

# Impact des villages et du réseau routier sur la structure spatiale de la forêt classée de Koulbi (Sud-Ouest du Burkina Faso)

---

SANON Zézouma<sup>1,2,\*</sup>, HIEN Mipro<sup>2</sup>, TANKOANO Boalidia<sup>2</sup>,  
KARLSON Martin<sup>3</sup>, SOMDA Irenée<sup>2</sup>

## Résumé

Les transformations spatio-temporelles affectent la structure du paysage et redéfinissent constamment sa composition et son organisation. Cette étude vise à caractériser et quantifier la structure spatiale et l'action de l'homme sur la forêt classée de Koulbi. Les cartes d'occupation du sol de 1986, 1998 et 2014 ont servi pour calculer les métriques du paysage que sont le nombre de taches ; la surface de la classe ; la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin et l'indice de juxtaposition. La distance moyenne entre les villages et les taches de forêt claire et de savane arborée a été calculée. L'impact des routes a été évalué dans un buffer le long des routes. Les logiciels Fragstat et ArcGis 10.2 ont été utilisés. Les résultats montrent que la forêt claire a subi une fragmentation entre 1986 et 1998 et une déléition entre 1998 et 2014. Cela s'est traduit par un isolement progressif des taches de forêt claire les unes des autres. La distance moyenne entre la forêt claire et les villages s'est accrue de 1501,17 m et sa superficie le long des routes a fortement diminué. La structure spatiale de la forêt affectée par l'homme, menace la conservation durable de la diversité biologique.

**Mots-clés :** métriques du paysage, forêt claire, fragmentation, dégradation, pression anthropique.

## Impacts of villages and road network on the spatial structure of Koulbi classified forest (South-West, Burkina Faso)

### Abstract

Spatio-temporal transformations affect the structure of the landscape and constantly redefine its composition and organization. This study aims to characterize and quantify the spatial structure and human action on the Koulbi classified forest. The 1986, 1998 and 2014 land use maps were used to calculate landscape metrics such as the number of spots; the class area; the average Euclidean distance to the nearest neighbour; and the juxtaposition index. The average distance between the villages and the woodland and savannah patches was calculated. The impact of the roads was assessed in a buffer along the roads. Fragstat and ArcGis 10.2 softwares were used. The results show that woodland was fragmented between 1986 and 1998 and deleted between 1998 and 2014. This has resulted in a gradual isolation of the woodland patches from each other. The average distance between the woodland and villages has increased by 1501.17 m and its area along the roads has decreased significantly. The spatial structure of the forest affected by human threatens the sustainable conservation of biological diversity.

**Keywords:** landscape metrics, woodland, fragmentation, degradation, anthropogenic pressure.

---

<sup>1</sup> Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles/Département Environnement et Forêts (INERA/DEF) .03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso zezoumasanon@yahoo.fr

<sup>2</sup> Université Nazi Boni, Institut du Développement Rural (IDR), Département des Eaux et Forêts. 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso. miphien@gmail.com, btankus67@yahoo.fr, ireneesomda@yahoo.fr

<sup>3</sup> Linköping University, Department of Thematic Studies/Environmental Change, SWEDEN. martin.karlson@liu.se

\* Auteur correspondant : zezoumasanon@yahoo.fr

## Introduction

Les paysages naturels sont en dynamique perpétuelle dans le temps et l'espace du fait des actions combinées de l'Homme et du climat. Cette dynamique gouverne plusieurs processus écologiques qui caractérisent la structure spatiale du paysage. En effet, chaque système écologique est caractérisé par une interdépendance de trois éléments du paysage que sont la configuration, la composition et le fonctionnement, qui sont essentiels pour le maintien du système (BOGAERT et MAHAMANE, 2005). La composition du paysage est l'ensemble formé par les taches, les corridors et la matrice du paysage. La configuration quant à elle désigne le mode d'arrangement des différents éléments dans le paysage (BOGAERT *et al.*, 2004). Ces deux termes souvent regroupées sous l'appellation « structure spatiale du paysage », donnent à chaque paysage un caractère unique. Elle est susceptible d'influencer ou de modifier le comportement des espèces, des populations et des communautés (FARINA, 1998 ; HADDAD *et al.*, 2015 ; COLLINS *et al.*, 2017). En Afrique de l'ouest en général et au Burkina Faso en particulier, la forte dynamique de l'occupation du sol avec une tendance à la dégradation des écosystèmes naturels (DIMOBE *et al.*, 2015 ; TANKOANO *et al.*, 2016 ; CILSS, 2016) affecte la structure spatiale du paysage ainsi que les échanges entre les systèmes. Dans la forêt classée de Koulbi et ses périphéries, l'augmentation de la densité de la population (INSD, 2017), la création des agglomérations ainsi que les réseaux routiers qui les relient seraient des facteurs importants de dégradations du couvert végétal (BAMBA, 2010). A ces facteurs s'ajoutent la péjoration climatique et les feux de brousse qui peuvent jouer un rôle d'accélérateur de dégradations des sols et la végétation. Assurer une gestion durable de cette forêt nécessite donc que les processus majeurs de transformations spatiales en cours ainsi que les facteurs responsables soient identifiés et quantifiés.

Pour rendre compte des processus écologiques en cours et les moteurs de dégradation du couvert végétal, les métriques du paysage, calculées à partir des cartes d'occupations du sol sont plus que nécessaires, car elles révèlent des informations précises sur la qualité, la localisation, la proportion et la juxtaposition des différents éléments qui composent le paysage. Développés par MCGARIGAL et MARKS (1995), ces indices ou métriques sont largement utilisés dans l'analyse des processus écologiques (BOGAERT *et al.*, 2004 ; MAMA *et al.*, 2013 ; TOKO, 2014 ; SADDI *et al.*, 2016 ; BOGAERT *et al.*, 2018) et dans le suivi de l'urbanisation des villes (LONG et LEVEILLER, 2016) aux fins de rendre compte de l'hétérogénéité du paysage.

L'objectif de cette étude vise à caractériser et quantifier les processus de transformation en cours dans la forêt classée de Koulbi ainsi que les facteurs moteurs de cette transformation. Ces résultats pourraient contribuer à la prise de décisions pour une gestion durable de cette forêt classée, qui du fait de sa situation géographique, abriterait une importante biodiversité. Il y a donc urgence à :

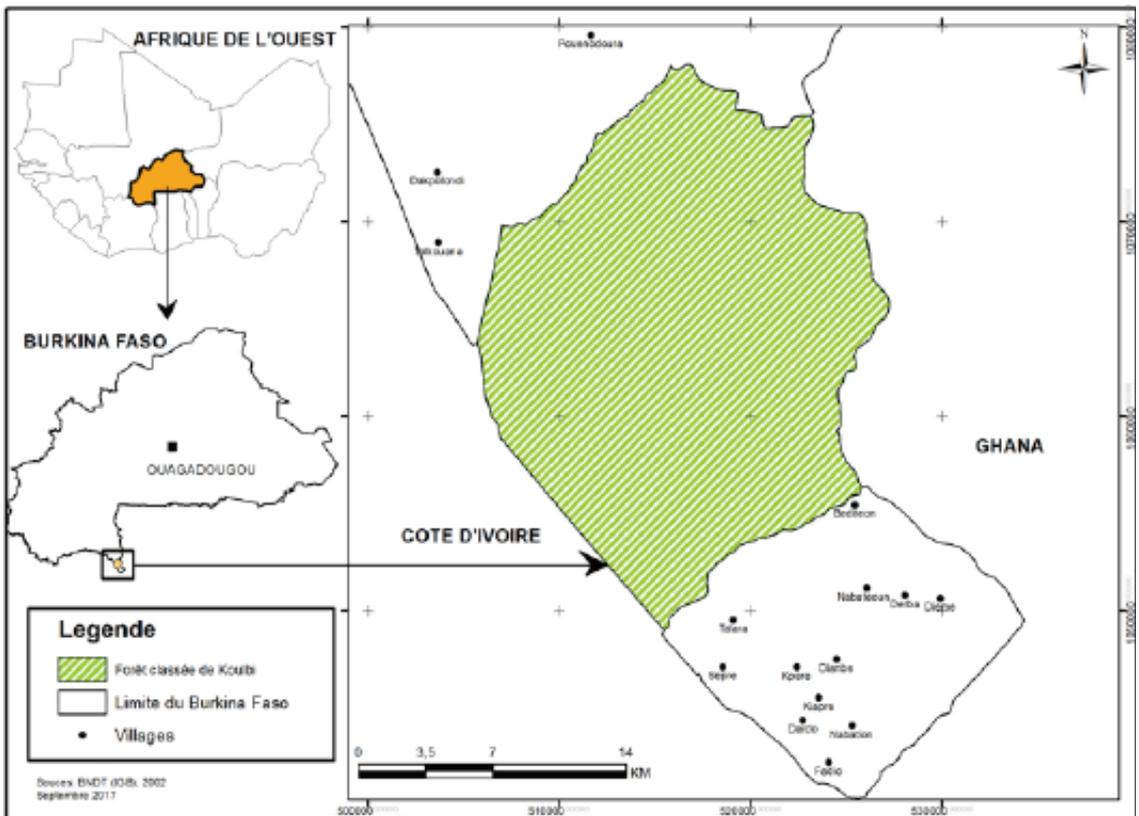
- quantifier la structure paysagère des forêts claires et des savanes arborées ;
- évaluer l'impact de l'homme sur la dynamique spatio-temporelle des forêts claires et des savanes arborées.

## I. Méthodologie

### 1.1. Site d'étude

La forêt classée de Koulbi (FCK) est située à l'extrême sud du Burkina Faso, entre les latitudes 9°29' et 9°45'Nord et les longitudes 2°42' et 2°58'Ouest, sur une superficie de 40 000 ha (figure 1).

Elle appartient au domaine phytogéographique soudanien (WHITE, 1986 ; FONTES et GUINKO, 1995). Le climat est tropical sec caractérisé par une saison des pluies et une saison sèche (BOUBA-CAR, 2012). La pluviométrie et la température moyennes sur la période de 1971 à 2014 sont respectivement de  $1057 \pm 149$  mm et de  $27,4 \pm 0,4^{\circ}$  C (Direction Générale de la Météo). Le fleuve Mouhoun constitue le principal cours d'eau. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux, brunifiés eutrophes et ferralitiques. La végétation est dominée par les savanes (boisées, arborées et arbustives) auxquelles s'ajoutent les forêts galeries, les forêts claires (FONTES et GUINKO, 1995 ; SANON *et al.*, 2015). La population de la province du Nounbiel était estimée à 94 691 habitants en 2016 (INSD, 2017). Elle vit de l'agriculture extensive basée sur la production d'igname et la céréaliculture.



**Figure 1 :** Situation géographique de la zone d'étude

## 1.2. Collecte de données

Les données cartographiques de l'occupation de la forêt classée de Koulbi de 1986, 1998 et 2014 ont été utilisées. Ces cartes ont été générées à partir du traitement des images Landsat et chaque carte d'occupation du sol comptait six (6) unités d'occupation du sol que sont : la forêt galerie, la forêt claire, la savane arborée, la savane arbustive, les champs et les cours d'eau. Les villages riverains ainsi que les routes qui traversent la forêt classée ont été recensés sur la base des données cartographiques de BNDT (2012).

## 1.3. Analyse du processus de dégradation

### 1.3.1. Procédure de transformation des données

Les cartes d'occupation du sol de 1986, 1998 et 2014 en format vecteur (polygones) ont été transformées en format raster (images) avec une résolution du pixel de 30 m. Les formats images ont ensuite été transformés en format ASCII qui est exploitable par le logiciel Fragstat ; logiciel de calcul des métriques du paysage.

### 1.3.2. Choix des métriques

Les métriques du paysage sont des indices qui sont exploitées pour renseigner sur les processus en cours dans un paysage. Plusieurs indices permettent de se prononcer sur la situation d'une tache, d'une classe ou d'un paysage (MCGARIGAL et MARKS 1995). Leur utilisation va grandissant avec les possibilités qu'offre la télédétection dans l'analyse de l'occupation du sol. Il existe une multitude de métriques, plus ou moins corrélées les unes aux autres. Ainsi sur une quarantaine de métriques (MCGARIGAL et MARKS 1995), seulement une dizaine est couramment utilisée. Toutefois, le choix de l'une ou l'autre de ces métriques doit être fonction de l'objectif de l'étude. Dans cette étude six (06) métriques ont été retenues pour analyser les processus de transformations spatiales de forêt claire et de savane arborée dans la forêt classée de Koulbi. Il s'agit :

- du nombre de fragments ou *Number of Patches* (NP). Cette métrique renseigne sur le nombre de tache à l'échelle d'une classe ou à l'échelle d'un paysage ;
- de la surface occupée par une classe ou *Class area* (CA). Elle mesure la surface occupée par chaque classe d'occupation du sol au sein du paysage ;
- de l'indice du plus large fragment ou *Largest Patch Index* (LPI). Le LPI permet de quantifier la part relative qu'occupe la plus grande tache par rapport à l'ensemble du paysage étudié. Sa valeur varie entre  $0 < LPI \leq 100$  ;
- de l'indice de forme paysagère ou *Landscape Shape Index* (LSI). Il est calculé pour rendre compte de l'agrégation des éléments ; il est supérieur à 1 et plus il augmente, plus le paysage est fragmenté ;
- de la distance euclidienne moyenne au plus proche voisin ou *Mean Euclidean Nearest Neighbor distance* (ENN-MN). La distance euclidienne au plus proche voisin est la mesure de l'isolation de taches. Cette la distance du plus proche voisin est définie en utilisant la géométrie euclidienne simple comme la distance linéaire la plus courte entre la tache et son voisin le plus proche de la même classe ;
- de l'indice de juxtaposition ou *Interspersion/Juxtaposition Index* (IJI). Il mesure l'adjacence entre les types taches différents. Le IJI permet d'évaluer la contiguïté d'une tache donnée avec les autres taches. Sa valeur varie entre 0 et 100. Elle est proche de zéro (0), lorsqu'une tache (ou une classe) n'est voisine que d'un autre type tache (un seul type de voisin), et IJI est supérieur ou proche de cent (100) lorsque une tache ou une classe est voisine avec tous les autres types taches ou classes présents dans la mosaïque.

### 1.3.3. Analyse de la fragmentation

La fragmentation d'une classe d'occupation du sol désigne un processus caractérisé par une diminution de la surface totale de cette classe, par son éclatement en fragments, ou plus simple-

ment par une rupture de continuité (BUREL et BAUDRY, 2003). Ce processus augmente la surface de contact de la classe avec d'autres milieux. Ce qui constitue une menace majeure pour le maintien de la biodiversité. Pour rendre compte de la fragmentation dans la forêt classée de Koulbi, les valeurs des métriques (NP et CA) et l'arbre de décision de BOGAERT *et al.* (2004) ont été utilisés. Lorsqu'on a une augmentation du nombre de tache (NP) et une diminution de l'aire totale (CA), pour savoir le processus qui est en cours, il faut faire le rapport  $CA_1/CA_0 = j_{\text{observé}}$ . Où  $CA_1$  est la superficie au temps «  $t_1$  » et  $CA_0$  est la superficie au temps «  $t_0$  ». Le seuil théorique prédéfini de  $j = 0,5$  a été adopté (BARIMA, 2009). Ainsi, lorsque le  $j_{\text{observé}} < 0,5$  le processus en cours est une fragmentation. Lorsque le  $j_{\text{observé}} > 0,5$ , le processus en cours est une dissection de blocs homogènes de la classe.

#### **1.3.4. Distance moyenne entre les taches et les villages.**

Les données liées aux villages riverains ont été obtenus à partir de la BNDT (2012). L'impact des villages sur la FCK, a été évalué en prenant 70 villages et hameaux de cultures situés dans une zone tampon créée de 5 km. Il s'est agi de tous les villages situés dans un rayon de 5 km autour de la FCK à l'exception de ceux du Ghana, dont l'influence sur la forêt est faible du fait de la présence d'une barrière naturelle qu'est le fleuve Mouhoun.

Des cartes d'occupation du sol de 1986, 1998 et 2014 les classes forêts claires et savanes arborées ont été extraites. Un seuil supérieur ou égal à 5 ha a été fixé comme étant les taches pouvant être retenues pour cette analyse. Le but de fixer le seuil était d'écartier l'influence des petites taches pouvant contribuer à biaiser la distance moyenne. Les données d'occupation du sol pour les deux classes et les points de coordonnées des villages ont été superposées dans ArcGIS pour le calcul de la distance moyenne en utilisant la commande du plus proche voisin.

#### **1.3.5. Impact des routes sur les forêts claires et les savanes arborées.**

Le réseau routier de la forêt classée de Koulbi est bâti autour de la route nationale n° 11 reliant la ville de Batié à la commune de Kpéré. L'approche a consisté à créer une zone tampon de 250 m de part et d'autre de ces voies, soit une largeur de 500 m. Cette zone tampon a été superposée sur les différentes cartes d'occupation du sol de la FCK. A l'aide de l'outil clip sous ArcGIS, la superficie couverte par la zone tampon a été coupée et les superficies des forêts claires et des savanes arborées ont été calculées suivant les différentes dates. L'évolution de leurs superficies dans cette zone tampon renseigne sur l'impact des routes sur ces formations.

## **II. Résultats**

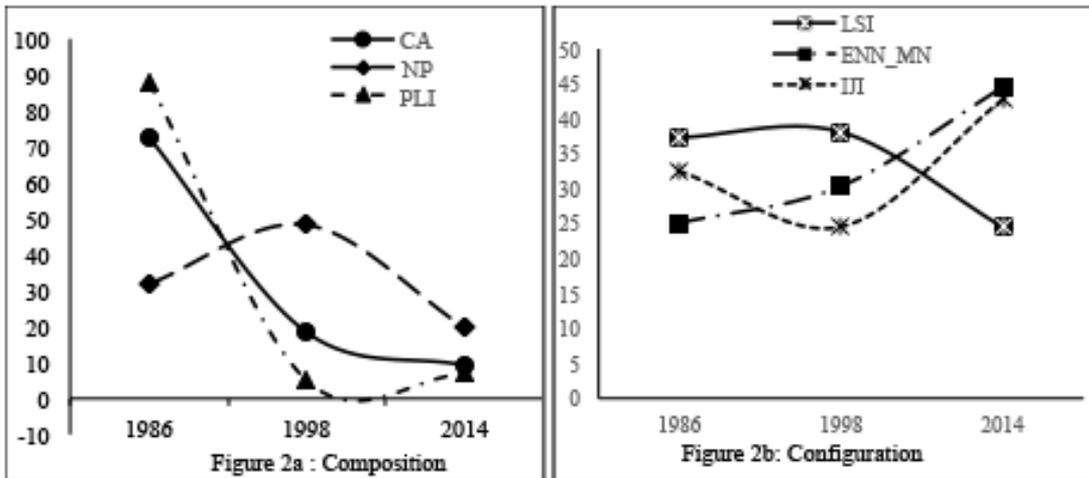
### **2.1. Dynamique de la structure spatiale de la forêt claire**

L'analyse de la composition spatiale de la forêt claire a été faite en utilisant trois métriques du paysage que sont le nombre de taches (NP), l'aire de la classe d'occupation (CA) et l'Indice du plus large fragment de la classe (PLI). Ces métriques ont connu des évolutions notables entre 1986 et 2014 (tableau I). La période 1986-1998 est marquée par une augmentation du nombre de taches passant de 612 à 921 taches et une réduction de la superficie de la classe passant de 8910,9 ha à 2 267,37 ha (figure 2a). Le rapport  $CA_{1998}/CA_{1986}$  (soit  $2\,267,37/8\,910,9 = 0,25$ ) montre que la période est marquée par une fragmentation des blocs homogènes (tableau II). La période 1998 - 2014 est caractérisée par une réduction de NP (921 à 376 taches) et une réduction de CA

de 2 267,37 ha à 1 136,43 ha (figure 2a). Cette situation traduit une attrition des taches, qui est une disparition des taches sous l'effet de la dégradation. Quant à l'indice du plus grand fragment (PLI), il a été en constante réduction montrant ainsi une forte réduction de la superficie de la plus grande tache de forêts claires avec le temps (figure 2a).

**Tableau I :** Synthèse des valeurs de métriques du paysage utilisées

Types de formations	Structure Spatiales	Métriques	1986	1998	2014
Forêts claires	Composition	CA	8910,90	2267,37	1136,43
		NP	612	921	376
		LPI	7,86	0,45	0,61
	Configuration	LSI	32,96	33,60	21,60
		ENN_MN	147,49	178,54	261,90
		IJI	67,82	50,90	88,84
Savanes arborées	Composition	CA	18276,75	23124,87	15911,37
		NP	676	600	889
		LPI	25,30	55,88	27,53
	Configuration	LSI	44,14	44,79	35,35
		ENN_MN	105,12	101,01	138,26
		IJI	98,49	74,21	51,29



**Figure 2 :** Évolution des métriques de composition et de configuration de la classe « forêt claire » de 1986 à 2014.

La configuration rend compte de l'organisation spatiale des taches dans le paysage. La dispersion des fragments de forêts claires dans le paysage est décrite en analysant la distance moyenne séparant deux fragments voisins. Les résultats montrent une augmentation (114,42 m) sur les 28 ans que couvre la période de l'étude (tableau I). L'évolution de la distance moyenne était faible (31,05 m) entre 1986 et 1998 avant d'augmenter (de 83,36 m) entre 1998 et 2014 (figure 2b). L'augmentation continue de la distance moyenne inter-fragments traduit un éloignement des fragments de la même classe d'occupation du sol les uns des autres.

L'Indice d'interspersion et de Juxtaposition (IJI) a évolué en dents de scie entre 1986 (67,81 %), 1998 (50,99 %) et 2014 (88,84 %) avec une tendance à l'augmentation (figure 2b). Ces résultats montrent que les taches de la classe « forêt claire » étaient moins en contact avec les taches des autres classes d'occupation du sol en 1986 et 1998. Par contre, en 2014, les taches de forêt claire sont contiguës ou en contact avec presque les taches de toutes les autres classes d'occupation du sol.

## 2.2. Dynamique de la structure spatiale de la savane arborée

La dynamique de la savane arborée a été marquée entre 1986 et 1998 par une faible réduction du nombre de taches (de 676 à 600 taches) et une augmentation de la superficie de 18 276,75 ha à 23 124,87 ha (tableau I). Soit un gain de 4 848,12 ha. Cette période est alors marquée par l'élargissement des taches. Par contre la période 1998-2014, a enregistré une augmentation du NP (600 à 889 taches) consécutive à une diminution de la CA (23 124,87 ha à 15 911,37 ha), soit une perte de 7 213 5 ha (figure 3a). Le rapport  $CA_{2014}/CA_{1998} = 15\,911,37/23\,124,87 = 0,69$ . En termes de processus de transformation spatiale cela traduit une dissection des taches (tableau II). La Proportion de la plus grande tache (LPI) de savanes arborées a évolué en dent de scie, affectée dans un premier temps par le processus d'élargissement et ensuite par celui de la dissection des taches de savanes arborées.

**Tableau II** : Synthèse des processus de transformation spatiale observé après application de la typologie de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (2004)

Occupation du sol	1986-1998	1998-2014
Forêts claires	Fragmentation	Attrition
Savanes arborées	Elargissement	Dissection
Autres formations	Création	Agrégation

La configuration spatiale des taches de la classe « Savane arborée » se traduit par faible réduction (-4,11m) de la ENN\_MN entre 1986 et 1998, suivie d'une augmentation de cette distance (37,25 m) entre 1988 et 2014 (tableau I). La tendance sur la période d'étude étant à une augmentation (figure 3b) de la distance moyenne entre les taches de la même classe qui est passée de 105,11 m à 138,26 ; soit une augmentation de 33, 15 m. L'indice de Juxtaposition (IJI) était de 98,49 % en 1986. Ce qui montre que les taches de savanes arborées étaient agencées de sorte qu'elles étaient en contact avec des taches issues de plusieurs autres classes d'occupation du sol. Par contre en 2014, IJI est de 51 %, montre que peu de classes d'occupation du sol sont en contact avec les taches de savanes arborées (figure 3b).

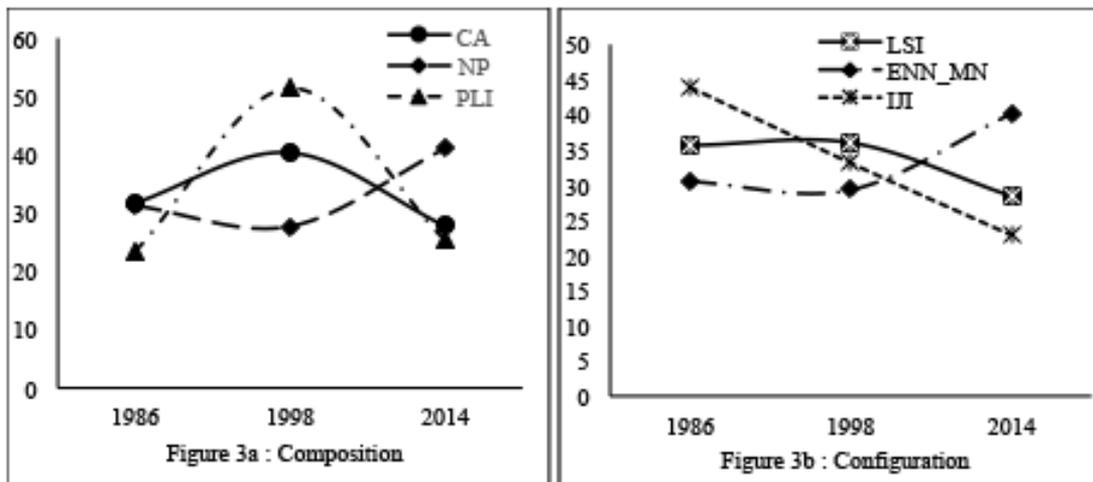


Figure 3 : Évolution des métriques de composition et de configuration des Savanes arborées de 1986 à 2014.

## 2.3. Analyse des facteurs de dégradations de la forêt claire et de la savane arborée

### 2.3.1. Impact des villages

La forêt classée de Koulibi est entourée de plusieurs villages. Dans un « *buffer* » de 5 km autour de la forêt non compris la partie Ghanéenne, 70 villages et hameaux de cultures ont été recensés. Les résultats montrent que la distance moyenne entre un village et une tache de forêt claire ou une tache de savane arborée ayant au moins 5 ha augmente au fil des années.

Le village le plus proche de la forêt claire était à 40,16 m, 20,34 m et 153,55 m respectivement en 1986, 1998 et 2014. Alors que le village le plus éloigné était à 6 648,35 m, 6 036,56 m et 9 231,16 m sur la même période de l'étude. La distance moyenne entre une tache de forêt claire et les villages était de  $1\,640,32 \pm 218,91$  m,  $2\,243,11 \pm 198,56$  m et  $3\,142,09 \pm 264,70$  m respectivement en 1986, 1998 et 2014 (tableau III). Cette distance s'est accrue de 602,79 m entre 1986 et 1998 et de 898,98 m entre 1998 et 2014. Sur la durée de l'étude, la distance moyenne entre la forêt claire et les villages s'est accrue de 1 501,77 m.

Tableau III : Evaluation de la distance entre villages et taches de forêt claire et de savane arborée

Années	Types de végétation	Dis_mine(m)	Dis_max(m)	Dis_moyenne (m)
1986	Forêt claire	40,16	6 648,35	$1\,640,32 \pm 218,91$
1998		20,34	6 036,56	$2\,243,11 \pm 198,56$
2014		153,55	9 231,16	$3\,142,09 \pm 264,70$
1986	Savane Arborée	0,00	4 457,95	$857,28 \pm 161,19$
1998		5,65	4 458,10	$866,17 \pm 160,84$
2014		10,58	4 504,32	$1\,067,06 \pm 160,92$

La distance moyenne entre les taches de savanes arborées et les villages était de  $857,28 \pm 161,19$  m,  $866,17 \pm 160,84$  m et  $1\,067,06 \pm 160,92$  m respectivement entre 1986, 1998 et 2014. Soit un accroissement de 8,89 m entre 1986 et 1998 et de 200,89 m entre 1998 et 2014. Sur la période de l'étude, la savane arborée s'est éloignée des concessions de 209,78 m (tableau III). En 1986 le village le plus proche de la savane était à 0,00 m. par contre en 2014 cette distance est de 10,58 m. Quant à la distance entre la savane arborée et le village le plus éloigné, elle a peu évolué au cours de la période.

Ces résultats montrent que la forêt claire et la savane arborée tendent à éloigner des villages et hameaux de cultures.

### 2.3.2. Impact des routes sur la dégradation de la forêt claire et de la savane arborée

Les routes reliant les différents villages et traversant la forêt classée de Koulbi ont un effet négatif sur la forêt claire et la savane arborée. Dans un « *buffer* » de 500 m, l'aire totale, l'aire moyenne de la tache, l'aire de la plus grande tache et le nombre de taches de deux classes d'occupation du sol ont été calculés. Les résultats montrent que la superficie totale de la forêt claire le long des voies de communication a connu une forte réduction passant de 1 306,87 ha à 236,57 ha entre 1986 et 2014. Sur la même période et pour la même classe, on a enregistré une réduction du nombre de taches passant de 97 à 59 taches. La superficie de la tache la plus grande a été réduite de 522,55 ha en 1986, à 60,38 ha en 2014. Quant à l'aire moyenne de la tache de forêts claires, elle est passée de 13,47 ha en 1986 à 4,01 ha en 2014 (tableau IV).

**Tableau IV :** Impacts des routes sur forêts claires et les savanes arborées.

Années	Types de végétation	Aire totale (ha)	Aire moyenne (ha)	SD	Plus grande tache (ha)	Nombre taches
1986	Forêts claires	1306,87	13,47	54,50	522,55	97
1998		398,75	5,70	9,16	64,24	70
2014		236,57	4,01	7,79	60,38	59
1986	Savanes Arborées	3879,02	28,95	102,58	856,49	134
1998		4018,10	30,91	270,28	3083,24	130
2014		2472,18	13,97	78,86	1034,61	177

La savane arborée le long des voies de communication a enregistré une augmentation de la superficie totale (3 879,09 ha à 4 018,10 ha) et de la superficie de la plus grande tache (856,49 ha à 3 083,2 ha) entre 1986 et 1998. Par contre, la surface moyenne de la tache (28,95 ha et 30,91 ha) et le nombre de taches (134 et 130) ont peu varié sur la même période. La période de 1998 à 2014 est marquée par une augmentation du nombre de taches (134 à 177 taches) et une réduction de la superficie totale de la classe (4 018,10 ha à 2 472,18 ha), de la superficie moyenne de la tache (30,91 ha à 13,97 ha), de la surface de la plus grande tache (3 083,24 ha à 1 034,61 ha) (tableau IV).

### III. Discussion

#### 3.1. Composition et configuration de la structure du paysage

Les écosystèmes sont en perpétuelle transformation sous l'effet des facteurs anthropiques, climatiques et/ou la combinaison des deux. Ces facteurs contribuent à redéfinir la composition et l'organisation spatiale des différents éléments du paysage forestier. Dans la forêt classée de Koulbi, la transformation spatiale est caractérisée par une forte régression de la forêt claire et de la savane arborée sur la période de l'étude au profit de la savane arbustive et les champs. Ces résultats corroborent ceux de TOKO *et al.* (2012), de AVAKOUDJO *et al.* (2014), de MAMA *et al.*, (2014) et N'GUESSAN *et al.* (2019), qui ont montré qu'en Afrique de l'Ouest la fragmentation des différents faciès forestiers se fait au profit des formations mixtes savaniques et/ou des champs.

La forêt claire a été soumise à deux processus de transformations spatiales ; la fragmentation des taches entre 1986 et 1998 et la déléation ou suppression des taches entre 1998 et 2014. Ces transformations spatiales se manifestent par une augmentation du nombre de taches consécutive à une diminution de la superficie de la classe d'occupation du sol dans un premier temps et dans un second temps, par la réduction du nombre de taches et de la superficie de la classe comme décrites par BOGAERT *et al.* (2004), BARIMA *et al.* (2009). La réduction constante de la valeur moyenne de l'indice du plus grand fragment de forêt claire et l'augmentation de la distance euclidienne moyenne entre les taches de forêts claires confirment le morcèlement et l'isolement des fragments de forêts claires. Leur éloignement, les uns des autres, pourrait contribuer à créer « l'effet île écologique » pour certaines espèces, du fait de l'absence de connexion avec les autres taches de la même classe d'occupation. De plus, l'augmentation de l'indice de juxtaposition tendant vers 100 % suggère que les taches de forêts claires sont en contact avec presque toutes les autres classes d'occupation du sol. Les fragments ainsi isolés dans la matrice subissent les facteurs environnementaux des autres éléments du paysage. Leurs microclimats se modifient par la réduction de l'humidité du sol et l'augmentation de l'éclairage (HEITHECKER et HALPERN, 2007 ; LAURANCE et CURRAN, 2008 ; TEIXEIRA *et al.*, 2009) ; des modifications qui ralentissent ou stoppent certains processus écologiques intrinsèques à la forêt claire (COLLINS *et al.*, 2017). La fragmentation et les pertes d'habitats de forêts claires constituent une menace sérieuse pour la conservation de la biodiversité de ces écosystèmes (HADDAD *et al.*, 2015).

Les processus de transformations spéciales au niveau de la savane arborée sont marqués dans un premier temps (1986-1998) par l'élargissement de la superficie des taches de cette classe d'occupation du sol. Cet état de faits est conforté par l'augmentation de la valeur moyenne de la tache la plus grande et la réduction de la distance moyenne euclidienne entre les taches de savanes arborées. La fragmentation des taches de la forêt claire a entraîné une interconnexion entre les taches de la savane arborée réduisant la distance moyenne entre les taches de savane arborée et a entraîné l'augmentation de la superficie de la plus grande tache de savane arborée. Ce qui confirme que la dégradation de la forêt claire favorise la savanisation du paysage (MUNYEMBA-KANKUMBI, 2010 ; KABULU, 2011 ; TOKO *et al.*, 2012 ; BOGAERT *et al.*, 2018). La période 1998-2014 est marquée par la dissection de taches de savane arborée. Cela montre que le processus de dégradation qui a affecté la forêt claire a fini par atteindre la savane arborée. Dans un contexte de pression anthropique, la dégradation du couvert végétal tend à se diriger prioritairement sur les formations forestières les plus évoluées qui sont entre autres la forêt dense,

la forêt secondaire ou la forêt claire (BOGAERT *et al.*, 2008 ; BAMBBA, 2010 ; TOKO, 2014 ; N'GUESSAN *et al.*, 2019). Ainsi, l'augmentation de la population à l'entour de la forêt classée de Koulbi et ses corolaires (la coupe de bois, l'agriculture itinérante, l'arboriculture, le pâturage, l'orpailage etc.) ont conduit à l'épuisement de la forêt claire et réduit fortement la superficie de savane arborée au profit de la savane arbustive et des champs.

### 3.2. Facteurs anthropiques de dégradation

La zone d'étude connaît une augmentation considérable de la population due à la migration agricole (OUEDROAGO *et al.*, 2010) et au retour des burkinabè suite à la crise Ivoirienne de 2002 (COURTIN *et al.*, 2010). Cette augmentation a affecté les ressources naturelles que sont la forêt claire et la savane arborée dont les superficies décroissent à mesure que la population de la zone augmente, comme rapporté par SCHNEIBEL *et al.* (2016) ; LOBORA *et al.* (2017). La distance moyenne entre une tache de forêt claire et le village est passée de 1,64 km à 3,142 km et celle entre le village et la tache de savane arborée de 0,85 km à 1,06 km sur la période de l'étude. Ce qui traduit un éloignement des taches de forêt claire et de savane arborée des concessions au fil du temps. L'Homme du fait de ses activités, crée plusieurs auréoles plus ou moins concentriques autour des villages pour la production agricole, pour l'exploitation du bois etc. Ceux-ci entraînent une expansion du front agricole et celle de la zone d'occurrence de l'homme au détriment des formations naturelles (BAMBBA, 2010). Dans la forêt classée de Koulbi, le recul de forêts claires et savanes arborées des concessions a été exacerbé par l'intrusion de producteurs d'ignames et l'installation frauduleuse des hameaux de cultures comme le révèlent les résultats d'enquête. Ces formations végétales seraient particulièrement recherchées par les occupants clandestins (SANON *et al.*, 2015) certainement du fait de la fertilité de ces terres.

L'influence du réseau routier à l'intérieur de la forêt classée de Koulbi se traduit par la diminution de la superficie de forêts claires et de savanes arborées à proximité des routes. La proximité des routes et des habitats facilite ainsi l'accès à la forêt pour l'exploitation des ressources ligneuses ; elle accroît également les risques de départ d'incendie (HASAN, 2019). L'établissement des champs près des routes facilite l'évacuation des produits de la récolte. Toutefois pour les producteurs d'ignames cela permet aux acheteurs « bords champs » d'enlever leurs marchandises plus facilement. Ainsi en plus de leurs ouvertures, qui contribuent à la fragmentation des écosystèmes, les routes favorisent l'installation clandestine et l'ouverture des champs dans les formations forestières (LAURANCE *et al.*, 2001 ; BAMBBA 2010) et facilitent l'intrusion des orpailleurs dont l'emprise est de plus en plus préjudiciable au couvert végétal.

## Conclusion

Cette étude visait à caractériser les différentes transformations spatiales qu'ont subies la forêt claire et la savane arborée à l'intérieur de la forêt classée de Koulbi d'une part et d'autre à évaluer l'impact des facteurs anthropiques (routes, villages etc.) sur la forêt claire et la savane arborée. Les métriques du paysage calculées montrent que la forêt claire a été soumise à deux processus de transformations spatiales que sont la fragmentation des taches et la déléition des taches respectivement entre 1986-1998 et 1998-2014. Quant aux taches de savane arborée, elles ont été soumises, sur les mêmes périodes respectivement, à un élargissement puis à une dissection. La présence des hameaux de cultures et des villages ainsi que les voies de communication qui

traversent la forêt classée de Koulbi constituent des menaces majeures pour la protection de la forêt claire et de la savane arborée. Le long des routes est marqué par une forte réduction du nombre de taches de forêt claire ainsi que de leurs superficies. Ces formations s'éloignent continuellement des villages et des voies de communication. La combinaison de ses facteurs accélère les processus de dégradation des formations naturelles dans la forêt classée de Koulbi.

## Références bibliographiques

- AVAKOUDJO J., MAMA A., TOKO I., KINDOMIHOU V. et SINSIN B., 2014.** Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (6) : 2608-2625.
- BAMBA I., YEDMEL M. S. et BOGAERT J., 2010.** Effets des routes et des villes sur les forêts denses dans la province orientale de la République Démocratique du Congo. *European Journal of Scientific Research*, 3(43): 417-429.
- BAMBA I., 2010.** Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgique. 183 p.
- BARIMA S. S., 2009.** Dynamique, fragmentation et diversité végétale des paysages forestiers en milieu de transition forêt-savane dans le Département de Tanda (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgique.
- BARIMA Y. S. S., BARBIER N., BAMBA I., TRAORE D., LEJOLY J. et BOGAERT J., 2009.** Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois & Forêts des tropiques*, 299 (1) :15-25.
- BOGAERT J., CEULEMANS R. et EYSENRODE D. S-V., 2004.** Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape Transformation. *Environmental Management*, 1(33) : 62-73.
- BOGAERT J., COLINET G. et MAHY G., 2018.** Anthropisation des paysages katangais. Gembloux, Belgique : Presses Universitaires de Liège – Agronomie-Gembloux, 311p.
- BOGAERT J. et MAHAMANE A., 2005.** Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, 7(1) : 39-68.
- BOUBACAR I., 2012.** Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakambé. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France. 237 p.
- BUREL F. et BAUDRY J., 2003.** Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris, France : Tec & Doc. 359p.
- CILSS., 2016.** Les Paysages de l'Afrique de l'Ouest : Une Fenêtre sur un Monde en Pleine Évolution. EROS Data Center, University of Arizona, U.S.A.I.D./West Africa, 219 p.
- COLLINS C. D., BANKS-LEITE C., BRUDVIG L. A., FOSTER B. L., COOK W. M., DAMSCHEN E. I. et ANDRADE A., 2017.** Fragmentation affects plant community composition over time. *Ecography*, 1(40) : 119-130.
- COURTIN F., FOURNET F. et SOLANO P., 2010.** «La crise ivoirienne et les migrants Burkinabè». L'effet boomerang d'une migration internationale. De Boeck Université. *Afrique Contemporaine*, 4 (236) : 11-27.
- DIMOBE K., OUEDRAOGO A., SOMA S., GOETZE D., POREMBSKI S. et THIOMBIANO A., 2015.** Identification of driving factors of land degradation and deforestation in the Wildlife Reserve of Bontioli (Burkina Faso, West Africa). *Global Ecology and Conservation*, (4): 559-571.
- FONTES J. et GUINKO S., 1995.** Carte de la végétation naturelle et de l'occupation du sol du Burkina Faso / ICIV. Université de Toulouse, Université de Ouagadougou, IRBET et MET, 67 p.
- HADDAD N. M., BRUDVIG L. A., CLOBERT J., DAVIES K. F., GONZALEZ A., HOLT R.D., LOVEJOY T. E., SEXTON J. O., AUSTIN M. P., COLLINS C. D., COOK W. M., DAMSCHEN E. I., EWERS R. M., FOSTER B. L., JENKINS C. N., KING A. J., LAURANCE W. F., LEVEY D. J., MARGULES C. R., MELBOURNE B. A.,**

**NICHOLLS A. O., ORROCK J. L. SONG D-X. et TOWNSHEND J. R., 2015.** Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 2(1): 1-9.

**HASAN A., 2019.** Évaluation de la dégradation des forêts primaires par télédétection dans un espace de front pionnier consolidé d'Amazonie orientale (Paragominas). Géographie. Le Mans Université, France, 233 p.

**HEITHECKER T. D. et HALPERN C. B., 2007.** Edge-related gradients in microclimate in forest aggregates following structural retention harvests in western Washington. *Forest Ecology and Management*, 248(3) : 163-173.

**INSD, 2017.** Institut national de la statistique et de la démographie: Annuaire statistique 2016. Ministère de l'économie et des finances, Burkina Faso, 379 p.

**KABULU D. J., 2011.** Impacts des activités minières sur les écosystèmes au Katanga (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat : Université libre de Bruxelles, Belgique.

**LAURANCE F. W. et CURRAN J. T., 2008.** Impacts of wind disturbance on fragmented tropical forests: A review and synthesis. *Austral Ecology*, 33(4):399-408.

**LAURANCE W. F., COCHRANE M. A., BERGEN S., FEARNSIDE P. M., DELAMONICA P., BARBER C., D'ANGELO S. et FERNANDES T., 2001.** The Future of the Brazilian Amazon. *Science*, 291: 438-439.

**LOBORA A.L., NAHONYA C.L., MUNISHI L.K., CARO T., FOLEY C. et BEALE CM., 2017.** Modelling habitat conversion in miombo woodlands: insights from Tanzania. *Journal of Land Use Science* 12: 391-403.

**LONG N. et LEVEILLER T., 2016.** Comment les politiques d'urbanisation se traduisent-elles dans le paysage urbain : une approche par les métriques spatiales. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 2 (16) : 1-23.

**MAMA A., BAMBA I., SINSIN B., BOGAERT J. et DE CANNIÈRE C., 2014.** Déforestation, savanisation et développement agricole des paysages de savanes-forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Bois & Forêts des Tropiques*, 322 (4) : 65-75.

**MAMA A., SINSIN B., DE CANNIERE C. et BOGAERT J., 2013.** Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *Tropicultura*, 1(31) : 78-88.

**MCGARIGAL K. et MARKS BJ., 1995.** FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR

**MUNYEMBA-KANKUMBI F., 2010.** Quantification et modélisation de la dynamique paysagère dans la région de Lubumbashi : évaluation de l'impact des dépositions issues de la pyrométallurgie. Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles, Belgique.

**N'GUESSAN A. E., AKPA Y.L., YAO N'G.O. et KASSI. J.N'D., 2019.** Cartographie de la dynamique du couvert végétal de la forêt classée d'agbol Cote d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 1(31) : 88-99.

**OUEDRAOGO I., TIGABU M., SAVADOGO P., COMPAORE H., ODEN PC. et OUADBA J-M., 2010.** Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa. *Land Degradation & Development*. 5(21) : 453-462.

**SADDA A-S., DIOUF A., LAWALI S. ,OUEDRAOGO M., BOGAERT J. et MAHAMANE A., 2016.** Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride : cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger). *Tropicultura*, 2(34) :127-139.

**SANON Z., HIEN M., YAMEOGO J.T., BACHMANN Y. et SOMDA I., 2015.** Dynamique structurale des îlots de forêt claire à *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. et Perr. dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2): 847-860.

**SCHNEIBEL A., STELLMES M., RÖDER A., FINCKH M., REVERMANN R., FRANTZ D. et HILL J., 2016.** Evaluating the trade-off between food and timber resulting from the conversion of Miombo forests to agricultural land in Angola using multi-temporal Landsat data. *Science of The Total Environment* (548-549) : 390-401.

- TANKOANO B., SANON Z., HIEN M., DIBI N. H., YAMEOGO J.T. et SOMDA I., 2016.** Pression anthropique et dynamique végétale dans la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso : apport de la télédétection. *Tropicultura*, 2(34) : 193-207
- TEIXEIRA A. M. G., SOARES-FILHO B. S., FREITAS S. R. et METZGER J. P., 2009.** Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation. *Forest Ecology and Management* 4(257): 1219-1230.
- TOKO M. I., TOURE F., IMOROU I. T. et SINSIN B., 2012.** Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé, Vertigo, *revue électronique en sciences de l'environnement*, 3(12) : 2-17.
- TOKO M.I., 2014.** Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin. Thèse unique, Univ. d'Abomey-Calavi, République du Bénin, 221 p.
- WHITE F., 1986.** La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique, Unesco / AETFAT / UNSO, ORSTOM / UNESCO, 384 p.