont été les fronts d'anthropisation les plus importants malgré la présence d'une barrière naturelle constituée par le fleuve Sassandra qui borde sa partie Ouest. A la périphérie de la forêt classée, avant les conflits, les paramètres de configuration et de composition ont été statistiquement corrélés aux distances à la limite de la forêt, confirmant que l'impact de l'Homme sur la forêt augmente à mesure que l'on se rapproche des habitats.

Mais pendant les conflits, l'on a assisté à une infiltration incontrôlée de la zone d'étude et cette tendance n'est plus observée. Cette infiltration pour l'agriculture de rente (cacaoculture essentiellement) entrainera la disparition de ce vestige de forêt dense qu'était la forêt classée du Haut-Sassandra. Une politique de déguerpissement des infiltrés de cette aire protégée, suivie de leur installation dans le milieu rural, devraient être prise par les autorités gouvernementales afin de permettre une reprise de la végétation par le processus de régénération naturelle. Les zones fortement déboisées pourraient bénéficier d'un enrichissement par le reboisement d'essences locales de la part de la structure étatique gérant les forêts classées en Côte d'Ivoire (la Société de développement des forêts ou SODEFOR). De l'application de ces mesures rigoureuses et courageuses, dépendra l'avenir de la forêt classée du Haut-Sassandra.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet GEOFORAFRI financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial avec l'assistance technique de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Il a aussi bénéficié du soutien du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique de Côte d'Ivoire dans le cadre de la mise en œuvre du C2D par l'IRD, du Programme d'Appui Stratégique à la Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire (PASRES), de l'Académie des sciences, des arts, des cultures d'Afrique et des diasporas africaines (ASCAD) et de The World Academy of Sciences (TWAS). L'étude a été rendue possible grâce à l'accord de la SODEFOR qui a autorisé l'accès à forêt classée du Haut-Sassandra.

RÉFÉRENCES

- [1] - N. ANNAN, Violent Conflicts and Civil Strife in West Africa : Causes, Challenges and Prospects, Stability. International Journal of Security & Development, 03 (2014) 1 - 16.
- [2] - J. HALL, Africa's perpetual troublemakers and hot spots : Africa-wide - continental overview. Africa Conflict Monitor, (2015) 4 - 9.
- [3] - W. RENO, The Failure of Peacekeeping in Sierra Leone. Current History, 100 (2001) 219 - 225.
- [4] - H. BUHAUG and J. ROD, Local determinants of African civil wars, 1970–2001. Political Geography, 25 (2006) 315 - 335.
- [5] - J.-P. CHAUVEAU and P. RICHARDS, West African Insurgencies in Agrarian Perspective. Côte d’Ivoire and Sierra Leone compared. Journal of Agrarian Change, 8 (2008a) 515 - 552.
- [6] - A. L. DABALEN and S. PAUL, Effect of Conflict on Dietary Diversity : Evidence from Côte d’Ivoire. World Development, 58 (2014) 143 - 158.
- [7] - J. NACKONEY, G. MOLINARIO, P. POTAPOV, S. TURUBANOVA, M. C. HANSEN and T. FURUICHI, Impacts of civil conflict on primary forest habitat in northern Democratic Republic of the Congo, 1990–2010. Biol. Conserv., 170 (2014) 321 - 328.
- [8] - D. DRAULANS and E. VAN KRUNKELSVEN, The impact of war on forest areas in the Democratic Republic of the Congo. Oryx, 36 (2002) 35 - 40.
- [9] - T. HANSON, T. M. BROOKS, G. A. B. DA FONSECA, M. HOFFMANN, J. F. LAMOREUX, G. MACHLIS, C. G. MITTERMEIER, R. A. MITTERMEIER and J. D. PILGRIM, Warfare in Biodiversity Hotspots. Conserv. Biol., 23 (2009) 578 - 587.
- [10] - FAO, State of the World's Forests 2007. In. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy, (2007) 144 p.
- [11] - J. OSZWALD, Dynamique des formations agroforestières en Côte d’Ivoire (des années 1980 aux années 2000) - Suivi par télédétection et développement d’une approche cartographique. In : *UFR de Géographie et d’aménagement*. Université des Sciences et Technologies de Lille, France, (2005) 304 p.
- [12] - J.-P. CHAUVEAU et S. K. BOBO, Crise foncière, crise de la ruralité et relations entre autochtones et migrants sahéliens en Côte d’Ivoire forestière. Outre-Terre, 2 (2005) 247 - 264.
- [13] - A. GYAU, K. SMOOT, C. KOUAME, L. DIBY, J. Kahia and D. OFORI, Farmer attitudes and intentions towards trees in cocoa (*Theobroma cacao* L.) farms in Côte d’Ivoire. Agroforestry Systems, (2014).
- [14] - A. T. M. KOUAKOU, Y. S. S. BARIMA, K. A. KOUAKOU, N. F. KOUAMÉ, J. BOGAERT and J. Y. KOUADIO, Forest dynamics in the North of the classified Forest of Haut-Sassandra during the Period of

- armed conflicts in Ivory Coast. *American Journal of Life Sciences*, 3 (5) (2015) 375 - 382.
- [15] - F. N. KOUAMÉ, H. F. TRABI, D. ETTIEN et D. TRAORE, Végétation et flore de la Forêt classée du Haut-Sassandra. *Revue CAMES*, 00 (1998) 28 - 35.
- [16] - T. M. LILLESAND, R. W. KIEFER and J. W. CHIPMAN, *Remote sensing and image interpretation*. 6th edn. Wiley, Hoboken, (2008).
- [17] - E. N'GUESSAN, M.-F. BELLAN et F. BLASCO, Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, 3 (2003) 443 - 456.
- [18] - F. BONN et G. ROCHON, *Précis de télédétection - Principes et méthodes*. Presses universitaires du Québec, Canada, (1992).
- [19] - R. G. CONGALTON and R. A. MEAD, A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, (1983) 49 p.
- [20] - G. M. FOODY, On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 58 (1992) 1459 - 1460.
- [21] - S. K. COLLINGE and R. T. T. FORMAN, A conceptual model of land conversion processes : prediction and evidence from a microlandscape experiment with grassland insect. *Oikos*, 82 (1998) 66 - 84.
- [22] - J. A. G. JAEGER, Landscape division, splitting index, and effective mesh size : new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecol.*, 15 (2000) 115 - 130.
- [23] - J. BOGAERT, R. CEULEMANS and D. SALVADOR-VAN EYSENRODE, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environ. Manage.*, 33 (1) (2004) 62 - 73.
- [24] - B. B. MANDELROT, *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman, San Francisco, CA., (1983).
- [25] - J. BOGAERT, Y. S. S. BARIMA, J. Ji, H. JIANG, I. BAMBA, L. I. W. MONGO, A. MAMA, E. NYSSSEN, F. DAHDOUTH-GUEBAS and N. KOEDAM, A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape pattern. In : *Landscape ecology in Asian cultures* (eds. Hong S-K, Wu J, Kim J-E and Nakagoshi N). Springer Japan, (2011b) 141 - 167.
- [26] - J. R. KRUMMEL, R. H. GARDNER, G. SUGIHARA. R. V. ONEILL and P. R. COLEMAN. *Landscape Patterns in a Disturbed Environment*. *Oikos*, 48 (1987) 321 - 324.
- [27] - D. L. URBAN, R. V. ONEILL and H. H. SHUGART, *Landscape Ecology : a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns*. *Bioscience*, 37 (1987) 119 - 127.

- [28] - S. LOVEJOY, Area-Perimeter Relation for Rain and Cloud Areas. *Science*, 216 (1982) 185 - 187.
- [29] - B. FU and L. CHEN, Agricultural landscape spatial pattern analysis in the semi-arid hill area of the Loess Plateau, China. *J. Arid Environ.*, 44 (2000) 291 - 303.
- [30] - M. G. TURNER, R. H. GARDNER and R. V. O'NEILL. *Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process.* Springer, USA (2001).
- [31] - E. BRIBIESCA, Measuring 2D shape compactness using the contact perimeter. *Computers & Mathematics with Applications*, 33 (1997) 1 - 9.
- [32] - J. BOGAERT, R. ROUSSEAU, P. VAN HECKE and I. IMPENS, Alternative area-perimeter ratios for measurement of 2D shape compactness of habitats. *Applied Mathematics and Computation*, 111 (2000) 71 - 85.
- [33] - J. BOGAERT and Y. S. S. BARIMA, On the transferability of concepts and its significance for landscape ecology. *Journal of Mediterranean Ecology*, 9 (2008) 33 - 37.
- [34] - Y. S. S. BARIMA, N. BARBIER, I. BAMBA, D. TRAORE, J. LEJOLY et J. BOGAERT, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et forêts des tropiques*, 299 (2009) 15 - 25.
- [35] - Y. S. S. BARIMA, W. M. EGNANKOU, C. T. A. N'DOUME, F. N. KOUAME et J. BOGAERT, Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'Est de la Côte d'Ivoire. *Téledétection*, 9 (2010b) 129 - 138.
- [36] - P. V. POTAPOV, S. A. TURUBANOVA, M. C. HANSEN, B. ADUSEI, M. BROICH, A. ALTSTATT, L. MANE and C. O. JUSTICE, Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sens. Environ.*, 122 (2012) 106 - 116.
- [37] - P. LE BILLON, The political ecology of transition in Cambodia 1989-1999 : war, peace and forest exploitation. *Dev. Change*, 31 (2000) 785 - 805.
- [38] - L. FAHRIG, relative effect of habitat loss and fragmentation on population extinction. *The Journal of Wildlife management*, 61 (1997) 630 - 610.
- [39] - Y. C. COLLINGHAM and B. HUNTLEY, Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. *Ecol. Appl.*, 10 (2000) 131 - 144.
- [40] - J. BOGAERT, Y. S. S. BARIMA, W. M. L. IYONGO, I. BAMBA, A. MAMA, M. TOYI and R. LAFORTEZZA, Forest fragmentation: causes, ecological impacts and implications for landscape management. In : *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation : Challenges and Solutions for Global Change* (eds. Li C, Laforteza R & Chen J). HEP-Springer Beijing (China), Heidelberg (Germany), (2011a) 273 - 296.

- [41] - Y. T. BROU, Climat, mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire. In. Université des Sciences et Technologies de Lille France, (2005) 212 p.
- [42] - N. H. DIBI, N. E. KOUAKOU, W. M. EGNANKOU et K. AFFIAN. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8 (2008) 17 - 34.
- [43] - J. OSZWALD, J.-M. KOUACOU ATTA, C. KERGOMARD and M. RONIN, Representing space for structuring time : approach of forest dynamics in the south-east of Côte d'Ivoire. *Teledetection*, 7 (2007) 271 - 282.
- [44] - J.-P. CHAUVEAU et P. RICHARDS. Les racines agraires des insurrections ouest-africaines - Une comparaison Côte d'Ivoire-Sierra Leone. *Politique africaine*, 111 (2008b) 131 - 167.
- [45] - F. RENOUX, M. FLEURY, Y. REINETTE, P. GRENAND and F. GRENAN, Slash and burn agriculture in the Maroni and Oyrpock river basins : Dynamics and adaptation to spatial constraints. *Revue forestière française*, 55 (2003) 236 - 259.
- [46] - J. M. HALLEY, S. HARTLEY, A. S. KALLIMANIS, W. E. KUNIN, J. J. LENNON, and S. P. SGARDELIS, Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol. Lett.*, 7 (2004) 254 - 271.
- [47] - I. BAMBA, M. S. YEDMEL, et J. BOGAERT, Effets des routes et des villes sur la forêt dense dans la Province Orientale de la République Démocratique du Congo. *European Journal of Scientific Research*, 43 (2010b) 417 - 429.
- [48] - Y. S. S. BARIMA, N. BARBIER, B. OUATTARA et J. BOGAERT. Relation entre la composition floristique et des indicateurs de la fragmentation du paysage dans une région de transition forêt-savane ivoirienne. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14 (2010a) 617 - 625.
- [49] - A. HUSSON, J. FONTES, H. JEANJEAN, C. MIQUEL, H. PUIG and C. SOLIER, Study of Forest Non-forest interface : Topology of Fragmentation of Tropical Forest. In : Research Report No. 2 (ed. B TS). European Commission, EUR 16291 EN, (1995).
- [50] - B. MERTENS et E. F. LAMBIN, Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon. *A&red Geography*, 17 (1997) 143 - 162.
- [51] - I. BAMBA, Y. S. S. BARIMA et J. BOGAERT, Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Tropical Conservation Science*, 3 (2010a) 31 - 44.