

Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé

Inoussa Toko Mouhamadou, Ismaila Toko Imorou, Brice Sinsin and Fatou Touré

Volume 12, Number 3, December 2012

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1022694ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Toko Mouhamadou, I., Toko Imorou, I., Sinsin, B. & Touré, F. (2012). Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé. *VertigO*, 12(3).

Article abstract

Monts Kouffé's region concerns here Monts Kouffé's forest reserve and its south suburb. In Benin, Monts Kouffé forest reserve undergoes anthropic pressures which are galloping population growth, a shifting cultivation, anarchy meadow and poaching, unfair forestry woods using, forested ecosystems' dysfunction and loss of biodiversity. The aim of this study is to characterize Monts Kouffé forest reserve and periphery's dense forests islands in order to present their spatio-temporal dynamic. The adopted methodology is based on Remote Sensing, Cartography and Landscape Ecology techniques. From 1986 Landsat TM and 2006 Landsat ETM+ images for 30 m spatial resolution, these allowed the computation of spatial indexes as number of spots (dense forests islands), total area of spots, dominance, average area, spots areas' diversity and, shape index.



Inoussa Toko Mouhamadou, Fatou Touré, Ismaila Toko Imorou et Brice Sinsin

Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé

Introduction

- 1 L'organisation des différents éléments d'un paysage conditionne la distribution spatiale des populations. Combinant approche spatiale et approche fonctionnelle, l'écologie du paysage étudie les interactions entre l'organisation spatiale (hétérogénéité des éléments de base d'un paysage, formes, distribution, distances entre les éléments...) et les processus écologiques (Burel et Baudry, 2003). L'écologie du paysage permet de combiner l'approche spatiale du géographe et l'approche fonctionnelle de l'écologue (Forman, 1995; Turner *et al.*, 2001) et cela à n'importe quelle échelle. L'utilisation de cette approche consiste au calcul d'un certain nombre d'indices de structure spatiale. En Afrique de l'Ouest, surtout dans la zone tropicale, le constat général est la régression progressive des massifs forestiers.
- 2 En République du Bénin, c'est dans la région densément boisée des Monts Kouffé que l'on rencontre la plus grande richesse spécifique en mammifères (Sayer *et al.*, 1984). Face à la crise économique, l'exploitation et la commercialisation du bois constituent une alternative très fructueuse. L'exploitation abusive des ressources ligneuses conduit à court terme à une savanisation de la zone. L'ensemble de ces pressions anthropiques entraîne un dysfonctionnement des écosystèmes forestiers et une perte de la biodiversité. Ces changements ont des répercussions sur l'occupation du sol et la configuration du paysage qui est un élément très dynamique (Touré, 2010).
- 3 L'objectif général de cette étude est de caractériser les îlots de forêt dense de la forêt classée des Monts Kouffé en vue de mettre en exergue leur dynamique spatio-temporelle.
- 4 Pour atteindre cet objectif général, nous sommes passés par les objectifs spécifiques suivants :
 - détection globale des changements entre 1986 et 2006,
 - répartition spatiale des îlots de forêts denses en 1986 et 2006,
 - dynamique paysagère des îlots de forêts denses entre 1986 et 2006,
 - calcul des indices de structures spatiales des îlots de forêts denses en 1986 et 2006.

Matériel et Méthodes

Cadre d'étude

- 5 Le cadre d'étude se trouve à cheval entre la Commune de Bassila et celle de Bantè. Géographiquement, elle est située entre 1°40' et 2°15' de longitude est et 8°20' et 8°50' de latitude nord. Sa superficie est de 240 432 ha. La zone est entièrement soumise au climat tropical de type soudano-guinéen avec une température moyenne de 27 °C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1 200 mm. La végétation est constituée d'une mosaïque de savanes et de formations forestières. La majeure partie de la forêt classée est occupée par les savanes arbustives, arborées et boisées. Les formations forestières fermées sont quant à elles représentées par des îlots de forêts denses semi-décidues et de forêts-galeries densément boisées autour des cours d'eau. L'agriculture (occupant plus de 80 % de la population), l'exploitation forestière (très développée) et le pâturage (périodique) des troupeaux transhumants venant du Nigéria, du Niger, du Burkina Faso et du Nord-Bénin, sont les activités rencontrées dans la zone.

Données

- 6 Dans cette étude, les données utilisées sont composées de deux images satellitaires :
 - une image TM de Landsat 5, scène 197 - 53 du 13/01/1986 de la scène 192045

- une image ETM + de Landsat 7, même scène (192 054) datant du 31/01/2006 couvrant la forêt classée des Monts Kouffé et sa zone périphérique Sud.

7 Les deux images sont de saison sèche, sans nuages. Bien qu'on soit en période d'harmattan, l'atmosphère ne semble perturbée sur aucune des deux images. Toutefois, il faut signaler que les perturbations des images de Landsat 2006 n'affectent pas notre Zone d'étude.

Matériel

8 Le matériel utilisé dans notre étude est composé de :

- Logiciels : Erdas Imagine 9.1 pour le traitement numérique des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006; Arc GIS 9.3 pour les travaux de cartographie et analyses SIG.
- Appareil photo numérique de marque Sony pour la prise de quelques images sur le terrain.

Démarche méthodologique

Traitement numérique des images satellitaires et cartographie

Correction géométrique de l'image de 2006

9 L'image de 2006 (WGS 1688) a été rectifiée par rapport à l'image de 1986 (WGS 1884) par un polynôme de degré 1 avec une erreur moyenne quadratique de l'ordre de 0,31 pixel en utilisant 5 points de calage. Cette rectification s'impose parce que les deux images étaient de datum différents, donc impossibilité de les superposer. Le rééchantillonnage des images a été réalisé à l'aide de la méthode du plus proche voisin, car celle-ci n'altère pas la valeur radiométrique des pixels (Jensen, 1983). Dans ce cas, le système de projection est UTM-zone 31N, sphéroïde; WGS 84, Datum WGS 84.

Composition colorée

10 Ici, la composition colorée qui a été privilégiée pour la détermination des unités d'occupation du sol est celle en fausses couleurs standard. Elle combine les bandes du proche infrarouge, du rouge et du vert du capteur respectivement au plan d'affichage rouge, vert et bleu de l'écran. Cette composition est très efficace pour analyser la végétation, et elle présente l'avantage pour l'interprète d'avoir pratiquement les mêmes propriétés que les photographies infrarouges en couleur utilisées depuis longtemps par les photo-interprètes (Kerle et al, 2001). La composition colorée s'est faite dans ERDAS IMAGINE après la combinaison des bandes. ERDAS IMAGINE affiche par défaut la composition 432, mais en fonction des besoins de notre étude, notre choix s'est porté sur la composition 345.

Amélioration du contraste

11 La méthode d'amélioration de contraste utilisée pour notre image est l'égalisation d'histogramme. Avec cette méthode, les valeurs radiométriques d'image (DN) sont assignées aux grandes luminosités sur la base de leur fréquence d'occurrence, de sorte que les niveaux de luminosité les plus élevés soient assignés aux valeurs d'image qui se produisent fréquemment.

Calcul des indices de végétation normalisés NDVI

12 Nous avons procédé à la création d'un nouveau canal issu de la combinaison des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR). L'équation utilisée est la suivante :

13 $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$, où NDVI est un indice de végétation. Ce dernier a permis de rehausser préférentiellement la zone à couvert végétale par rapport aux autres. La visualisation de l'indice de végétation normalisée nous a permis de distinguer les formations forestières très denses, les formations peu denses et les zones très dégradées ou les sols nus.

Classification supervisée

14 Dans ce cas, l'algorithme paramétrique choisi est la méthode du maximum de vraisemblance. L'algorithme de classification selon le maximum de vraisemblance calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Collet, 1992). Un avantage considérable de cet algorithme est qu'il fournit pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté, un indice de certitude lié à ce choix. Il est recommandé de

prendre le maximum d'aires d'entraînement pour chaque classe. Pour cette étude, le nombre d'échantillons a été limité à 20 pour chaque classe. Les classes qui ont été définies s'élèvent au nombre de 9 (forêt dense, forêt claire, forêt-galerie, savane boisée, savane arbustive, savane arborée, champs-jachère, agglomération et eau).

Évaluation de la qualité de la classification

- 15 La matrice de confusion de la classification a été calculée pour chacune des deux dates (1986 et 2006). Cette matrice permet de vérifier la qualité de l'apprentissage et donne une estimation de la validité de la classification. On constate également les confusions spectrales entre les différentes classes. Les matrices de confusions obtenues sont représentées par les tableaux 1 et 2.

Tableau 1. Matrice de confusion de 1986

Reference Data				
foret clai	foret gale	foret dens	savane boi	
80.96	9.01	2.13	1.79	
3.25	81.76	4.49	0.06	
0.46	9.01	92.38	0.00	
0.77	0.00	0.45	82.96	
0.00	0.00	0.00	7.05	
0.00	0.00	0.45	5.44	
5.57	0.23	0.10	2.63	
0.00	0.00	0.00	0.00	
8.98	0.00	0.00	0.06	
646	444	3097	1673	

Reference Data				
savane arb	zone brule	savane arb	agglomerat	
0.75	0.00	4.44	0.00	
0.00	0.00	0.07	0.00	
0.00	0.59	0.07	0.00	
16.88	7.73	4.91	0.00	
69.09	0.03	11.04	1.46	
0.28	91.63	0.07	0.00	
9.96	0.03	66.35	0.00	
0.83	0.00	0.00	96.83	
2.21	0.00	13.06	1.71	
2530	3741	1486	410	

Tableau 2. Matrice de confusion de 2006

Reference Data				
Classified Data	forêt_dens	foret_clai	savane_boi	savane_arb
forêt_dens	93.51	8.83	0.28	0.00
foret_clai	4.89	72.75	0.94	0.26
savane_boi	0.53	0.39	90.82	0.26
savane_arb	0.00	0.04	3.29	96.85
savane_arb	0.32	15.23	3.50	2.62
champs_jac	0.67	1.59	0.57	0.00
Agglomérat	0.05	0.86	0.37	0.00
Plan_d'eau	0.02	0.32	0.22	0.00
Column Total	8077	12189	5404	381

Reference Data				
Classified Data	savane_arb	champs_jac	Agglomérat	Plan_d'eau
forêt_dens	0.05	0.00	0.07	0.90
foret_clai	4.10	0.66	2.00	1.44
savane_boi	0.36	0.12	0.26	0.54
savane_arb	3.60	0.19	0.21	0.36
savane_arb	91.55	0.16	0.22	1.44
champs_jac	0.26	94.09	19.87	0.00
Agglomérat	0.02	4.74	77.02	0.72
Plan_d'eau	0.05	0.04	0.34	94.61
Column Total	4191	2574	5349	557

16 **Filtrage post-classification**

- 17 Nous avons appliqué le filtre médian à l'image classifiée pour la généralisation de certains éléments qui avaient un aspect « sel et poivre » en vue de rendre plus net les thèmes linéaires ou les contenus des thèmes contigus.

18 **Vectorisation et exportation des images classifiées dans ArcMap**

- 19 La vectorisation est une conversion qui aboutit à la segmentation de l'image. Les unités s'individualisent et chacune d'elle peut être modifiée sans entraîner les autres. C'est après cette étape que le fichier est exporté en shapefile pour être utilisable dans le logiciel ArcMap. Le fichier ainsi obtenu a été édité pour générer les cartes d'occupations du sol et de celles des îlots de forêts denses en 1986 et 2006 qui serviront à calculer les indices de structures spatiales de ces îlots.

Calcul des indices de structure spatiale des îlots de forêts denses

- 20 Le calcul de ces indices de paysage permet de valider ou d'infirmer les changements mis à jour dans la première méthode (détection des changements) entre 1986 et 2006. Les indices ainsi calculés concernent :

Nombre de taches

- 21 Le nombre de taches d'îlots de forêts denses en 1986 et 2006 n'est rien d'autre que la somme calculée de ces derniers à partir des tables d'attributs des cartes de 1986 et 2006. Cet indice nous a renseignés sur la fragmentation d'une classe entre deux périodes. En effet, l'augmentation du nombre de taches d'une classe peut être due à la fragmentation de cette classe (Davidson, 1998). L'aire totale (at_j) occupée par la classe j (ha) a été calculée suivant l'équation ci-dessous où a_{ij} est l'aire de la i -ème tache de la classe j :

$$a_{\bar{j}} = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ij}$$

Dominance

- 22 La dominance $D_j(a)$ indiquant la proportion d'aires occupées par la tache dominante dans la classe j a aussi été calculée suivant la formule ci-dessous :

23 $D_j(a) = a_{\max j} / a_{\bar{j}} \times 100.$

24 Exemple : $D_j(a) = 2676 / 17\,864 \times 100 = 14,97$

- 25 $< D_j(a) \leq 100$. Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée. NB : $a_{\max j}$ = aire totale (at_j) occupée par la plus grande tache de la classe j

Aire moyenne

- 26 L'aire moyenne a_j (la valeur moyenne de l'aire des taches de la classe j) a été calculée selon la formule suivante : $\bar{a}_j = a_{\bar{j}} / n_j$

Diversité des aires des taches

- 27 La diversité des aires des taches de la classe j , notée $H_j(a)$, a été calculée suivant la formule de l'indice de Shannon ci-dessous (Bogaert et Mahamane, 2005) où, $\ln$ représente le logarithme népérien.

$$H_j(a) = \sum_{i=1}^{n_j} - \left(\frac{a_{ij}}{a_{\bar{j}}} \ln \frac{a_{ij}}{a_{\bar{j}}} \right)$$

- 28 Cet indice mesure la diversité relative des taches au niveau de la classe. La valeur de $H_j(a)$ va dépendre du nombre de taches présentes (n_j), de leurs proportions relatives et de la base du logarithme. Il est égal à 0 lorsque la classe n'est constituée que d'une seule tache et sa valeur va croître avec le nombre de taches et avec l'équitabilité entre les aires des taches de la classe (McGarigal et Marks, 1995).

Indice de forme

- 29 L'indice de forme de la classe j (IF_j) a été calculé selon la formule ci-dessous où, P_{ij} est le périmètre total de la classe j .

$$IF_j = \frac{P_{\bar{j}}^2}{a_{\bar{j}}}$$

- 30 L'indice des formes est basé sur un principe de rapport du périmètre sur l'aire. La forme est un élément difficile à quantifier et qui peut donner libre cours à différentes interprétations (Ducrot, 2005). Elle peut être liée à des degrés d'artificialisation : exemple, les terres agricoles sont très polygonales alors que les formations naturelles, telles que les forêts ont souvent un

contour plus complexe. Plus les taches ont des formes allongées ou irrégulières, plus la valeur de l'*IFj* sera élevée et cette valeur décroîtra à mesure que les formes deviennent circulaires (Bogaert *et al*, 2000).

Résultats

Télédétection et cartographie

Images classifiées de 1986 et 2006

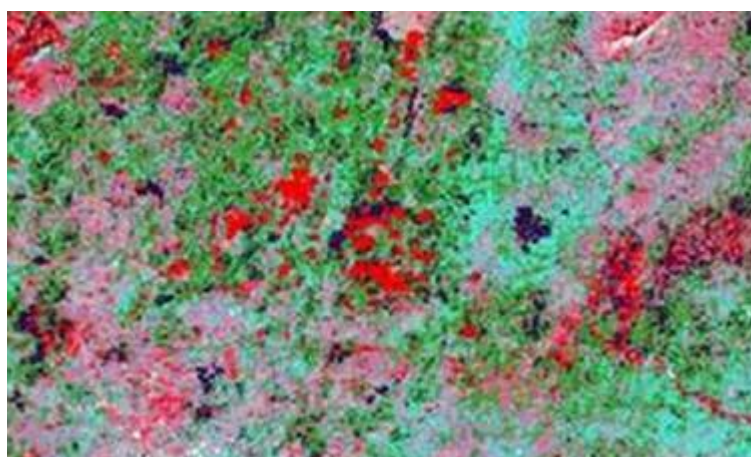
31 Grâce aux indices de végétation normalisés (NDVI), la classification supervisée des images Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006, a produit des images beaucoup plus explicites pour le renseignement sur les différents types d'occupation du sol (Fig.1 et 2).

Figure 1. Classification supervisée de l'image Landsat TM de 1986



Légende des images classifiées de 1986 et 2006: Rouge foncé: Îlots de forêts denses; Rose : Forêts claires; Vert foncé : Savanes boisées; Vert bleuté : Savanes arborées; Violet : Savanes arbustives; Blanc : Sols nus et zones dégradées; Bleu marine : Plan d'eau, fleuve.

Figure 2. Classification supervisée de l'image Landsat ETM+ de 2006



Légende des images classifiées de 1986 et 2006: Rouge foncé: Îlots de forêts denses; Rose : Forêts claires; Vert foncé : Savanes boisées; Vert bleuté : Savanes arborées; Violet : Savanes arbustives; Blanc : Sols nus et zones dégradées; Bleu marine : Plan d'eau, fleuve.

Cartes d'occupation du sol de 1986 et 2006

32 Il s'agit de 2 cartes issues de la vectorisation des images classifiées (Figures 3 et 4). Celles-ci illustrent spatialement et quantitativement les changements importants survenus dans cette forêt pour une période de 20 ans (1986-2006).

Figure 5. Carte des îlots de forêts denses de la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud en 1986

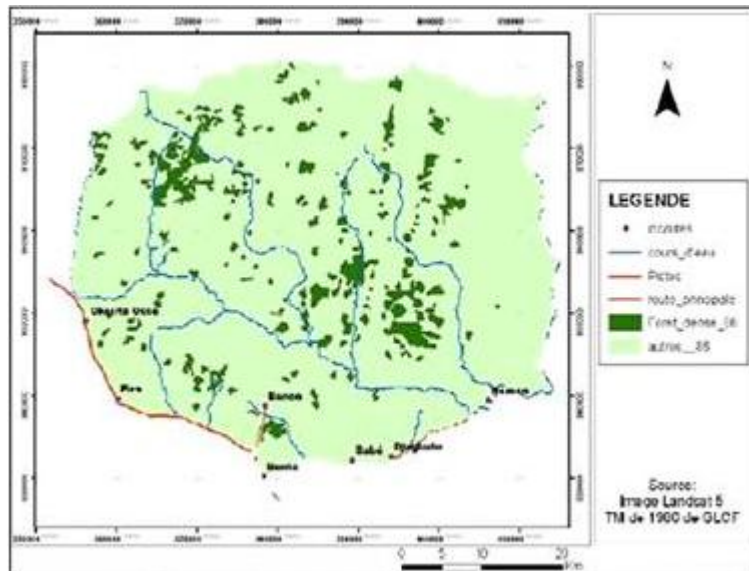
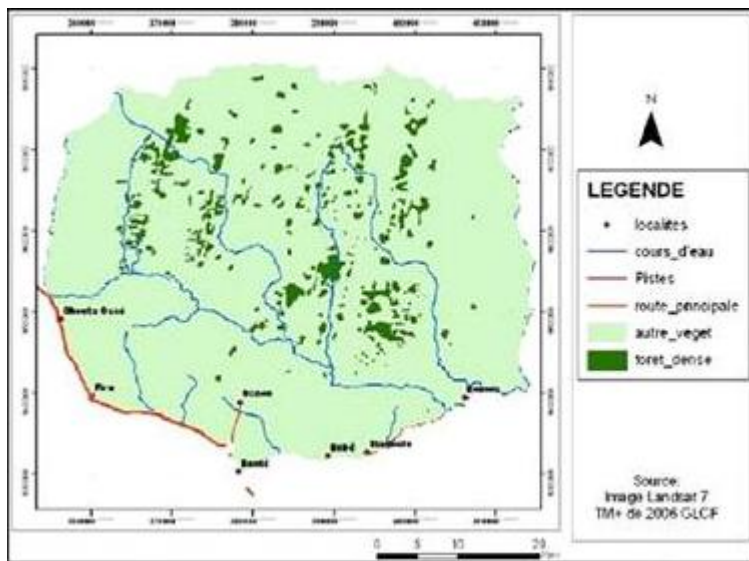


Figure 6. Carte des îlots de forêts denses de la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud en 2006



Écologie du paysage

Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses

34 Le tableau 3 présente les indices des structures spatiales calculés pour les îlots de forêts denses en 1986 et 2006.

Tableau3. Indices de structures spatiales des forêts denses calculés en 1986 et 2006

	nj		atj (ha)		aj (ha)		Dj (%)		Hj		IFj	
Forêts denses	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006
	165	217	17 864	14 852	108,26	68,44	14,97	5,39	4,30	4,69	3486	4707

Légende : nj = nombre de taches de la classe j (effectif d'îlots de Forêts denses); atj = aire totale de la tache j; aj = aire moyenne de la tache j; Dj = dominance de la tache j; Hj = Indice de Shannon de la tache j; Ifj = Indice de forme de la tache j. Legend : nj = Class j number of patch (quantity of dense forests islands); atj (ha) = Patch j total area; aj (ha) = Patch j average area; Dj (%) = Patch j dominance; Hj = Patch j Shannon index; Ifj = Patch j shape index.

Analyse des indices de structures spatiales

35 Les indices du tableau 3 ont permis de détecter les changements de la structure spatiale du paysage étudié entre les 2 années. Le nombre de taches a augmenté entre 1986 et 2006 en passant de 165 à 217. Ceci indique une fragmentation avec un morcellement des taches

initiales. La tendance de fragmentation est confirmée par la diminution des aires moyennes des îlots de forêt dense. Les valeurs des aires moyennes chutent considérablement (108,26 ha à 68,44 ha). Les valeurs de la dominance ($Dj(a)$) diminuent passant de 14,97 % à 5,39 %. Donc nous pouvons souligner qu'en 20 ans, les taches qui dominaient cette classe de forêt dense ont été morcelées environ 3 fois. On constate que pour ces îlots de forêt dense, la valeur de l'indice de Shannon augmente (4,30 à 4,69). Cela confirme la tendance d'équitabilité entre les taches de forêts dans lesquelles beaucoup de petites taches ont remplacé les quelques grosses présentes en 1986 comme déjà montrée par les valeurs de $Dj(a)$. Un autre constat est l'évolution de l'indice des formes IFj . On constate que pour cette classe avec le taux d'occupation du sol qui augmente (c'est-à-dire le nombre de taches qui passe de 165 à 217), la valeur de l'indice de forme augmente et passe de 3.486 en 1986 à 4.707 en 2006. L'indice de forme élevé que nous avons obtenu dans cette étude confirme donc la complexité des formes des îlots de forêts denses. Selon Touré (2010), ces indices de paysage permettent de valider la détection des changements en révélant trois états :

- augmentation du nombre des taches = fragmentation de la classe,
- régression de la superficie de la classe = processus de dégradation,
- accroissement de la valeur de l'indice de Shannon = dislocation de l'unité.

Discussion

Choix des méthodes (télédétection, cartographie et écologie du paysage)

36 Les analyses multi-temporelles, réalisées à partir d'images satellitaires à haute résolution (1 à 30 mètres de résolution spatiale) jusqu'à présent, ont permis de mettre en évidence les processus de dégradation environnementale dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches au Sahel. Dans ces études, des photographies aériennes des années cinquante et soixante-dix sont le plus souvent comparées avec des images TM de Landsat ou HRV de SPOT des deux dernières décennies. À noter également l'utilisation des images ASTER datant de l'époque de la guerre froide et, plus récemment, des images à très haute résolution comme IKONOS (1 mètre de résolution spatiale en mode panchromatique). Ces études sont le plus fréquemment supportées par des missions de réalité de terrain ainsi que par des enquêtes auprès des populations locales. Les résultats qui en découlent sont généralement similaires : d'une part, une diminution importante des zones boisées et de la végétation en général et, d'autre part, une augmentation remarquable des sols dégradés qui se marque souvent par une remise en mouvement du sol par la déflation éolienne (Chamard et Courel, 1979; Kuberow, 1990; Karimoune, 1994; Kuberow, 1994; Lindqvist et Tengberg, 1994; Pare et Tallet, 1999; Valentin et d'Herbes 1999; Gueye et Ozer, 2000; N'Djafa Ouaga et Courel, 2000; Gonzalez, 2001; Mainguet *et al.*, 2001; Cuny et Sorg, 2003). Il n'en demeure pas moins que les appréciations du phénomène varient fortement d'une zone d'étude à l'autre.

37 Ainsi donc, à partir des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006 toutes de 30 m de résolution spatiale, la présente étude a permis de montrer l'importance de la télédétection et de l'écologie du paysage dans la compréhension de la structure paysagère de la forêt classée des Monts Kouffé et environs. Car des cartes d'îlots de forêts denses ont été réalisées pour 1986 et 2006, d'où sont calculés les indices de structures spatiales des îlots de forêts denses de la zone d'étude. Les processus de changement de la couverture végétale nous ont permis de comprendre que les activités anthropiques constituent le principal facteur potentiellement responsable de ce changement. Les travaux de certains chercheurs ont également confirmé l'importance de ces méthodes dans l'étude de la dynamique paysagère. Avec l'augmentation progressive de la résolution spatiale des images, de 80 m en 1972 pour Landsat MSS à 10 m aujourd'hui pour Spot 5 en mode multispectral et jusqu'à 2,5 m en mode panchromatique, pour ne citer que ces exemples très courants, les études sur la déforestation au niveau local dans la zone intertropicale se multiplient. Elles proposent des diagnostics ainsi que des analyses diachroniques pour expliquer l'évolution de la déforestation. En plus des enregistrements satellites, les photographies aériennes sont parfois utilisées. Il s'en suit une

certaine précision dans les mesures du taux de déforestation et des détails sont fournis sur la nature des parcelles qui ont remplacé la forêt (Dibi N'Da *et al.*, 2008; Tsayem *et al.*, 2001). Ainsi, pour la forêt dense humide de la région de Bertoua au Cameroun, les calculs réalisés sur les images Landsat TM font état d'un taux annuel de déforestation de 0,5 % (Mertens et Lambin, 1997). Pour la même région, l'analyse des photographies aériennes couplées aux images Landsat TM révèle une dynamique du couvert végétal caractérisée par une lente progression de la forêt aux dépens de la savane adjacente (Youta-Happi, 1998). Une tendance similaire est observée dans les régions forestières de la République Démocratique du Congo (Runge et Neumer, 2000). Pour l'ensemble du Bassin du Congo, les calculs effectués par Duveiller *et al.* (2008) sur les images Landsat, indiquent un taux de déforestation de 0,21 % par an et un taux de dégradation forestière (exploitation forestière par extraction du bois) de 0,15 % par an. Aussi pour montrer l'importance de la télédétection dans l'identification et la typologie des zones de changement dans sa zone d'étude, Hountondji (2008) souligne que le postulat fondamental de l'utilisation de la télédétection spatiale pour la détection du changement se résume à ce que tout changement dans la couverture du sol résulte en un changement dans les valeurs spectrales. Encore appelée analyse diachronique dans la pratique, cette opération permet d'apprécier les changements biophysiques qui ont lieu dans cette zone entre 1986 et 2005.

Choix des indices de structures spatiales

38 De nombreux indices ont été proposés pour quantifier et mesurer la structure paysagère (p. ex., FRAGSTATS (Forman *et al.*, 1986, Burel *et al.*, 2003)). Dans notre étude, nous avons utilisé des indices découlant directement de la définition de la fragmentation. En écologie du paysage en particulier et en écologie de façon générale, la fragmentation forestière est devenue un thème de recherche très important pour la conservation (Haila, 2002). En effet, la fragmentation entraîne une réduction de l'aire totale et une augmentation du nombre de taches (Davidson, 1998). Ce sont donc ces variables que nous avons mesurées et analysées. En plus, la dominance de la plus grande tache de la classe a été prise en compte, car la fragmentation suppose le morcellement et donc la diminution de la taille des taches vers de petites taches de tailles similaires. Et pour montrer l'effet anthropique, la dimension fractale a été utilisée. Avec l'intervention de l'humain, les formes des taches deviennent plus régulières et cela est quantifié par des valeurs de la dimension fractale plus faibles. L'existence de corrélation entre ces indices, même si elle indique une redondance de l'information (Bogaert, 2003), constitue un argument pour mettre en évidence le fait que les observations ne sont pas dues au hasard. En effet, la fragmentation est un processus bien précis qui implique plusieurs paramètres et variables à considérer ensemble. Pendant que le nombre de taches augmente, les grandes taches sont morcelées, réduisant l'aire totale de la classe. Le tout est occasionné par l'influence anthropique illustrée par la diminution des valeurs de la dimension fractale. Ce sont donc ces paramètres qui s'accompagnent pour aboutir à la fragmentation comme résultat (Bamba *et al.*, 2010).

Activités anthropiques et dynamique du paysage

39 Dans le processus de succession spontanée de la végétation, la phase forêt secondaire occupe une position centrale. Ce sont en effet, les forêts secondaires qui reconstitueront la forêt dense. Elles constituent le passage obligé vers l'état climacique dans un écosystème forestier. La baisse de leur taux est un signe de perturbation pour la restauration de l'écosystème. Cette situation est due à une pratique non durable du système agraire, elle-même provoquée dans le cas de notre zone d'étude par une pression démographique de plus en plus croissante et par la réduction des temps de jachères (Bamba *et al.*, 2008). Toujours selon les mêmes auteurs, dans la province du Bas-Congo, l'effectif de la population de cette région est passé de 1 992 845 habitants en 1984 à 2 835 000 habitants en 1998. De plus, l'agriculture traditionnelle, dans la plupart des régions d'Afrique, est la culture itinérante. Cependant, à partir du moment où la densité de population atteint et dépasse certaines limites critiques, la période de jachère se raccourcit, et la végétation se dégrade, souvent irréversiblement. Cette agriculture itinérante

sur brûlis serait responsable pour 70 % de la déforestation en Afrique. Selon Duvigneaud (1949), le climax de cette région est forestier. Les déboisements considérables, suivis d'une savanisation qui aurait tendance à se stabiliser sous l'action des feux, seraient responsables de la transformation du paysage ligneux primitif en paysage herbeux anthropogène.

Changements détectés sur les cartes et indices de structure spatiale calculés

40 À ce niveau, quelques auteurs comme (Bogaert et Mahamane, 2005; Bamba *et al.*, 2008) ont abondé dans le même sens que nous. Car pour eux, le calcul des indices de structure spatiale a permis de mettre en évidence la configuration spatiale des taches des classes dans le paysage. L'analyse cartographique, grâce à la matrice de transition, a révélé trois processus qui se sont déroulés entre 1960 et 2005. Premièrement, la savanisation matérialisée par l'augmentation de l'aire totale des savanes et la formation de nouvelles savanes dans le paysage, ensuite la dégradation de l'écosystème forestier et enfin une faible tendance d'évolution écologique vers un état climacique (formation de forêts denses). Les indices de structure spatiale ont aussi révélé un certain nombre de transformations spatiales opérées dans leur paysage en 45 ans. Mais le constat est que pour l'ensemble des indices calculés, les processus de transformation sont beaucoup plus amplifiés dans les classes des forêts denses et secondaires que dans les classes des savanes et des jachères et champs. En plus, les trois processus révélés par la cartographie sont confirmés par les indices de structure spatiale. La dégradation de l'écosystème forestier est matérialisée par une fragmentation plus forte au niveau de ces classes. Cela est illustré par une forte augmentation du nombre de taches pour les forêts secondaires et forêts denses ainsi que par une diminution aussi forte de l'aire moyenne des taches. Quant à l'indice de dominance, pendant qu'elle s'accroît dans les classes savanes et jachères et champs, elle décroît dans les deux classes forestières. Aussi, la savanisation est matérialisée par l'augmentation de l'aire totale des savanes, l'augmentation de la dominance de la tache la plus grande de cette classe et la constance de l'hétérogénéité (indice de Shannon).

Conclusion et suggestions

Conclusion

41 Grâce à cette étude, nous pouvons constater que les techniques de la télédétection, de la cartographie et de l'écologie du paysage demeurent des outils indispensables permettant de comprendre les structures spatiales des îlots de forêt dense de la forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie. Car les indices ont permis de détecter les changements de la structure spatiale de cet écosystème entre 1986 et 2006. Le nombre de taches a connu une augmentation en passant de 165 à 217, ce qui traduit une fragmentation avec un morcellement des taches initiales. La tendance de fragmentation a été confirmée par la diminution des aires moyennes des îlots de forêt dense. Car celles-ci ont chuté considérablement de 108,26 ha à 68,44 ha. Tandis que les valeurs de la dominance ($D_j(a)$) ont diminué de 14,97 % à 5,39 %. Cette situation nous a permis donc de comprendre qu'en 20 ans, les taches qui dominaient cette classe de forêt dense, ont été morcelées environ 3 fois. On constate aussi que pour ces îlots de forêt dense, la valeur de l'indice de Shannon a augmenté de 4,30 à 4,69. Cela confirme la tendance d'équité entre les taches de forêts dans lesquelles beaucoup de petites taches ont remplacé les quelques grosses présentes en 1986 comme déjà montrée par les valeurs de $D_j(a)$. Pour cette classe, nous avons constaté qu'avec un taux d'occupation du sol qui a augmenté (c'est-à-dire le nombre de taches qui a passé de 165 à 217), la valeur de l'indice de forme a aussi augmenté et passe de 3.486 en 1986 à 4.707 en 2006. En somme, ces indices de paysage ont permis de valider la détection de changement dans ces îlots de forêt dense, en révélant trois états :

- augmentation du nombre des taches = fragmentation de la classe,
- régression de la superficie de la classe = processus de dégradation,
- accroissement de la valeur de l'indice de Shannon = dislocation de l'unité.

42 Pour gérer durablement ces écosystèmes forestiers que faut-il faire?

Suggestion : Mettre en œuvre la REDD

- 43 La REDD (Réduction des Émissions de gaz à effet de serre dues à la Déforestation
et à la Dégradation forestière) est actuellement en expérimentation conformément aux
recommandations de la conférence de Bali (UNFCCC, 2007). Dans notre zone d'étude, il
faudra donc mettre en œuvre la REDD pour la gestion rationnelle et durable des îlots de forêts
denses.

Remerciements

- 44 Pour la réalisation de cet article, je remercie très sincèrement les personnes suivantes pour
leurs contributions scientifiques :
- 45 Prof. SINSIN Brice de la Faculté des Sciences Agronomiques, Directeur du Laboratoire
d'Écologie Appliquée et Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi.
- 46 Madame Fatou TOURÉ Epouse NDIAYE du Sénégal, spécialiste en Aménagement des
Aires protégées et ancienne stagiaire de DESS en Production et Gestion de l'Information
Géographique au RECTAS (Université Obafemi Awolowo d'Ilé-Ife au Nigéria).
- 47 Dr TOKO IMOROU Ismaila, Enseignant-Chercheur au Laboratoire de Cartographie du
Département de Géographie et Aménagement du Territoire de la Faculté des Lettres, Arts et
Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi.

Bibliographie

- Bamba, I., A. Mama, D.F.R. Neuba, K.J. Koffi, D. Traoré, M. Visser, B. Sinsin, Jean Lejoly et J. Bogaert, 2008, Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D.Congo). *Sciences & Nature* Vol.5 N°1:49-60. [En ligne] URL : <http://www.ajol.info/index.php/scinat/article/viewFile/42151/9279>
- Bamba I., Y.S.S. Barima et J. Bogaert, 2010, Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Mongabay.com Open Access Journal - Tropical Conservation Science* Vol. 3 (1):31-44. [En ligne] URL : www.tropicalconservationscience.org. <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/pdf>. Consulté le 12 avril 2010 à 22h10.
- Bogaert, J., 2003, Lack of agreement on fragmentation metrics blurs correspondence between fragmentation experiments and predicted effects. *Conservation Ecology* 7(1) [En ligne] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss1/resp6/>
- Bogaert, J. et A. Mahamane, 2005, Ecologie du paysage, cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* (7) 1 : 39-68.
- Bogaert, J., R. Rousseau, P. Van Hecke et I. Impens, 2000, Alternative area-perimeter ratios for measurement of 2D shape compactness of habitats. *Applied Mathematics and Computation*. 111 : 71-85.
- Burel, F. et J. Baudry, 2003, *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris, France : Tec & Doc. 359 p.
- Chamard, P.C. et M.F. Courel, 1979, Contribution à l'étude du Sahel voltaïque. Causes et conséquences de la dégradation du couvert végétal des dunes, Secteur de Menegou-Bidi (Département du Sahel – sous-préfecture de l'Oudalan), Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, 75-90.
- Collet, C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Col. Gérer l'environnement n°7, 186 p.
- Cuny, P. et J.P. Sorg, 2003, Forêt et coton au sud du Mali : cas de la commune rurale de Sorobasso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 276 : 17-31.
- Davidson, C., 1998, Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Soc. Bul.*26:32-37.
- Dibi, N'Da H., E. Kouakou N'Geussan, M. Egnankou Wadja et K. Affian, 2008, Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire), *Revue Télédétection*, p.17-34.
- Ducrot, D., 2005, Méthodes d'analyses et d'interprétation d'images de télédétection multisource. Extraction de caractéristiques du paysage. Mémoire de recherche. INP, Toulouse, France. 216 p.
- Duveiller, G., P. Defourny, B. Desclée et P. Mayaux, 2008, Deforestation in Central Africa : Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment* 112: 1969-1981.

- Duvigneaud, P., 1949, Les savanes du Bas-Congo. Essai de phytosociologie topographique. *Révue Botanique, Lejeunia*. Déc. 1949, Liège. *Mém.* 10 : 192 pp.
- Forman, R. T. T. et M. Godron, 1986, *Landscape ecology*. John Wiley & sons, New York, USA.
- Forman, R. T. T., 1995, *Land Mosaics : the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gonzalez, P., 2001, Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel, *Climate Research*, 17: 217-228.
- Gueye, M. et A. Ozer, 2000, 2000, Apport de la télédétection à l'étude de la transformation de l'agriculture et de l'environnement dans le département de Bignona (Sénégal méridional). In « *La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives* », Dubois, J.M.M., R. Caloz. et P. Gagnon, P. (Eds.), AUPELF-UREF, 141-151.
- Haila, Y., 2002, A conceptual genealogy of fragmentation research: from island biogeography to landscape ecology. *Ecological Applications* 12:321-334.
- Hountondji, H. Y-C, 2008, Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de Doctorat Unique. Faculté des Sciences. Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. Université de Liège, Liège, Belgique. 153 p.
- Jensen, J.R., 1996, *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 316 p.
- Jensen, J.R., 1983, Urban / suburban land use analysis. In "Manual of Remote Sensing" 2ed., Colwell, R.N. (ed.), Chapter 30, *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Falls Church, Virginia, vol. 2: 1571-1666.
- Karimoune, S., 1994, Contribution à l'étude géomorphologique de la région de Zinder (Niger) et analyse par télédétection de l'évolution de la désertification. Thèse de doctorat en Sciences géographiques, Faculté des Sciences, Université de Liège. 350p.
- Kerle, N., et B. van Wyk de Vries, 2001, The 1998 debris avalanche at Casita volcano, Nicaragua — Investigation of structural deformation as the cause of slope instability using remote sensing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 105, 49–63
- Kuberow, H., 1990, Anwendung von LANDSAT-daten zur erfassung der vegetations dynamik in desertifikationsgefährdeten gebieten Malis, *Die Erde*, 121: 39-53.
- Kuberow, H., 1994, Quantitative und qualitative erfassung von vegetationsänderungen – Ein beispiel aus dem Südsahel Malis, *Die Erde*, 125: 35-56.
- Lindqvist, S. et A. Tengberg, 1994, New evidence of desertification from case studies in Northern Burkina Faso. *Desertification Control Bulletin*, 25 : 54-60.
- Manguet, M., F. Dumay, M.L. Ould El Hacen et A. Maefoudh, 2001, « Diagnostic par la télédétection d'un changement de rythme de la dynamique éolienne : période d'amorce de la desertification en Mauritanie saharo-sahélienne », *Télédétection*, 2 : 129-136.
- Mertens, B. et E.F. Lambin, 1997, Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon. *Applied Geography*, vol. 17, n° 2, p. 143-162.
- N'Djafa-Ouaga, H. et M.F. Courel, 2000, Utilisation de l'imagerie aérienne et satellitale pour l'analyse de la mutation des espaces ruraux : cas de la sous-préfecture de Mandéla dans le département de Hadjer Lamis au Tchad. In « *La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives* », Dubois, J.M.M., R. Caloz, et P. Gagnon, P. (eds.), AUPELF-UREF, 177-185.
- Pare, L. et B. Tallet, 1999, D'un espace ouvert à un espace saturé : Dynamique foncière et démographique dans le département de Kouka (Burkina Faso). *Espace, Populations, Sociétés*, 37 : 83-92.
- Runge, J. et M. Neumer, 2000, Landscape dynamics of the rain forest/savanna border from 1955 to 1990 evidenced by aerial photographs and Landsat - TM data in Northern Zaire, p.p. 171-173. *Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, publication UNESCO-IRD
- Sayer, J.A. et A.A. Green, 1984, The distribution and status of large mammals in Benin. *Mammal Rev.*, Volume 14, N 1, 37-50. Printed in Great Britain.
- Touré, F., 2010, Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006). Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo. Ilé-Ife. Nigéria. 69p.

Tsayem-Demaze, M., L. Polidori et J.M. Fotsing, 2001, Caractérisation multi-échelle et multi-capteur de la déforestation tropicale amazonienne. Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, 161 : 74-84.

Turner, M.G.; R.H. Gardner et R.V. O'Neill, 2001, Landscape Ecology in Theory and Practice. Springer-Verlag, New York, NY, USA.

UNFCCC, 2007, Nations Unies, Convention Cadre sur les Changements Climatiques, rapport de la 13^{ème} session de la Conférence des parties tenue à Bali du 3 au 15 décembre 2007 (Plan d'Action de Bali), 62 p.

Valentin, C. et J.M. d'Herbes, 1999, Niger tiger bush as a natural harvesting system. *Catena*, 37 : 231-256.

Youta Happi, J., 1998, Arbres contre graminées : la lente invasion de la forêt par la savane au Centre - Cameroun. Thèse de Doctorat, Paris IV, 240 p.

Annexe

Exploitation de bois d'œuvre dans la forêt classée des Monts Kouffé par des bûcherons clandestins



Source : Travaux de terrain 2010

Site de fabrication de charbons de bois dans la forêt classée des Monts Kouffé



Source : Travaux de terrain 2010

Champs d'igname dans la périphérie de la forêt classée des Monts Kouffé.



Source : Travaux de terrain 2010

Troupeau de bœufs en pâture dans la périphérie de la forêt classée des Monts Kouffé



Source : Travaux de terrain 2010

Un îlot de forêt dense dans la forêt classée des Monts Kouffé.



Source : Travaux de terrain 2010

Pour citer cet article**Référence électronique**

Inoussa Toko Mouhamadou, Fatou Touré, Ismaila Toko Imorou et Brice Sinsin, « Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis en ligne le 16 novembre 2012, consulté le 28 mai 2013. URL : <http://vertigo.revues.org/13059> ; DOI : 10.4000/vertigo.13059

À propos des auteurs**Inoussa Toko Mouhamadou**

Géographe aménagiste, spécialisé en Écodéveloppement, Dynamique des Écosystèmes et Aménagement du Territoire, Enseignant au RECTAS, Département des SIG, Obafemi Awolowo University Campus, Off Road 1, PMB : 5545, Ile-Ife, Osun State, Nigéria, Courriels : toko@rectas.org / toko21479@alumni.itc.nl / tinoussa@hotmail.com / inoussa_toko@yahoo.fr

Fatou Touré

Ingénieur en Aménagement des Aires protégées, Expert Banque Mondiale au PROGEDE2/Antenne KOLDA, Zone Sud, Volet Aménagement forestier et biodiversité, BP : 88, Sénégal, Courriel : tourfa81@yahoo.fr

Ismaila Toko Imorou

Géographe Aménagiste, spécialisé en Dynamique des Écosystèmes et Aménagement du Territoire, Biogéographie, Enseignant-Chercheur à la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Laboratoire de Cartographie, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin, Courriel : ismael_toko@yahoo.fr

Brice Sinsin

Ingénieur Agronome forestier, spécialisé en Écologie tropicale, Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences Agronomiques. Département Aménagement et Gestion de l'Environnement. Laboratoire d'Écologie Appliquée. Université d'Abomey-Calavi, Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin, Courriel : bsinsin@gmail.com, Site Web : <http://www.leabenin.fsauac.net>

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumés

La région des Monts Kouffé concerne ici la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud. Au Bénin, la Forêt classée des Monts Kouffé subit des pressions anthropiques qui ont pour nom une croissance démographique galopante, une agriculture itinérante sur brûlis, pâturage et braconnage anarchiques, exploitation forestière abusive, dysfonctionnement des écosystèmes forestiers et perte de la biodiversité. L'objectif général de cette étude est de caractériser les îlots de forêt dense de la forêt classée des Monts Kouffé en vue de mettre en exergue leur dynamique spatio-temporelle. La méthodologie adoptée est basée sur les techniques de la télédétection, de la cartographie et de l'écologie du paysage. À partir des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006 toutes de 30 m de résolution spatiale, celles-ci ont permis le calcul des indices spatiaux comme le nombre de taches (îlots de forêts denses), l'aire totale des taches, la dominance, l'aire moyenne, la diversité des aires des taches et l'indice de forme.

Monts Kouffé's region concerns here Monts Kouffé's forest reserve and its south suburb. In Benin, Monts Kouffé forest reserve undergoes anthropic pressures which are galloping population growth, a shifting cultivation, anarchy meadow and poaching, unfair forestry woods using, forested ecosystems' dysfunction and loss of biodiversity. The aim of this study is to characterize Monts Kouffé forest reserve and periphery's dense forests islands in order to present their spatio-temporal dynamic. The adopted methodology is based on Remote Sensing, Cartography and Landscape Ecology techniques. From 1986 Landsat TM and 2006 Landsat

ETM+ images for 30 m spatial resolution, these allowed the computation of spatial indexes as number of spots (dense forests islands), total area of spots, dominance, average area, spots areas' diversity and, shape index.

Entrées d'index

Mots-clés : structures spatiales, îlots de forêts denses, forêt classée des Monts Kouffé et périphérie, télédétection, cartographie, écologie du paysage, Bénin

Keywords : spatial structures, dense forest islands, Monts Kouffe forest reserve and periphery, remote Sensing, cartography, landscape ecology, Benin