

Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin

A. Mama^{1,2*}, B. Sinsin², C. De Cannière¹ & J. Bogaert³

Mots clés : Zone soudanienne- Landsat- Indices de configuration- Fragmentation- Anthropisation

Keywords : Sudanian zone- Landsat- Configuration metrics- Fragmentation- Anthropogenic effects

Résumé

La dynamique temporelle des paysages en zone soudanienne, située dans le Nord du Bénin en Afrique de l'Ouest, a été étudiée à partir de l'analyse diachronique de trois images satellitaires de type Landsat (MSS 1972, TM 1986 et ETM+ 2006) complétées par des missions de vérification sur le terrain. Les résultats indiquent que les formations forestières en 2006 couvraient 8,8% de la zone d'étude contre 25,3% en 1972. Cette régression forestière a été accompagnée d'une perte des zones occupées par les savanes. Par contre, les zones agricoles ont enregistré une progression de leur couverture de 28,4% en 34 ans. L'analyse de la structure spatiale du paysage par des indices de configuration a montré une fragmentation des formations naturelles par les activités agricoles entraînant ainsi une fusion des taches agricoles. D'une façon générale, la région d'étude a subi une transformation importante liée essentiellement aux perturbations d'ordre anthropique et à la pression démographique.

Summary

Anthropogenic Effects and Landscape Dynamics in the Soudanian Zone of North Benin

The temporal dynamics of landscapes in the Sudanian zone of North Benin (West Africa) were studied through a diachronic analysis of three Landsat images (MSS 1972, TM 1986, and ETM+ 2006), supported by field visits. The results indicate that the forest cover was reduced from 25.3% in 1972 to 8.8% in 2006. This decrease of forest area went together with a loss of savannah area. On the other hand, agricultural areas increased up to 28.4% over the same period. Landscape pattern analysis by means of configuration metrics revealed a fragmentation of natural and semi-natural vegetation by agricultural activities, leading to an aggregation of agricultural patches. As general trend, human activities and demographic growth have caused significant changes to the landscapes of the study region.

Introduction

La majorité des paysages de notre planète est actuellement transformée par les activités humaines pour répondre aux besoins socio-économiques des populations (21). Cela se traduit par une dynamique de la structure spatiale des paysages. En Afrique de l'Ouest, les principales perturbations des écosystèmes qui contribuent à la modification des paysages sont la déforestation, la dégradation des sols, la pollution par des pesticides chimiques et l'eutrophisation due à l'apport d'engrais (24). Les problèmes écologiques sont d'autant plus ressentis dans la région ouest-africaine que le niveau de développement y est étroitement dépendant des ressources (naturelles).

Au Bénin et particulièrement dans le Nord,

l'agriculture est responsable des répercussions directes sur l'occupation du sol et la configuration du paysage. En effet, la culture itinérante sur brûlis, dominée par la monoculture du coton, a perturbé les processus de succession de la végétation et a provoqué l'éclatement des grands ménages agricoles en entraînant la multiplication de fermes agricoles (27). Elle est accompagnée de la coupe illicite du bois d'œuvre par des exploitants forestiers et d'une diminution des ressources pastorales qui contribuent à une nouvelle recomposition du paysage. Dès lors, la compréhension des observations des mutations des paysages est cruciale en raison des interactions avec les activités humaines. La dynamique du paysage pourrait contribuer à éclairer les processus écologiques qui s'y déroulent. Il a été observé une intensification de

1 Université Libre de Bruxelles, Ecole Interfacultaire de Bioingénieurs, Service d'Ecologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Bruxelles, Belgique.

2 Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Cotonou, Bénin.

3 Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique.

* Auteur correspondant : E-mail : adimabj@yahoo.fr

la pression anthropique sur les ressources naturelles due aux mauvaises pratiques culturales (29). C'est pourquoi le suivi et la quantification de la dynamique de l'occupation du sol de cette zone s'avèrent urgentes pour attirer l'attention sur ces paysages largement dépendants des pratiques culturales non durables.

La présente étude vise à appliquer les techniques d'écologie du paysage à partir de trois images Landsat afin de caractériser la configuration spatiale des paysages par le calcul d'indices paysagers (40). Ces derniers sont des indicateurs nécessaires pour mieux quantifier la fragmentation et l'anthropisation des éléments du paysage afin d'orienter rationnellement la politique agricole dans la zone. Pour atteindre l'objectif fixé, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle, dans la zone soudanienne, le développement des activités agricoles couplé à l'exploitation forestière entraîne un changement de la structure spatiale du paysage forêt-savane.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

La zone d'étude est située au nord de la République du Bénin (Département d'Alibori). Elle est comprise entre 10°31'19" et 11°45'00" de latitude Nord et entre 2°3'00" et 3°16'30" de longitude Est. Cette zone regroupe les entités administratives de Banikoara, Gogounou et Kandi (Figure 1) et couvre une superficie totale de 13017 km². Sa population est passée de 227.211 habitants en 1992 à 389.294 habitants en 2006 (28). Son climat est de type soudano-sahélien, dont le rythme saisonnier est influencé par le déplacement du Front Intertropical (1, 27). Les précipitations annuelles moyennes oscillent autour de 850 mm. Les sols sont ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions sur sédiments sablo-argileux.

Quant à la végétation, elle est constituée de savanes (arborées à arbustives) avec quelques forêts galeries et forêts claires qui abritent une faune diversifiée. La culture cotonnière est très développée et insufflée à la zone une dynamique socio-économique (49). L'élevage y est de type extensif.

Données satellitaires et auxiliaires

Les différentes analyses proviennent de l'exploitation de trois séries d'images satellitaires Landsat Multi Spectral Scanner (MSS) du 09-10/11/1972; Thematic Mapper (TM) du 21/10/1986 et Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) du

12/01/2006. Des cartes topographiques au 1:200.000 (NC-31-XV, NC-31-XVI, NC-31-XXI, NC-31-XXII) ont été utilisées comme cartes de base ainsi que les enquêtes de terrain et les documents de l'Archive Nationale de la République du Bénin.

Méthodes de traitement et d'analyse

a) Prétraitements des images: Des améliorations radiométriques (10, 48) ont été appliquées afin d'augmenter la lisibilité des images et de faciliter leur interprétation. Elles ont été suivies d'opérations de géoréférencement dans le référentiel UTM-31 WGS-84 Nord.

b) Rééchantillonnage des pixels: Les pixels MSS (57 m de résolution) ont été amenés à la résolution des pixels TM et ETM+ (30 m) pour rendre possible les superpositions et les comparaisons (5, 20). Pour ce faire, la méthode du rééchantillonnage cubique, qui améliore de façon significative la netteté des images sans trop altérer leur radiométrie, a été choisie (13).

c) Classification numérique des images: Des compositions colorées ont été créées en associant les canaux 4 pour l'infrarouge [0,75-0,90 µm], 3 pour le rouge [0,63-0,69 µm] et 2 pour le vert [0,52-0,60 µm] à l'ordre colorimétrique Rouge, Vert, Bleu. Il s'en est suivi une interprétation visuelle et l'identification des zones d'entraînement. Sur la base des connaissances avérées du terrain, nous avons opté pour la classification supervisée avec l'algorithme du « maximum de vraisemblance » (32, 37) pour produire des fichiers matriciels classifiés.

d) Restitution cartographique des classifications: La fusion des résultats issus des différentes étapes de classification a permis de retenir les classes pertinentes de l'occupation du sol. Les images classifiées ont été filtrées. Le filtre a été réalisé à partir de l'outil Spatial Analysis Tools (Majority filter) avec une taille de fenêtre de 8x8 pixels. Le processus de classification a permis de générer des statistiques descriptives sur les superficies des différents types d'occupation du sol pour chacune des trois dates. La comparaison des trois cartes et des trois séries statistiques correspondantes a permis de mettre en évidence des modifications du couvert végétal entre 1972, 1986 et 2006. Enfin, trois matrices de transition (23) ont été obtenues par le croisement deux à deux des cartes d'occupation du sol (36, 46). Grâce au module Analysis Tools d'ArcGIS 9.3, les croisements ont permis d'obtenir les mutations spatiales des classes au cours des trois intervalles: 1972-1986, 1986-2006 et 1972-2006.

e) Validation des classifications d'images: La

vérification de la validité de la performance des classifications a été réalisée à partir de trois matrices de confusion confrontant les classes thématiques obtenues par voie numérique et les données de référence collectées sur le terrain. Plusieurs éléments, à savoir l'interprétation visuelle des compositions colorées des images, standards et améliorées (11) ainsi que les différentes missions de terrain, ont été déterminantes, surtout pour les images de 1972 et 1986. En effet, les vérifications et observations des populations locales, des personnes ressources, ont permis de corriger et de valider les classifications supervisées. Les logiciels ENVI 4.3 et ArcGIS 9.3 ont respectivement été utilisés pour les traitements d'image et la création du Système d'Information Géographique (SIG). Un GPS a servi pour la reconnaissance des classes d'occupation pendant le contrôle de vérité terrain.

f) Indices de structure spatiale: Afin d'étudier les rapports entre la structure spatiale du paysage et les processus écologiques en termes quantifiables, plusieurs indices ont été calculés (26) à savoir: (i) la densité des taches (d) définie comme le nombre de taches d'une classe d'occupation du sol divisé par l'étendue de la zone d'étude, (ii) l'aire moyenne des

taches d'une classe d'occupation du sol (\bar{a}), (iii) l'indice de dominance (D) défini comme le rapport entre l'aire de la plus grande tache de la classe d'occupation du sol et l'aire totale de la classe (39), (iv) la moyenne de l'indice de forme \overline{IF} pour une classe d'occupation du sol avec n le nombre de taches dans la classe et p_i , a_i respectivement le périmètre et l'aire de la tache i (6, 45) :

$$\overline{IF} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{2\sqrt{\pi a_i}}}{n} \quad (1)$$

(v) la dimension fractale (D_f) sur base de la technique de la régression linéaire (33) et (vi) l'indice de perturbation (U) (43). Le logiciel Fragstats 3.2 a permis le calcul des différents indices d'écologie du paysage; il est accompagné d'une documentation détaillée à propos du calcul des indices et leur interprétation écologique.

Résultats

Cartographie et vérification des classifications supervisées

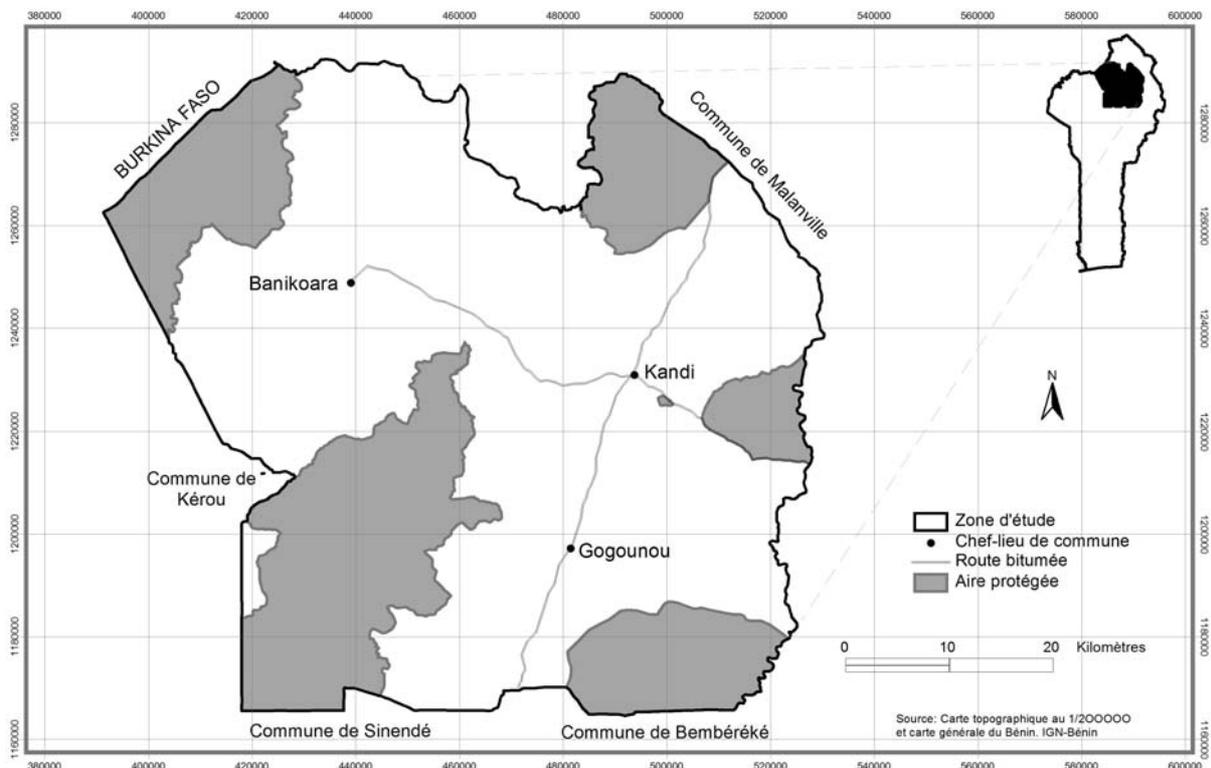


Figure 1: Localisation de la zone soudanienne au nord du Bénin dans les communes de Banikoara, Gogounou et Kandi (Département de l'Alibori). Les trois communes sont productrices des plus grandes quantités de coton graine au Bénin. Mais, elles abritent aussi un nombre important d'aires protégées (forêts classées, zones cynégétiques) considérées comme des centres de conservation de la biodiversité.

Cinq classes d'occupation du sol ont finalement été cartographiées (Figure 2). Elles sont représentées par les forêts (forêt galerie, forêt dense, forêt claire), les savanes (savane boisée, savane arborée, savane arbustive, savane herbeuse), les champs-jachères, l'ensemble sols nus-agglomérations et les plantations arborées après reclassification. La discrimination entre ces différentes classes d'occupation du sol est statistiquement significative pour les images de 1972, 1986 et 2006. Les résultats de l'analyse de la performance donnent pour chacune des images classifiées les précisions globales de 93%, 84%, 85% et les coefficients Kappa de 77%, 81% et 78% respectivement pour les trois périodes de l'étude.

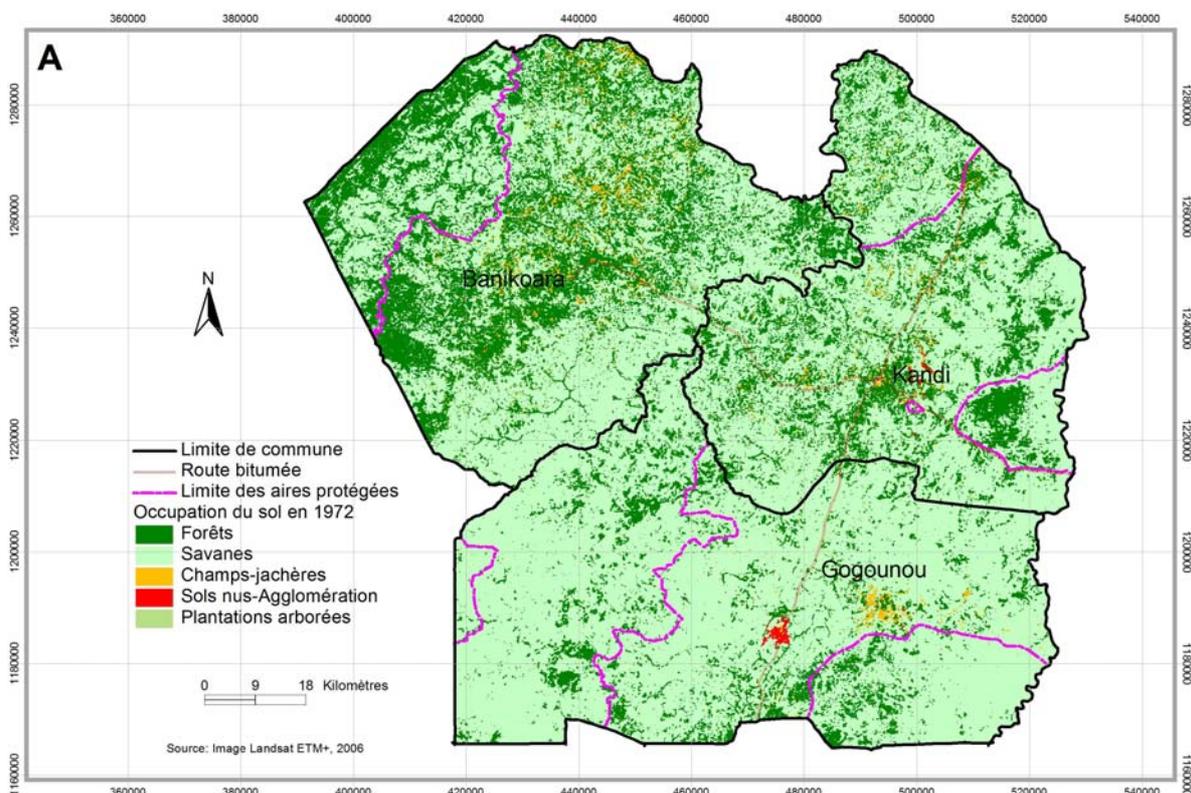
Dynamique de la composition du paysage: matrice de transition

Historiquement, le paysage était dominé par deux classes naturelles que sont les forêts et savanes avec des proportions respectives de 25,3% et 71,7% en 1972; 13,4% et 74,5% en 1986. Entre ces deux périodes, un taux important de transformation des forêts en savane a été observé: 13,3% de forêts ont évolué en savanes contre 2,2% de savanes devenues des forêts, soit un flux de 11,1%. Par ailleurs, les classes non naturelles, à

l'exception des plantations arborées, ont vu leurs pourcentages augmenter principalement au détriment des savanes (8,6% vers les champs-jachères et 1% en faveur des sols nus-agglomérations). De manière générale, nous avons observé, entre 1972 et 1986 une stabilité des classes sur 72,2% de la zone d'étude. Sur la même période, 3,7% du territoire a enregistré une dynamique de densification de la végétation et les surfaces agricoles se sont étendues de 24,1%.

Pendant la seconde période de l'étude (1986-2006), le paysage n'est plus dominé que par une formation naturelle (les savanes), la proportion de la classe champs-jachères ayant dépassé celle des forêts. En effet, au cours de cette période, la proportion des savanes et celle des forêts a diminué pour passer de 74,5% à 58,2% (savanes) et de 13,4% à 8,8% (forêts). Pendant ce temps, le pourcentage des autres classes a cru considérablement. Ces croissances se sont faites au détriment des savanes qui ont perdu 18,1% au profit des champs-jachères et 0,9% pour la classe sols nus-agglomérations. La classe des savanes constitue donc la principale distributrice en superficie aux autres classes.

En résumé, trois processus se dégagent en 10 ans



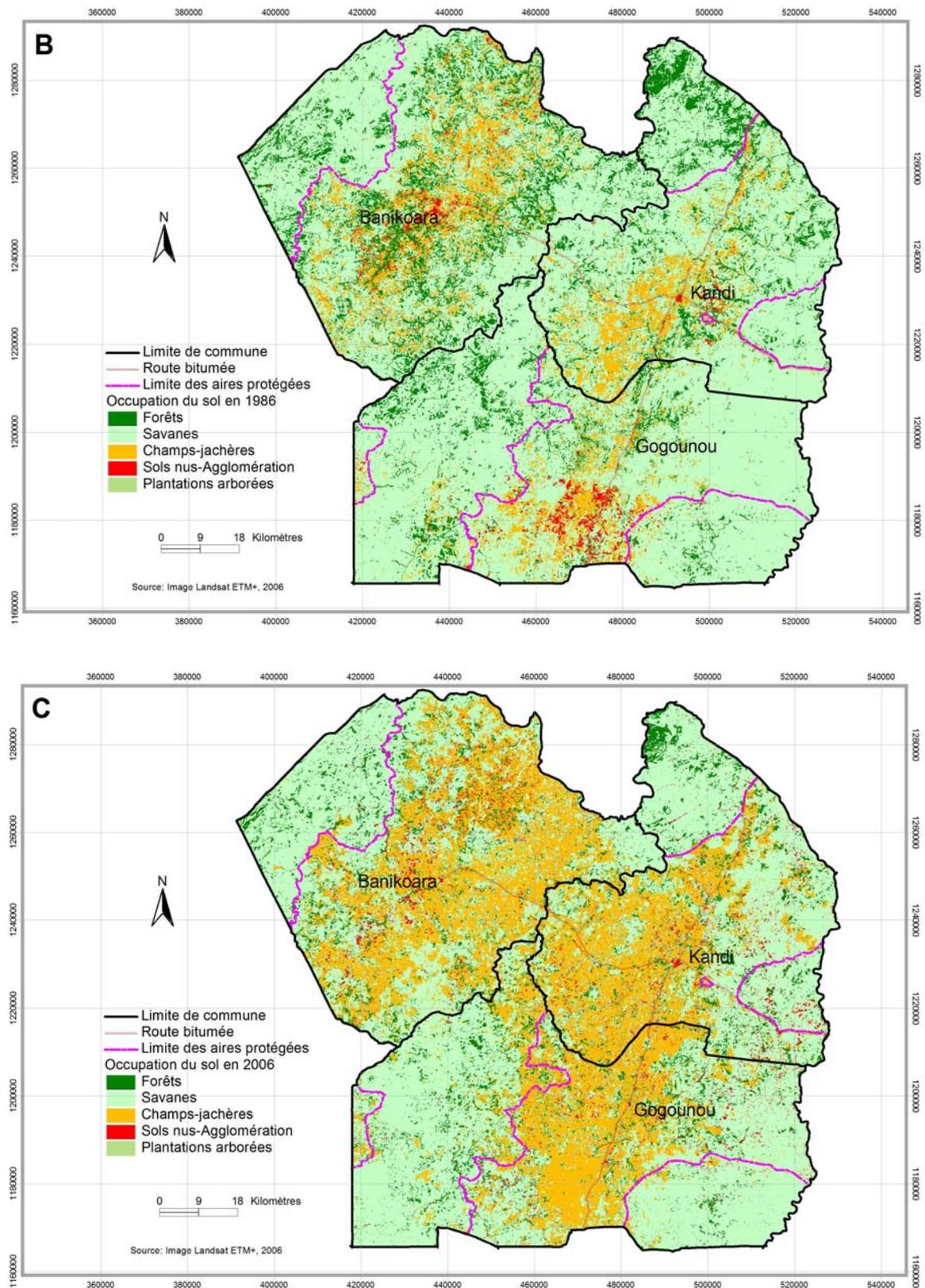


Figure 2: Occupation du sol en 1972 (A), 1986 (B) et 2006 (C) dans les communes de Banikoara, Gogounou et Kandi (Département de l'Alibori). Les transformations de paysage sont caractérisées par la fragmentation (entre 1972, 1986 et 2006) et par l'anthropisation (développement de la production cotonnière).

dans ce paysage. Premièrement, il y a création de nouvelles classes plus agricoles (26,1%).

Deuxièmement, on observe une reconstitution des formations végétales (3,4%) et finalement une stabilité des classes d'occupation du sol (70,5%). En examinant la période globale allant de 1972 à 2006, le paysage permet de corroborer la perte continue des formations naturelles. Ainsi, 17,4% de forêts ont été converties en savanes contre seulement 3,7% de savanes évoluant en forêts; 26,9% de savanes ont été transformées en champs-jachères. Un fait marquant a été la transformation de 2,4% de forêts en champs-jachères sans aucune reconstitution. En effet, aucune surface de champs-jachères ou de plantations arborées ne s'est transformée en forêt. Les forêts ont régressé ainsi de 16,5% pendant que les savanes ont perdu environ 13,5% d'étendue au profit des champs-jachères. L'importance relative

des dynamiques paysagères (entre 1972 et 2006) montre une stabilité des classes de 46,2% du paysage dont 40,4% représente les savanes; la dynamique de mise en culture (48,8% du paysage) au-dessus de la diagonale (Tableau 1) et enfin la dynamique de reprise de la végétation, avec une prépondérance des savanes en dessous de la diagonale. Cette dernière dynamique représente seulement 5% du paysage.

Dynamique de la structure spatiale du paysage

La densité de taches de forêts et de savanes connaît une augmentation accompagnée d'une diminution des aires moyennes en 2006 par rapport à 1986 et 1972 (Tableau 2). Le processus de transformation dominant observé pendant cette période pour ces deux classes est la fragmentation ; pour la classe "savane", elle est précédée par la création entre 1972 et 1986 mais

Tableau 1
Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1972, 1986 et 2006 dans les communes de Banikoara, Gogounou et Kandi (Département de l'Alibori) au nord du Bénin obtenue après superposition des deux cartes d'occupation du sol (1972-1986; 1986-2006 et 1972-2006).

		1986					
1972	FO	SV	CJ	SA	PL	Total	
FO	11,1	13,3	0,8	0,1	0,0	25,3	
SV	2,2	59,8	8,6	1,0	0,1	71,7	
CJ	0,1	0,4	0,9	0,2	0,0	1,6	
SA	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	
PL	0,0	1,0	0,0	0,0	0,2	1,2	
Total	13,4	74,5	10,3	1,5	0,3	100,0	

		2006					
1986	FO	SV	CJ	SA	PL	Total	
FO	7,3	3,1	2,7	0,3	0,0	13,4	
SV	1,5	53,8	18,1	0,9	0,2	74,5	
CJ	0,0	1,2	8,3	0,5	0,3	10,3	
SA	0,0	0,1	0,5	0,9	0,0	1,5	
PL	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	
Total	8,8	58,2	29,7	2,6	0,7	100,0	

		2006					
1972	FO	SV	CJ	SA	PL	Total	
FO	5,1	17,4	2,4	0,4	0,0	25,3	
SV	3,7	40,4	26,9	0,3	0,4	71,7	
CJ	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	1,6	
SA	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	
PL	0,0	0,1	0,0	0,9	0,2	1,2	
Total	8,8	58,2	29,7	2,6	0,7	100,0	

Classes d'occupation du sol : Forêts (FO), Savanes (SV), Champs-Jachères (CJ), Sols nus-Agglomérations (SA), Plantations (PL). Chaque valeur du tableau correspond à une fraction du paysage convertie, entre deux dates, de la classe indiquée sur la ligne vers la classe en tête de colonne. Les valeurs en gras indiquent les permanences des classes (diagonale) et celles qui sont en dessous de cette diagonale présentent les dynamiques de reprise de la végétation et enfin celles au-dessus les dynamiques de développement agricole (perte de la végétation).

qui est compensée par une forte diminution de l'aire moyenne des taches, ce qui suggère un morcellement des taches.

Pour le reste des classes d'occupation du sol, le processus inverse est remarqué, c'est-à-dire la création. Entre 1972 et 2006, les valeurs de l'indice de dominance D des classes forestière et savanicole baissent, ce qui démontre leur disparition progressive, conséquence d'une influence anthropique et aussi d'une suppression de certaines taches fragmentées.

Les valeurs de D , faibles en 1972 et 1986 pour la classe champs-jachères, ont augmenté de façon remarquable en 2006. Le processus de transformation dominant observé en ce qui concerne cette classe était la formation et l'agrégation des taches. Cette même dominance est en baisse pour les classes de forêts et savanes entre 1972, 1986 et 2006, traduisant ainsi l'importance du phénomène de dégradation du

milieu et donc de l'anthropisation des classes d'occupation naturelle. L'anthropisation est également révélée par l'évolution de l'indice de forme (\bar{IF}). En effet, pour toutes les classes où le taux d'occupation du sol diminue, la valeur de cet indice diminue. Pour la classe des forêts, les valeurs maximale et minimale oscillent autour de 32,09 et 23,07, respectivement pour les années 1972 et 2006. Au niveau des savanes, \bar{IF} passe de 46,98 en 1972 à 45,19 en 1986, puis à 27,45 en 2006. La diminution de la valeur de l'indice de forme pour les forêts et savanes peut être interprétée comme une diminution de la complexité des formes et une tendance vers de formes plus compactes.

Indices de la dimension fractale et de perturbation du paysage

L'indice de la dimension fractale (D_f) a connu une baisse importante de 1972 à 2006 (Figure 3). Cela suggère que non seulement il y a eu régression des superficies forestières, mais aussi que la complexité de la forme et de bordure des formations forestières avaient diminué au cours du temps. Les valeurs les plus élevées de cet indice correspondent à des faibles valeurs de l'indice de perturbation (U). L'effet de l'anthropisation du paysage devient alors plus manifeste. Les grosses taches forestières avec une valeur de plus élevée due à leurs formes naturelles plus complexes sont d'année en année remplacées par de petites taches aux formes de plus en plus régulières et donc à valeur de D_f plus faible.

Discussion

Approche méthodologique

La comparaison des trois images MSS 1972, TM 1986 et ETM+ 2006 a permis de quantifier les dégradations de la végétation intervenues dans le paysage étudié (16). Les classifications supervisées des images avec cinq classes par l'algorithme, ont donné des valeurs de précision statistiquement acceptables si l'on se réfère à l'échelle de Kabba et Li (31) ainsi que Landis et Koch (35). Cela peut s'expliquer en partie par le regroupement des formations végétales (42). En effet, les différentes classifications supervisées ont permis d'observer l'existence des formations végétales mixtes comme les forêts galeries et les forêts denses, les savanes boisées et les savanes arborées (18) par leurs valeurs radiométriques très proches et/ou leur physionomie. La complexité de la discrimination entre les classes de végétation provient aussi de l'impact des feux de végétation en zone soudanienne. En effet, ces feux de végétation

Tableau 2

Indices de configuration des classes d'occupation du sol de 1972, 1986 et 2006 dans les communes de Banikoara, Gogounou et Kandi (Département de l'Alibori) au Nord du Bénin.

	FO	SV	CJ	SA	PL
1972					
$d (km^2)$	1,72	0,42	0,41	0,06	0,40
$\bar{a} (km^2)$	0,14	1,70	0,03	0,02	0,02
$D (\%)$	13,05	83,08	2,13	43,42	0,83
\bar{IF}	32,09	46,98	24,90	21,15	23,63
1986					
$d (km^2)$	2,69	1,55	1,33	1,36	0,47
$\bar{a} (km^2)$	0,04	0,47	0,07	0,01	0,00
$D (\%)$	3,03	40,27	8,86	2,58	1,01
\bar{IF}	29,32	45,19	31,85	21,36	21,46
2006					
$d (km^2)$	5,40	4,85	2,55	2,67	1,87
$\bar{a} (km^2)$	0,01	0,12	0,11	0,00	0,00
$D (\%)$	2,99	21,96	71,40	0,77	0,91
\bar{IF}	23,07	27,45	37,76	22,13	19,72

Les classes d'occupation du sol issues du résultat des traitements d'images Landsat des années 1972, 1986 et 2006 sont les Forêts (FO), Savanes (SV), Champs-Jachères (CJ), Sols nus-Agglomérations (SA), Plantation (PL). Après rasterisation des trois cartes d'occupation du sol qui étaient préalablement sous forme vectorielle et contenant les différentes classes (FO, SV, CJ, SA, PL), le logiciel Fragstats 3.2 a permis de calculer ces différents indices afin de mieux caractériser la dynamique du paysage.

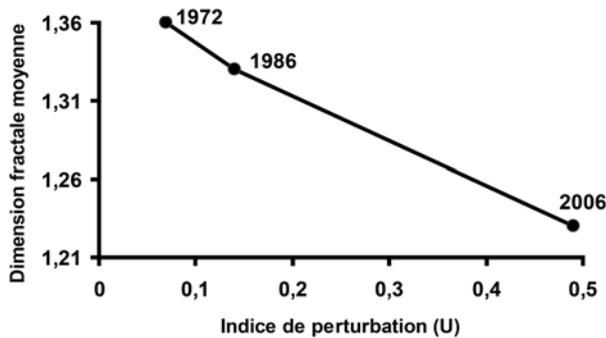


Figure 3: Evolution de l'indice de la dimension fractale moyenne des classes d'occupation du sol naturelles en fonction de l'indice de perturbation du paysage dans les communes de Banikoara, Gogounou et de Kandi (Département de l'Alibori) au nord du Bénin à partir des données cartographiques issues des traitements d'images Landsat de 1972, 1986 et 2006. U est défini comme le rapport de l'aire cumulative des classes anthropiques (Champs et jachères, Sols nus-Agglomération et les Plantations) dans le paysage et de l'aire cumulative des classes naturelles (Forêts, Savanes).

réfléchissent dans la bande du proche infrarouge et apparaissent en couleur noire dans les classifications superposées. Ces mêmes difficultés ont été démontrées par bon nombre d'auteurs (14, 19). De ce fait, ils augmentent les difficultés d'interprétation. L'utilisation des données auxiliaires comme les cartes topographiques, les points de contrôles et les nombreuses discussions avec les populations locales pour retracer l'historique de l'occupation du sol pendant la validation des classes de végétation sur le terrain ont facilité les interprétations visuelles et les analyses des images classifiées. En effet, les discussions avec les populations ont trait à la localisation de leurs activités socio-économiques dans leurs terroirs; ce qui a permis de mieux restituer de façon synchronique et diachronique, l'organisation spatio-temporelle de l'espace (25). L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol a fait ressortir une régression continue des forêts-savanes au profit essentiellement des champs-jachères (3, 7, 18, 44). La conversion des paysages naturels en paysages artificiels entraîne très souvent des changements dans la configuration spatiale des paysages (14). C'est ce qui nous a amené à l'idée de quantification de l'anthropisation du paysage à partir des indices. Par ailleurs, la recherche d'indices les plus pertinents a conduit au choix de la densité, l'aire et le périmètre des taches. Ces mesures sont souvent considérées comme les éléments essentiels de la configuration du paysage (8, 40). La détermination de la dimension fractale a permis de détecter le degré d'anthropisation du paysage naturel, car elle a été reconnue (33)

comme une méthode très fiable de description de l'effet anthropique sur la forme des taches. Quant à l'indice de perturbation, il indique une dominance des classes anthropiques quand il est supérieur à 1 et une dominance des classes naturelles s'il est inférieur à 1 (43).

Effet de la production agricole sur la structure spatiale du paysage

Les indices de configuration spatiale des taches des différentes classes ont permis de mettre en exergue la dynamique spatio-temporelle dans le paysage. L'analyse de la matrice de transition a permis de déceler une dégradation des écosystèmes forestiers et savaniques, une anthropisation marquée par l'augmentation de l'aire totale des champs-jachères et enfin, une faible tendance à la reprise de la végétation entre 1972, 1986 et 2006. La faiblesse du taux de restauration des forêts et savanes est un signe de perturbation de ces écosystèmes. Cette situation est provoquée dans la zone d'étude par une réduction du temps de jachère et une accélération des défrichements due au lessivage des sols. La pression sur les forêts et les savanes se trouve également accentuée par les cultures vivrières qui viennent en tête de rotation sur les terres nouvellement défrichées.

Les pratiques ancestrales de conservation de la nature basées sur le développement du mythe et la peur ne sont plus respectées de nos jours par la jeune génération à cause des mutations socioéconomiques des sociétés humaines. La dégradation des forêts est marquée par une fragmentation plus forte (4). Arouna (2) confirme la fragmentation des forêts à Djidja au centre du Bénin par l'agriculture, la carbonisation et l'exploitation forestière par les populations locales. Elle est démontrée par une forte augmentation de la densité des taches ainsi que par une diminution de leur taille moyenne. Quant à l'indice de dominance, il décroît pour les classes de forêts et de savanes pendant qu'il s'accroît pour les classes de champs-jachères. Aussi, l'anthropisation est-elle remarquable par l'augmentation de l'aire totale des champs-jachères, et l'augmentation de l'indice de dominance de cette classe. Les amplitudes de la dynamique spatiale sont donc plus fortes dans les deux classes naturelles (forêts, savanes). En plus, les tendances observées entre les deux groupes de classes (groupes des forêts-savanes et champs-jachères) évoluent en sens opposé. Ces résultats obtenus reflètent la réalité de la tendance de la dynamique du paysage dans cette partie du Bénin, où le passage d'une économie d'autosubsistance à une économie de marché, avec comme moteur la

culture du coton, est à la base des changements sociaux qui se répercutent aussi sur le paysage. Le constat le plus remarquable dans l'évolution de l'occupation du sol est l'évolution grandissante de l'emprise agricole qui s'accompagne d'une fragmentation (8) et d'une homogénéisation des paysages via l'agrandissement des taches agricoles (47).

Choix des indices de la structure spatiale

La sélection des indices calculés dans le présent travail dépendait, entre autres, du paysage, des types de changements, des résolutions spatio-temporelles (39) des images satellitaires et de la mise à disposition d'indicateurs pertinents pouvant aider à la prise de décision. Or, selon (9), l'anthropisation dans un milieu naturel est généralement caractérisée par la fragmentation, un changement dans la géométrie des taches et une évolution des classes anthropisées au détriment des classes naturelles d'occupation du sol. Ces constats ont permis le choix des indices de la dimension fractale (38) et de perturbation (43) comme outils d'analyse et de quantification de l'anthropisation du paysage. Ainsi, notre paysage étant perturbé par l'augmentation progressive des surfaces agricoles due à la production du coton, a des dimensions fractales faibles (40, 43). Il ressort que le paysage étudié est anthropisé. Ces résultats concordent avec (34) qui estiment que les causes actuelles de la régression de la qualité et de la quantité des habitats forestiers voire savaniques sont principalement d'ordre anthropogène. Ce constat confirme également les conclusions de Ji *et al.* (30) dans le bassin de Sichuan en République populaire de Chine. Selon ces auteurs, la diminution des valeurs de D_f des forêts denses reflète des effets anthropiques dans le paysage. C'est-à-dire une tendance vers des formes plus régulières des taches de forêt. En effet, les taches anthropiques comme les mosaïques de champs et jachères tendent vers des formes régulières rectangulaires ou carrées (33). C'est l'homme, de façon directe ou indirecte, qui entraîne ce déclin de l'habitat forêt-savane (12, 21). Les valeurs de D_f tendant vers 1 illustrent bien une pression humaine manifeste sur les classes forestières et savani-

coles. Il y a donc une anthropisation même si le paysage à travers cet indice relate une certaine supériorité des classes naturelles ($U < 1$). Il existe alors une corrélation entre l'indice de la dimension fractale et le degré de perturbation du paysage (15, 26, 33.). Ce qui revient à dire que ces deux indices (U , D_f) pourraient être considérés comme les indicateurs exprimant au mieux le phénomène de l'anthropisation (8).

Conclusion

Cette étude nous a permis, grâce aux méthodes de l'écologie du paysage associées à la télédétection et au Système d'Information Géographique, de quantifier la dégradation du paysage au Nord du Bénin entre 1972, 1986 et 2006. Cette partie du Bénin dont la matrice paysagère était jadis dominée par les forêts et les savanes est aujourd'hui de plus en plus anthropisée. La matrice de transition a permis de constater un recul de 16,5% de forêts, 13,5% de savanes entre 1972 et 2006 et une faible tendance de succession écologique végétale naturelle. La classe champs-jachères, qui n'occupait qu'environ 2% du paysage a vu sa proportion multipliée par 19. Aussi bien en 1986 qu'en 2006, dans les deux classes naturelles (forêts et savanes), les valeurs des aires moyennes et de la dominance ont chuté, confirmant ainsi la fragmentation paysagère. En revanche, dans la classe champs-jachères, la création de nouvelles taches et leur agrégation ont révélé une modification de la structure spatiale de ce paysage. Une des causes principales de ces perturbations est la monoculture du coton et la coupe sélective des espèces ligneuses à valeur commerciale. Il est donc important de pouvoir concilier ces résultats de l'anthropisation des paysages avec la politique agricole du pays dans l'optique d'un développement durable.

Remerciements

Nos remerciements au Gouvernement de la République du Bénin pour la bourse de formation des formateurs, le Fonds Alice et David Van Buuren pour son appui financier, les autorités des conseils communaux de Banikoara-Gogounou et Kandi pour les facilités accordées sur les sites.

Références bibliographiques

1. Afouda F., 1990, L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional: étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de doctorat nouveau régime. Paris IV Sorbonne. 428 p.
2. Arouna O., 2012, Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin: implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi. Bénin. 162 p.
3. Arouna O., Sinsin B. & Houndagba C.J., 2002, L'exploitation des ressources biologiques et la dynamique de la forêt

- classée de l'Alibori supérieur au Bénin. Université d'Abomey-Calavi, 117 p.
4. Bamba I., 2010, Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 189 p.
 5. Billen R. & Cornélis B., 2000, Géométrie de la spatio-carte: correction et validation. Bulletin de la Société Géographique de Liège, Belgique, **38**, 25-42.
 6. Bogaert J., 2000, Quantifying habitat fragmentation as a spatial process in a patch-corridor-matrix landscape model. PhD dissertation, University of Antwerp, Belgium.
 7. Bogaert J., Barima Y.S.S., Ji J., Jiang H., Bamba I., Iyongo W.M.L., Mama A., Nyssen E., Dahdouh-Guebas F. & Koedam N., 2011, A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape pattern. *In: Landscape ecology in Asian cultures* (eds S.-K. Hong, J. Wu, J.-E. Kim & N. Nakagoshi), Springer, Verlag, New York, pp. 141-167.
 8. Bogaert J. & Hong S.K., 2003, Landscape ecology: monitoring landscape dynamics using spatial pattern metrics. *In: Ecological issues in a changing world*, (eds. Hong, S.K.; Lee, J.A.; Ihm B.S.; Farina A.; Son Y.; Kim E.S. & Choe J.C), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 109-131.
 9. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, **7**, 39-68.
 10. Bonn F. & Rochon G., 1992, Précis de télédétection. Principes et méthodes. Sainte-Foy (Québec): Presses de l'Université du Québec, 485 p.
 11. Bougherara A., 2010, Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la Wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images Landsat, Spot et Aster. *Revue Télédétection*, **9**, 225-243.
 12. Bring A.B. & Eva H.D., 2009, Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: a sample based remote sensing approach. *Applied Geography*, **29**, 501-512.
 13. Caloz R., Blazer T.J. & Willemin G., 1993, Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude: influences des modes de ré-échantillonnage radiométrique. *In: Télédétection et cartographie*. Edition AUPELF-UREF. Les Presses de l'Université du Québec, pp. 17-30.
 14. Collinge S.K., 1998, Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. *Landscape and Urban Planning*, **42**, 157-168.
 15. De Cola L., 1989, Fractal analysis of a classified Landsat scene. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55**, 601-610.
 16. DeFries R., Achard F., Brown S., Herold M., Murdiyarto D., Schlamadinger B. & de Souza C., 2007, Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy*, **10**, 385-394.
 17. Delcros P., 1994, Ecologie du paysage et dynamique végétale post-culturelle. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Cemagref, série Gestion des territoires n°13, Grenoble, 269 p.
 18. Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. & Bogaert J., 2011, Effets combinés du climats et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la dégradation d'une aire protégée du Mali (la Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, **22**, 97-107.
 19. Dibi N'Dah H., Kouakou K. & N'Guessan K.E., 2007, Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, **8**, 17-34.
 20. Escadafal R., 2007, Les bases de la surveillance de la désertification par satellites. *Sécheresse*, **18**, 263-270.
 21. Fahrig L., 2003, Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, **34**, 487-515.
 22. Giannini A., Saravanan R. & Chang P., 2003, Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. *Science*, **302**, 1027-30.
 23. Godard V., 2005, Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Évaluation des dégâts forestiers à l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. *Revue Internationale de Géomatique*, **15**, 281-302.
 24. Gomgnimbou P.K.A., Savadogo W.P., Nianogo J.A. & Millogo-Rasolodimby J., 2010, Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la Komienga (Burkina-Faso). *Sciences & Nature*, **7**, 165-175.
 25. Grenan P. & Joiris D., 2000, Usages de l'espace et enjeux territoriaux en forêt tropicale. *In: Bahuchet S. & De Maret P. Editions. Avenir des peuples des forêts tropicales*, 2, Approche thématique. Bruxelles: APFT, ULB, p. 107-134.
 26. Hargis C.D., Bissonette J.A. & David J.L., 1997, Understanding measures of landscape pattern. *In: Wildlife and landscape ecology*, (eds. Bissonette J.A.), Springer, Berlin Heidelberg, New York, pp. 231-261.
 27. 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. Université de Liège, Belgique, 131 p.
 28. INSAE, 2003, Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Février 2002. Quelques résultats. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 45 p.
 29. Inventaire Forestier National, 2007, Traitement et analyse des données Landsat 7 ETM+. Maps Geosystem GmbH, DFS, Cenatel, 20 p.
 30. Ji J., Jiang H. & Yang, W., 2008, National policy's influence on baoting county's landscape patterns and Giant Panda population. *Landscape ecology and forest management* (eds J. Chen, S. Liu, R. Lucas, P. Sun, R. Laforzezza & L. Delp). IUFRO 8.01.02, Chengdu.
 31. Kabba S.T.V. & Li J., 2011, Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology*, **3**, 104-118.
 32. Koné M., Aman A., Adou Yao C.Y., Coulibaly L. & N'Guessan K.E., 2007, Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en Côte d'Ivoire. *Revue Télédétection*, **7**, 433-446.
 33. Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G., O'Neill R.V. & Coleman P.R., 1987, Landscape pattern in a disturbed environment. *Oikos*, **48**, 321-324.
 34. Lambin E.F., Turner B.L., Geist H., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Stefan W., Stone G.D., Svedin U., Velkamp T., Vogel C. & Xu J., 2001, The causes of land-use land cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, **11**, 261-169.
 35. Landis J.R. & Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, **33**, 159-74.
 36. Mamadou A.S., 2009, Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le Nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. *Cybergeo: European Journal of Geography*. URL: <http://cybergeo.revues.org/index22707.html>.
 37. Maârouhi I.M., Mahamane A., Saadou M. & Bachmann Y., 2011, Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest). *Sécheresse*, **22**, 97-107.
 38. Mandelbrot B.B., 1983, The fractal geometry of nature. W.H. Freeman and Company, New York, USA, 114 p.

39. McGarigal K. & Cushman S.A., 2002, Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, **12**, 335-345.
40. McGarigal K. & Marks B.J., 1995, Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying structure. Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351. Oregon, USA, 132 p.
41. McGarigal K. & McComb W.C., 1995, Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *Ecological Monographs*, **65**, 235-260.
42. N'Guessan K.E., Dibi N'Dah H., Bellan M-F. & Blasco F., 2006, Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte-d'Ivoire: Apport de la télédétection. *Télédétection*, **5**, 307-323
43. O'Neill R.V., Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G., Jackson B., De Angelis D.L., Milne B.T., Turner M.G., Zygmunt B., Christensen S.W., Dale V.H. & Graham R.L., 1988, Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, **3**, 153-162.
44. Orékan V.A., 2007, Implémentation du modèle local CLUE-s aux transformations spatiales dans le Centre Bénin aux moyens de données socio-économiques et de télédétection. Thèse de doctorat, Université de Bonn, Bonn, Suisse, 204 p.
45. Patton D.R., 1975, A diversity index for quantifying habitat "edge". *Wildlife Society Bulletin*, **3**, 171-173.
46. Robin M., 2002, Télédétection, des satellites au SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique. Nathan University, 318 p.
47. Sabatier R., Doyen L., Tichit M., 2010, Reconciling production and conservation in agrolandscapes: does landscape heterogeneity help? *Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA)*. Montpellier, France, 10 p.
48. Tabopda G.W. & Fotsing J-M., 2010, Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Sécheresse*, **21**, 169-78.
49. Vissin E.W., 2007, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du Niger. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 258 p.