

## **Pression anthropique et dynamique de l'occupation du sol autour du corridor n°1 du complexe écologique Pô-Nazinga-Sissili au Burkina Faso**

André Sama, Zonata Ramdé, Pingdewendé Carine Ouédraogo, Yannick Useni Sikuzani, Waselin Salomon, Jean-Marie Dipama & Jan Bogaert

**André Sama** : Doctorant, Burkina Faso, Université Joseph Ki-Zerbo, département de Géographie, LDES, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso (co-premier auteur).

**Zonata Ramdé** : Doctorant, Burkina Faso, Université Joseph Ki-Zerbo, département de Géographie, LDES, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso (co-premier auteur).

**Pingdewendé Carine Ouédraogo** : Doctorante, Burkina Faso, Université Joseph Ki-Zerbo, département de Géographie, LERMIT, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso. Université de Liège, Gembloux Agro-BioTech, Unité Biodiversité et Paysage, 2 Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique. Auteure correspondante : [ouedcarine.92@gmail.com](mailto:ouedcarine.92@gmail.com). Tel : +22671365363.

**Yannick Useni Sikuzani** : Professeur, République Démocratique du Congo, Université de Lubumbashi, Unité écologie, Restauration Ecologique et Paysage, Faculté des sciences agronomiques, 1825 Lubumbashi RDC,

**Waselin Salomon** : Doctorant, Université d'Etat d'Haïti, Haïti, Campus Henri Christophe de Limonade. 1130, Rte Nationale # 6 Limonade, Haïti. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech Unité Biodiversité et Paysage, 2 Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique.

**Jean-Marie Dipama** : Professeur titulaire, Burkina Faso, Université Joseph Ki-Zerbo, département de Géographie, LERMIT, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso.

**Jan Bogaert** : Professeur ordinaire, Belgique, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, 5030 Gembloux, Belgique.

DOI: [10.25518/2295-8010.2200](https://doi.org/10.25518/2295-8010.2200)

### **Résumé :**

Au Burkina Faso, au sein du complexe écologique Pô-Nazinga-Sissili, dénommé PONASI dans le centre-sud du pays, la croissance démographique rapide entraîne des changements de l'occupation du sol généralement non planifiés, mais fréquents. La présente étude apprécie la dynamique paysagère autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI à partir du traitement des images Landsat de 1996, 2006, 2016 et 2020, complété par les outils d'analyse de l'écologie du paysage. Les résultats révèlent qu'en 24 ans (de 1996 à 2020), les superficies des pâturages, des forêts galeries et des jachères ont régressé respectivement de 50 %, de 40 % et de 98 % à travers les processus de fragmentation et de suppression. Inversement, les champs se sont étendus dans le paysage, leur surface étant multiplié par 11, conséquence d'une création et d'une agrégation des tâches. La dynamique paysagère est ainsi matérialisée par le remplacement des pâturages, matrice du paysage jusqu'en 2006, par les champs qui ont

constitué la nouvelle matrice du paysage à partir de 2016. Par conséquent, l'anthropisation du paysage induite par le développement agricole est illustrée par le niveau de perturbation du paysage qui est passé de 0,30 à 1,83, conséquence d'une absence des mesures d'accompagnement des plans d'aménagement du territoire dans un contexte de croissance démographique rapide. Nos observations impliquent le besoin de développement d'une politique de gestion participative des ressources naturelles en tenant compte du contexte socio-économique de la zone d'étude.

**Mots-clés :** Dynamique paysagère, Processus de transformation spatiale, Télédétection, Ecologie du paysage, Anthropisation

**Abstract :**

Anthropic pressure and land use dynamics around corridor n°1 of the Pô-Nazinga-Sissili ecological complex in Burkina Faso

In Burkina Faso, within the Pô-Nazinga-Sissili ecological complex, known as PONASI in the south-central part of the country, rapid population growth and climatic variability lead to frequent, but generally unplanned, changes in land use. The present study assesses the landscape dynamics around Corridor 1 of the PONASI ecological complex based on the processing of Landsat images from 1996, 2006, 2016 and 2020, complemented by landscape ecology analysis tools. The results reveal that in 24 years (from 1996 to 2020), the areas of pasture, gallery forest and fallow land have regressed by 50 %, 40 % and 98 % respectively through fragmentation and suppression processes. Conversely, the fields have expanded in the landscape, their surface being multiplied by 11, as a consequence of the creation and aggregation of tasks. The landscape dynamics is thus materialized by the replacement of pastures, the matrix of the landscape until 2006, by the fields that constituted the new matrix of the landscape from 2016. Consequently, the anthropization of the landscape induced by agricultural development is illustrated by the level of landscape disturbance that has increased from 0.30 to 1.83, a consequence of the absence of accompanying measures of land use plans in a context of rapid population growth. Our observations imply the need to develop a participatory natural resource management policy taking into account the socio-economic context of the study area.

**Keywords :** Landscape dynamics, Spatial transformation processes, Remote sensing, Landscape ecology, Anthropization

## Introduction

Les aires protégées d'Afrique sont généralement très vulnérables, de par leur proximité aux zones d'habitation, aux impacts humains comme le braconnage, la cueillette, voire la coupe de bois (46). En Afrique de l'Ouest, l'explosion démographique des dernières décennies (2,7 % taux d'accroissement annuel entre 1995 et 2020) et les dérèglements climatiques (20) ont entraîné une conversion des zones forestières en des zones agricoles et pastorales occasionnant ainsi une fragmentation des espaces de conservation de la faune et de la flore (22, 41, 48). Il en résulte que ces espaces de conservation ont régressé de près de -1 % par an entre 1990 et 2010 selon diverses estimations. En effet, des taux de variation annuels de -1 %, -0,95 % et -1,05 % ont été notés respectivement entre 1990 et 2000, 2000 et 2005 et entre 2005 et 2010 (18). Or, la fragmentation

des zones forestières a un impact négatif sur la diversité biologique, en raison d'une part de la dégradation du milieu de vie des espèces, et d'autre part, du fait de la perte de la connectivité biologique résultant de l'isolement spatial des habitats (38, 42, 47).

Au Burkina Faso, la couverture végétale ligneuse qui représente un peu plus de la moitié du territoire total (274 200 km<sup>2</sup>) est répartie en deux grandes entités : le domaine non-classé (75 %) et le domaine classé (25 %) dont font partie les aires protégées (49). En dehors des aires protégées connectées du complexe écologique de l'Est, les autres aires protégées du pays sont isolées et constituent une entrave à la migration et à la préservation de la faune, justifiant ainsi la création du couloir forestier de migration des éléphants d'Afrique de l'Ouest ou corridor n°1 du complexe écologique Pô-Nazinga-Sissili (PONASI) en 2006 (44). Toutefois, ce complexe qui constitue le deuxième continuum de réserve forestière au Burkina Faso fait face à la pression des activités humaines dans la région du centre-sud, notamment l'élevage extensif et l'agriculture de subsistance (41).

Le Gouvernement burkinabè a entrepris des démarches pour renforcer la gestion durable et participative des aires protégées par le biais de l'Office National des Aires Protégées (44). En dépit de cela, les mesures prises dans le cadre de la conservation des aires protégées sont de moins en moins appliquées favorisant ainsi des pratiques peu compatibles avec leur gestion durable. Par conséquent, autour du corridor n°1 du complexe PONASI en particulier, la population et l'administration publique manquent de bases juridiques contextualisées pour assurer le contrôle nécessaire à la conservation des ressources naturelles. Ces ressources sont ainsi menacées par l'avancement des fronts agricoles, le surpâturage, la coupe de bois, la production du charbon de bois, la surexploitation des produits forestiers non ligneux et le braconnage (7). En l'absence d'une limite étanche entre le corridor n°1 du complexe écologique PONASI et les villages riverains, y compris du fait d'un risque persistant de saturation foncière dans les espaces villageois, les activités anthropiques menacent de s'étendre au sein dudit corridor.

Les perturbations des processus naturels de succession végétale provoquées par ces activités de survie des communautés locales entraînent des transformations dans le paysage, avec un impact négatif sur le mode et le milieu de vie de la faune (31, 47). Dans ce contexte, le suivi de la dynamique d'occupation du sol de cette zone où le sens de la direction des changements locaux est non planifié et fréquent s'avère urgent pour la préservation de ces paysages fortement soumis à des pratiques culturelles non durables.

Pour ce faire, l'application des systèmes d'informations géographiques, des outils de télédétection couplée à l'écologie du paysage permettront de cartographier et de quantifier les modifications dans l'occupation du sol afin de mieux appréhender les processus écologiques qui en découlent (29, 37, 40). Ceci est crucial pour contribuer à l'élaboration d'un plan de gestion durable des ressources naturelles dans cette partie du Burkina Faso.

La présente étude apprécie la dynamique spatio-temporelle des paysages autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI à travers la télédétection et les outils d'analyse de l'écologie du paysage. Nous vérifions l'hypothèse selon laquelle la gestion inappropriée du complexe écologique PONASI, s'accompagnant du développement des activités agricoles autour du corridor n°1 dudit complexe, entraîne une régression des taches de formations végétales naturelles ainsi qu'une multiplication de leurs fragments dans le paysage.

## **Matériels et méthodes**

### **Milieu d'étude**

Le complexe écologique PONASI se situe entre la région du centre-sud et celle du centre-ouest du Burkina Faso (figure 1). Il couvre une superficie de 3792 km<sup>2</sup> et comprend le réseau d'aires protégées contiguës du Parc National de Pô (155 000 hectares), du Ranch de gibier de Nazinga (94 000 hectares), de la forêt classée de la Sissili concédée en zone de chasse (32 700 hectares), les zones villageoises de chasse autour de Nazinga (54 300 hectares), les zones villageoises de chasse autour de la Sissili (5 700 hectares) et les corridors n°1 et n°2 (44). Par soucis de perte de la biodiversité, le gouvernement burkinabè a créé et aménagé, à travers le Projet de Partenariat pour l'Amélioration de la Gestion des Écosystèmes Naturels (PAGEN), les corridors n°1 et n°2 (Corridor n°1 : la Forêt Classée, le Ranch de Gibier de Nazinga et le Parc National Kaboré Tambi ; Corridor n°2 : entre le PNKT et le Corridor de la vallée de Red Volta River au Ghana). Ces corridors ont été établis pour permettre une migration sécurisée de la faune sauvage, après le déguerpissement des agriculteurs réinstallés dans les villages riverains, toutefois sans mesure d'accompagnement (7).

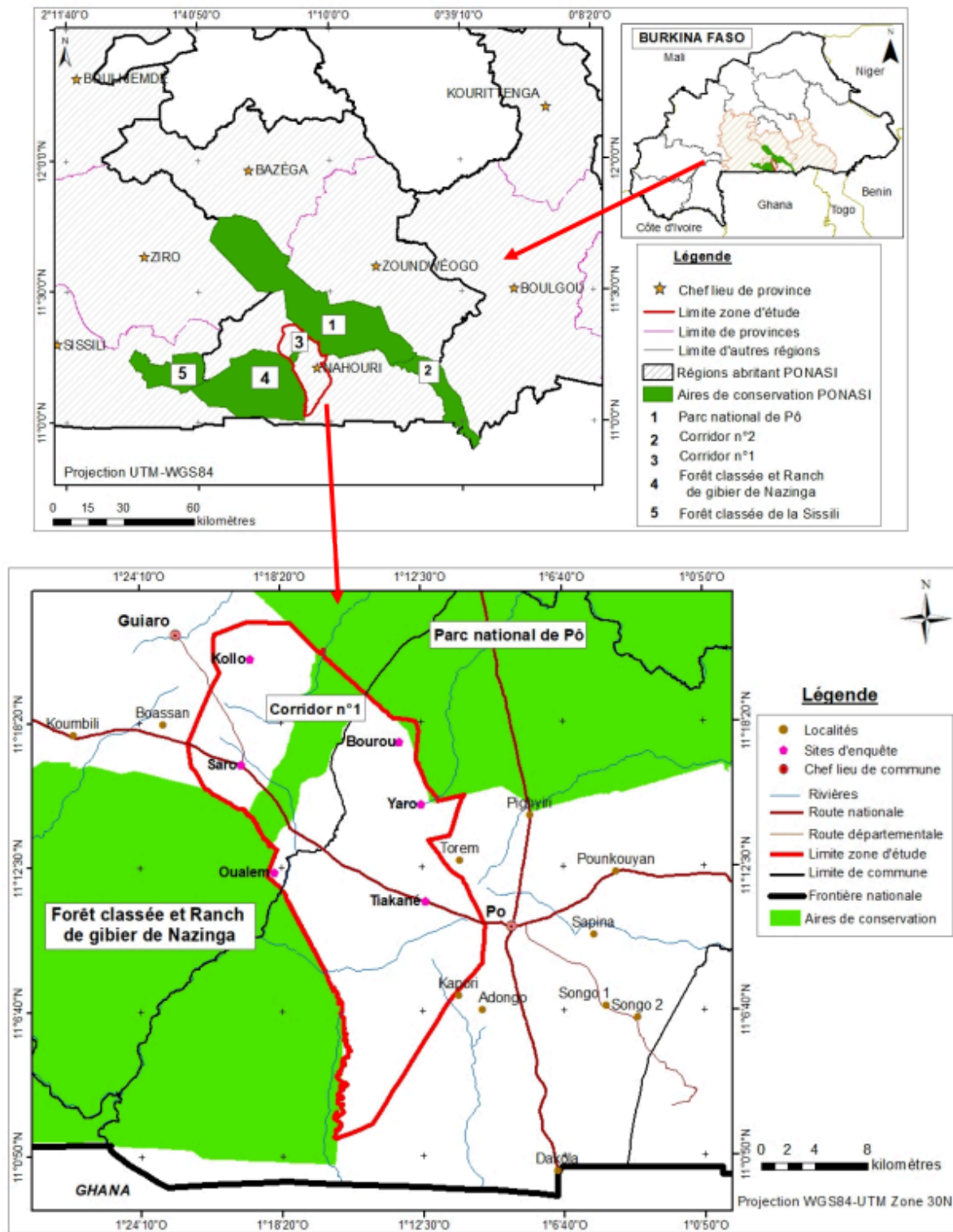


Figure 1 : Localisation du corridor n°1 au sein du complexe écologique PONASI et ses villages environnants dans les communes de Pô et de Guiaro au centre-sud du Burkina Faso.

Au sein du complexe écologique PONASI, le corridor n°1 qui fait l'objet de notre étude se situe entre 11°22'0" et 11°13'0" de latitude Nord et entre 1°14'0" et 1°20'0" de longitude Ouest et s'étend sur une superficie de 4 500 hectares (7). Il fait la jonction entre le Parc National de Pô et le Ranch de gibier de Nazinga. Ce corridor, encore appelé couloir de migration des éléphants, s'étale sur les territoires communaux de Pô et de Guiaro et est entouré par les villages de Kollo, Saro, Oualème, Bourou, Yaro et Tiakané (figure 1). Le climat de la région du complexe écologique PONASI est de type soudanien, marqué par l'alternance de la saison de pluies de mai à octobre et de la saison sèche qui va de novembre à avril (19). La pluviométrie totale annuelle y est de l'ordre de 1000 mm par an, ce qui fait de cette région l'une des plus arrosées du pays. La végétation naturelle est constituée des savanes, dont les savanes arbustives et les savanes boisées (7). La faune est constituée d'espèces de mammifères (Éléphant, Hippotragus, Phacochère, Cobe Défassa (antilopes), Cynocéphale, Patas (singe rouge) Ourébi (petite antilopes), Céphalophe, Guib harnaché), des reptiles (Crocodile du Nil), d'oiseaux (Francolin, Outarde) (7). Les données de recensement général de la population humaine indiquent une augmentation considérable, faisant passer les effectifs de 660725 habitants en 2006 à 788 341 habitants en 2019 (44). Cette évolution démographique contribue à l'accroissement des besoins en terres cultivables. L'élevage de type extensif, l'agriculture et la cueillette des produits forestiers non ligneux sont les principales activités des populations (7, 42).

## **Images satellitaires et logiciels utilisés**

Pour quantifier la dynamique de l'occupation du sol au sein du complexe écologique PONASI, deux images Landsat Thematic Mapper (du 29 Novembre 1996 et du 25 Novembre 2006) ainsi que deux images Landsat Operational Land Image et Thermal InfraRed Sensor (du 20 Novembre 2016 et du 15 novembre 2020), couvrant la zone d'étude (Path 195, Row 52), ont été retenues. Ces images Landsat, de 30m de résolution spatiale et choisies en fonction de leur disponibilité et qualité (faible couverture nuageuse), ont été acquises en saison sèche afin de minimiser l'influence des changements phénologiques de la végétation et de l'humidité du sol (45). Par ailleurs, les dates choisies couvrent l'année de la délimitation du corridor n°1 du complexe écologique PONASI réalisée par l'office nationale des aires protégées du Burkina Faso (2006), celle d'avant sa délimitation (1996) et celles d'après la délimitation (2016 et 2020), ainsi que les années de recensement général de la population et de l'habitat au Burkina Faso (1996 et 2006) par l'institut national de la statistique et de la démographie. Le logiciel ENVI 4.7 a été utilisé pour les traitements des images Landsat tandis que le logiciel Arc GIS 10.3 a servi à la cartographie. Un GPS de type Garmin 64s ( $\pm 3$  mètres de précision) a été utilisé pour la vérification des classes d'occupation du sol sur le terrain.

## **Traitement des images satellitaires**

### **Prétraitements**

Les images Landsat ont été ont été reprojetées dans le système UTM (Universal Transverse Mercator) / zone 30N, suivant l'ellipsoïde de référence WGS 84 (World Geodesic System). Par la suite, l'orthorectification des images les plus anciennes (1996 et 2006) en référence à l'image OLI 2016 a été exécutée à partir de 6 points de contrôle de terrain invariants et prise au niveau des zones de référence. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) entre les différentes scènes était inférieure à 0,5 pixels afin d'assurer l'efficacité de l'analyse des changements (34). La correction des effets atmosphériques a été réalisée par la calibration qui a l'avantage de transformer les



comptes numériques en réflectance apparente (4, 5).

## **Classification**

Une composition colorée en fausse couleur a été réalisée en combinant les bandes proche-infrarouge, rouge et vert pour offrir davantage de contrastes entre les différentes classes de l'occupation du sol pour l'ensemble des images (27). Elle a en outre permis d'identifier des sites d'entraînement correspondant aux classes de l'occupation du sol qui ont été visitées sur le terrain. Ensuite, les coordonnées géographiques des sites d'entraînement ont été collectées sur Google Earth en 2021 et au GPS sur le terrain entre le 1<sup>er</sup> et le 31 juillet 2018. La classification supervisée, appuyée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance qui permet de classer toutes les entités de l'image choisies au départ (32, 39), a été appliquée avec 163 points GPS pour l'ensemble des classes de l'occupation du sol. Cet algorithme permet de faire la correspondance entre des classes spectrales homogènes et des classes thématiques issues du terrain (30). Sur la base de l'objectif de l'étude, les classes d'occupation du sol suivantes ont été retenues : les champs (zones culturales), les jachères (inférieur à 7 ans), les pâturages (savanes arborées, arbustives et herbeuses) et les forêts galeries (végétation le long des cours d'eau). Les pâturages et les forêts galeries sont considérées comme classes naturelles tandis que les champs et les jachères sont considérés comme classes anthropiques.

Par la suite, 96 points GPS (22 points GPS pour les champs, 24 points GPS pour les forêts galeries, 8 points GPS pour les jachères et 42 points GPS pour les pâturages) collectés sur le terrain en juillet 2018 ont servi à la validation de la classification (16, 27). La précision de la classification a été estimée à l'aide du coefficient kappa et de la précision globale (5). Notons que l'indice Kappa fait l'objet de quelques critiques concernant sa validation et son estimation de la précision dans la classification de la végétation (29). Cependant, son choix dans cette étude se justifie par le fait que pour les différentes dates retenues, le nombre de pixels de sites d'entraînement de chacune des classes d'occupation de sol était similaire (34).

## **Quantification de la dynamique paysagère**

Pour quantifier l'impact humain sur la dynamique d'occupation du sol, des indices de structure spatiale ont été calculés, notamment le nombre de taches ( $n$ ), l'aire totale ( $A$ ), la dominance des taches ( $D$ ) et la dimension fractale ( $D_f$ ). Les 3 premiers indices permettent de mesurer le degré d'effritement du milieu (10, 36) et renseignent par conséquent sur la fragmentation d'une classe entre deux périodes (23). En effet, l'augmentation du nombre de taches d'une classe d'occupation du sol et/ou la diminution de sa surface peut être due à la fragmentation de cette classe (12). Quant à la dimension fractale, elle est considérée comme une mesure du degré d'anthropisation des taches dans une classe du paysage (25) à travers la quantification du degré de déformation des taches (30).

Pour décrire les dynamiques de conversion de l'aire des classes d'occupation du sol intervenues entre 1996, 2006, 2016 et 2020, trois matrices de transition ont été créées pour les périodes 1996-2006, 2006-2016 et 2016-2020 (9, 10). Les processus de transformation spatiale qui sous-tendent les dynamiques de conversions enregistrées ont été appréciés à travers l'algorithme de l'arbre de décision (8). Pour déterminer le processus de transformation, le modèle utilise des comparaisons entre le nombre de taches, l'aire et le périmètre de type de taches avant et

après la transformation (3, 8, 11). Dix processus de transformation spatiale sont définis grâce à cet algorithme, à savoir l'agrégation, la suppression, la création, la déformation, la dissection, l'agrandissement, la fragmentation, la perforation, le déplacement et le rétrécissement (8). Pour différencier la fragmentation de la dissection, le rapport  $a_1/a_0 = t_{observé}$ , a été défini,  $t$  étant le taux de perte d'aire (14). Dans cette étude, un seuil théorique prédéfini de  $t = 0,75$  a été adopté (14) pour dissocier le processus de fragmentation de celui de dissection. Ainsi, lorsque  $t_{observé} < 0,75$ , la fragmentation est mise en évidence par opposition à la dissection lorsque  $t_{observé} > 0,75$  (14).

## Résultats

### Classification et cartographie

L'évaluation de la qualité de la classification supervisée des images Landsat du corridor n°1 du complexe écologique PONASI et ses villages environnants (1996, 2006, 2016 et 2020) indique des précisions globales allant de 85 % à 99 % (Tableau 1). Ces précisions sont confirmées par le coefficient Kappa, dont les valeurs sont comprises entre 84 % et 99 % (Tableau 1), suggérant une bonne discrimination entre les classes d'occupation du sol de manière générale (29). Sur la base de l'observation visuelle, les pâturages (savanes), les forêts galeries et les jachères se caractérisent par une dynamique régressive en faveur des champs qui enregistrent une dynamique progressive, notamment à l'Est et au Nord-Ouest de la zone d'étude. Cependant, le corridor n°1 qui connaissait un empiètement par la présence des champs a vu sa végétation se régénérer légèrement, après sa délimitation en 2006 (Figure 2).

**Tableau 1 : Précision globale et valeurs du coefficient Kappa des classifications supervisées des images Landsat autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI 1996, 2006, 2016 et 2020 basées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance.**

Images	Précision globale	Coefficient Kappa
1996	0,86	0,84
2006	0,89	0,88
2016	0,98	0,98
2020	0,99	0,99



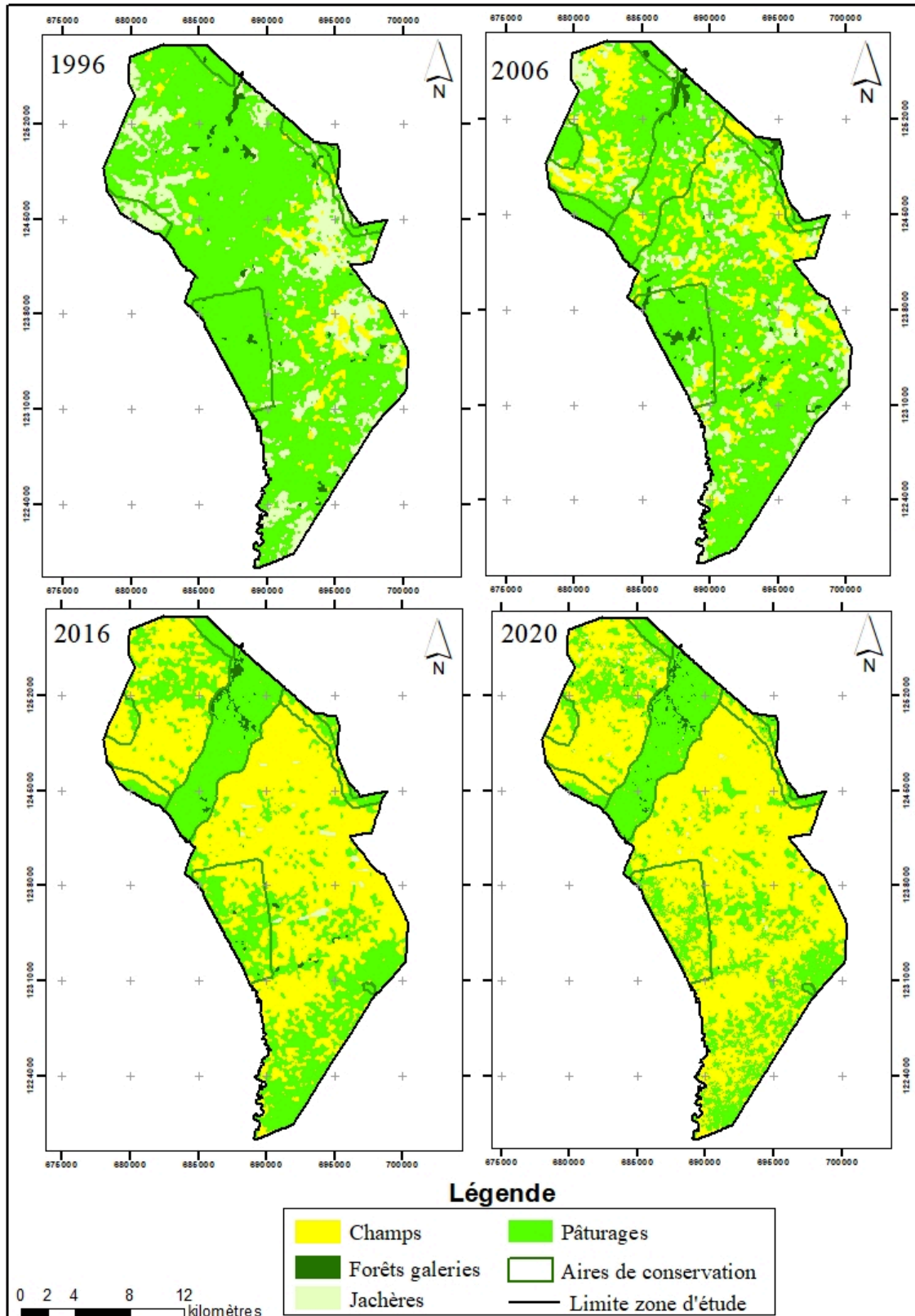


Figure 2 : Cartes de l'occupation du sol autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI au centre-sud du Burkina Faso en 1996, en 2006, en 2016 et en 2020 issues de

## **la classification supervisée des images Landsat appuyée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance.**

### **Dynamique de composition**

#### **Evolution de l'aire des classes d'occupation du sol dans le paysage**

Le tableau 2 révèle que les pâturages qui représentaient la matrice du paysage en 1996 et 2006 avec des proportions respectivement de 75,55 % et de 64,96 % ont perdu près de la moitié de leur surface en couvrant 34,56 % du paysage en 2020. Ceci suggère des taux de régression annuelle de -1,4 % et de -6,64 % respectivement entre 1996 et 2020 et entre 2006 et 2020. En revanche, les champs qui occupaient 5,51 % du paysage en 1996 ont connu un accroissement de leur couverture de 969,87 % et de 9,12 % respectivement entre 1996-2016 et 2016-2020, pour devenir ainsi la nouvelle matrice du paysage à partir de 2016 avec une proportion de 58,95 %. Par ailleurs, la superficie de la forêt galerie a d'abord augmenté de 1,22 % en 1996 à 1,74 % en 2006, pour chuter à 0,71 % en 2020. Enfin, les jachères, qui représentaient 17,72 % du paysage de l'espace d'étude en 1996, ont connu une régression spectaculaire d'autant plus que leur couverture dans le paysage a chuté à 0,40 % en 2020.

#### **Dynamique de conversion**

Entre 1996 et 2006, 51,85 % de l'aire initiale des pâturages sont restés intacts alors que 13,87 % de celle-ci ont été convertis en champs. Quant aux jachères, 3,20 % de la superficie sont restés stables entre 1996 et 2006 tandis que 4,21 % ont été convertis en champs en 2006. Il est à noter que 2,40 % des champs sont restés stables contre 2,12 % qui ont évolué vers les pâturages. Par ailleurs, 0,76 % des forêts galeries a été converti en pâturages, 0,03 % a été converti en champs contre 0,38 % qui est resté stable. De 2006 à 2016, les pâturages se sont étendus sur 3,49 % des superficies des champs et 3,61 % des jachères. Toutefois, ces proportions gagnées ont été insuffisantes pour compenser les 32,80 % de sa superficie convertis en champs durant la même période. Environ 9 % de jachères ont aussi évolué vers les champs.

Entre 2016 et 2020, avec 57,26 % de ses superficies inchangées, les champs ont été la classe la plus stable et la matrice du paysage. Une proportion d'environ 7 % des pâturages a été envahie par les champs contre seulement 0,10 % et 0,21 % des pâturages qui a été envahie par les jachères et les forêts galeries respectivement (tableau 2).

**Tableau 2 : Matrice de transition illustrant en pourcentage, la transformation des aires des classes d'occupation du sol autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI au Burkina Faso entre 1996-2006, 2006-2016 et 2016-2020 basée sur les données cartographiques obtenues à l'issue de la classification supervisée des images Landsat appuyée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance, 1 % du paysage représente 4,15 km<sup>2</sup>.**

2006					
1996	Champs	Jachères	Forêts galeries	Pâturages	Total
Champs	2,4	0,98	0	2,12	5,51
Jachères	4,21	3,2	0,1	10,22	17,72
Forêts galeries	0,03	0,04	0,38	0,76	1,22
Pâturages	13,87	8,56	1,26	51,85	75,55
Total	20,51	12,79	1,74	64,96	100
2016					
2006	Champs	Jachères	Forêts galeries	Pâturages	Total
Champs	16,85	0,15	0,01	3,49	20,51
Jachères	9,04	0,1	0,04	3,61	12,79
Forêts galeries	0,26	0	0,32	1,16	1,74
Pâturages	32,8	0,43	0,58	31,16	64,96
Total	58,95	0,68	0,95	39,42	100
2020					
2016	Champs	Jachères	Forêts galeries	Pâturages	Total
Champs	57,26	0,27	0	1,4	58,95
Jachères	0,22	0,03	0	0,43	0,68
Forêts galeries	0	0	0,49	0,45	0,95
Pâturages	6,84	0,1	0,21	32,27	39,42
Total	64,33	0,4	0,71	34,56	100

## **Anthropisation et dynamique de la structure spatiale du paysage**

Entre 1996 et 2020, les valeurs de la dominance au sein des jachères ont connu une diminution, en passant de 21,41 % à 8,76 %. Ceci suggère que la plus grande tache de cette classe a été morcelée, indiquant une influence anthropique. Il a été noté toutefois que la taille de la grande tache a augmenté pour les pâturages, la forêt galerie et les champs, respectivement de 37,74 % à 91,43 % ; de 25,97 % à 38,77 % et de 7,33 % à 62,18 % de 1996 à 2020, signe d'une émergence d'une grande tache après disparition de certaines taches initiales (tableau 3). Durant la période 1996-2020, les valeurs de la dimension fractale pour les classes pâturages et forêts galeries ont régressé respectivement de 1,37 à 1,16, de 1,8 à 1,27. Cette diminution témoigne d'une tendance vers une régularité de la forme des taches de ces classes naturelles, traduisant ainsi un impact de l'activité humaine dans la zone d'étude (tableau 3).

Les champs ont connu une augmentation de l'aire totale associée à une augmentation du nombre des taches entre 1996-2006 et 2016-2020, mais une diminution du nombre de taches sur la période de 2006-2016. Les processus de transformation spatiale observés ont été ainsi la création (1996-2006 et 2016-2020) et l'agrégation (2006-2016) des taches. Pour les forêts galeries, l'agrégation suivie de la fragmentation ont été les processus de transformation spatiale dominants. En effet, il a été noté d'abord une augmentation de l'aire totale accompagnée d'une diminution du nombre de taches entre 1996-2006 et par la suite une diminution de l'aire totale des taches consécutive à l'augmentation du nombre de taches entre 2006-2020 ( $t_{\text{observé}}=0,40 < \diamond=0,75$ ). Quant aux jachères, elles ont connu respectivement la dissection entre 1996-2006 ( $t_{\text{observé}}=0,91 > 0,75$ ) et la fragmentation des taches entre 2006-2016 ( $t_{\text{observé}}= 0,72$  et  $0,05 < 0,75$ ). En effet, il a été observé à une diminution de l'aire totale parallèlement à une augmentation du nombre des taches. Les jachères (2016-2020) et les pâturages (1996-2006 et 2016-2020) ont enregistré une régression du nombre de taches et de leur aire totale, suggérant la suppression comme processus de transformation spatiale. Par contre, la fragmentation a été le processus de transformation spatiale des pâturages entre 2006 et 2016 ( $t_{\text{observé}}= 0,61 < 0,75$ ) d'autant plus qu'il a été noté une augmentation du nombre de taches parallèlement à la régression de leur aire totale (Tableau 3).

**Tableau 3 : Indices de structures spatiales calculés entre 1996, 2006, 2016 et 2020 pour les classes d’occupation du sol. Ces indices montrent les changements de la structure du paysage autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI au Burkina Faso, selon (8). L’aire totale de la zone d’étude est de 41526,48 ha ; n= nombre de taches ; = aire totale (km<sup>2</sup>) ; D = dominance ( %) ; = dimension fractale.**

Indices	Champs	Forets galleries	Jachères	Pâturages
n 1996	131	55	168	159
1996	22,91	5,07	73,71	314,21
D 1996	7	26	21	38
1996	1,61	1,8	1,49	1,37
n 2006	253	48	254	77
2006	85,3	7,26	53,29	270,18
D 2006	8	29	6	91
2006	1,49	1,73	1,54	1,36
n 2016	169	45	25	273
2016	245,36	3,96	2,84	164,41
D 2016	70	48	20	54
2016	1,2	1,25	1,03	1,19
n 2020	867	156	36	95
2020	267,81	2,95	1,67	143,9
D 2020	62	39	9	93
2020	1,29	1,27	1	1,16

## Discussion

### Approche méthodologique

La quantification de la dégradation de la végétation intervenue autour du corridor n°1 du complexe PONASI a nécessité le traitement des images Landsat de 30 m de résolution (13). Toutefois, des images à haute résolution spatiale pourraient donner de meilleurs résultats. C’est le cas de la classification supervisée réalisée sur des images Formosat-2 de 8 m de résolution où d’excellents indices de précisions ont été obtenus (29). L’utilisation des images de même saison (novembre

1996, novembre 2006, novembre 2016 et novembre 2020) aident à diminuer éventuellement les effets saisonniers, limitant ainsi certaines erreurs dans l'analyse diachronique des images (5). Le choix de la classification supervisée pour ce traitement d'images a permis d'observer l'existence des formations végétales par leur physionomie (14, 28). Dans la présente étude, les savanes sont considérées comme des pâturages du fait de leur utilisation par les hommes comme pâture pour le bétail (29). Les jachères considérées récentes (moins de 5ans) dans cette étude, ont tout de même une physionomie semblable aux champs et sont aussi parcouru par le bétail (29). La classification des images Landsat de 1996, 2006, 2016 et 2020 à travers l'algorithme de maximum de vraisemblance, associée à la vérification terrain dont les précisions globales étaient appréciables témoignent de la qualité du traitement des images et l'importance de la connaissance de la zone d'étude (27). Ainsi, les cartes de l'occupation du sol réalisées ont montré les changements du milieu à ces différentes dates (17). Par ailleurs, la bonne précision cartographique obtenue dans notre étude malgré la confusion qu'il pourrait y avoir entre ces classes peut s'expliquer par le regroupement des formations végétales et la bonne connaissance du milieu d'étude (33). Les changements spatiaux intervenus autour du corridor n°1 du complexe PONASI ont été détectés en utilisant des indices de structure spatiale (5). Les changements révélés par ces indices viennent approuver les transformations du paysage observées dans la zone d'étude. Ces indices concernent notamment l'aire, le nombre et le périmètre de taches, qui sont considérés comme des éléments essentiels de la configuration du paysage (9, 21, 29). Ceux-ci ont été retenus dans le présent travail selon les types de changements opérés dans le paysage, la résolution spatio-temporelle des images satellitaires et la disponibilité d'indicateurs pertinents pouvant aider à la prise de décision (27). Ils permettent aussi d'évaluer l'influence anthropique sur la morphologie du paysage (26). La détermination des différents processus de transformation spatiales a été possible grâce à l'exécution simple et rapide de l'arbre de décision (8).

## **Anthropisation et dynamique paysagère autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI**

Le paysage du corridor n°1 du complexe écologique PONASI enregistre une dégradation des écosystèmes (semi) naturels, matérialisée à travers une progression des champs, notamment entre 1996 et 2020. La régression de la couverture des écosystèmes (semi) naturels au niveau du complexe PONASI est la résultante de l'accroissement du besoin en terres arables d'une population en constante croissance (3, 5, 38). En effet, la croissance démographique s'accompagne des besoins élevés en nourritures, dont la satisfaction passe par l'expansion des espaces agricoles. Cette expansion agricole est favorisée dans la zone d'étude par une bonne pluviométrie et par la présence des sols des savanes où la fertilité est en reconstitution, ce qui est bénéfique pour les principales cultures qui sont le mil, le sorgho, le maïs, le riz, le niébé, l'arachide, le sésame, le soja et le coton (7). Les études de Arouna (1), Bamba (3) et de Mama (27) confirment la fragmentation des formations naturelles, notamment les forêts au profit des activités agricoles respectivement à Djidja au centre du Bénin, au Bas-Congo dans la République Démocratique de Congo et au nord du Bénin (département d'Alibori) suite à l'explosion démographique. La régression de la couverture des jachères et des pâturages dans le paysage entre 1996 et 2020 témoigne de leur exploitation pour la mise en culture, occasionnant ainsi leur dégradation. Aussi la croissance des superficies cultivées s'accompagne d'un fort morcellement du paysage, d'un agrandissement des nombres de taches des champs et d'une régression des formations forestières. Ces résultats corroborent ceux trouvés dans d'autres régions en Afrique (5, 24, 36). Les résultats obtenus dans le bassin versant de la Kompienga à l'Est du Burkina Faso confirment cette tendance à l'anthropisation des paysages

(22). La diminution des valeurs de la dimension fractale des pâturages et des forêts galeries attestent cette tendance à l'anthropisation des paysages, en raison des intrusions humaines répétées, notamment après 2006, comme cela a été observé en territoire Agonlin au Bénin (2) et dans la réserve de Fina au Mali (15).

La régression de la superficie des pâturages, des forêts galeries et des jachères semblent être également imputables à la délimitation du corridor n°1 en 2006, mais aussi à la crise politique ivoirienne (2002-2011). En effet, cette crise a contribué fortement à l'augmentation de la population dans la zone d'étude par l'afflux des migrants tandis que la délimitation du corridor en 2006 a entraîné un déguerpissement des paysans, tous étant à la recherche de terres cultivables. Des résultats similaires où la migration des populations vers des zones propices à l'agriculture a contribué à la dégradation accélérée des écosystèmes semi-naturels ont été enregistrés dans le sud du Burkina Faso (35). Les études menées en Côte d'Ivoire (6, 23) ont également montré que les crises sociopolitiques (2002-2011) ont entraîné des changements importants dans la configuration et la structure des paysages naturels suite à l'intensification des activités anthropiques. Il est à noter que la régression de la superficie des écosystèmes semi-naturels est notamment plus marquée entre 2006 et 2020. En effet, les forêts galeries ont connu une dynamique progressive entre 1996 et 2006 en raison d'une opération de reboisement de 8000 villages menée par le gouvernement du Burkina Faso en 1994 avec *Khaya senegalensis*, *Azadirachta indica*, *Ceiba pentandra*, *Bombax costatum*, *Eucalyptus camadulensis* ou *Gmelina arborea*, pour permettre à chaque village d'avoir une « forêt » (50). Les résultats élogieux de cette campagne de reboisement ont très vite volé en éclat car entre 2006 et 2020, les forêts ont régressé dans le corridor n°1 en raison d'une forte pression anthropique. Des résultats similaires ont été obtenus dans le bassin cotonnier du Bénin (27). Pour les forêts galeries, le taux de déforestation annuel du paysage autour du corridor n°1 du complexe PONASI qui a été de -0,42 % de 1996 et 2020 contre -0,02 % entre 1996-2006, reste inférieur au taux de déforestation de 0,83 % enregistré au niveau national sur la même période en raison de différences d'échelle spatiale et de l'ampleur des activités anthropiques (43). Toutefois, après la délimitation du corridor et en raison d'un accroissement rapide de la population, le taux de déforestation a été multiplié par 21 à cause de l'exploitation des forêts pour la carbonisation, pour l'émondage et l'abattage des arbres opérés par les éleveurs (41).

En somme, sans mesure d'accompagnement des populations riveraines, la politique relative à la création du corridor n°1 en 2006 a favorisé autour de ce corridor une invasion par les zones de pâtures, une conversion des jachères en champs et l'empiètement agricole des aires de conservation. Ces aires de conservations villageoises sont envahies à plus de 50 % par les agriculteurs et les migrants, en complicité avec les propriétaires terriens. En outre, il a été noté une diminution de l'impact des activités anthropique, mais uniquement dans les limites du corridor n°1. Ceci a été démontré dans nos résultats à travers l'augmentation des valeurs de dominance des pâturages et des forêts galeries, pourtant des classes naturelles, entre 1996 et 2020. En effet, la délimitation du corridor n°1 a permis de renforcer la surveillance et la protection par les services forestiers, permettant ainsi une légère expansion des forêts galeries dans le paysage. Nos résultats suggèrent que le corridor n°1 est menacé de mise en culture au vu de l'avancement du front agricole. Il existe donc un risque de déclassement de cette aire de conservation, en l'absence d'une bonne politique d'aménagement du territoire. Cela rendra vulnérables les autres écosystèmes de PONASI, entraînera la disparition de certaines espèces végétales à régénération difficile telles que le baobab (*Adansonia digitata*), le tamarinier (*Tamarindus indica*) et le karité (*Vitellaria paradoxa*), pourtant à intérêt socio-économique pour les populations locales. De plus, la disparition de cette



aire entraînera une migration définitive de la faune vers le Ghana.

## Conclusion

La présente étude a évalué la dynamique spatio-temporelle du paysage autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI au centre-sud du Burkina Faso, grâce à la télédétection et aux outils d'analyse de l'écologie du paysage. L'évolution de l'occupation des sols a été perçue à travers la cartographie, mettant en évidence la diminution des formations naturelles au profit de celles anthropiques entre 1996 et 2020. Les indices de l'écologie du paysage quant à eux, ont permis d'apprécier quantitativement les transformations de la structure spatiale de la zone d'étude.

Il ressort des résultats obtenus qu'en 24 ans (de 1996 à 2020) autour du corridor n°1 du complexe écologique PONASI, le développement des activités agricoles a entraîné un changement dans la composition du paysage, matérialisé par la régression des pâturages, de la forêt galerie et des jachères. La création de nouvelles taches des champs suivie de leur fusion a entraîné un changement de la structure spatiale du paysage de la zone étudiée. Les jachères qui dominaient largement le paysage entre 1996 et 2006 se sont retrouvées en 2020 à l'état des fragments au sein d'une matrice agricole dont l'expansion menace l'existence du corridor n°1. Les changements observés dans le paysage résultent d'un accroissement démographique rapide, amplifié par l'afflux des migrants, couplé au besoin élevé en espace pour la survie et le logement. Il est donc urgent de développer des dispositifs opérationnels qui concourent à une gestion rationnelle et durable des terres en tenant compte des dynamiques socio-spatiales du territoire. Par conséquent, les édifications apportées par cette étude sur le corridor n°1 et ses villages environnants pourraient permettre aux décideurs politiques et aux organisations non gouvernementales d'élaborer de meilleures stratégies de préservation des ressources naturelles afin de minimiser la perte de la biodiversité dans la zone d'étude.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Académie de Recherche pour l'Enseignement Supérieur (ARES), le laboratoire LERMIT de l'Université Joseph KI-ZERBO, toute l'équipe du PRD-PONASI pour le soutien financier, technique et matériel lors des travaux de terrain. Les autorités des conseils communaux de Pô et de Guiaro ainsi que les services de l'environnement chargés de la gestion du complexe écologique PONASI sont aussi remerciés pour les facilités accordées sur les sites d'étude.

## Bibliographie

1. Arouna O., 2012. *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire*. Thèse de doctorat : Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 162 p.
2. Akpoyè D.H., Landeau R.C., Orekan V.O., 2018. Anthropisation et dynamique des paysages en pays Agonlin au Bénin, *European Scientific Journal*, **14**,36, Doi : 10.19044/esj.2018.v14n36p571 URL : <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p571>
3. Bamba I., 2010, *Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo*. Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles,

Belgique, 189 p.

4. Barge O., Saligny L., 2003, *Redressement de photos obliques, géoréférencement*. Atelier : Système d'Information à Référence Spatiale et Archéologie : Université de Tours, France, 14 p.
  5. Barima Y. S. S., Barbier N., Bamba I., Traoré D., Lejoly J. & Bogaert J., 2009, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, **299**, 15-25.
  6. 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). *Global Ecology and Conservation. Elsevier*, **8**, 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.08.009>.
  7. Bathiono Y., 2009, *Étude du potentiel faunique des corridors communautaires de biodiversité de l'écosystème naturel Po-Nazinga-Sissili (PONASI) au Burkina Faso et propositions pour leur évolution*. Mémoire de master : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 104 p.
  8. Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-Van Eysenrode D., 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environ. Manage.*, **33**, 1, 62-6.
  9. Bogaert J., Barima Y.S.S., Ji J., Jiang H., Bamba I., Iyongo W.M.L., Mama A., Nyssen E., Dahdouh-Guebas F. & Koedam N., 2011, A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape pattern. In: Hong S.K. et al. éd. *Landscape ecology in Asian cultures*, Ecological Research Monographs, DOI: 10.1007/978-4-431-87799-8\_11, Springer, Verlag, New York, pp 141-167.
  10. Burel F. & Baudry J., 2003, *Ecologie du paysage : Concepts, méthodes et applications*. Paris, Tec & Doc. **1999**, 362 p.
  11. Cabala K.S., Useni Sikuzani Y., Amisi Mwana Y., Bogaret J. & Munyemba Kankumbi F., 2018, Analyse structurale de la dynamique forestière dans la région de l'Arc Cuprifère Katangais en République Démocratique du Congo : II. Analyse complémentaire de la fragmentation forestière. *Tropicultura*, **36**, 4, 621-630.
  12. Davidson C., 1998, Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Society Bulletin*, **26**, 32-37.
  13. DeFries R., Achard F., Brown S., Herold M., Murdiyarso D., Schlamadinger B. & De Souza C., 2007, Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy*, **10**, 385-394.
  14. De Haulleville T., Rakotondrasoa O.L., Rakoto R.H., Bastin J.F., Brostaux Y., Verheggen F.J., Rajoelison G.L., Malaisse F., Poncelet M., Haubruge E., Beeckman H. & Bogaert J., 2018, Fourteen years of anthropization dynamics in the Uapaca bojeri Baill. forest of Madagascar, *Landscape and Ecological Engineering*, **14**, 1, 135-146.
  15. Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. &
-

- Bogaert J., 2011, Effets combinés du climat 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.
16. Dibi N'Dah H., Kouakou K. & N'Guessan K.E., 2007, Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, **8**, 17-34.
  17. Dipama J.M., 1997, *Les impacts du barrage hydroélectrique sur le bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso)*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux III, 392 p.
  18. FAO, 2010. *Evaluation des ressources forestières mondiales*. Rapport principal, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome 2010, 377p.
  19. Grenan P. & Joiris D., 2000, Usages de l'espace et enjeux territoriaux en forêt tropicale. In : Bahuchet S. & De Maret P. *Avenir des peuples des forêts tropicales, 2, Approche thématique*. Bruxelles : APFT, ULB, pp 107-134.
  20. Imorou I.T., Arouna O., Zakari S., Djaouga M., Thomas O. & Kinmadon G., 2019, Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189556>
  21. Inoussa T.M., Fatou T., Ismaila T., Brice S., 2012, Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé. *Vertigo*, **12**, 3, <http://journals.openedition.org/vertigo/13059>.
  22. Kaboré O., 2013, *Dynamique de l'utilisation des terres dans les écosystèmes de savane et systèmes agraires du bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso)*. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, laboratoire dynamique des espaces et sociétés, 281 p.
  23. Kabulu D. J., Bamba I., Munyemba K. F., Defourny P., Vancutsem C., Nyembwe N. S., Ngongo L. M. & Bogaert J., 2008, Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga. *Ann. Fac. Sc. Agro.*, **1**, **2**, 12-18.
  24. 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. *Int. J. Biol. Chem.*, **11**, 1, 333-349.
  25. Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G., O'Neill R.V. & Coleman P.R., 1987, Landscape pattern in a disturbed environment. *Oikos*, **48**, 321-324.
  26. Landis J.R. & Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, **33**: 159-174.
  27. 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, 78-88.
-

28. Mas J.F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Can. J. Remote Sens.*, **26**, 349-362.
  29. Masse A., Ducrot D. & Marthon P., 2012, Evaluation de la classification supervisée par les caractéristiques de classe et de classification. In : Algorithmes et technologies pour l'imagerie multispectrale, hyperspectrale et ultraspectrale XVIII, 24 mai 2012, **8390**, 863-872. DOI : <https://doi.org/10.1117/12.919163>
  30. McGarigal K. & Marks B. J., 1995, Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep, PNW-GTR-351, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1-122.
  31. Mukenza M.M., Muteya H.K., Nghonda D.N., Sambieni K.R., Malaisse F., Kaleba.S.C., Bogaert J. & Sikuzani Y.U., 2022, Uncontrolled exploitation of *Pterocarpus tinctorius* Welw. And associated landscape dynamics in the Kasenga territory: case of the rural area of Kasomeno (DR Congo), *Land*, **11**, 1541, <https://doi.org/10.3390/land11091541>.
  32. N'Guessan K.E., Dibi N'Dah H., Bellan M-F. & Blasco F., 2006, Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte-d'Ivoire : Apport de la télédétection. *Télédétection*, **5**, 307-323.
  33. Oswald J, Gond V, Dolédec S, Lavelle P. 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation de sol pour le suivi des dynamiques paysagères. *Bois For. Trop.*, **307**, 1, 7-21.
  34. Pontius R.G. & Millones M., 2011, Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *Int. J. Remote Sens.*, **32**, 4407-4429.
  35. REDD+ Burkina Faso, 2019, *Les facteurs de déforestation et de dégradation des forêts au Burkina Faso, Vol.1 : tendances actuelles*, Rapport d'étude, Secrétariat technique national, 177p.
  36. Satta A-S., Diouf A., Lawali S. Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride : cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicultura* **34**, 2, 127-139.
  37. Salomon W., Sikuzani Y. U., Kouakou A.T.M., Barima Y.S.S., Théodat J.M. et Bogaert J. 2021, Cartographie et quantification de la perte du couvert forestier dans les parcs nationaux du Sud de la République d'Haïti de 1985 à 2018 : rôle des activités agricoles locales, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**, 2, 477-496.
  38. Samaké O. & Kodio A., 2002, Système d'utilisation des ressources naturelles dans la vallée du Sourou (5è région du Mali). In: Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. & Témé B., eds. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Paris, Bamako : Colloques et Séminaires, p. 529-540. 2000/06/20-23. ISBN 2-7099-1480-8. ISSN 0767-2896.
  39. Sawadogo H., Zombré N. P., Bock L., Lacroix D., 2008, Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes. *Télédétection*, **8** (1), pp 59-73.
-

40. 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.
41. Soulama S., Kadeba A., Nacoulma B.M.I., Traoré S., Bachmann Y. & Thiombiano A., 2015, Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et des périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique, *Journal of Applied Biosciences*, **87**, 8047- 8064.
42. Tabarelli M., Lopes AV. & Peres C.A., 2008, Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early successional system. *Biotropica*, **40**, 657-661.
43. Tabutin D., Schoumaker B., 2020, La démographie de l'Afrique subsaharienne au XXIe siècle, *Population*, **2-3**, 75, 169-295.
44. Thiombiano S. P., 2015, *État des lieux de la fonctionnalité du corridor écologique Ranch de Gibier de Nazinga - Parc National Kaboré Tambi : Acquis, contraintes et perspectives*. Mémoire de fin de cycle, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 75 p.
45. Touré F., 2010, *Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006)*. Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo. Ilé-Ife, Nigéria, 69 p.
46. Triplet P., 2009, Manuel de gestion des aires protégées d'Afrique francophone. Awely, Paris, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00669157>, 1251 p.
47. Useni SY, Khoji MH, Bogaert J. 2020. Miombo woodland, an ecosystem at risk of disappearance in the Lufira Biosphere Reserve (Upper Katanga, DR Congo)? A 39-years analysis based on Landsat images. *Glob. Ecol. Conserv.*, **24**, e01333.
48. Vink A. P. A., 1983, *Landscape ecology and land use*. Longman, New York, USA, 264 p.
49. Whette J., 2009, *Systèmes énergétiques : Vulnérabilité - Adaptation - Résilience (VAR)*, Helio international, Burkina Faso, 48p.
50. Ze Z.J., 2019, *Impacts socio-économiques des reboisements dans les forêts classées sur les communautés riveraines : cas des forêts de Tissé et de Sorobouly*, Mémoire de fin de cycle, Ecole nationale des eaux et forêts de Bobo Dioulasso, 89 p.