

TRENTE ANS D'ANTHROPISATION DES PAYSAGES FORESTIERS AU SUD DU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

*M. S. S. TOYI** ; *M. ANDRE*** ; *Y. U. SIKUZANI**** ; *J. BOGAERT*** & *B. SINSIN**

* *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, 01 BP 526 Cotonou (Bénin) ; Tél: +229 97 89 58 02, mireille.toyi@fsa.uac.bj*

** *Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, 02 Passage des Déportés, B-5030 Gembloux (Belgique). Tél. +32 (0)81 62 26 07 m.andre@ulg.ac.be*

*** *Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, BP 1825 Lubumbashi (RD Congo) ; Tél : +243813666582, yannickuseni@gmail.com*

RÉSUMÉ

Dans le but d'étudier la dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol et l'anthropisation du paysage forestier dans le Département de l'Atlantique au sud du Bénin, trois images satellitaires Landsat TM 1986, Landsat ETM+ 2005, et Landsat OLI TIRS 2016 ont été analysées. Le traitement de ces images a été amélioré suite à des missions de vérification sur le terrain de 2005 et de 2016. La dynamique paysagère a été déterminée essentiellement grâce à l'identification des processus de transformation spatiale et aux indices structuraux. Il ressort des résultats obtenus que les classes anthropiques (cultures agroforestières, champs et jachères, savanes à emprise agricole et plantations) dominent celles naturelles (forêts et savanes) dans le paysage. En effet, sur toute la période d'analyse, ces classes anthropiques ont connu une augmentation de 71 % de leur superficie (1905,1 km² à 2665,1 km²), devenant ainsi la matrice paysagère. Cette même tendance a été observée de 2005 à 2016, ce qui indique que la dégradation paysagère demeure telle depuis les dernières études du paysage dans cette zone. L'identification des processus de transformation spatiale au cours des deux périodes d'analyse indique que les classes anthropiques ont connu des processus de création et d'agrégation et que les processus de perforation et de suppression ont affecté à la fois les classes anthropisées et naturelles. Les valeurs de l'aire moyenne et de l'indice de dominance de la plus grande tache ainsi que celles de l'indice de perturbation obtenues confirment les tendances observées. L'urbanisation, la pression démographique galopante et l'intensification des activités agricoles inappropriées ou mal orientées sont les principales causes des profondes mutations paysagères connues dans la zone d'étude.

Mots clés : Dynamique paysagère, images Landsat, indices structuraux, processus de transformation spatiale, Sud-Bénin.

THIRTY YEARS OF FOREST LANDSCAPES ANTHROPIZATION IN SOUTHERN BENIN

ABSTRACT

In order to study the spatiotemporal dynamics of land use and the anthropization of the forest landscape in the Atlantic Department, south of Benin, three satellite images, Landsat TM 1986, Landsat ETM+ 2005, and Landsat OLI TIRS 2016 were analyzed. The processing of these images was improved following field verification missions in 2005 and 2016. Landscape dynamics have been determined mainly through the identification of spatial transformation processes and structural indices. The findings show that anthropogenic classes (agroforestry crops, fields and fallows, savannahs with agricultural influence) dominate natural classes (forests and savannahs) in the landscape. Forest and savannah ecosystems were therefore the most affected by the loss of natural vegetation (de-densification) between 1986 and 2016. Indeed, on the whole period, these anthropogenic classes showed an increase of 71% of their area (1905.1

km² to 2665.1 km²), becoming the landscape matrix. The same trend was observed from 2005 to 2016, indicating that the landscape degradation remains such, since the last studies in this area. The identification of spatial transformation processes during the two periods of analysis indicates that anthropogenic classes are submitted to creation and aggregation processes and that perforation and suppression processes have affected both anthropogenic and natural classes. The values of the mean area and dominance index of the largest patch and the disturbance index obtained confirm the observed trends. Urbanization, increasing population pressure and the intensification of inappropriate or misdirected agricultural activities are the main causes of the profound landscape changes taking place in the study area.

Keywords: Landscape dynamics, Landsat images, structural indices, spatial transformation processes, Southern Benin.

INTRODUCTION

La suppression de la couverture végétale originelle et son remplacement par une végétation artificielle constitue l'un des effets immédiats de l'impact humain sur la biosphère (Bogaert *et al.*, 2008). Ces pressions anthropiques conduisent pour la plupart à une déforestation de plus en plus marquée (Mama *et al.*, 2013 ; Kouakou *et al.*, 2015). Le Bénin, pays à ressources forestières limitées, n'échappe malheureusement pas à ce phénomène d'autant plus qu'il figure parmi les 10 pays africains ayant les plus larges taux annuels de déforestation pour la période 2000–2005, à savoir: les îles Comores (–7.4 %), le Burundi (–5.2 %), le Togo (–4.5 %), la Mauritanie (–3.4 %), le Nigeria (–3.3 %), le Bénin (–2.5 %), l'Uganda (–2.2 %), le Ghana (–2,0 %), le Libéria (–1,8 %) et le Zimbabwe (–1,7 %), (FAO, 2009). De plus, il fait partie des pays présentant un gain net de superficie agricole et une perte nette de superficie forestière, sur la période 2000-2010 (FAO, 2015). Les principales causes de la destruction des forêts et savanes, et qui modifient le paysage, sont entre autres la croissance démographique, les pratiques agricoles inappropriées, l'exploitation forestière et l'emprise des villes et du réseau routier (Bamba *et al.*, 2010a ; Mama *et al.*, 2013). En effet, le Département de l'Atlantique (Sud du Bénin) est le plus peuplé du Bénin et le premier en termes de taux d'accroissement intercensitaire (5,05% entre 2002 et 2013). Il concentre donc 14 % de la population béninoise sur seulement 2,8 % du territoire (INSAE, 2013).

Malgré l'ampleur du phénomène de déforestation, très peu d'études ont été conduites en vue de fournir d'informations précises et actualisées sur la dynamique de la structure spatiale des paysages et les processus de transformation spatiale au Bénin et plus particulièrement au Sud du pays (Toyì *et al.*, 2018). Il s'avère donc nécessaire de combler ces insuffisances afin d'aider les décideurs à divers niveaux à murir les politiques de gestion et de conservation durables des ressources naturelles de cette région.

Cette étude a donc pour principal objectif d'analyser la dynamique paysagère au sud du Bénin de 1986 à 2016 en passant par 2005, à travers l'identification des principaux processus de transformation spatiale et l'évaluation de l'état de dynamique structurale du paysage afin de connaître l'impact de l'anthropisation sur celui-ci.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Zone d'étude

L'étude a été menée dans le Département de l'Atlantique au Sud du Bénin (figure 1). Le climat est de type subéquatorial avec un régime bimodal à deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La grande saison pluvieuse s'étend de mars à juillet ; la petite saison couvrant les mois de septembre et octobre. La grande saison sèche dure de novembre à février, la petite ayant lieu au cours du mois d'août. Les températures annuelles moyennes oscillent entre 23 et 32 °C avec des augmentations significatives de 1°C (ASECNA, 2016). Les sols sont principalement de type ferrallitique avec dans une moindre mesure des vertisols, des sols hydromorphes et quelques sols ferrugineux tropicaux (Volkoff & Willaime, 1967). Dans cette partie du Bénin, les paysages sont caractérisés par une mosaïque de forêts, de savanes, de plantations et de champs. L'agriculture, faite de culture itinérante sur brulis, est l'activité principale des populations rurales de la région.

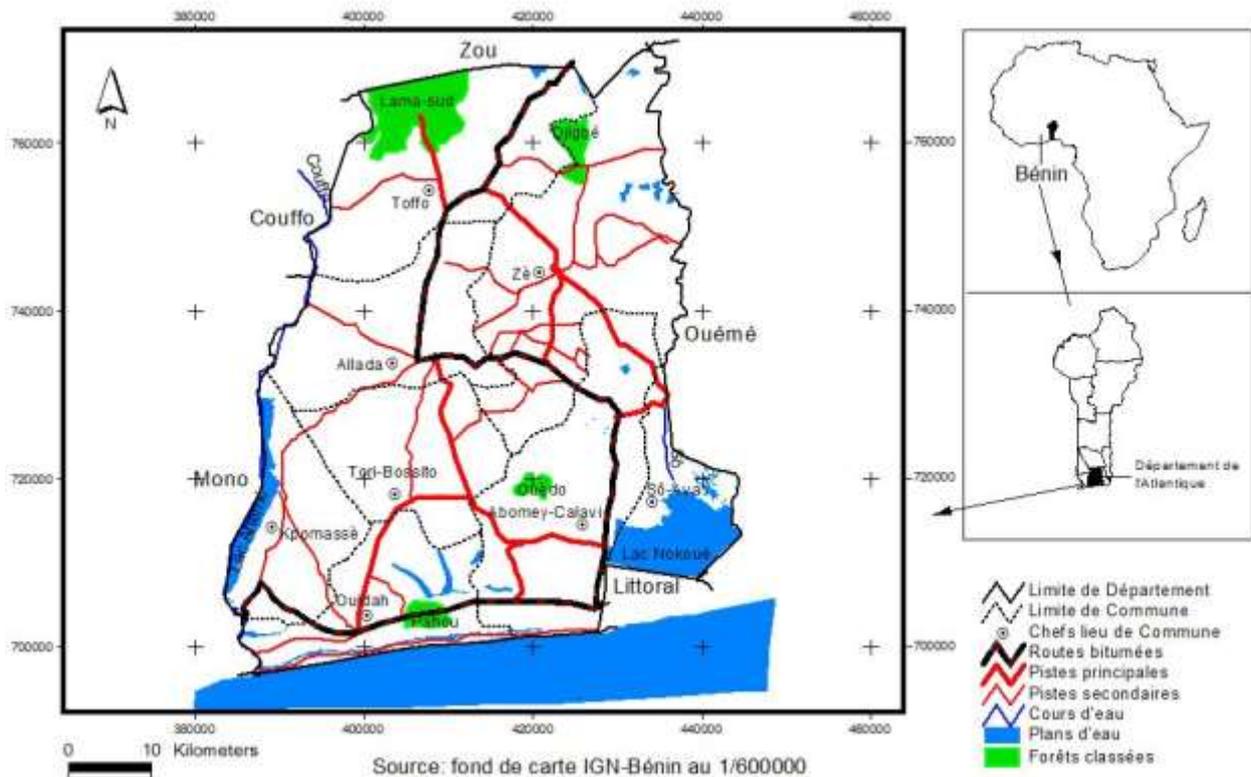


Figure 1. Situation de la zone d'étude (Département de l'Atlantique, Sud-Bénin).

Source des données vectorielles : Feuille topographique du Bénin au 1 : 200000

Cartographie

Les classes d'occupation du sol ont été identifiées à partir de la classification de trois images satellitaires: Landsat Thematic Mapper (TM) du 4 février 1986, Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) du 09 janvier 2005, et Landsat OLI TIRS du 5 novembre 2016, toutes de résolution spatiale 30 m. Ces images ont été acquises pendant la saison sèche afin de minimiser les variations phénologiques de la végétation ainsi que les brumes et nuages (Clerici *et al.*, 2006). Le prétraitement des images a consisté aux corrections radiométriques et géométriques (orthorectification) par le fournisseur et le Centre National de Télédétection (CENATEL, Bénin) afin de standardiser les images de 1986 et de 2005 par rapport à l'image de référence de 2016.

Une classification hybride a été adoptée dans le traitement des images. Premièrement, une classification non supervisée de l'image Landsat OLI TIRS de 2016 a été effectuée en utilisant l'algorithme ISODATA du logiciel ENVI 4.7 avec les bandes 5, 4 et 3. Cette classification initiale a conduit à l'obtention de 13 classes d'occupation du sol. Un regroupement des classes a ensuite été réalisé sur la base des expériences avérées de terrain (250 zones géoréférencées homogènes) et des caractéristiques radiométriques des classes ainsi que des anciennes cartes d'occupation du sol de la zone d'étude (cartes au 1 :200000 éditée en 1987 et 2007 par le Centre National de Télédétection, CENATEL, Bénin). Ces diverses analyses effectuées sur l'image Landsat OLI TIRS de 2016 ont finalement conduit à l'obtention de 10 classes d'occupation du sol (hormis la classe nuage représentant les bruits). Il s'agit des forêts (denses semi-décidues), des savanes boisées, des savanes arborées et arbustives, des savanes à emprise agricole, des plantations forestières, des cultures agroforestières (cultures et jachères sous palmiers, sous teckeraies, etc.), des champs et jachères, des agglomérations (bâti et sol nu), des marécages et plans d'eau. Les classes de savanes arborées et arbustives, de savanes boisées ainsi que de forêts sont donc considérées comme naturelles car à prédominance d'espèces natives (végétation ligneuse spontanée). Les autres classes d'occupation du sol sont considérées comme anthropiques dans le calcul de l'indice de perturbation. Le coefficient Kappa (K , équation 1) a été calculé pour estimer l'exactitude de la classification de 2016 et 2005 (Congalton, 1991 ; Barima *et al.*, 2011).

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^r p_i - \sum_{i=1}^r p_1 p_2}{n^2 - \sum_{i=1}^r p_1 p_2}$$

Avec n le nombre total de pixels inclus dans la matrice; r le nombre total de lignes dans la matrice; p_i le nombre de pixels appartenant à la classe i et qui

sont correctement classés; p_i le nombre de pixels classés comme appartenant à la classe i ; p_2 le nombre de pixels appartenant effectivement à la classe i .

Le coefficient Kappa donne une estimation plus précise (qui tient compte des pixels bien classés) de la qualité de la classification (Congalton, 1991). Une étude de l'occupation du sol peut être validée si $K > 50\%$ (Pontius, 2000; Bugnet *et al.*, 2003).

Les caractéristiques spectrales des classes d'occupation du sol obtenues suite à la classification de l'image Landsat OLI TIRS 2016 ont servi de zones d'entraînement pour la classification supervisée des images Landsat TM de 1986 et Landsat ETM+ de 2005 en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance (Mas, 2000). Ensuite la technique du Minimum Mapping Unit a permis de mettre la précision cartographique des trois cartes au même niveau, de sorte que la plus petite tache sur les cartes ait la même superficie (0,05 ha).

Mise en évidence des changements dans le paysage

Pour mieux comprendre les changements survenus dans le paysage sur les périodes 1986-2005 et 2005-2016, la dynamique de la structure spatiale du paysage a été caractérisée pour chaque classe d'occupation du sol et pour chaque année sur la base du nombre de taches (n), de l'aire totale (a_t) et du périmètre cumulatif (p_d) des taches, qui sont parmi les principaux éléments de la configuration paysagère (Bogaert et Mahamane, 2005). Ces indices ont servi à déterminer de façon objective et rapide les processus de transformation spatiale dominants à l'aide de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (2004). La valeur de t_{obs} (ratio de l'aire totale récente d'une classe par l'aire totale antérieure) a été utilisée pour séparer les processus de fragmentation et de dissection (Barima *et al.*, 2016) au sein des classes. Par ailleurs, il a été considéré que les variations inférieures à 1% de l'un des trois paramètres entre deux périodes traduisaient une stabilité relative, tel que suggéré par Bogaert *et al.* (2004).

Afin de mettre en évidence l'anthropisation du paysage forestier, des indices pertinents à cette fin ont été calculés, à savoir (i) l'aire moyenne des taches définie comme le rapport de l'aire totale d'une classe par le nombre de taches (McGarigal et Cushman, 2002), (ii) la dominance (D_j) considérée comme la proportion d'aire occupée par la tache dominante dans la classe j (Mama *et al.*, 2013) avec $0 < D_j \leq 100$ et (iii) l'indice de perturbation (U) défini comme le rapport de l'aire cumulative des classes anthropiques dans le paysage et de l'aire cumulative des classes naturelles. Lorsque $U > 1$, le paysage est dominé par les formations anthropiques (paysage perturbé), tandis que $U < 1$ indique un paysage dominé par les formations naturelles ; $U = 1$ indique l'équilibre entre les formations naturelles et celles anthropiques (O'Neill *et al.*, 1988 ; August *et al.*, 2002).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dynamique paysagère

La classification des images Landsat OLI TRIS de 2016 et Landsat ETM+ de 2005 a été réalisée avec des précisions K de 90,48 % et 79,6 % respectivement. Les cartes d'occupation du sol issues des traitements sont présentées à la figure 2. Une analyse spatiale sommaire de ces trois cartes indique que le paysage contient de moins en moins de superficies de formations naturelles (forêts et savanes) de 1986 à 2016 avec une dominance des classes agricoles (cultures agroforestières, champs et jachères). Dans la partie sud, on note la suppression dans le temps des savanes arborées et arbustives ainsi que la croissance des taches d'habitat et de champs et jachères de 1986 à 2016. Aussi, les forêts ayant substantiellement perdu 61 % de leur superficie de 1986 à 2005 ont connu une augmentation significative de 2005 à 2016. La perte importante du couvert végétal naturel (dédensification), principale dynamique d'occupation du sol, est essentiellement causée par la croissance démographique et l'extension du réseau routier d'une part (Brink et Eva, 2009 ; Mama *et al.*, 2013), et la pratique de l'agriculture itinérante sur brûlis d'autre part, associée à l'abattage des arbres (Barima *et al.*, 2011 ; Ahoudji *et al.*, 2016).

La dynamique de la densification du couvert végétal forestier observée au nord de la zone d'étude s'explique bien par les actions de (re)boisement d'une part et l'enrichissement progressif des forêts dégradées d'autre part suite aux actions de conservation en cours essentiellement dans la forêt classée de la Lama (photo 1) dont une partie se trouve dans cette zone d'étude (Worou *et al.*, 2010 ; Toyi *et al.*, 2018).



Photo 1. La forêt Classée de la Lama à cheval entre les Départements de l'Atlantique et du Zou, sud-Bénin). Photo : M. S. S. TOYI, 2016

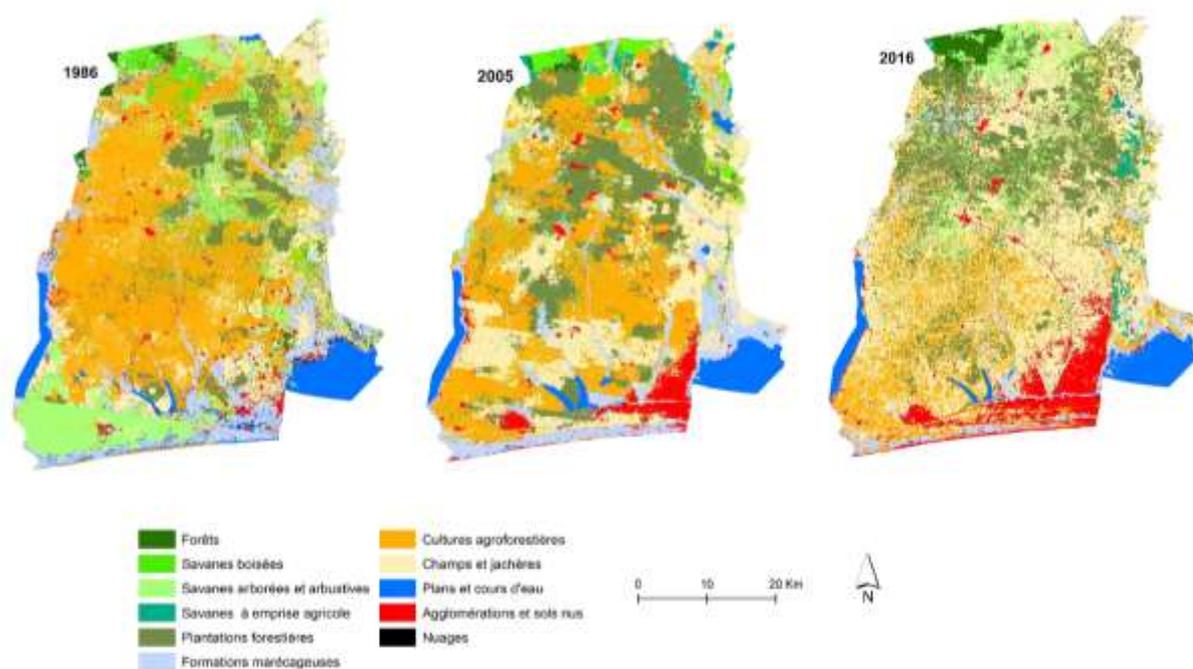


Figure 2. Occupation du sol dans le Département de l'Atlantique (sud-Bénin) en 1986, 2005 et 2016 (images Landsat TM, ETM+ et OLI TIRS respectivement). Les végétations naturelles dominantes en 1986 sont minoritaires en 2005 et en 2016

Processus de transformation spatiale

Le Tableau 1 présente le nombre (n), l'aire (a) et le périmètre (p) des classes d'occupation du sol en 1986, 2005 et 2016 pour l'identification des processus de transformation spatiale.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des indices de structure spatiale (nombre (n), surface (a) et périmètre (p) des taches en 1972, 1986 et 2005 et processus de transformation spatiale

	Ag	Ea	Mc	Cj	Ma	Pl	Sd	Sa	Sb	Fo
1986										
n ₁₉₈₆	9415,0	10454,0	18085,0	8661,0	78686,0	11274,0	0,0	18109,0	3180,0	1439,0
a ₁₉₈₆ (km ²)	105,4	168,6	465,4	1035,6	569,4	308,7	0,0	286,6	211,2	82,0
p ₁₉₈₆ (km)	8079,8	5236,6	31396,8	36449,7	28350,7	15702,6	0,0	12680,9	16662,3	7015,6
2005										
n ₂₀₀₅	7103,0	1330,0	18292,0	6407,0	60445,0	14254,0	4027,0	18068,0	0,0	414,0
a ₂₀₀₅ (km ²)	125,5	167,0	665,0	827,5	570,8	659,4	43,6	159,0	0,0	14,8
p ₂₀₀₅ (km)	5020,0	6408,9	40289,1	33813,5	23153,2	31771,2	2938,8	13637,2	0,0	1429,2
2016										
n ₂₀₁₆	4769,0	132,0	12651,0	17400,0	3229,0	11946,0	1088,0	10133,0	0,0	417,0
a ₂₀₁₆ (km ²)	249,1	140,5	1248,5	478,4	181,4	641,6	47,5	194,0	0,0	52,0
p ₂₀₁₆ (km)	3213,8	329,9	17124,0	11305,6	2475,8	13015,6	791,5	5242,2	0,0	356,0
Processus de transformation spatiale entre 1986 et 2005	AG	AG	CR	SU	AG	CR	CR	PE	SU	SU
Processus de transformation spatiale entre 2005 et 2016	AG	SU	AG	DI	SU	SU	AG	AG	-	AGR

Légende : AG : agrégation ; CR : Création ; FR : Fragmentation ; PE : Perforation RE : Rétrécissement ; SU : Suppression) des différentes classes d'occupation du sol pour les mêmes périodes (Département de l'Atlantique, Bénin). Ag : Agglomération ; Ea : Eau ; Mc : Mosaique de cultures et jachères ; Cj : Culture et jachère à palmiers ; Ma : Marécage ; Pl : Plantation, Sd : Savane à emprise agricole ; Sa : Savane arborée et arbustive ; Sb : Savane boisée, Fo : Forêt

Le nombre de taches d'agglomération diminue mais avec une augmentation de leur superficie entre 1986 et 2005 et entre 2005 et 2016. Les agglomérations ont donc connu l'agrégation au cours du temps. Le besoin de logements sans cesse croissant des populations, dû à la forte poussée démographique enregistrée ces dernières décennies (environ 3 % entre 1992 et 2013) et l'exode rural du nord vers le sud de la zone d'étude expliquent ce processus (INSAE, 2015).

De 1986 à 2005, les champs et jachères ont connu la création suivie de l'agrégation entre 2005 et 2016 comme processus dominants de transformation spatiale. L'agriculture étant la principale activité socio-économique d'environ 70% de la population active dans cette partie du sud-Bénin (CeRPA Atlantique-Littoral, 2007), s'est intensifiée au cours du temps, expliquant bien le processus d'agrégation connu (IFN, 2007 ; FAO, 2015). Au cours de la même période, on

assiste à la suppression des cultures et jachères sous palmiers matérialisée par la diminution de la superficie et du nombre de taches. La méthode agroforestière Taungya qui consiste en l'association des plantations forestières et palmeraies en général aux cultures de maïs, niébé, bananiers, etc., a donc connu un manque d'engouement chez les agriculteurs (Akouèhou *et al.*, 2011). En effet, la méthode Taungya proposée aux agriculteurs était de courte durée (contrat de culture pour 1 ou 2 ans) et sans gestion participative dans le partage des bénéfices tirés des produits forestiers (bois, produits forestiers non ligneux), de même que les abus dans l'attribution des terres par les agents forestiers. Ce qui a entraîné un abandon progressif de cette pratique dans les années 1986 à 2005 (Akouèhou *et al.*, 2011).

Quant aux plantations, elles ont connu la création dans la première période d'analyse, résultat des actions de reboisement et le regain d'intérêt des collectivités locales pour la production du bois, en occurrence le teck (*Tectona grandis* L.f.) suite au succès des plantations domaniales (Toyi *et al.*, 2013b ; Aoudji *et al.*, 2014), (photo 2). Dans la deuxième période d'analyse (2005-2016), une tendance à la suppression est observée et pourrait s'expliquer par les reconversions des parcelles plantées en zones cultivées. En effet, l'introduction de nouvelles techniques de production d'ananas pour doubler le rendement dans le sud-Bénin suivi des subventions et appuis techniques aux agriculteurs à cet effet ont amené ces derniers à procéder à une coupe rase des plantations forestières en vue d'agrandir les superficies d'ananas emblavées pour des gains plus rapidement produits dans le temps (PADA, 2016). La classe des savanes à emprise agricole a connu le processus de création entre 1986 et 2005, suivi d'une agrégation de 2005 à 2016. Ceci s'explique par l'intrusion anthropique constante dans les milieux savaniques pour les activités agricoles à la recherche de terres plus fertiles par les agriculteurs (Barima *et al.*, 2009 ; Mama *et al.*, 2013).

Les savanes arborées et arbustives en début de perforation de 1986 à 2005 ont connu un agrandissement au cours du temps et qui s'observe notamment dans la partie nord de la zone d'étude à proximité d'une forêt classée (Forêt classée de la Lama). Ce qui s'expliquerait par l'effet positif de l'aménagement des forêts classées. La destruction des écosystèmes forestiers est illustrée par le processus de suppression des savanes boisées et des forêts de 1986 à 2005. Dans la deuxième période d'analyse, les savanes boisées ne subsistaient que sous forme dégradée classée dans la catégorie des savanes à emprise agricole, tandis que les forêts ont pu se régénérer dans une certaine mesure mais uniquement à l'intérieur de la forêt classée de la Lama sous aménagement forestier. En effet, les forêts sacrées, classées ou îlots forestiers qui subsistent encore sont confinées en majorité dans la partie nord de la zone d'étude. Ainsi, l'agriculture itinérante sur brûlis étant la principale pratique agricole dans la région, les formations forestières sont éliminées régulièrement au profit des exploitations forestières frauduleuses et agricoles (Hounkpèvi *et al.*, 2011 ; Toyi *et al.*, 2013a). Une tendance similaire a été observée par Mama *et al.*

(2013) au nord du Bénin, où la croissance des activités agricoles (la culture de coton essentiellement) a entraîné une dégradation des écosystèmes forestiers et savaniques entre 1972 et 2006 ; de même que Kouakou *et al.*, (2015) dans la forêt classée de Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire entre 2000 et 2015.

Les résultats montrent que la création et l'agrégation sont les processus essentiellement observés au niveau des classes anthropiques (agglomérations, mosaïques de cultures et jachères, plantations, savanes à emprise agricole), confirmant ainsi les observations de Bamba *et al.* (2010a) ainsi que celles de Bogaert *et al.* (2011). Les autres processus (Perforation, dissection, suppression) sont observées aussi bien pour les formations naturelles que celles anthropiques, ce qui ne correspond pas à ce qu'évoqué par Bogaert *et al.* (2011) qui ont observé ces deux processus exclusivement pour les taches naturelles.



Photo 2. Une plantation privée de teck appartenant aux collectivités locales (Commune de Zè, Département de l'Atlantique, sud-Bénin). Photo : M. S. S. TOYI, 2010

Indices de structure paysagère

Durant la période 1986 à 2005, toutes les classes anthropiques ont augmenté de valeur moyenne de superficie alors que la tendance contraire est observée au niveau des classes naturelles (tableau II). Toutes les tendances observées montrent une diminution de la superficie moyenne des classes de végétation

naturelles au profit des classes anthropisées, ce qui témoigne de l'état de dégradation inquiétant des paysages sur cette période (Orekan *et al.*, 2010). De 2005 à 2016, la tendance à la diminution des superficies des classes naturelles a été modifiée par l'augmentation de la superficie moyenne des forêts.

Quant aux valeurs de dominance (D_j), elles sont inférieures à 50% pour la plupart des classes d'occupation du sol durant toutes les périodes d'analyse (tableau II). Ceci traduit le morcellement et la fragmentation des classes surtout au niveau des classes de végétation naturelle (Bamba *et al.*, 2010b), car la fragmentation suppose le morcellement et donc la diminution progressive de la taille des taches qui conduit à de petites taches (Bamba *et al.*, 2010b ; Mama *et al.*, 2013). Ces tendances témoignent des pressions anthropiques de plus en plus intensifiées subies par le paysage étudié. Les valeurs des indices de perturbation observées de 1986 à 2016 illustrent bien ces constatations. En effet, l'indice de perturbation augmente progressivement de 1986 ($U \sim 3$) à 2005 ($U \sim 13$), indiquant que les formations anthropiques occupent en 2005, quatre fois plus de place que les formations naturelles dans le paysage. Ces pressions anthropiques sont maintenues au cours du temps jusqu'en 2016 ($U \sim 11$). On assiste ainsi au cours du temps à une dominance des classes anthropiques par rapport aux classes naturelles ($U > 1$). Le processus de déforestation prend donc des proportions inquiétantes dans le paysage comme c'est le cas dans nombre de pays africains (Barima *et al.*, 2011 ; Kouakou *et al.*, 2015 ; Adjahossou *et al.*, 2017).

Tableau 2. Indices de structure spatiale calculés en 1972, 1986 et 2005 (Département de l'Atlantique, Bénin).

	Ag	Ea	Mc	Cj	Ma	Pl	Sd	Sa	Sb	Fo
1986										
$\bar{a}_j (km^2)$	0,01	0,02	0,03	0,12	0,01	0,03	-	0,02	0,07	0,06
$D_j(\%)$	1,83	79,67	1,97	65,35	6,04	6,9	-	20,61	8,05	10,12
2005										
$\bar{a}_j (km^2)$	0,02	0,02	0,04	0,13	0,01	0,05	0,01	0,01	-	0,04
$D_j(\%)$	12,67	56,26	2,55	17,18	40,88	3,7	3,07	9,57	-	4,8
2016										
$\bar{a}_j (km^2)$	0,05	1,06	0,1	0,03	0,06	0,05	0,04	0,02	-	0,12
$D_j(\%)$	49,38	64,06	44,55	11,7	9,37	6,23	18,95	18,04	-	65,35

Légende : Ag : Agglomération ; Ea : Eau ; Mc : Mosaïque de cultures et jachères ; Cj : Culture et jachère à palmiers ; Ma : Marécage ; Pl : plantation, Sd : Savane à emprise agricole ; Sa : Savane arborée et arbustive ; Sb : Savane boisée, Fo : Forêt.

Approche méthodologique

Les images satellitaires Landsat utilisées, malgré leur niveau de résolution relativement faible, constituent un important outil pour l'identification des classes d'occupation du sol en vue de la gestion des ressources naturelles (Diouf *et al.*, 2012 ; Mama *et al.*, 2013 ; Kouakou *et al.*, 2017). Les précisions globales de la classification obtenue dans cette étude (K=90,48 et 79,60 % respectivement pour 2016 et 2005) sont acceptables et pourraient servir de référence pour des études similaires dans des espaces ruraux ou agroforestiers selon Bugnet *et al.* (2003). De plus, la vérification de la classification étant réalisée aussi bien en 2005 et en 2016 suite aux travaux successifs de terrain (vérité-terrain), des erreurs de classification ont donc été minimisées.

Les grandes tendances de la dynamique d'occupation du sol dégagées sur des périodes successives ont permis de comprendre l'évolution des couverts végétaux et des classes anthropisées dans le temps. Par ailleurs, le modèle de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (2004) utilisé pour la détermination des processus de transformation spatiale, offre plusieurs avantages dont la simplicité, la rapidité d'exécution et l'évaluation globale des processus écologiques dans le temps (Barima *et al.*, 2009). De plus, les trois paramètres (aire, périmètre et nombre de taches) qui sont les éléments essentiels de la configuration du paysage (Bamba *et al.*, 2010b), ont été mis à contribution. Ensuite, le calcul des indices de structure paysagère a permis de renforcer les résultats obtenus suite à l'identification des processus de transformation spatiale. Dans le futur, il serait également intéressant d'approfondir les analyses en quantifiant également cette anthropisation en terme de variation de niveau d'hémérobie ou de naturalité (André *et al.*, sous presse).

CONCLUSION

La présente étude basée sur l'analyse paysagère a permis de mettre en évidence et de caractériser les changements et les principaux processus de transformation du paysage au sud du Bénin entre 1986, 2005 et 2016, grâce aux méthodes d'écologie du paysage associées à la télédétection et à la cartographie.

Il ressort des résultats obtenus que le Département de l'Atlantique comporte des zones en pleine mutation. La perte de végétation naturelle (dédensification) est la plus inquiétante dynamique observée durant toute la période d'analyse. L'identification des processus de transformation spatiale a révélé que les forêts et savanes ont subi de profondes transformations entre 1986 et 2005, notamment la perforation et la suppression en faveur de la création ou de l'agrégation des classes agricoles, des agglomérations et des plantations. Cette tendance s'est atténuée au cours de la deuxième période d'analyse par un début restauration des forêts dans les zones sous aménagement (forêt classée de la Lama). Les divers indices calculés ont confirmé ces processus. Les forêts et savanes existent à présent

essentiellement sous forme d'îlots inclus dans une matrice de cultures et jachères à palmiers et de mosaïque de cultures. Les diverses pressions anthropiques renforcées par la démographie galopante sont les principales causes de cette dégradation de plus en plus poussée du paysage naturel.

L'équilibre écologique des formations forestières se trouve donc fortement perturbé par l'agriculture itinérante sur brûlis et les diverses formes d'exploitation forestière. Le verdissement progressif et complet des zones dégradées (avec les espèces de forêt dont les méthodes de régénération sont déjà maîtrisées), pour une gestion durable s'impose donc à travers le renforcement des activités de reboisement et la prise en compte de l'amélioration du niveau de vie et de revenu de la population rurale. La présente étude est donc un argument qui permettra aux décideurs d'aborder la conservation des ressources naturelles à travers des mesures appropriées et durables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADJAHOSSOU S. G. C., GOUWAKINNOU G. N., HOUEHANOU D. T., SODE A. I., YAOITCHA A. S., HOUINATO M. R. B., & SINSIN B. 2017. Efficacité des aires protégées dans la conservation d'habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, 328 (2) : 67-76.
- AHOUDJI M. C., TOYI M. S., DAN B. S. C., HOUINATO M. R.B. & SINSIN B. 2016. Effects of land cover change on rangeland vegetation in w biosphere reserve, Benin republic, West Africa. *Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment*, 8, 2:157 – 170.
- AKOUÈHOU S. G., AGBAHUNGBA A. G., HOUNDEHIN J., MENSAH G. A. & SINSIN B. A. 2011. Performance socio-économique du système Agroforestier à *Acacia auriculiformis* dans la Lama au sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemicals Sciences*, 5, 3: 1039-1046.
- AOUDJI A.K.N., ADEGBIDI A., GANGLO J.C. & LEBAILLY P. 2014. Teack, *Tectona grandis* L.f., planting in smallholder's farming system in southern Benin. *Bois et forêts des tropiques*, 319 (1) : 7-17.
- ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique), 2016. Données météorologiques du Département de l'Atlantique. Cotonou, Bénin.
- AUGUST P., IVERSON L. & NUGRANAD J. 2002. Human conversion of terrestrial habitats. In: *Applied landscape ecology in biological conservation*. Eds. K. J. Gutzwiller, Springer, New York, p. 198-224.
- BAMBA I., YEDMEL M.S. & BOGAERT J. 2010a. 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 (3): 417-429.
- BAMBA I., BARIMA Y.S.S. & BOGAERT J. 2010b. Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Journal of Tropical Conservation Science*, 3 (1): 31-44.
- BARIMA Y.S.S., KOUAKOU A.T.M., BAMBA I., SANGNE Y.C., GODRON M., ANDRIEU J. & BOGAERT J. 2016. Cocoa crops are destroying the forest reserves of the classified forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast). *Elsevier, Global Ecology and Conservation* 8: 85–98.
- BARIMA Y.S.S., DJIBU J.P., ALONGO S., NDAYISHIMIYE S.J., BOMOLO O., KUMBA S., & BOGAERT J. 2011. Deforestation in Central and West Africa: landscape dynamics, anthropogenic effects and ecological consequences. *Advances in Environmental Research*, 7: 95-120.
- BARIMA Y.S.S., BARBIER N., BAMBA I., TRAORE D., LEJOLY J. & BOGAERT J. 2009. Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des tropiques*, 299 (1) : 15-25.

- BOGAERT J., BARIMA Y.S.S., JI J., JIANG H., BAMBA I., IYONGO W.M.L., MAMA A., NYSSSEN E., DAHDOUH-GUEBAS F. & KOEDAM N. 2011b. 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. 27 p.
- BOGAERT J., BAMBA I., KABULU J.P., KOFFI K.J., DE CANNIÈRE C., VISSER M. & SIBOMANA S. 2008. Fragmentation of forest landscapes in central Africa: causes, consequences and management. In *Patterns and processes in forest landscapes: multiple use and sustainable management*, Eds Laforteza R., Chen J., Sanesi G., Crow T.R. Springer, Verlag, New York, p. 67-87.
- BOGAERT J. & MAHAMANE A., 2005. Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des sciences agronomiques du Bénin*, 7 (1): 39-68.
- BOGAERT J., CEULEMANS R. & SALVADOR-VAN EYSENRODE D., 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*, 33 (1): 62-73.
- BRINK 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.
- BUGNET P., CAVAYAS F. & GAGNON L. 2003. Vers la cartographie automatisée des surfaces boisées en milieu urbanisé fondée sur la texture d'images IKONOS panchromatiques : le cas de la Région Métropolitaine de Montréal. *Journal Canadien de Télédétection*, 29 : 755-769.
- CeRPA (Centre Régional pour la Promotion Agricole) Atlantique-Littoral, 2007. Plan de campagne 2007-2008. Abomey-Calavi, Bénin, 62 p.
- CLERICI N., BODINI A., EVA H.D., GREGOIRE J.-M., DULIEU D. & PAOLINI C. 2006. Increased isolation of two biosphere reserves and surrounding protected areas (WAP Ecological Complex, West Africa). *Journal for Nature Conservation*, 15: 26-40.
- CONGALTON R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- DIOUF A., BARBIER N., COUTERON P., LYKKE A. M., DEBLAUWE V., MAHAMANE A. & BOGAERT J. 2012. Relationships between fire history, edaphic factors and woody vegetation structure and composition in a semi-arid savanna landscape (Niger, West Africa). *Applied Vegetation Science*, 15, 4: 488-500.
- FAO, 2009. Situation des forêts du monde. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 152p
- FAO, 2015. Evaluation des ressources forestières mondiales. Répertoire des données du FRA. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 253 p.
- HOUNKPEVI A., YEVIDE A. S. I, GANGLO C. J., DEVINEAU J.-L., AZONTONDE A.H., ADJAKIDJE V., AGBOSSOU E. K., DE FOUCAULT B. 2011. Structure et écologie de la forêt à *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC. et à *Dialium guineense* Willd. de la réserve de Massi (La Lama), Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, 308 (2) : 33-46.
- IFN (Inventaire Forestier National), 2007. Rapport d'exécution de l'Inventaire Forestier National, Projet Bois de Feu, phase II, Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, Bénin. 81 p.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2015. Que retenir des effectifs de population en 2013 ? Ministère du développement, de l'analyse économique et de la prospective, République du Bénin, 33p.
- KOUAKOU A. T. M., BARIMA Y. S. S., KONATE S., BAMBA I., KOUADIO J. Y., BOGAERT J. 2017. Gestion des forêts domaniales en période de conflits : cas de la forêt classée du Haut-Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11: 333-349.
- KOUAKOU A. T. M., BARIMA Y. S. S., KOUAKOU A. K., KOUAMÉ N. F., BOGAERT J. & KOUADIO J. Y. 2015. 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): 375-382.
- MAMA A. SINSIN B., DE CANNIÈRE C., BOGAERT J. 2013. Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicicultura*, 31, 1: 82-92.

- MCGARIGAL K. & CUSHMAN S.A. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12, 335-345.
- MAS J.F. 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26, 4: 349-362.
- O'NEILL R.V., KRUMMEL J.R., GARDNER R.H., SUGIHARA G., DEANGELIS 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.
- ORÉKAN V., TENTÉ B. & HOUNDAGBA C.J., 2010. Land cover and vegetation cover dynamics. *In* : Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest Tome I, Eds Sinsin B & Kampmann D, Cotonou-Bénin & Frankfurt/Main, p. 154-166.
- PADA (Projet d'Appui à la Diversification Agricole), 2016. Rapport de performance Gestion 2016. 99 p.
- PONTIUS R.G.JR. 2000. Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66 (8): 1011-1016.
- TOYI M.S., BARIMA Y.S.S., MAMA A., ANDRÉ M., BASTIN J-F., DE CANNIÈRE C. BOGAERT J. & SINSIN B. 2013a. Tree plantation will not compensate natural woody vegetation cover loss in the Atlantic department of southern Benin. *Tropicultura*, 31 (1): 62-70.
- TOYI M.S., BASTIN J-F., ANDRÉ M., DE CANNIÈRE C., SINSIN B & BOGAERT J. 2013b. Effets de lisière sur la productivité du teck (*Tectona grandis* L.f.): étude de cas des teckeraies privées du sud-Bénin. *Tropicultura*, 31(1): 71-77.
- TOYI S. S. M., EDA A. F., BARIMA S. S., BAMBA I. & SINSIN B. 2018. Dynamique paysagère de la Forêt Classée de la Lama au sud du Bénin. *Tropicultura*, 36 (2), 217-231
- VOLKOFF B. & WILLAIME P., 1967. Carte pédologique de reconnaissance de la République populaire du Bénin à 1/200 000. Feuille de Porto-Novo (1). Notice explicative 66 (1). ORSTOM, Paris 39 p.
- WOROU L., TEBLEKOU K., AYIHOUENOU B. 2010. Etat des lieux des actions de reboisement au Bénin. Séminaire National sur le Reboisement. Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles (DFRN), Bénin, 18 p.