

## Dynamique paysagère de la Forêt Classée de la Lama au sud du Bénin

M.S.S. Toyi<sup>1</sup>, F. Eda<sup>1</sup>, Y.S.S. Barima<sup>2</sup>, I. Bamba & B. Sinsin<sup>1</sup>

**Keywords:** Landscape- Dynamics- Structural indexes- Restauration- Lama forest- Benin

### Résumé

*La Forêt Classée de la Lama (Sud-Bénin) a subi de profonds changements suite aux efforts de restauration et de conservation qu'il est nécessaire de quantifier à l'aide de techniques d'écologie du paysage et de la phytosociologie. Deux images satellitaires Landsat ETM+ de 2000 et Landsat OLI TIRS de 2015 ont été traitées afin de cartographier le couvert végétal et d'évaluer la dynamique paysagère à travers la matrice de transition et le modèle du «decision tree algorithm ». Des inventaires phytosociologiques ont été réalisés afin d'évaluer l'état de conservation de la Forêt Classée à partir de 80 relevés sur transect de 50 m de long et de 10 m de large. Il ressort des analyses qu'en 2015 les forêts couvraient 27,85 % de la zone d'étude contre 8,02 % en 2000 au détriment des classes anthropiques après aménagement. L'agrégation, la création et la suppression étaient les principaux processus de transformation dans le paysage. Sur le plan floristique, deux groupements végétaux ont été différenciés à partir de 192 espèces. Ces deux groupements sont spécifiquement diversifiés avec prédominance des espèces de l'élément de base Guinéo-Congolais, confirmant un état de protection acceptable des espèces de la forêt.*

### Summary

#### Landscape Dynamics of the Classified Forest of Lama in Southern Benin

*The Lama (South Benin) classified forest has undergone profound changes as a result of the restoration and conservation efforts that need to be quantified using landscape ecology techniques and phytosociology. Aiming to map land cover and to evaluate landscape dynamics we assessed two Landsat images (2000 Landsat ETM+ and 2015 Landsat OLI TIRS), using transition matrix and decision tree algorithm model. Phytosociological inventories were carried out to assess the conservation status of the classified forest from 80 records on a transect of 50 m long and 10 m wide. Analyzes show that in 2015 the forest covers 27.85% of the landscape compared with 8.02% in 2000, to the detriment of anthropogenic classes after management. The main spatial transformation processes in the landscape were aggregation, creation and attrition. Phytosociological classification showed two physiognomic vegetation groups based on 192 species. These groups are specifically diversified with the predominance of species from the Guinea-Congolese base-element which confirms acceptable conditions in the forest.*

<sup>1</sup>Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Cotonou, Bénin

<sup>2</sup>Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), Daloa, Côte d'Ivoire

\*Auteur correspondant: Email: mireille.toyi@gmail.com

## Introduction

Les ressources forestières connaissent une destruction de plus en plus intense et ce, depuis le début des années 1970 où une potentielle crise de déforestation sous l'ensemble des tropiques est annoncée (17, 24). La pression sur ces ressources naturelles est particulièrement forte dans les pays pauvres, essentiellement ruraux, où la pression démographique et la pauvreté font que les populations choisissent des objectifs de survie à court terme au détriment des objectifs de conservation à long terme (19). Ce qui entraîne une situation de dégradation alarmante des écosystèmes, habitats naturels de bien d'espèces végétales et animales. Etant situé dans le hiatus écologique nommé "Dahomey Gap", le Bénin est un pays à ressources forestières limitées qui figure parmi les 10 pays d'Afrique présentant le plus grand taux de déforestation annuel (2,5%) (15, 32). La partie Sud du pays connaît particulièrement une dégradation alarmante de la couverture forestière due à la concentration de plus de 50% de la population en croissance rapide (31). Paradoxalement, cette zone abrite la plupart des vestiges de forêt constituée de forêts semi-décidues et décidues. La forêt classée de la Lama est donc située dans cette zone et fait partie des forêts classées du pays qui devraient conserver et restaurer ce qui peut encore l'être des ressources naturelles face aux pressions anthropiques et aux demandes de plus en plus fortes en bois d'une population inégalement répartie. Malgré cette action salutaire, des forêts classées restent encore très peu suivies, excepté celle de la Lama qui est en train de faire l'objet d'attention particulière pour inverser le fort degré de fragmentation qu'elle avait subi dans les années 1980 (10).

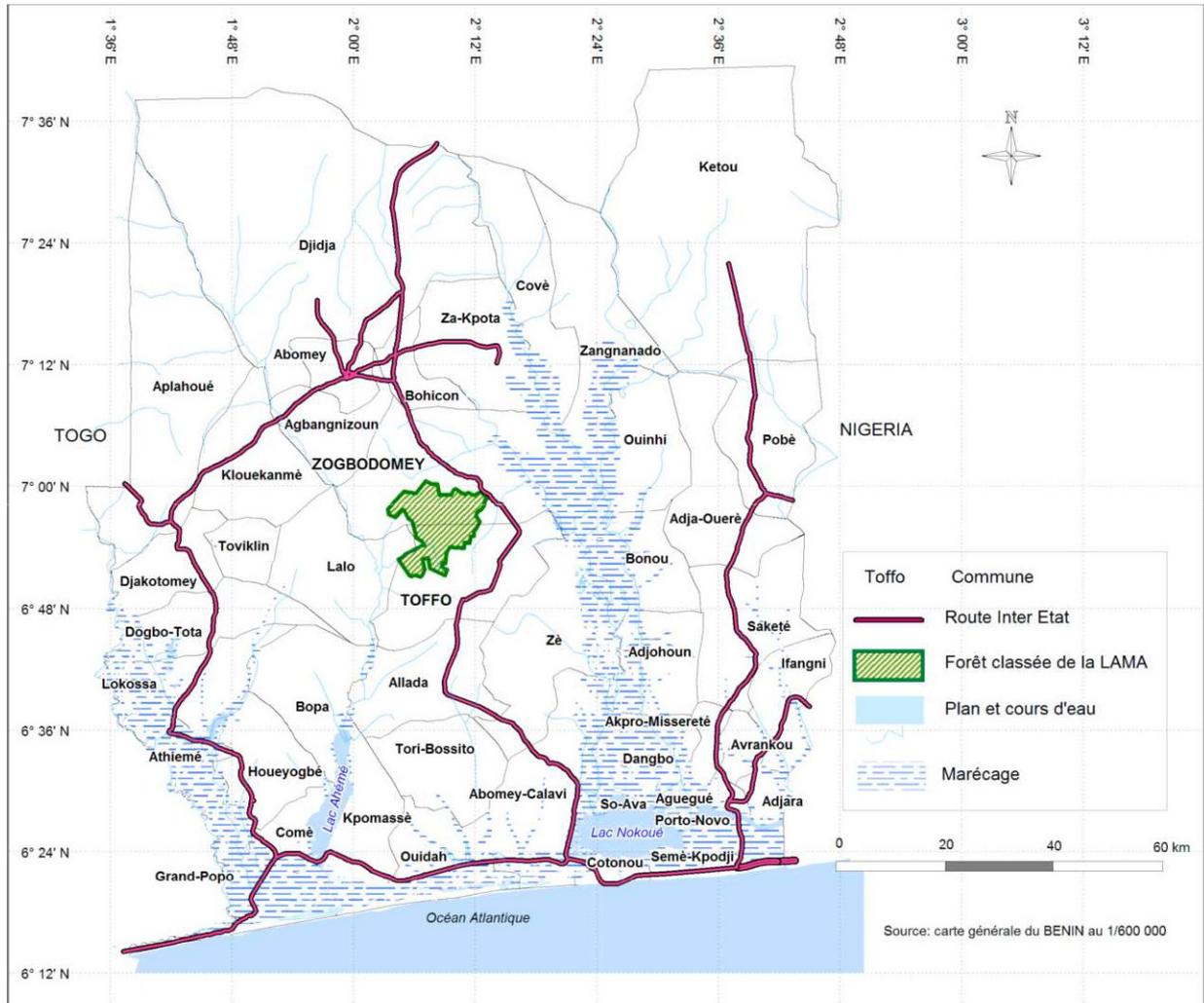
En effet, la forêt classée de la Lama est le dernier grand vestige de la forêt naturelle et témoin de la végétation pédoclimacique du Sud-Bénin (1, 14). Elle est située sur vertisol, dans un berceau à forte dynamique démographique et a alors subi une pression anthropique grandissante au cours du temps. Les groupes socio-culturels Holli, spécialistes de l'agriculture sur vertisol, ont migré vers la forêt classée à la recherche de nouvelles terres dans les années 50 avec une densité variant de 30 à 200 hab/km<sup>2</sup>, du nord au sud (5) en engendrant une destruction rapide. Ainsi, la forêt dense naturelle de la Lama a vu sa superficie passer de 11 000 ha en 1946 à 2 300 ha en 1986 (11). Pour y remédier, un projet d'aménagement forestier a été mis en œuvre dès 1987 (9) et retrace les grandes lignes directives de conservation du Noyau Central (forêt naturelle) en lui conférant un statut de protection absolue. Plusieurs actions de conservation se sont multipliées pour la sauvegarde de cette forêt. Ces divers efforts consacrés pour la conservation du noyau de la forêt de la Lama ont-ils porté leur fruit?

Quel est l'état de conservation actuel de ladite forêt? Le paysage de la Lama a donc subi diverses mutations au cours du temps avec des répercussions sur l'occupation du sol et sur la structure du paysage. Ce qui nécessite donc le développement de techniques et modèles adéquats pour évaluer les interactions entre ces facteurs et ces ressources naturelles (7). Il est donc impérieux d'analyser la dynamique spatio-temporelle afin d'évaluer les efforts de conservation pour comprendre l'état d'évolution de cette forêt. La présente étude procède donc à la quantification et au suivi de la dynamique de l'occupation du sol dans la forêt classée de Lama. Elle se propose, grâce aux outils d'analyse spatiale, au calcul d'indices spatiaux et à la phytosociologie, d'analyser, à partir d'une étude diachronique, la dynamique paysagère de cette forêt afin de contribuer à la gestion durable des ressources naturelles. Elle est sous-tendue par l'hypothèse selon laquelle la densification du couvert végétal est la principale dynamique d'occupation du sol observée dans le paysage de 2000 à 2015.

## Approche méthodologique

### Milieu d'étude

Protégée depuis 1946 par l'arrêté de classement N° 05574/SE/F du 24/12/46, la forêt classée de la Lama est située au sud du Bénin entre 6°55' et 7° de latitude nord et entre 2°04' et 2°12' de longitude. Elle s'étend sur une superficie estimée à environ 16250 ha répartie entre les Départements de l'Atlantique (9 750 ha dans la Commune de Toffo) et le Zou (6 500 ha dans la Commune de Zogbodomey) et occupe la zone phytogéographique à affinité guinéo-congolaise du Sud-Bénin (Figure 1), (14). Il y règne un climat de type subéquatorial à quatre saisons (2 saisons sèches et 2 saisons pluvieuses) avec des précipitations mensuelles et annuelles moyennes de 1100 mm. Les sols sont des vertisols et des sols sablo-argileux abritant une végétation particulière. Les plantes sont adaptées à la contrainte édaphique de la Lama (36, 37). La végétation naturelle de cette aire protégée est une forêt dense semi-décidue installée à l'intérieur du Dahomey Gap. Les autres parties de la forêt classée sont occupées par des plantations forestières établies pour protéger et conserver ce reste de formation naturelle et pour couvrir les besoins en bois d'œuvre et d'énergie (14).



**Figure 1:** Situation géographique de la Forêt Classée de la Lama.

**Cartographie et changement d'occupation du sol**  
 Deux images satellitaires de type Landsat ETM+ (2000) et Landsat OLI TIRS (2015) de résolution 30 m ont été téléchargées. Les dates de prise de ces images correspondent à la période de saison sèche afin de maximiser les différences spectrales entre les éléments de la couverture végétale. Ces images prétraitées au niveau 2A ont été vérifiées par le Centre National de Télédétection (CENATEL, Bénin) afin de s'assurer des corrections radiométriques et géométriques par le fournisseur et de standardiser l'image de 2000 par rapport à l'image de référence de 2015. Les images ont ensuite été traitées sur la base de la comparaison pixel à pixel avec le logiciel ENVI 4.7 sur la base d'une composition colorée en fausses couleurs. Une classification hybride a été adoptée dans le traitement des images (6). La classification a d'abord été automatique et a concerné l'image la plus récente, Landsat OLI TIRS, 2015. Huit classes ont été d'abord obtenues et les regroupements ont été faits sur la base des caractéristiques spectrales et des connaissances de terrain.

Ce qui a conduit à l'obtention de 5 classes d'occupation du sol dont la dénomination est inspirée de celle établie en 1956 à Yangambi : forêts denses semi-décidues, forêts secondaires, plantations forestières, cultures agroforestières puis cultures et jachères. La vérification terrain a ensuite eu lieu sur la base d'un échantillonnage stratifié (10 sites en moyenne par classe d'occupation du sol) et dans des zones relativement homogènes afin de valider le nombre et la dénomination des classes (34). Les caractéristiques spectrales des classes d'occupation du sol obtenues suite à la classification de l'image Landsat OLI 2015 couplées aux points de référence de terrain ont été utilisées comme zones d'entraînement sous forme de polygones de pixels purs pour la classification supervisée de l'image Landsat ETM+ 2000 avec l'algorithme du maximum de vraisemblance. La précision de la classification a été estimée à l'aide du coefficient de Kappa qui mesure l'intensité de la concordance réelle entre deux jugements catégoriels appariés (6, 34).

L'élaboration de la matrice de transition (à partir de la superposition des cartes d'occupation du sol réalisées) et le calcul des indices de structure paysagère ont servi à quantifier la dynamique paysagère au sein de la forêt classée de la Lama. La matrice de transition permet de décrire de manière condensée, les changements d'état d'une classe  $i$  d'occupation du sol à une classe  $j$  du paysage pendant la période 2000-2015 (6, 32).

Trois principaux indices paysagers ont été calculés pour la quantification de la dynamique paysagère:

- la superficie moyenne  $a$  des classes d'occupation du sol;
- l'indice de dominance  $D_j$  (%) indiquant la proportion d'aire occupée par la plus grande tache de la classe  $j$  ( $a_{max, j}$ ) dans l'aire totale  $a_j$  (20);  $0 < D_j(a) \leq 100$ . Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée;
- l'indice de perturbation  $U$ , rapport entre l'aire cumulative des classes anthropiques (plantations forestières, cultures agroforestières, cultures et jachères) dans le paysage et l'aire cumulative des classes naturelles (forêts denses semi-décidues, forêts secondaires). Lorsque  $U > 1$ , le paysage est dominé par les formations anthropiques (paysage perturbé);  $U < 1$ , paysage dominé par les formations naturelles (4, 21).

#### Processus de transformation spatiale du paysage

La détermination des processus de transformation spatiale constitue une approche complémentaire à l'étude de la dynamique paysagère. Ces processus sont déterminés sur la base des trois principaux paramètres considérés comme éléments pour la description de la configuration paysagère que sont (i) la superficie des taches  $a$ , (ii) le périmètre des taches  $p$  et (iii) le nombre de taches  $n$ . Ces paramètres sont donc déterminés pour chaque classe d'occupation du sol et pour les années 2000 et 2015. Les dix processus de transformation spatiale ainsi proposés par (7) sont: l'agrégation (fusion de taches), la suppression (disparition de taches), la création (formation de nouvelles taches), la déformation (changement de forme des taches), l'agrandissement (expansion de taille des taches), la perforation (formation de trous dans les taches), le déplacement (translocation des taches), le rétrécissement (réduction de taille des taches), la fragmentation (rupture de la continuité en plusieurs taches disjointes de formes et de tailles différentes) et la dissection (subdivision des taches par des lignes de petite dimension). Pour séparer les processus de fragmentation et de dissection, la valeur  $t_{obs} = a_1/a_0$  est calculée et comparée à une valeur seuil prédéfinie de diminution d'aire ( $t$ ). Le processus dominant est la fragmentation si  $t_{obs} < t$  et dans le cas contraire le processus est la dissection (7).

Déterminer ces processus peut fournir des informations sur les causes de la transformation du paysage puisque la dynamique des conversions spécifiques du paysage peut être liée à des initiateurs bien définis.

#### Diversité floristique et état de conservation de la forêt

Les Relevés floristiques sont effectués par transect de 50 m de long et de 5m de large de part et d'autres de la ligne de transect, soit 10m de bande largeur. L'écartement entre les placettes est de 100m. Toutes les classes d'occupation du sol identifiées précédemment ont été prise en compte pour les relevés floristiques. Les espèces rencontrées le long du transect-layon sont relevées successivement sur toute la longueur dudit transect. Chaque espèce est recensée autant de fois qu'elle est rencontrée. Un total de 80 relevés a été effectué dans l'ensemble des physionomies végétales de la forêt dont 21 en forêt dense semi-décidue, 27 en forêts secondaires, 7 en plantation, 16 en cultures et jachères et 9 en cultures agroforestières.

Les espèces collectées ont été déterminées en partie sur le terrain, les autres ont été identifiées au Laboratoire d'Ecologie Appliquée et confirmées à l'Herbier National du Bénin.

L'individualisation et la caractérisation des groupements végétaux ont porté sur une matrice de 80 relevés et 192 espèces, élaborée grâce au tableur Excel. Le logiciel PC ord. 5 a permis de résumer les informations contenues dans cette matrice de données de présence/absence des espèces dans les relevés (13). Chacun des groupements issus de cette analyse a été décrit pour pouvoir analyser leurs caractéristiques phytosociologiques. Les paramètres écologiques décrits pour chaque groupement sont entre autres la richesse spécifique ( $S$ ), l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H$ ), l'équitabilité de Pielou ( $E$ ).

Les types biologiques et phytogéographiques ont été déterminés (30) pour les types biologiques et les grandes subdivisions chorologiques établies par White en 1983 afin d'établir leurs spectres brut et pondéré.

L'analyse de l'état de conservation de la FC de la Lama a porté sur la comparaison des résultats floristiques obtenus avec ceux de Djego (13) qui a travaillé sur les formations végétales de la forêt classée de la Lama. Ainsi, les indices de diversité floristique obtenus par Djego (13) dans le milieu d'étude ont été comparés à ceux obtenus dans la présente étude afin de savoir s'il y a eu une certaine stabilité ou une régression de l'état de végétation. Les spectres des types biologiques et des types phytogéographiques (l'élément de base guinéo-congolais en occurrence) sont également comparés.

Tout ceci permettra d'affirmer si ce sont les mêmes formes de vie et les mêmes éléments base qui continuent de prédominer dans le milieu ou qu'il y a eu variation au fil du temps. Le potentiel conservateur des espèces floristiques menacées est également évalué en nombre d'espèces de la liste rouge de l'UICN présente dans la forêt classée de la Lama (22).

## Résultats

### Dynamique forestière de la Forêt Classée de la Lama

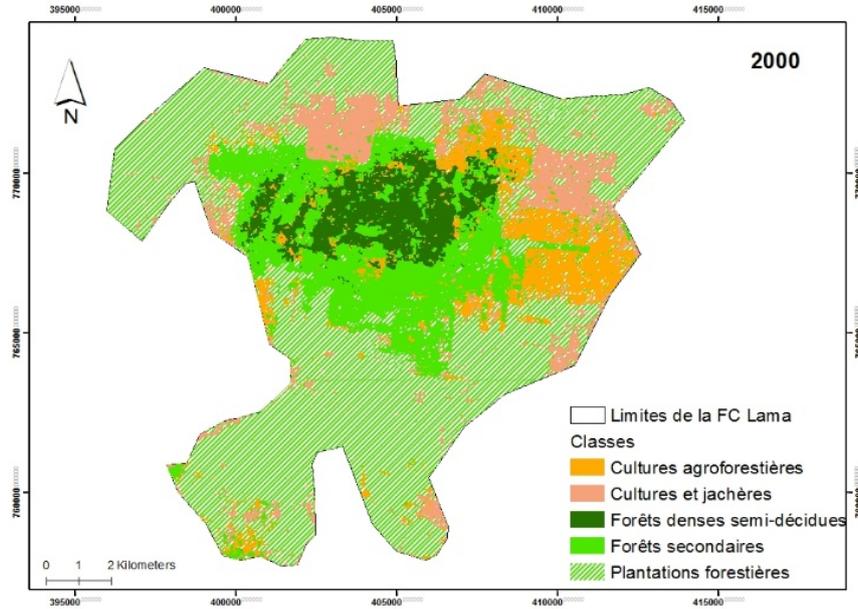
Les classifications automatique et supervisée des images Landsat ETM+ de 2000 et Landsat OLI TIRS de 2015 ont été exécutées correctement avec un coefficient kappa de 85,08 % et une précision globale de 93,68 %. L'analyse des deux cartes d'occupation du sol (Figures 2 et 3) montre clairement une augmentation du couvert végétal ligneux de 2000 à 2015.

La densification du couvert végétal naturel s'est faite dans la partie centrale qui représente le Noyau de la Forêt Classée de la Lama. Les plantations forestières ont également connu une augmentation non moins négligeable. Ainsi donc, les classes forêts denses semi-décidues et plantations forestières dominent le paysage actuel alors que les forêts secondaires et les plantations étaient majoritaires en 2000. La figure 4 confirme bien cette régénération naturelle de 2000 à 2015 où on note une augmentation de la proportion forestière qui passe de 8,02 à 27,85% de la superficie totale du paysage sur une période de 15 ans. Toutefois, les plantations forestières restent dominantes dans le paysage au cours du temps. La matrice de transition présentée dans le tableau 1 montre les taux de changement opérés dans la forêt classée de Lama entre les différentes classes d'occupation de 2000 à 2015. Pendant cette période, le taux de forêt dense semi-décidue est passé de 8,02% en 2000 à 27,85% en 2015.

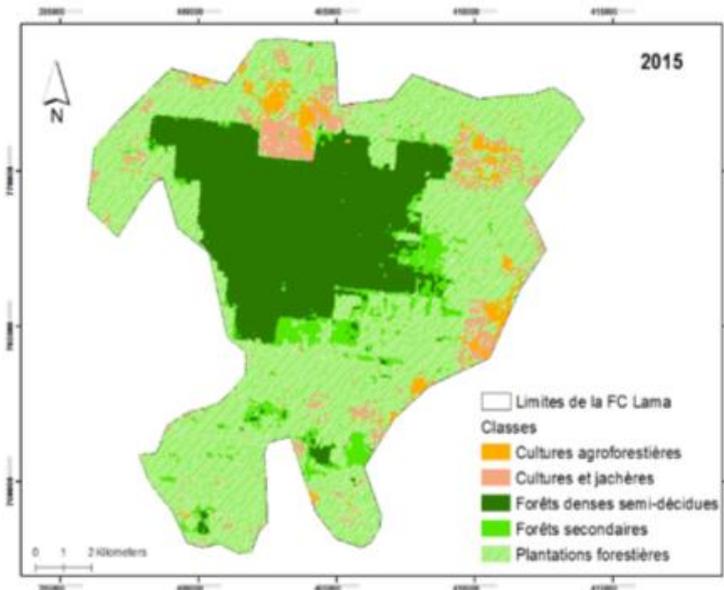
Cette densification est rendue possible grâce à la contribution des forêts secondaires (12,45%) et des plantations forestières (4,85%) au cours du temps. Ce qui justifie la perte de superficie des forêts secondaires de 17,28% à 6,19 % durant la période d'analyse. Par ailleurs, les plantations forestières représentent la matrice du paysage aussi bien en 2000 qu'en 2015, et ont connu une légère augmentation (53,04 à 57,16%). Cette augmentation provient principalement de la contribution des classes agroforestières (6,2% des cultures agroforestières et 7,7% des cultures et jachères). D'une manière générale, entre 2000 et 2015 la majorité du paysage a enregistré une dynamique de densification de la végétation sur 39,21% du paysage contre une dédensification de 7,56% du paysage.

### Dynamique de la structure spatiale et processus de transformation du paysage

Les indices de structure spatiale calculés pour les années 2000 et 2015 en vue de caractériser les changements de structure spatiale sont présentés dans le tableau 2. Sur la période 2000-2015, le nombre de taches a diminué au niveau des forêts denses semi-décidues par un regroupement des taches initiales par régénération des zones forestières perdues. L'augmentation de l'aire totale des taches de ladite classe confirme bien cette constatation. Les forêts secondaires ont également connu une diminution du nombre et de l'aire de taches. Quant aux plantations forestières, le nombre de taches ainsi que l'aire totale ont considérablement augmenté. Par contre, les taches agro-forestières et celles de cultures et jachères ont connu une diminution de leur nombre parallèlement à une diminution de l'aire totale. Toutes les diverses tendances précédemment notées se confirment bien par les valeurs de dominance obtenues.



**Figure 2:** Carte d'occupation du sol de la Forêt Classée de la Lama (Sud-Bénin) en 2000.



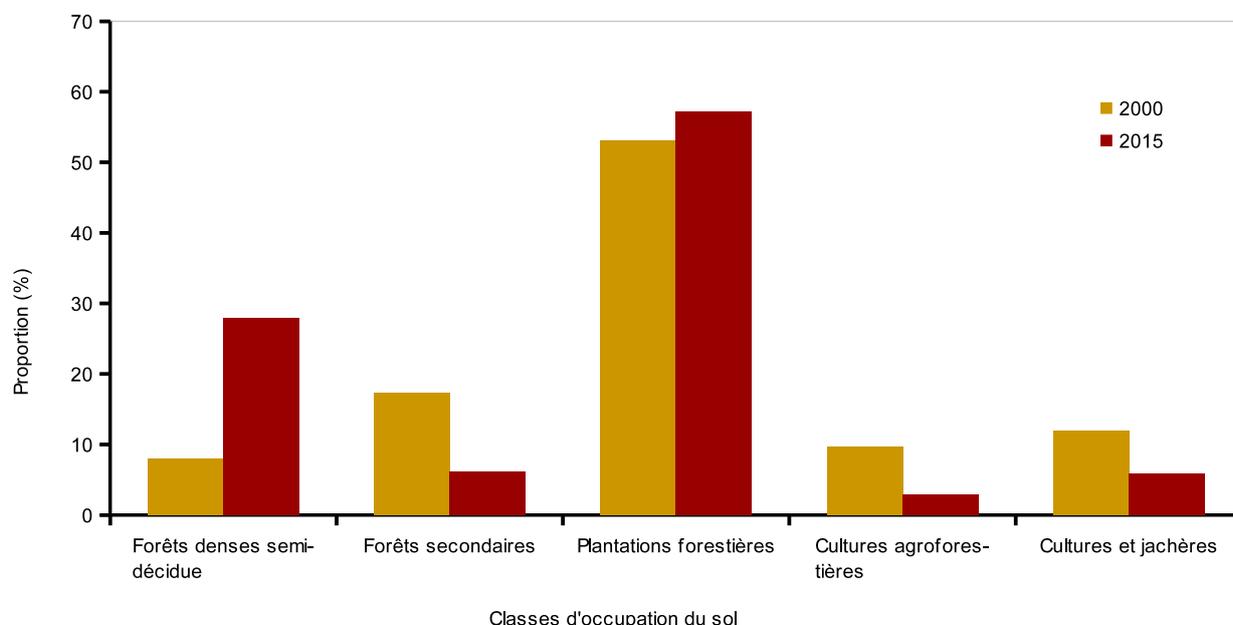
**Figure 3:** Carte d'occupation du sol de la Forêt Classée de la Lama (Sud-Bénin) en 2015.

**Tableau 1**  
Matrice de transition de l'occupation du sol (en pourcentage de la superficie occupée dans le paysage) entre 2000 et 2015 dans la FC de la Lama.

Classes	2000		2015			Total
	Forêts denses sémi-décidues	Forêts sé- condaires	Plantations forestières	Cultures agrofo- restières	Cultures et jachères	
Forêts denses sémi-décidues	7,97	0,03	0,02	0	0	8,02
Forêts secondaires	12,45	2,02	2,7	0,02	0,09	17,28
Plantations forestières	4,85	3,16	40,53	1,48	3,02	53,05
Cultures agroforestières	2,34	0,73	6,21	0,16	0,2	9,64
Cultures et jachères	0,24	0,25	7,7	1,28	2,54	12,01
Total	27,85	6,19	57,16	2,94	5,86	100

**Tableau 2**  
Indices de structures spatiales calculés en 1960 et 2005 pour chaque classe d'occupation du sol.

Classes	2000		nj		atj (km <sup>2</sup> )		a (km <sup>2</sup> )		Dj (%)		U	
	2000	2015	2000	2015	2000	2015	2000	2015	2000	2015	2000	2015
Forêts denses sémi-décidues	253	78	13,03	45,27	11,22	44,15	86	97,53				
Forêts secondaires	1104	597	28,09	10,1	6,15	1,78	21,9	17,7				
Plantations forestières	1415	3702	86,24	92,9	45,9	6,84	53,2	7,36				
Cultures agroforestières	1329	231	15,66	4,78	6,59	0,45	42,1	9,41				
Cultures et jachères	1278	731	19,52	9,52	4,89	0,84	25,1	17,2			2,95	1,93



**Figure 4:** Evolution des classes d'occupation du sol de 2000 et 2015 dans la Forêt Classée de la Lama.

Ainsi, les valeurs de  $D_j$  augmentent pour les classes des forêts denses semi-décidues entre 2000 et 2015 (86,00 à 97,53%) et diminuent pour toutes les autres classes (forêts secondaires, plantations forestières, cultures agroforestières, cultures et jachères). L'indice de perturbation obtenu à l'année 2000 ( $U_{2000}=2,95$ ) étant supérieur à 1, indique donc que le paysage de la Lama était dominé par les formations anthropiques ce qui signifie que le milieu était perturbé. Bien qu'en 2015  $U_{2015}$  soit supérieur à 1 (1,93), il reste bien inférieur à celui de 2000. Les perturbations deviennent donc de moins en moins importantes au cours du temps.

Les processus de transformation obtenus suite au calcul des différents indices au niveau de chacune des classes d'occupation du sol en 2000 et en 2015 (Tableau 3) indiquent que les forêts denses semi-décidues ont connu l'agrégation comme processus de transformation dominant.

Les plantations forestières quant à elle ont connu principalement le processus de la création.

Toutes les classes de forêts secondaires, cultures agroforestières et cultures et jachères ont connu la suppression de taches comme processus dominant. En résumé on constate que le processus de suppression est observé majoritairement dans les classes anthropiques.

#### Analyse floristique et état de conservation de la forêt classée de la Lama

L'analyse indirecte de gradient (Detrended Correspondence Analysis DCA) appuyée par le dendrogramme sur la matrice de 80 relevés phytosociologiques et 192 espèces (herbacées et ligneuses) a révélé deux grands groupements végétaux (Figure 5).

Le groupement végétal G1 à *Celtis zenkerii* et *Psidium guayava* est constitué de 48 relevés issus des forêts secondaires et les cultures et jachères. Il est caractérisé par les espèces: *Celtis zenkerii*, *Ficus sur*, *Erythrophleum africanum*, *Psidium guayava*, *Combretum racemosum*. Le groupement végétal G2 à *Pouchetia africana* et *Gardenia imperialis* est constitué des relevés effectués dans les forêts denses semi-décidues et des plantations forestières. Il est composé de 32 relevés et caractérisé par les espèces telles que *Diospyros abyssynica*; *Diplazium sammatiei*; *Pouchetia africana*; *Gardenia imperialis*. La richesse floristique globale suivant les 80 relevés est de 192 espèces ligneuses appartenant à 134 genres et 52 familles. Les familles les plus dominantes sont les *Rubiaceae*, les *Poaceae* et les *Leguminosae-Papilionaceae*. La richesse spécifique par groupement varie de 103 à 135 espèces. Tous les deux groupements végétaux ont un indice de diversité spécifique ( $H$ ) supérieur à 4 bits de même qu'une équitabilité supérieure à 0,8. Ce qui dénote d'une diversité relativement élevée dans les groupements et donc une absence de dominance dans chacune des deux communautés végétales.

Les spectres biologiques des groupements (figure 6) montrent une prédominance des mésophanérophytes (21,7 à 22,9%) avec un recouvrement de 18,9 à 23,3%. Ils sont suivis des microphanérophytes et des lianes phanérophytes.

Huit types phytogéographiques sont représentés dans l'ensemble des groupements (Figure 7). Il s'agit des types guinéo-congolais (élément-base), soudano-guinéens, soudano-zambéziens, Pantropicaux, Afro-tropicale, Plurirégionale Africaine, Paléotropicale et Afro-américaine. L'élément base guinéo-congolais est plus abondant (48,9 à 52,4%) et plus recouvrant (43,5 à 57,1%) tandis que les types soudano-guinéens sont faiblement présents avec un faible taux de recouvrement.

L'évaluation de l'état de conservation de la forêt basée sur la comparaison avec les résultats de Djègo (13) montre que 71 relevés ont été effectués avec la présence de 284 espèces. Les spectres des types biologiques montrent une abondance des phanérophytes qui varient de 70,3% à 86% du spectre brut et 56% à 92% pour les spectres pondérés. Les mésophanérophytes (29 % à 31% de l'effectif total et 35 à 46% du recouvrement total) et les lianes phanérophytes (27 à 43 % de l'effectif total et 19 % à 36% du recouvrement total) sont les espèces les plus représentées en effectif et les plus dominantes des phanérophytes. Les chaméphytes viennent en deuxième position avec 34% du recouvrement total. De même, le spectre des types phytogéographiques met en évidence l'abondance des espèces de l'élément base Guinéo-Congolais (GC) dont les valeurs du spectre brut varient entre 37 et 63% avec des taux de recouvrement de 27 à 70%. Les espèces pantropicales viennent en deuxième position. Les autres types sont faiblement représentés.

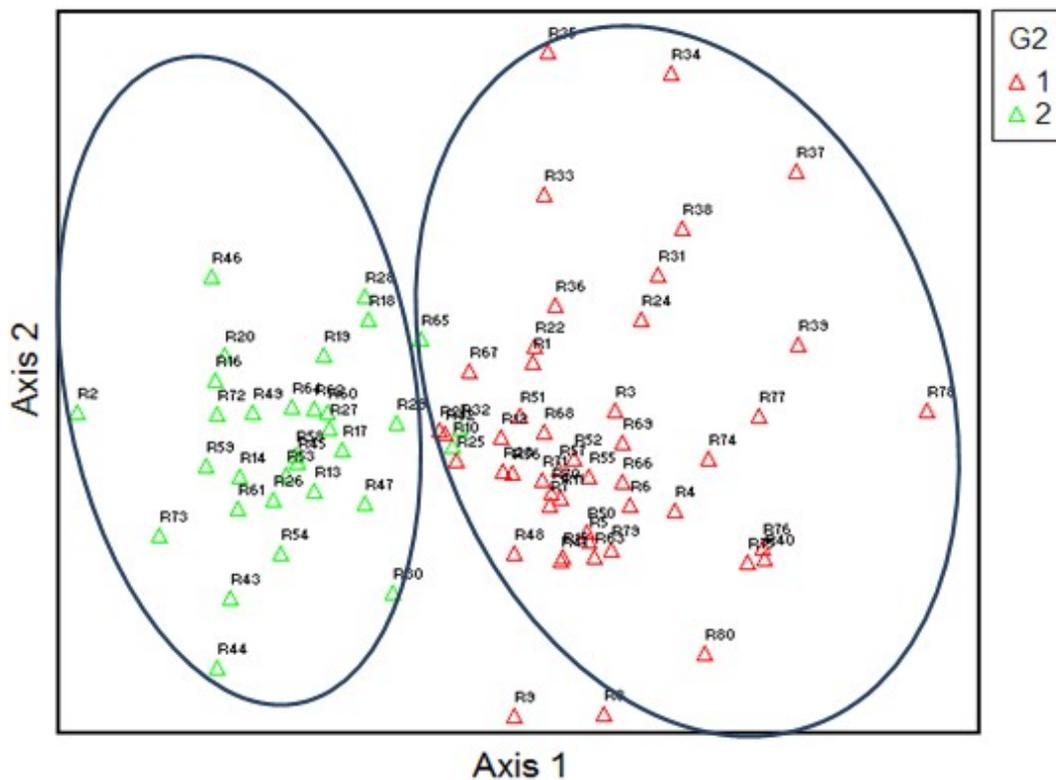
En 2015 où 80 relevés ont été effectués avec la présence de 192 espèces, les spectres des types biologiques montrent une prédominance des phanérophytes plus précisément les mésophanérophytes suivies des microphanérophytes.

Les spectres des types phytogéographiques montrent que les espèces de l'élément-base guinéo-congolais sont plus représentés ( 52,43% à 48,89%) avec les plus fort taux de recouvrement total suivi des types Pantropicale (14,82%) qui ont un taux de recouvrement qui s'élève à 13,12%. Les deux travaux montrent ainsi une abondance des phanérophytes; la répartition chorologique de la flore étudiée, se manifeste par une relative abondance d'espèces de l'élément de base Guinéo-Congolais. La forêt classée de la Lama présente donc au cours du temps, des caractéristiques écologiques qui dénotent d'un état de conservation appréciable avec une abondance et une dominance élevées des espèces de l'élément base guinéo-congolais dans le milieu.

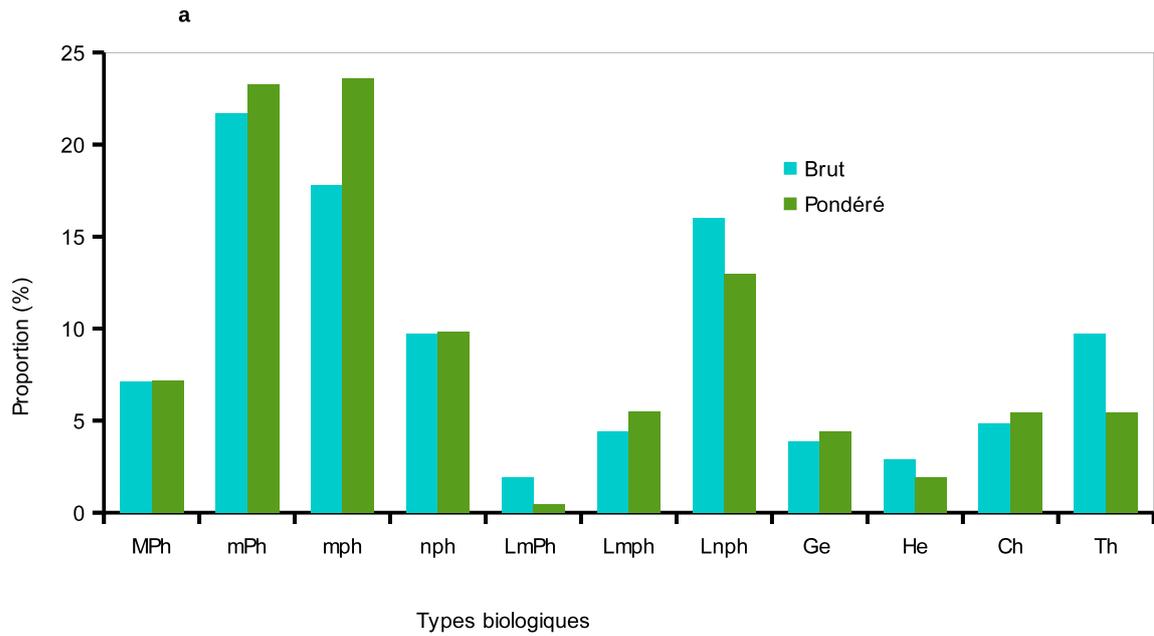
**Tableau 3**

Identification des processus de transformation spatiale (PTS) au niveau du paysage de la Forêt Classée de la Lama de 2000 à 2015 à partir de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (2004).

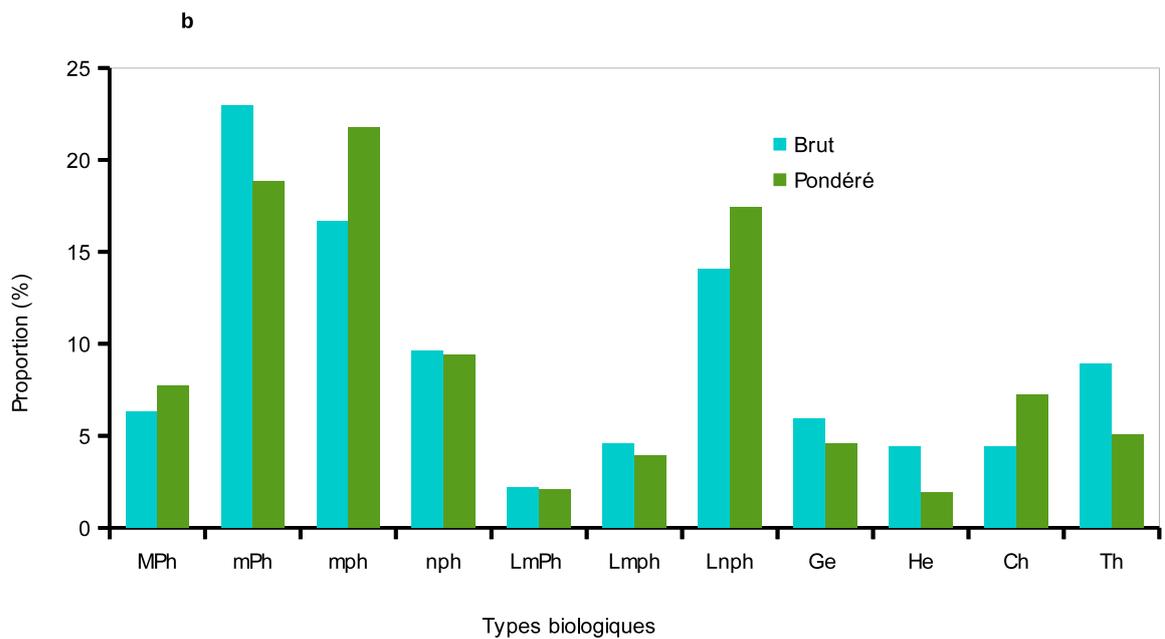
Classes	Forêts denses sémi-décidues	Forêts sécon- daires	Plantations fo- restières	Cultures agrofo- restières	Cultures et ja- chères
			2000		
n	253	1104	1415	1329	1278
a (km <sup>2</sup> )	13,03	28,09	86,24	15,66	19,52
p (km)	199,96	686,46	834,74	476,34	529,07
			2015		
n	78	597	3702	231	731
a (km <sup>2</sup> )	45,21	10,07	92,91	4,78	9,52
p (km)	45267,61	488,79	3596,1	201,42	452,3
PTS	Agrégation	Suppression	Création	Suppression	Suppression



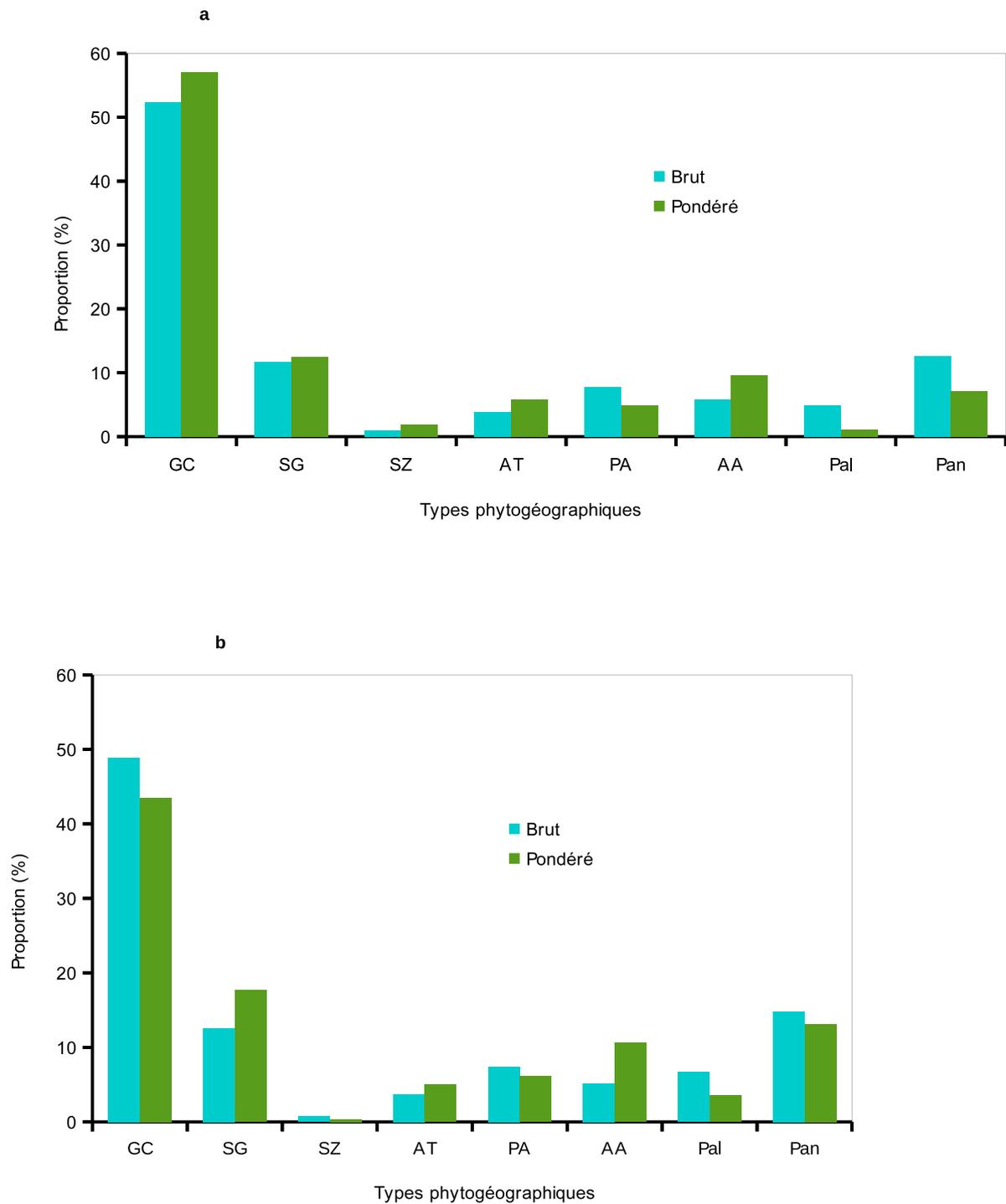
**Figure 5:** Carte factorielle des relevés dans les axes 1 et 2. L'axe 1 mesure le degré d'anthropisation ou de perturbation. L'axe 2 est celui de discrimination de la structure de la végétation.



**Figure 6:** (a) Spectres des types biologiques du groupement végétal à *Pouchetia africana* et *Gardenia imperialis*



**Figure 6:** (b) Spectres du type biologique du groupement végétal à *Celtis zenkerii* et *Psidium guayava*.



**Figure 7:** (a) Spectres des types phytogéographiques du groupement végétal à *Pouchetia africana* et *Gardenia imperialis*;  
 (b) Spectres des types phytogéographiques du groupement végétal à *Celtis zenkerii* et *Psidium guayava*.

La forêt classée de la Lama abrite à elle seule plus de 10 espèces menacées présentes dans la liste rouge du Bénin dont 5 le sont à l'international. Il s'agit par ordre décroissant d'abondance dans le milieu de *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg, *Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss., *Afzelia africana* Smith ex. Pers, *Mimusops andongensis* Hiern, *Gardenia imperialis* K. Schum. *Monodora myristica* (Gaertn.) Dunal, *Dennetia tripetata* Baker f., *Khaya grandifoliola* C. DC, *Albizia ferruginea* (DC.) J.F. Macbr., *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam.) Zepernick & Timler, *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. Ces espèces sont toutes en danger ou en danger critique au Bénin et vulnérables à l'international.

## Discussion

### Dynamique paysagère

L'approche cartographique de l'occupation des sols à travers les classifications d'images satellitaires Landsat ETM+ et Landsat OLI TIRS couplée à une vérité-terrain dont les précisions globales ont été hautement appréciables (Kappa= 92,08%) confirme l'importance de la connaissance du milieu et de l'acquisition des données auxiliaires pour l'amélioration de la qualité des traitements d'images (20, 35). En effet, (18, 28) ont obtenu de faibles valeurs d'exactitude des classifications respectivement de 61% et de 51% à cause d'un manque de collecte de points de contrôle et de validation sur le terrain. La précision globale de la classification obtenue dans cette étude pourrait donc aider à fixer un taux de référence de précision pour des études similaires (16). Les classifications effectuées, ont permis de distinguer des formations mixtes (cultures agroforestières et cultures et jachères) qui pourrait présenter quelque confusion due à des réponses spectrales relativement proches (12, 23). Les diverses cartes d'occupation du sol obtenues montrent l'ampleur des formations naturelles forestières au cours du temps qui est bien visible sur la cartographie actualisée, notamment au centre de la Forêt Classée (noyau forestier) où on note la présence effective de la forêt dense semi-décidue qui maintient tant bien que mal une grande part de la diversité biologique (39).

La comparaison des deux images Landsat 2000 et Landsat OLI 2015 a permis de mesurer la dynamique du paysage dans une zone de protection forestière au sud du Bénin. Les résultats obtenus montrent une relative rapidité de la densification du couvert végétal liée à la régénération qui constitue la principale dynamique d'occupation du sol dans la zone d'étude. De plus, la matrice de transition élaborée entre les classes d'occupation du sol, montre une forte dynamique de fermeture des écosystèmes forestiers boisés (forêts denses semi-décidues). Cette densification est en partie rendue possible

principalement grâce à la conversion des taches de forêts secondaires en forêts denses semi-décidues. En effet, les forêts secondaires sont des systèmes forestiers hautement dynamiques faisant partie d'une série évolutive et pouvant se développer dans différentes directions (8). La dédensification observée est essentiellement le fait de la conversion des forêts secondaires en cultures agroforestières. La gestion participative des ressources forestières qui est partie intégrante du mode de gestion des aires protégées au Bénin (26) aurait été à la base de cette diminution des forêts secondaires. En effet, dans le but de satisfaire les besoins des populations en terres exploitables, des parties de la forêt classée leur ont été octroyées pour exercer des activités agricoles sous le système taungya (cultures sous plantation) ou non.

Cette dynamique de la densification du couvert végétal observée s'explique essentiellement par les actions de restauration et de protection du couvert végétal naturel d'une part et le reboisement d'une part par les essences forestières diversifiées grâce à l'Administration Forestière et aux Organisations Non Gouvernementales (14, 38). Ainsi donc le fort degré d'anthropisation et de fragmentation du paysage qu'avait subi la Forêt Classée de la Lama au cours des années 1980 s'est estompé progressivement et significativement au cours du temps (10).

La mise en œuvre relativement rigoureuse des plans d'aménagement forestier participatif successifs de ladite forêt explique bien la restauration des zones dégradées du noyau central (9, 25). Cela a été rendu possible grâce à la zonation qui octroie une partie de la forêt dite série agroforestière (cultures et jachères, cultures agroforestières) aux populations riveraines et/ou vivant au cœur de la forêt classée (25). Ces terres servent en effet à produire les cultures vivrières (maïs, cultures maraîchères, etc.) et à combler d'autres besoin en terres. De plus, les multiples sensibilisations des populations pour leur contribution à la sauvegarde des ressources naturelles est un point important ayant permis la régénération de la forêt naturelle même si des foyers de conflits sont toujours en veilleuse (14).

Les principaux processus de transformation spatiale opérés dans le paysage constituent des preuves scientifiques complémentaires aux changements observés. Cette identification a été rendue possible grâce à la simplicité et à la rapidité d'exécution de la typologie de l'arbre de décision (7). Ainsi, trois types de processus ont observés. Ainsi, l'agrégation et la création ont été favorisées non seulement par le maintien et la régénération des forêts denses et des plantations forestières dans le milieu suite à l'effort soutenu de reboisement engagé par l'Administration forestière du Bénin, mais aussi par la succession naturelle des forêts secondaires vers les forêts denses semi-décidues.

Ensuite, la suppression des taches au niveau des trois autres classes (forêts secondaires, cultures agroforestières, cultures et jachères) confirmée par la diminution des aires totales est la résultante du regain de superficie par les classes forestières et les plantations suite à la mise en place et l'exécution des plans d'aménagement.

Les indices de perturbation calculés diminuent progressivement de 2000 ( $U \sim 3$ ) à 2015 ( $U \sim 2$ ) indiquant que les formations anthropiques (plantations forestières en occurrence) occupent, en 2000, trois fois plus de place que les formations naturelles dans le paysage et deux fois plus en 2015. Ces valeurs indiquent donc la présence dans une certaine mesure, de perturbation dans le milieu car les valeurs de  $U$  sont supérieures à 1 (21).

Cependant, cette perturbation n'est pas essentiellement due aux actions anthropiques persistantes dans le domaine classé mais plutôt à la présence des plantations forestières considérées comme classes anthropiques car, l'un des objectifs de cette Forêt Classée est la fourniture de bois d'œuvre à partir des plantations forestières (5, 14).

Les résultats quantitatifs de cette étude concourent donc à une objectivation des débats sur le reboisement et la régénération des écosystèmes forestiers sous protection des Forêts Classées au Bénin.

### Etat de conservation de la forêt

Les valeurs de diversité élevées indiquent une évolution de plus en plus importante de la végétation naturelle. La richesse spécifique plus élevée (284 espèces) obtenue par (13) se justifie aussi bien par l'effort d'échantillonnage que par la grande superficie de ses placeaux. Les périodes de collecte des données floristiques jouent également sur la richesse spécifique, notamment celle des espèces annuelles. Cependant, la richesse spécifique obtenue peut être bien qualifiée d'assez élevée et conforme aux caractéristiques des forêts humides de l'Afrique de l'Ouest car, quel que soit le bichore concerné, la flore d'une station (richesse floristique ou diversité  $\alpha$ ) est considérée comme «assez riche» lorsqu'elle renferme de 31 à 40 espèces (27, 29). Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou le prouvent bien. On en déduit donc que la végétation de la forêt classée de la Lama se densifie au cours du temps, en occurrence la formation naturelle (noyau central) comme l'ont confirmé Djego et Sinsin (14). La compréhension du patron de distribution des espèces végétales et des facteurs qui les gouvernent sont d'une importance capitale pour la conservation et la gestion des écosystèmes (2). Ainsi dans le cadre de cette étude, huit types phytogéographiques ont été identifiés dans la forêt classée de la Lama. Leurs représentativités renseignent sur les facteurs écologiques du milieu.

La forêt classée étant dans une zone de transition Guinéo-Congolaise, les espèces de l'élément-base guinéo-congolais et les phanérophytes prédominent dans tous les groupements. Ce qui indique que le milieu est peu perturbé et que la végétation est en équilibre avec les facteurs mésologiques tels que le climat et le sol (14). Cette reconstitution de la végétation naturelle a été rendue possible grâce aux efforts de respect des objectifs d'aménagement et de protection de la forêt classée basés sur la gestion participative (10).

Par ailleurs, le noyau central de la forêt classée de la Lama constitue un important refuge d'espèces menacées sous plusieurs statuts de menace (en danger, en danger critique d'extinction, vulnérable) et figurant pour la plupart sur la liste rouge du Bénin (22). En effet, cette forêt abrite plus d'une dizaine de ces espèces qui sont des réserves génétiques pour la zone phytogéographique du Bas-Bénin (14).

### Conclusion

La présente étude a permis de mettre en évidence et de caractériser les changements opérés dans le paysage de la Forêt Classée de la Lama de 2000 à 2015, grâce à la cartographie et à la matrice de transition complétée par le calcul d'indices de structure spatiale. Les résultats obtenus confirment que le paysage de la Lama est en pleine densification du couvert végétale où la forêt dense semi-décidue occupe une place centrale effective de 2000 à 2015. Les principales transformations spatiales dominant le paysage sont l'agrégation des taches de forêts denses semi-décidues, la création de taches de plantations forestières, la suppression des forêts secondaires, cultures agroforestières et cultures et jachères. Ces transformations sont principalement dues à la régénération du couvert forestier, preuve de l'effort fourni dans la gestion durable des ressources naturelles et dans la satisfaction des besoins des populations qui pourront tirer des produits forestiers des avantages non moins importants sans pour autant détruire les sources de biodiversité. La biodiversité animale et végétale se trouve donc protégée dans ce milieu d'étude. Cette situation doit interpellier les décideurs quant au maintien durable des acquis de conservation obtenus.

### Remerciements

Les auteurs remercient le «Partenariat rénové pour la recherche au service du développement de la Côte d'Ivoire» (PRESED-CI) à travers le Projet «Dynamiques paysagères en période de crises politico-militaires en Côte d'Ivoire: influences sur la gestion et la disponibilité des terres agricoles et la sécurité alimentaire» (D2PCPCI) pour avoir financé la réalisation de la présente étude.

## Références bibliographiques

1. Adjahoun E.J., Adjakidje V., Ahyi M.R.A., Ake Assi L., Akoegninou A., d'Almeda J., Apovo F., Boukef K., Chadare M., Cusset G., Dramane K., Eyme J., Gassita J.-N., Gbaguidi N., Goudote E., Guinko S., Hounngnon P., Issa Lo., Keita A., Kiniffo H.V., Kone-Bamba D., Musampa-Nseyya A., Saadou M., Sogodandji Th., de Souza S., Tchabi A., Zinsou Dossa C. & Zohoun Th., 1989, Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République populaire du Bénin, ACCT, Paris, France, 896 p.
2. Adomou A.C., 2005, *Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: implications for biogeography and conservation*. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, ISBN: 90-8504-308-5, 53-68.
3. Armenteras D., Gast F. & Villareal H., 2003, Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia, *Biol. Conserv.*, **113**, 245-256.
4. August P., Iverson L. & Nugranad J., 2002, *Human Conversion of Terrestrial Habitats*. In: *Applying landscape ecology in biological conservation*. (Eds. Gutzwiller, K. J.), Springer, Verlag, New York, 198-224.
5. Baglo M. & Guèdègbé, B., 1995, *Environnement naturel et socio-économique de la forêt classée de la Lama (Bénin)*, Document de travail N°12, UNESCO (Programme de Coopération Sud-Sud, Paris, France), 28 p.
6. Barima Y.S.S., Egnankou M.W., N'doumé C.T.A., Kouamé F.N. & Bogaert J., 2010, Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'Est de la Côte d'Ivoire, *Télétection*, **9**, 2, 129-138.
7. Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-Van Eysenrode D., 2004, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation, *Environ. Manage.*, **33**, 1, 62-73.
8. Bongers F.J.M. & Blokland E., 2004, *Forêts secondaires: stades de succession écologique et multiples chemins*. In: FAO/ UICN atelier régional sur la gestion des forêts tropicales secondaires en Afrique francophone: réalité et perspectives, FAO, Rome, 19-33.
9. Bothmer K.H., Moumouni A.M. & Patinvoh P., 1986, *Plan Directeur de la forêt Classée de la Lama*. Projet de Développement de l'économie forestière et production du bois. DEFC/ONAB. Cotonou, Bénin, 73 p.
10. CBD (Convention sur la Diversité Biologique), 2010, *Stratégie et Plan d'Action pour la Biodiversité 2011-2020*, Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles, Bénin, 116 p.
11. DAT (Direction de l'Aménagement du Territoire), 2000, *Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification*, Bénin, 77 p.
12. Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M. & Bogaert J., 2011, Effets combinés des 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.
13. Djego J.G., 2005, *Phytosociologie de la végétation de sous-bois et impact écologique des plantations forestières sur la diversité floristique au sud et au centre du Bénin*, Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 362 p.
14. Djego J., Sinsin B., 2007, *Structure et composition floristique de la forêt classée de la Lama*, in: *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest? Conservation de la biodiversité et développement*, Anne Fournier, Brice Sinsin et Guy Apollinaire Mensah (Eds.), IRD Editions, Paris, 353-368.
15. F.A.O., 2005, *Global forest resources assessment. Progress towards sustainable forest management*, FAO Forestry Paper 147. FAO, Rome, Italy. 319 p.
16. Fassnacht K.S., Cohen W.B. & Spies T.A., 2006, Key issues in making and using satellite-based maps in ecology: A primer, *For. Ecol. Manage.*, **222**, 167-181.
17. Gomez-Pompa A., Vasquez-Yanes C. & Guevara S., 1972, The tropical rain forest: A nonrenewable resource, *Sci.*, **177**, 762-765.
18. Khorram S., Biging G.S., Chrisman N. R., Colby D. R., Congalton R. G., Dobson J. E., Ferguson R. L., Goodchild M. F., Jensen J. R. & Mace T. H., 1999, *Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection*, Bethesda (MD), the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA, 65 p.
19. Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E., 2003, Dynamics of land-use and land-cover change in the tropical regions, *Ann. Rev. Environ. Res.*, **28**, 205-241.
20. Mama A., 2014, Déforestation, savanisation et développement agricole des paysages de savanes forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin, *Bois For. Trop.*, **322**, 4, 1-11.
21. Mama A. Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *Tropicultura*, **31**, 1, 82-92.
22. Neuenschwander P., Sinsin B. & Goergen G., 2001, *Protection de la nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin*. International Institut of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 365 p.
23. 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, *Télétection*, **5**, 307-323
24. Noumi N. V., Zapfack L. & Sonke B., 2011, Ecological behaviour and biogeography of endemic species of the genus *Piper* L. in Africa: A case of the Guineo-Congolese region, *Afr. J. Plant Sci.*, **5**, 248-263.
25. ONAB (Office National du Bois), 2011, *Plan directeur d'aménagement et de gestion du noyau central de la forêt classée de la Lama, Bénin*, 90 p.
26. OSAN (Département de l'Agriculture et de l'Agro-industrie), 2008, *projet d'aménagement des massifs forestiers d'Agoua, des monts Kouffè et de Wari-marô (pamf)*, rapport d'achèvement de projet, République du Bénin, 54 p.
27. Paradis G., Hounngnon P., 1977, La végétation de l'aire classée de la Lama dans la mosaïque de forêt- savane du Sud-Bénin (ex Sud-Dahomey). Bull. Mus. natn. Hist.nat., Paris, 3<sup>e</sup> sér. n° 503, nov.-déc. 1977, *Botanique*, **34**, 168-198.

28. Pham T.T.H., Bonn F., Dubois J.-M., 2007, Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcelé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale: application à une région littorale au Viêt-Nam, *Téledétection*, **7**, 5, 302-323.
29. Poilecot P., Boulanodji É., Taloua N., Djimet B., Ngui T., Singa J., 2006, Parc national de Zakouma: structure des peuplements ligneux dans des savanes exploitées par les éléphants, Montpellier, CIRAD, département Emtv TA 30/F.
30. Raunkiaer, 1934, The life forms of plants and statistical plant geography, Clarendon Press, Oxford, 632 p.
31. RGPH (Recensement Général de la Population et de l'Habitation), 2013, Indicateurs et projections. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE), Bénin.
32. Salzmann U., Hoelzmann P., 2005, The Dahomey Gap: an abrupt climatically induced rain forest fragmentation in West Africa during the late Holocene, *The Holocene*, **15**, 2, 190-199.
33. Schlaepfer R., 2002, Analyse de la dynamique du paysage, Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 11 p.
34. Toyi M.S., Barima Y.S.S., Mama A., André M., Bastin J.-F., De Cannière C., Sinsin B., Bogaert J., Tree Plantation Will Not Compensate Natural Woody Vegetation Cover Loss in the Atlantic Department of Southern Benin, 2013, *Tropicultura*, **31**, 1, 62-70.
35. Trepanier I., Dubois J.M.M., Bonn F., 2002, Suivi de l'évolution du trait de côte à partir d'image HRV (XS) de SPOT: delta du fleuve Rouge, Viêt-Nam, *Int. J. Remote Sensing*, **23**, 5, 917-937.
36. Viennot M., 1966, Etude des sols de la dépression de la Lama et de ses bordures. Toffo –Sehoue – Agrimey, ORSTOM, Paris, 71 p.
37. Volkoff B., Willaime, P, 1976, Notice explicative n° 66. Carte pédologique de reconnaissance de la République populaire du Bénin à 1/200 000, feuille de Porto-Novo (1). ORSTOM, Paris 39 p.
38. Worou L., Téblékou K., Ayihouéno 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.
39. Worou N., Sinsin B., 2007, L'écotourisme en zone forestière: Cas de la forêt classée de la Lama (Bénin) in: Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest? Conservation de la biodiversité et développement, Anne Fournier, Brice Sinsin et Guy Apollinaire Mensah (Eds.), IRD Editions, Paris, 1-13.

M.S.S. Toyi, Béninoise, PhD, Enseignant-chercheur, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin.

F. Eda, Béninoise, MSc, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Y S.S. Barima, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

I. Bamba, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

B. Sinsin, Béninois, PhD, Enseignant-chercheur, Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin.