



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Analyse spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la commune de Kirtachi au sud-ouest du Niger

Ali IDRISSE^{1*}, Amani ABDOU¹, Barmo SOUKARADJI¹, Ibrahim BIGA¹ et Ali MAHAMANE²

¹ Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN); BP: 429 Niamey, Niger.

² Université de Diffa, BP 78 Diffa, Niger.

* Auteur correspondant ; E-mail : alisto75@gmail.com

Received: 03-01-2023

Accepted: 25-04-2023

Published: 30-04-2023

RESUME

Au Niger, les écosystèmes ont connu au cours des dernières décennies, des modifications importantes dans l'occupation et l'usage des sols. Le paysage subit sans cesse des pressions occasionnées par une démographie galopante, en quête du mieux-être et un climat austère. L'analyse diachronique du paysage peut servir à montrer l'effet des actions anthropiques sur l'occupation des terres. La présente étude conduite dans la commune de Kirtachi avait pour objectif de cartographier l'occupation du sol et de quantifier son évolution de 2000 à 2020. La méthode de comparaison diachronique de classifications a été utilisée. L'approche de classification supervisée par maximum vraisemblance a été retenue, pour se faire les données multisources et multidates sont utilisées au moyen de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les résultats de cette classification ont abouti à 10 classes d'occupation du sol qui sont la brousse tigrée dégradée et régulière, le cordon ripicole, la culture pluviale et irriguée, le bâtis, le plan d'eau, les sols nus, la savane, et les formations arbustives sur affleurement rocheux. Les résultats obtenus ont montré que l'occupation du sol est en mutation. Les formations forestières (la brousse tigrée régulière, la savane), les formations arbustives sur affleurement rocheux et le plan d'eau ont subi respectivement une régression de 15,20%, 3,46%, 4,30% et 0,38%. A la même période (2000 à 2020), la brousse tigrée dégradée, les cordons ripicole, les zones de cultures (pluviale et irriguée), les sols nus, les bâtis ont augmenté respectivement par rapport à la superficie totale (111283 ha) de 1,52%, 1,00%, 13,62%, 0,59% et 6,48%. Ces mutations sont principalement dues à l'action anthropique.
© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : télédétection, occupation du sol, dynamique de la végétation, zone sahélo soudanienne, commune rural de Kirtachi.

Spatiotemporal analysis of land cover in the municipality of Kirtachi in southwestern Niger

ABSTRACT

In Niger, ecosystems have experienced significant changes in land cover and land use over the past few decades. The landscape is constantly under pressure caused by galloping demography, in search of well-being and an austere climate. The diachronic analysis of the landscape can be used to show the effect of anthropic

actions on land occupation. The present research conducted in the township of Kirtachi had as objective the mapping of the ground occupation and to quantify its evolution from 2000 to 2020. The method of diachronic comparison of classifications was used. The classification approach supervised by maximum likelihood has been retained. In order to achieve this, multisource and multirate data are used by means of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). The end results of this classification led to identification of 10 classes of land cover, including: A degraded and regular tiger bush, a riparian cordon, a rainfed and irrigated cultivation, buildings, water body, bare soils, savannah, and shrub formations on rocky outcrops. The results obtained showed that land use is changing; that is forest formations (regular tiger bush, savannah), shrub formations on rocky outcrops and the body of water suffered a regression of 15.20%, 3.46%, 4.30% and 0.38% respectively. During the same period (2000 to 2020), the degraded tiger bush, the riparian cordons, the cropping areas (rainfed and irrigated), the bare soils, the buildings increased respectively compared to the total area (111,283 ha) by 1.52%, 1.00%, 13.62%, 0.59% and 6.48%. These mutations are mainly due to anthropogenic action.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: remote sensing, land use, vegetation dynamics, Sahelo-Sudanian zone, rural commune of Kirtachi.

INTRODUCTION

L'environnement est en constante évolution. A côté des modifications d'origine naturelle, depuis le début du Moyen âge, l'influence humaine sur les écosystèmes est prépondérante. Au niveau terrestre, ces modifications cumulées sont notamment susceptibles d'influencer les communautés végétales (Vittoz et Guisan, 2007).

L'étude de l'occupation du sol est une entrée privilégiée dans l'évaluation des interactions entre l'Homme et son milieu. Ainsi, les informations issues de l'analyse de l'occupation du sol sont toujours utiles dans l'identification des stratégies appropriées pour mieux gérer l'état de l'utilisation des terres. Plusieurs méthodes ont été inventées et appliquées à cet effet, avec des niveaux d'efficacité divers (Mas, 2000 ; Lu et al., 2004).

Actuellement, les zones arides et semi-arides sont soumises à des pressions anthropiques importantes dont dépendent fortement les phénomènes, parfois irréversibles, de désertification et de dégradation des terres steppiques. Cette anthropisation du milieu est en effet reconnue dans plusieurs zones éco géographiques, comme la principale cause du changement paysager (Diallo, 2011 ; Mama et al., 2013 ; Bogaert et al., 2014 ; Mama et al., 2014 ; Adamou et al., 2015 ; Maâzou et al., 2017). Ces zones, défavorisées, nécessitent des inventaires synchroniques et diachroniques de leur

potentiel biologique qui s'appuient sur une bonne connaissance des ressources en place et des conditions éco-géographiques (Bensaid, 2007). L'importance de cette étude est de montrer d'une part, le potentiel de l'utilisation de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) pour la caractérisation de l'état de l'occupation du sol et son évolution spatio-temporelle à partir d'une série d'images satellitaires de sentinelle et de Landsat de différentes dates (2000, 2010 et 2020) et d'autre part, de mettre à la disposition des utilisateurs potentiels, des responsables, élus locaux et des décideurs les informations fiables et mises à jour sur l'état de l'environnement et les ressources naturelles de la commune rurale de Kirtachi. La gestion efficace de ce patrimoine nécessite, au préalable, la cartographie et l'inventaire des ressources disponibles caractérisant ce patrimoine. En plus de ces données statiques, il est indispensable d'assurer le suivi et la surveillance de la dynamique végétale due aux changements du couvert végétal s'opérant sous l'effet de plusieurs facteurs : dégradation du sol, surpâturage, évolution de la population, déforestation des ressources végétales, etc.

Cette forte pression exercée sur les ressources exige une planification des activités et des interventions sur le territoire basé sur une connaissance plus précise des processus de dégradation du couvert végétal. Il est donc vital de développer des stratégies de surveillance et de gestion de l'environnement et de

l'agriculture. Ces stratégies doivent reposer sur des moyens et des approches performantes en occurrence la télédétection et les systèmes d'information géographique. En effet, l'utilisation de la télédétection dans le cadre des études de l'occupation des sols est assez récurrente. Son efficacité semble indéniable pour étudier l'évolution spatiotemporelle de phénomènes naturels ou anthropiques, et la précision grandissante des images obtenues par les capteurs ne font qu'améliorer les résultats.

Ainsi, l'occupation du sol peut non seulement être observée, mais elle peut surtout être extraite grâce à différents traitements (classification) basés sur la réponse spectrale des pixels. L'objectif de cette étude est de cartographier l'occupation du sol et de quantifier son évolution de 2000 à 2020 dans la commune rurale de Kirtachi.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

La commune rurale de Kirtachi est située à 75 km de la commune urbaine de Kollo, dans le département de Kollo et la région de Tillabéri. Elle est comprise entre les latitudes 12° 20 N et 13° 50 N et longitudes 02°20 E et 2° 45 E (Figure 1). Elle couvre une superficie de 1114 km². Sa population est estimée selon la projection de 2021 à 54854 habitants soit 50,55% de femme et 49,45% d'homme (INS, 2022). Elle est limitée au nord par les communes rurales de Kouré et Fakara, au sud par le Parc régional du W Niger, à l'est par les communes rurales de Falmeye et Fabidji, à l'ouest par la commune urbaine de Say et la commune rurale de Tamou. La commune de Kirtachi est située dans la zone de transition (plateau de Kouré et rive gauche du fleuve Niger) et correspond aux espaces les plus anthropisés.

La zone soudano-sahélienne est à cheval sur la bande sahélienne typique et la partie Nord soudanienne. Les conditions pluviométriques qui sont ni bonnes ni mauvaises, se situent entre 500 et 900 mm. Elle est définie par son climat tropical aride à semi-aride dont la pluviométrie est contrôlée par la «

mousson » du golfe de Guinée et l'harmattan saharien (Hirnaux et al., 2006). La zone d'étude est soumise à un climat de type sahélo-soudanien caractérisé par une longue saison sèche et une saison des pluies. La moyenne annuelle de la pluviométrie enregistrée de 1990 à 2019, s'élève à 569,26 ± 113,97 mm et une température moyenne annuelle 46,29°C pendant une période de 23 ans.

Ce sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions, des sols gravillonnaires et sols ferrugineux peu lessivés. Les sols hydro morphes de bas-fonds, mares, et cuvettes relativement plus riches en matières fertilisantes et plus aptes à des actions d'intensification ; Les sols sableux dunaires qui représentent plus de 80% des superficies cultivées, sont pauvres en matières organiques et en colloïdes minéraux. Sur les plateaux, la végétation est constituée d'une brousse tigrée très dégradée et régulière. Les principales espèces ligneuses qu'on rencontre sont les Acacias, *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile en forte proportion et les combrétacées (*Guiera senegalensis* J.F. Gmel., *Combretum micranthum* G. Don), *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Cassia sieberiana* DC. Les herbacées sont dominées par les espèces *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr., *Eragrostis tremula* (Lam.) Hochst. ex Steud. et *Cenchrus biflorus* Roxb..

Les principales activités socioéconomiques qui procurent les moyens d'existence aux populations de la commune sont par ordre d'importance : (i) l'agriculture, (ii) l'élevage, (iii) l'exploitation forestière (bûcheronnage et produits forestiers non ligneux – PFNL), (iv) la pêche, (v) le commerce et (vi) l'artisanat. Les bases de la production sont essentiellement les ressources naturelles, notamment les terres agricoles, les forêts communautaires et classées au nom de l'Etat (réserve partielle) et les plans d'eau (PDC,2012).

L'agriculture est pratiquée sous deux (02) formes à savoir l'agriculture vivrière et l'agriculture commerciale. La pratique de la jachère est absente du système et la tendance

actuelle est la progression du front agricole vers le parc W.

L'élevage est pratiqué par toutes les catégories professionnelles (pasteurs peuls et touaregs, agriculteurs, fonctionnaires, commerçants). La pêche est surtout pratiquée au niveau du fleuve et dans certaines mares de la commune.

L'exploitation du bois au niveau des formations forestières de la commune est de plus en plus importante, la commune de Kirtachi approvisionne les grandes villes comme Niamey et Kollo en bois d'énergie.

La commune de Kirtachi est en grande partie située dans la réserve partielle de faune de Dosso et est riveraine au parc transfrontalier du W. La baisse de la pluviométrie et la pression anthropique ont entraîné une régression de la végétation ligneuse et herbacée de la commune.

La commune est confrontée à une véritable dégradation accélérée de son énorme potentiel de ressources naturelles de base, sous l'action de la mise en œuvre des techniques d'exploitation sans restitution et peu conservatrice de ces ressources. C'est ainsi qu'on assiste à une dégradation du couvert végétal suivi de celle des sols (soumis à toutes les formes d'érosion) avec notamment la formation des glacis et l'ensablement des mares, des bas-fonds, et du fleuve.

Matériel utilisé

Dans ce travail d'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol de la commune de Kirtachi, trois images satellitaires multispectrales Landsat (avec 10% de couverture nuageuse) et Sentinelle (sans couverture nuageuse), géoréférencées sont utilisées (Tableau 1). Ces images satellitaires ont toutes été acquises en saison sèche. Le choix de ces images repose sur la gratuité et la disponibilité d'une série temporelle de hautes résolutions spectrales (7 à 11 bandes) et spatiale (30 à 10 m) permettant de bien identifier les structures paysagères homogènes (Oswald et al., 2010).

Logiciels

Les différentes données ont été traitées à l'aide des logiciels ENVI 5.3 et ArcGIS 10.5. Ainsi, l'assemblage des bandes, le mosaïquage, la classification supervisée des images satellitaires, l'évaluation de la classification, la programmation de l'arborescence logique ont réalisés par le logiciel ENVI 5.3. Le découpage de la zone d'étude, la création, l'habillage et l'édition des cartes, la détection de changement entre les différentes images satellitaires ont été effectués par ArcGIS 10.5 Le logiciel de Google Earth a permis la visualisation de la terre à partir d'un mosaïquage de photographies aériennes ou satellitaires.

Traitement des données

Prétraitement des images acquises

Le prétraitement des données englobe un ensemble d'opérations nécessaires avant l'analyse principale. Ces opérations s'effectuent dans le but de rendre le lot de données de la zone d'étude lisible bien superposables. Ces traitements ont consisté en des corrections géométriques et radiométriques. Les images utilisées dans le cadre de ce travail ont été déjà géoréférencées (UTM, WGS 84), avec corrections radiométriques, la suppression des rayures dues au capteur Landsat 7 sur l'image 2005.

La zone d'étude est couverte par une scène de l'image Landsat et de deux scènes de l'image sentinelle. Aucune correction n'a été faite sur les scènes de l'image sentinelle en dehors du mosaïquage et du lissage de la dynamique des images.

La méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance a été utilisée pour les trois images.

Un rééchantillonnage des images spatiales est réalisé afin de les ramener à une même résolution spatiale. Dans notre cas, l'image Sentinelle (résolution 10 m) a été rééchantillonnée à la même résolution que celle des images TM (de 30 m). Cette étape est utilisée afin de faciliter l'interprétation visuelle des images et la détection des changements.

Compositions colorées

Après l'amélioration du contraste des images brutes, une composition en fausses couleurs est utilisée. Une composition colorée des images a été réalisée avec les bandes 4 (infrarouge), 3 (rouge) et 2 (vert) pour Landsat 7 et avec les bandes 7 (infrarouge), 5 (rouge) et 4 (vert) pour Sentinelle 2. Ces bandes, ont été affectées respectivement au rouge, au vert et au bleu (RVB)

Traitement numérique

L'objectif est d'avoir une synthèse d'informations en vue d'une bonne discrimination des unités d'occupation du sol. De plus, l'interprétation visuelle des images qui a pour rôle d'établir une relation entre le terrain et l'image a permis d'identifier des détails comme les formations forestières (brousse tigrée régulière, brousse tigrée dégradée, et cordon ripicole), les champs et jachères, les plans d'eau, les bâtis et les sols nus sur les différentes images.

Collecte de données /reconnaissance spectrale des classes d'occupation du sol

Classification

La classification de l'imagerie satellite occupe une place centrale dans de nombreuses applications de télédétection. Au sens large, elle désigne l'utilisation de techniques automatiques pour identifier différents types de surfaces comprises dans une ou plusieurs bandes spectrales, puis produire une carte thématique sans intervention ou presque de l'utilisateur (Jones et Vaughan, 2010).

Ainsi, se distinguent deux types de classification : la non supervisée (automatique) et la supervisée (par apprentissage ou règle de décision). Jusqu'à récemment, la méthode de classification par maximum de vraisemblance était la plus couramment utilisée en matière de classification supervisée des données de télédétection (Lu et Weng, 2007 ; Bhatta, 2008 ; Kumar et al., 2016). La règle de décision de cette méthode repose sur la probabilité. La signature spectrale de chaque pixel est ensuite affectée à la classe à laquelle il a le plus de

chances d'appartenir (Jensen, 1986). La classification supervisée consiste à appliquer le même traitement à Chaque pixel, indépendamment des pixels voisins. Sous le logiciel de traitement d'images ENVI 5.3 utilisé, le processus de classification a été opéré à travers la définition de la légende ou le renseignement du ROI (Regions Of Interest), la sélection des échantillons de parcelles d'entraînement, la description et le renseignement des différentes classes.

La connaissance de la zone d'étude a guidé le choix en faveur de la classification supervisée.

Post classification

Validation de la classification supervisée

La validation du résultat de classification est une étape importante du processus car elle permet de s'assurer de la performance et de la significativité des résultats obtenus. La vérification est utilisée pour valider le résultat de la classification à travers le calcul d'une matrice de confusion (Antoine, 2014). Enfin, la précision des classifications obtenues a été évaluée à travers trois indices :

- la précision globale qui caractérise la proportion de pixels bien classés, calculée en pourcentage ;
- l'indice de Kappa qui caractérise le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés (Skupinski et al., 2009). De plus, une étude portant sur l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50% et 75% (Pontius, 2000).
- la précision globale terrain qui caractérise la proportion des données classées et les données terrain. Mais pour valider cette classification, 120 points de contrôle préalablement choisis et supposés être représentatifs de chacune des classes d'occupation du sol de l'image classifiée de 2020 ont été introduits dans un GPS et vérifiés leur appartenance sur le terrain. Cette vérification a été faite lors de l'inventaire des ligneux et herbacées dans la zone d'étude. La discrimination entre ces différentes classes d'occupation du sol est statistiquement significative pour les images de 2000, 2010 et

2020. Les résultats de l'analyse de la performance donnent pour chacune des images classifiées les précisions globales de 97,62%, 92,97%, 98,20% et les coefficients Kappa de 97,16%, 91,83% et 97,82% respectivement pour les trois périodes de l'étude. La précision globale terrain est de 86,66%.

Matrice de transition

La matrice de transition décrit de manière condensée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée (Schlaepfer, 2002). Les résultats statiques issus de ce croisement a permis d'élaborer la matrice de transition qui explique clairement en lignes et en colonnes les changements qui se sont opérés au profit ou au détriment de telle ou telle classe au cours de la période considérée. Sur la diagonale, sont

exprimées les proportions des classes qui sont restées inchangées au cours du temps (Bamba et al., 2008 ; Mama et al., 2013 ; Mama et al., 2014 ; Mamadou et al., 2019). Cette matrice est obtenue dans cette étude à partir des valeurs issues de la superposition des cartes d'occupation du sol, dans le logiciel de SIG ArcGIS (grâce à l'algorithme "Intersect polygons" de l'extension Geoprocessing), et traitées dans Excel.

Dans le cadre de cette étude, nous allons générer des cartes thématiques des classes d'intérêt à partir des données numériques pour enfin détecter le changement de l'occupation du sol de la commune de Kirtachi au cours des 20 dernières années. Afin de fournir des éléments de décision pour sa gestion durable.

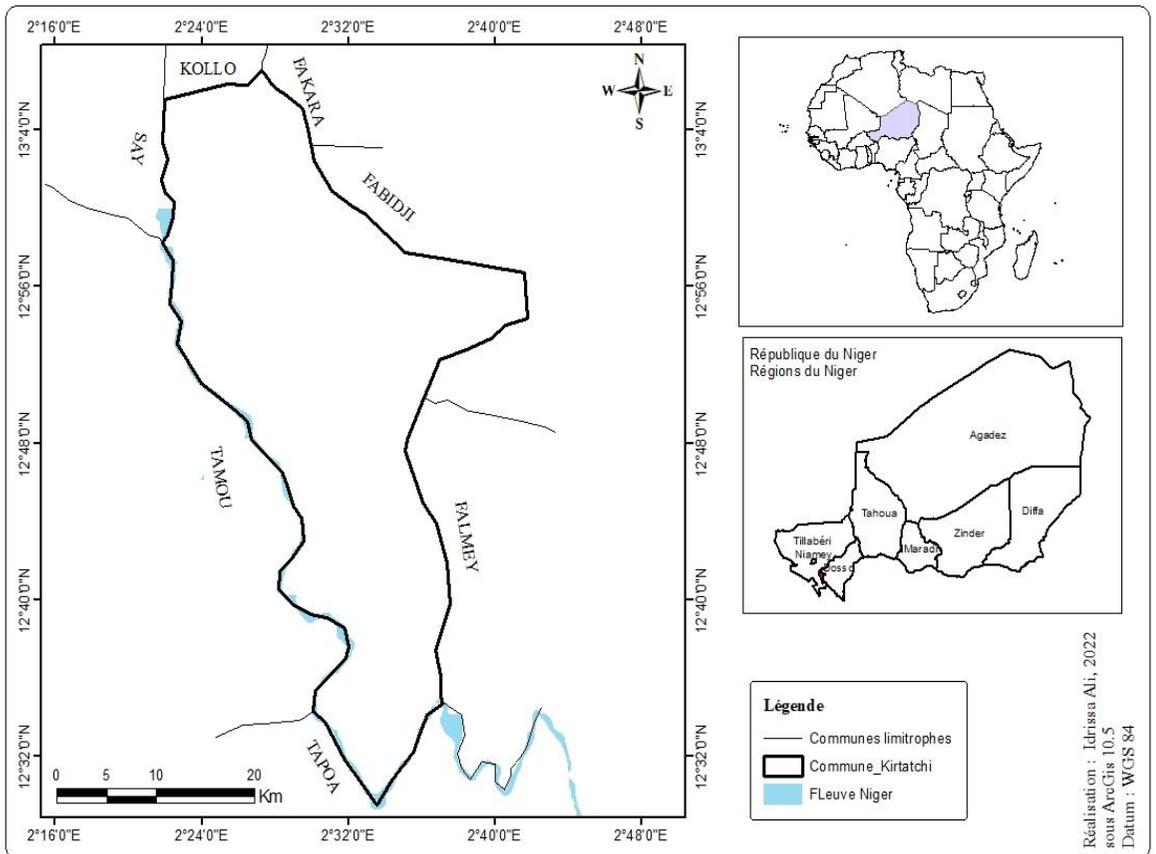


Figure 1: Situation géographique de la commune rurale de Kirtachi.

Tableau 1: Références des images Landsat et Sentinelle utilisées.

Type d'image	Scène	Référence		Date	Couverture nuageuse (%)
		Path	Raw		
Landsat 7	LE07_L1TP_192051_20000213_20200918_02_T1	192	51	13/02/2000	10
Landsat 7	LE07_L1TP_192051_20100224_20161216_01_T1	192	51	24/02/2010	10
Sentinelle 2A	T31PDP_20200119T101331		PDP	19/01/2020	0
Sentinelle 2A	T31PDQ_20200119T101331		PDQ	29/11/2020	0

RESULTATS

Etats de l'occupation des sols en 2000, 2010 et 2020

En 2000, les formations végétales constituées par la brousse tigrée dégradée, la brousse tigrée régulière, le cordon ripicole et la savane à l'issue de la cartographie de l'occupation des sols (Figure 2) représentent 45980 ha soit 41,32% de la superficie totale (dont 19,10% de brousse tigrée régulière), les sols nus, les formations arbustives sur affleurement rocheux et les zones cultures (cultures pluviales et irriguées) représentent respectivement 17601 ha (15,82%), 15049 ha (13,52%) et 29984 ha (26,94%) dont 25,70% de cultures pluviale. Les bâtis avec 90 ha soit 0,08% et les surfaces d'eau avec 2578 ha soit 2,32%.

En 2010, la classification des sols montre que les formations végétales représentent 51861 ha (46,60%), on constate une augmentation sur la brousse tigrée dégradée de 15,46% et le cordon ripicole de 0,13% et une diminution sur la brousse tigrée régulière de 9,63%. Les sols nus représentent 11,95% soit 13296 ha avec une diminution de 3,87%. Les zones de cultures couvrent une superficie de 40224 ha (36,15%) avec une augmentation de 9,20%. Les bâtis ont augmenté de 0,06% et les plans d'eau ont diminué de 0,83%.

En 2020, sur les formations végétales (carte d'occupation du sol de l'année 2020 (Figure 3)) représentent 27950 ha soit 25,12% avec une diminution de 21,48%, cette

diminution est plus importante sur la brousse tigrée régulière. Les sols nus et les zones de cultures ont respectivement 22,30% soit 24813 ha et 41,15% soit 45796 ha, ils ont connu une forte augmentation entre 2010 et 2020 de 10,35% et 5,00% respectivement. Les bâtis représentent 296 ha soit 0,27% et ont presque doublé comme en 2010 avec une variation de 0,12% et les plans d'eau qui représentent 2159 ha soit 1,94% et ont aussi augmenté de 0,45% entre 2010 et 2020.

Les valeurs de précision globale (97,62% ; 92,97% ; 98,20%) de même que celles des coefficients de Kappa (97,16% ; 91,83% ; 97,82%) obtenus respectivement pour l'image de 2000, 2010 et 2020 et la précision globale terrain est 86,66% pour l'image 2020.

Dynamique de l'occupation du sol

Les résultats issus de trois couches d'occupation des sols montrent une évolution importante des surfaces des classes : culture pluviale, cordon ripicole et bâtis entre 2000 et 2020.

La superficie de la classe brousse tigrée régulière a fortement diminué au cours de cette même période (Figure 2). Cette diminution de la brousse tigrée régulière est due majoritairement à l'action anthropique (défrichement) et la dégradation du sol au bénéfice de la brousse tigrée dégradée au cours de trois périodes considérées.

Mise en évidence des changements d'occupation du sol

Les croisements deux à deux des trois cartes d'occupation du sol (2000-2010 ; 2010-2020) sous le logiciel ArcGIS nous ont permis d'élaborer des cartes de changements d'occupation du sol (Tableau 2).

Dynamique végétale de la forêt

Les résultats issus de la classification des images cartographiques et les données statistiques obtenues ont permis de mettre en évidence l'évolution progressive de certaines classes d'occupation des terres de la commune de Kirtachi entre 2000, 2010 et 2020 (Tableaux 3 et 4).

Entre 2000 et 2010, la zone d'étude couvre 45980 ha de formation forestière (brousse tigrée, savane et cordon ripicole), soit 41,32% de l'occupation du sol. C'est ainsi que la brousse tigrée régulière a connu une dégradation entre 2000 et 2010, elle est passée de 21243 ha à 10529 ha, soit une diminution de 10715 ha. Par contre dans la même période, la brousse tigrée dégradée a connu une progression de 18916 ha à 36125 ha soit une augmentation de 17715 ha (15,46%). Les cordons ripicoles ont augmenté de 148 ha (de

738 ha en 2000 à 886 en 2010). Les zones de cultures pluviales ont connu une augmentation, elles sont passées de 28603 ha en 2000 à 37232 ha en 2010 soit une augmentation 8629 ha. Cette augmentation est opérée à la même période au niveau des cultures irriguées avec 1611 ha de plus. Les sols nus ont diminué de 17601 ha à 13296 ha soit une diminution de 4305 ha de 2000 à 2010. Les formations arbustives sur affleurement rocheux (cordon rupicole et affleurement rocheux) ont connu une diminution à la même période, elles passent de 15049 ha à 4086 ha soit une diminution de 10963 ha.

Entre 2010 et 2020, les variations au niveau des classes d'occupation du sol montrent une forte diminution de la superficie de la brousse tigrée régulière avec 5,64% soit 6275 ha de forêt. Ainsi, la brousse tigrée dégradée et les cultures irriguées ont régressé respectivement de 13,95% et 0,86%, ainsi que la savane de 4321 ha à 1237 ha avec 2,77%.

Au contraire, une forte augmentation est observée sur certaines classes. Les cordons ripicoles avec 0,87%, les formations arbustives sur affleurement rocheux avec 5,56% et sols nus avec 10,35%.

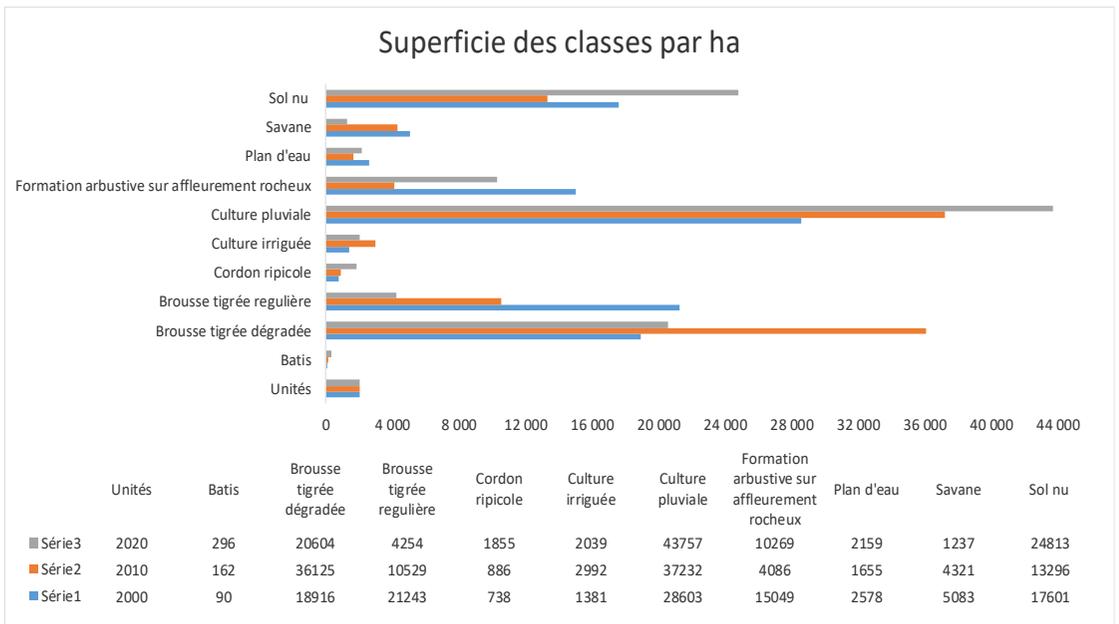


Figure 2: Evolution des surfaces d'occupation du sol au cours de trois périodes.

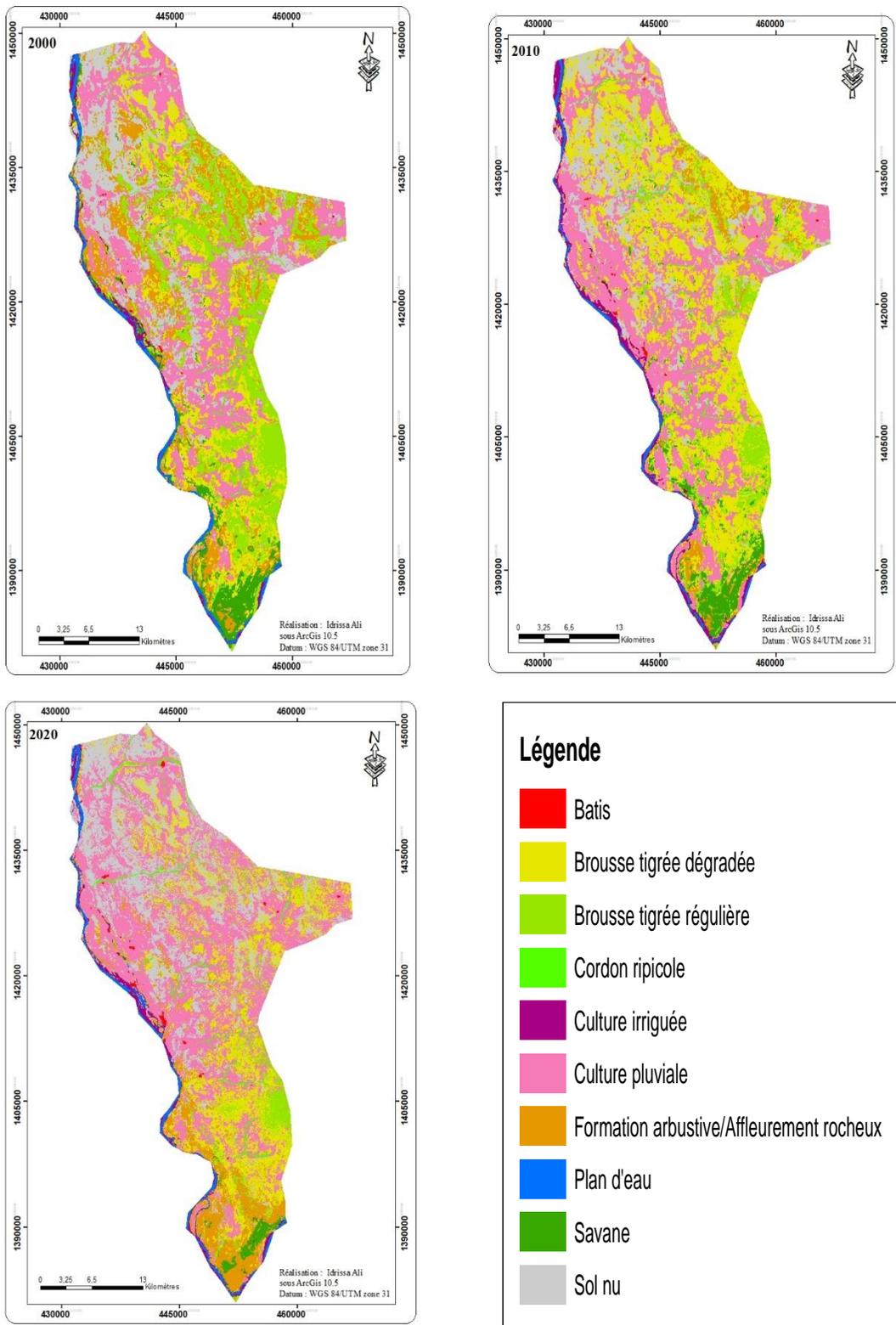


Figure 3: Cartes d'occupation des terres de la forêt de 2000, de 2010 et de 2020.

Tableau 2: Evolution des superficies des unités des classes d'occupation entre 2000, 2010 et 2020.

Unités	2000		2010		2020	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bâtis	90	0,08	162	0,15	296	0,27
Brousse tigrée dégradée	18916	17,00	36125	32,46	20604	18,51
Brousse tigrée régulière	21243	19,09	10529	9,46	4254	3,82
Cordon ripicole	738	0,66	886	0,80	1855	1,67
Culture irriguée	1381	1,24	2992	2,69	2039	1,83
Culture pluviale	28603	25,70	37232	33,46	43757	39,32
Formation arbustive sur affleurement rocheux	15049	13,52	4086	3,67	10269	9,23
Plan d'eau	2578	2,32	1655	1,49	2159	1,94
Savane	5083	4,57	4321	3,88	1237	1,11
Sol nu	17601	15,82	13296	11,95	24813	22,30

BTS : Bâtis, BTR : Brousse tigrée régulière, BTD : Brousse tigrée dégradée, CR : Cordon ripicole, CI : Culture irriguée, CP : Culture pluviale, PE : Plan d'eau, AFR : Affleurement rocheux, SN : Sol nu.

Tableau 3: Matrice de transition de l'occupation des sols (ha) entre 2000 et 2010.

Unités	2000										Total 2010	Variation
	BTS	BTD	BTR	CR	CI	CP	FAFR	PE	SV	SN		
BTS	90	3	14			37	8	0	0	10	163	72
BTD	0	12172	9223	58	12	5270	5751	1	325	3509	36320	17329
BTR	0	1986	5960	58	38	351	797	8	872	334	10404	-10709
CR		37	114	319		264	18		3	139	895	151
CI		24	67	6	1151	11	112	903	627	75	2976	1586
CP	1	2415	4307	263	109	21316	3297	18	241	4985	36952	8531
FAFR		501	395	1	7	18	2398	0	570	228	4118	-10996
PE					18		1	1648	2	2	1670	-918
SV		995	230	9	1	45	750		2302	28	4359	-737
SN	0	859	803	30	54	1108	1982	9	154	8359	13358	-4310
Total 2000	91	18992	21113	743	1390	28421	15114	2588	5096	17668	111216	0

BTS : FAAR : Formation arbustive sur affleurement rocheux, BTS : Bâtis, BTR : Brousse tigrée régulière, BTD : Brousse tigrée dégradée, CR : Cordon ripicole, CI : Culture irriguée, CP : Culture pluviale, PE : Plan d'eau, AFR : Affleurement rocheux, SN : Sol nu.

Tableau 4: Matrice de transition de l'occupation des terres (ha) entre 2010 et 2020.

		2010												
Unités		BTS	BTD	BTR	CR	CI	CP	FAFR	PE	SV	SN	Total 2020	Variation	
2020	BTS	161	18	12	1	6	95	1	0	0	2	296	133	
	BTD	0	10880	3118	74	11	4976	468		596	477	20601	-15721	
	BTR		1411	2178	20	57	377	77	0	91	33	4245	-6160	
	CR	0	191	117	490	10	927	3	0	5	113	1856	961	
	CI	0	23	76	0	1630	144	11	103	4	36	2027	-959	
	CP	2	12007	2460	238	89	25482	673	1	56	2742	43750	6799	
	FAFR	0	3144	1436	15	306	894	1328	2	2731	410	10267	6147	
	PE		2	9		502	27	1	1535			57	2134	480
	SV		57	88	0	106	19	175	1	786	4	1237	-3122	
	SN	0	8588	911	57	268	4009	1384	11	89	9484	24801	11442	
	Total 2010	163	36322	10406	895	2985	36951	4120	1654	4358	13359	111213	0	

BTS : FAAR : Formation arbustive sur affleurement rocheux, BTS : Bâties, BTR : Brousse tigrée régulière, BTD : Brousse tigrée dégradée, CR : Cordon ripicole, CI : Culture irriguée, CP : Culture pluviale, PE : Plan d'eau, AFR : Affleurement rocheux, SN : Sol nu.

DISCUSSION

La détection et l'identification des changements, apparaissant à la surface de la terre, constituent l'une des préoccupations essentielles pour les scientifiques et les gestionnaires impliqués dans la compréhension et la gestion des écosystèmes naturels et artificiels (Maniere, 1987). L'approche diachronique et multisource et de suivi de l'occupation du sol basée sur le croisement des données des cartes topographiques et celles des images satellites soulève quelques inquiétudes (Hoarau et al., 2013). Cependant, cette approche a déjà fait l'objet de plusieurs applications et dont les résultats ont permis l'évaluation de l'évolution de divers types de paysages (Omrane, 1999 ; Gautam et al., 2002 ; Johnson, 2003 ; Dewan et Yamaguchi, 2009 ; Panwar et al., 2011 ; Bansal et al., 2012 ; Mani, 2012 ; Yuvaraj et al., 2014 ; Abdallah et Souilmi, 2015 ; Jahan et al., 2015 ; Kpedenou et al., 2017).

Les valeurs de précision globale (97,62% ; 92,97% ; 98,20%) de même que celles des coefficients de Kappa (97,16% ; 91,83% ; 97,82%) obtenus respectivement pour l'image de 2000, 2010 et 2020 et la précision globale terrain (86,66%) témoignent

de la validité des cartes d'occupation générées. Ces résultats sont corroborés par les travaux de Pontius (2000) qui ont montré qu'une étude de l'occupation des sols peut être validée si l'indice Kappa est compris entre 50% et 75%.

La dynamique d'occupation des sols ainsi que l'évolution de cette occupation observée dans la commune rurale de Kirtachi entre 2000 et 2020 est bien perceptible. L'analyse diachronique des images satellitaires Landsat et Sentinelle aux trois dates (2000, 2010, 2020) a permis de produire trois cartes d'occupation qui ressortent les zones occupées par les cultures pluviales, cultures irriguées, la brousse tigrée dégradée, la brousse tigrée régulière, les cordons ripicoles, la savane, les plans d'eau, les bâtis, les formations arbustives sur affleurements rocheux et les sols nus. L'analyse de ces cartes montre que la zone d'étude a subi une évolution profonde dans l'occupation des sols. A cet effet, les surfaces occupées par les cultures (pluviales et irriguées), les bâtis, les sols nus, la brousse tigrée dégradée et les cordons ripicoles ont connu une forte augmentation durant la période entre 2000 à 2020 avec respectivement 13,62%, 0,59% et 0,18%, 6,48%, 1,52% et 1,00%. Cette augmentation de la superficie des

cordons ripicoles pourrait être due aux sapements des berges, cela se traduit par l'augmentation en largeur du lit au détriment de l'évolution de la végétation. Ainsi, l'augmentation de la superficie de la brousse tigrée dégradée est forcément due à la forte diminution de la brousse tigrée régulière.

Par contre, la brousse tigrée régulière, les formations arbustives sur affleurement rocheux et la savane ont subi une forte diminution de superficies respectivement de 21243 ha à 4254 ha soit 15,27%, 15049 ha à 10269 ha soit 4,30% et de 5083 ha à 1237 ha soit 3,46%. Le plan d'eau a subi une diminution de superficie de 0,38%. Cette dynamique se traduit par une augmentation des superficies des sols nus, des bâtis et surtout des cultures pluviales au détriment de la diminution des superficies de la savane, les formations arbustives sur affleurement rocheux et de la brousse tigrée régulière. La régression de la végétation aux profits des zones anthropisées confirme les résultats d'autres études à savoir celles de Mamane *et al.* (2018) dans la réserve totale de faune de Tamou, Tidjani *et al.* (2009) à Gouré, Mahamane *et al.* (2007) à Gabi au Niger ainsi que celles de Kpedenou *et al.* (2016) dans le Sud-Est du Togo, de Millogo *et al.* (2017) dans la province du Bam au Burkina Faso, Biga *et al.* (2020) à Gothèye au Niger et de Bamba *et al.* (2008) dans la province du Bas Congo. La diminution des plans d'eau est due surtout aux ruissellements qui déposent le sable dans le lit du fleuve. Les formations arbustives (cordons rupicoles) déparaient au profit des affleurements rocheux. Toutefois, la sécheresse et les activités humaines ont le plus souvent entraîné la dégradation du couvert végétal surtout en milieu anthropisé (Dai *et al.*, 2009; Kossi *et al.*, 2009; Barmo *et al.*, 2020).

Conclusion

L'étude diachronique s'est basée sur l'utilisation des images multidates (TM et Sentinelle). Cette étude a permis de cartographier l'évolution des zones de changements sur la base des techniques d'utilisation des SIG et des images satellitaires, l'utilisation des SIG et des images satellitaires, l'utilisation des compositions colorées

multidates et la dynamique de la couverture de sols. A l'aide de ces trois techniques nous avons pu mettre en lumière les zones de changement qui ont eu lieu pour une période fixée au préalable. Ces images ont été traitées et analysées pour la réalisation des cartes. Nous nous sommes basé sur les caractéristiques multispectrales des pixels ainsi que sur la réalité du terrain pour mettre en évidence les caractéristiques de la surface du sol de la zone sahélo-sahélienne. Les résultats montrent que les formations forestières ont fortement régressé de 18030 ha (16,20%) de 2000 à 2020, ainsi que les plans d'eau de 419 ha (0,38%). Tandis que dans la même période les sols nus ont progressé de 7213 ha (6,48%), les zones de cultures de 15812 ha (14,21%) et la superficie des bâtis de 205 ha (0,18%) par rapport à la superficie totale (111283 ha) de la zone d'étude. Ces changements sont principalement la cause des perturbations liées aux activités anthropiques, à la dégradation du sol et la variation climatique. De manière évidente, le suivi de l'évolution du milieu à travers des analyses diachroniques basées sur l'utilisation des données multisources et multidates permettent de saisir l'ensemble des changements environnementaux.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs de ce manuscrit déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AA, BS et BI ont contribué à la rédaction puis à l'amélioration progressive du manuscrit. AM a supervisé les travaux depuis le protocole jusqu'à l'aboutissement du manuscrit. Il a également apporté des conseils pour la collecte des données et a contribué à l'amélioration du manuscrit. Tous les auteurs ont approuvé la version finale du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et le Projet site pilote phase 2 (GCCA+) qui ont permis à collecter les données sur le terrain.

REFERENCES

- Abdallah H, Souilmi H. 2015. Analyse des Changements d'Occupation du sol et des Transformations Socio-Economiques au cours du XXème siècle dans Les Marges Arides du Tell Oriental (Dorsale centrale, environs d'Es Sraïssif, Tunisie). *Physio-Géo*, **9**(1): 81-109. DOI: <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4472>
- Adamou MM, Alhou B, Nazoumou Y, Alloke G. 2015. Impacts des Facteurs Climatiques et Anthropiques sur les Ressources et la Qualité des Eaux de la Mare de Tabalak. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3): 1665-1677. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.4>.
- Aklamanou KS. 1998. Pression Démographique et Dégradation de l'Environnement Rural: Cas de Vo-Koutimé. Mémoire de maîtrise en Géographie Rurale. UB, Lomé, p. 88.
- Antoine M. 2014. Développement et Automatisation de Méthodes de Classification à partir de Séries Temporelles d'images de Télédétection-Application aux Changements d'Occupation des sols et à l'estimation du Bilan Carbone. Thèse de Doctorat, p. 203.
- Bamba I, Mama A, Neuba DF, Koffi KJ, Traore D, Visser M, Sinsin B, Lejoly J, Bogaert J. 2008. Influence des Actions Anthropiques sur la Dynamique Spatio-Temporelle de l'Occupation du sol dans la Province du Congo Central (R.D. Congo). *Sciences & Nature*, **5**(1): 49-60. DOI: 10.4314/scinat.v5i1.42151
- Barmo S, Amani A, Idrissa A, Bachir MM, Mahamane A. 2021. Cartographie et Dynamique Spatio-Temporelle des Formations Végétales de la Forêt Protégée de Baban Rafi (Niger). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, **9**(1): 64-72. URL: https://agrimaroc.org/index.php/Actes_I_AVH2/article/view/906
- Bensaid A. 2007. SIG et Télédétection pour l'Etude de l'Ensablement dans une zone Aride : le cas de la Wilaya de Naâma (Algérie). Thèse, Université Joseph-Fourier, Grenoble I, p. 319.
- Bhatta B. 2008. Remote Sensing and GIS. Oxford University Press: Oxford, Royaume-Uni. Lu D, Weng Q. 2007. A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance. *International Journal of Remote Sensing*, **28**(5): 823-70. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Biga I, Amani A, Soumana I, Bachir M, Mahamane A. 2020. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(3): 949-965. DOI: 10.4314/ijbcs.v14i3.24
- Bogaert J, Vranken I, André M. 2014. Anthropogenic Effects in Landscapes: Historical Context and Spatial Pattern. In *Biocultural Landscapes*. Hong SK, Bogaert J, Min Q (eds). Springer: Dordrecht; 89-112. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8941-7>.
- Dai A, Lamb PJ, Trenberth KE, Hulme M, Jones PD, Xie P. 2004. The recent Sahel Drought is real. *Int. J. Climatol.*, **24**: 1323-1331. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1083>
- Diallo H, Bamba I, Barima YSS, Visser M, Ballo A, Mama A, Vranken I, Maiga M, Bogaert J. 2011. Effets combinés du Climat et des Pressions Anthropiques sur la Dynamique Evolutive de la Végétation d'une Zone Protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, **22**(2): 97-107. DOI: 10.1684/sec.2011.0306.
- Dewan AM, Yamaguchi Y. 2009. Using Remote Sensing and GIS to Detect and Monitor Land Use and Land Cover Change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh During 1960-2005. *Environ. Monit. Assess*, **150**: 237-249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0226-5>
- Gautam AP, Webb EL, Eiumnoh A. 2002. GIS Assessment of Land Use/Land Cover Changes Associated with Community Forestry Implementation in the Middle Hills of Nepal. *Mountain Research and Development*, **22**(1): 63-69. DOI: [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0063:GAOLUL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0063:GAOLUL]2.0.CO;2)
- Hiernaux P, Le Houérou HN. 2006. Les parcours du Sahel. *Science et changements planétaires/Sécheresse*,

- 17(1): 51-71. URL: https://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/les_parours_du_sahel_270087/article.phtml?tab=references
- Jahan S, Sarbeswar K, Kumar, BB. 2015. An Assessment of Land Use-Land Cover Change Using Geoinformatics in Sonai-Rupai Wildlife Sanctuary, Assam, India». *J. Environ. Res. Develop.*, **9**(4): 1257-1263. DOI: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153305620>
- Jensen JR. 1986. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Pearson Education Inc: Glenview IL, États-Unis; 1-318.
- Johnson DB. 2003. Un Exemple d'Approche Multisource de l'Etude de l'Occupation du sol pour l'analyse de la Dynamique Spatiale sur la Bande Littorale du Togo. 2nd FIG Regional Conference In 2nd FIG Regional Conference. Marrakech, 1-16.
- Jones HG, Vaughan RA. 2010. *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*. Oxford University Press: Oxford, Royaume-Unis, New York, États-Unis; 1-347.
- Hoarau C, Christophe S, Mustière S. 2013. Entre Cartes Topographiques et Orthoimages Mélanger, Combiner, Fusionner ou Emmêler ces Géo-Visualisations ? *CFC.*, **217**: 87-99. URL: <https://www.lecfc.fr/new/articles/217-article-8.pdf>
- INS. 2022. Projection de la Population en 2021.
- Kpedenou KD, Drabo O, Awa AP, Dapola CED, Tchamie TTK. 2017. Analyse de l'Occupation du sol pour le suivi de l'Evolution du Paysage du Territoire Ouatchi au Sud-Est Togo entre 1958 et 2015. *CAHIERS DU CERLESHS*, **31**(55) : 203-228. URL: hal-01701176
- Kpedenou KD, BoukpeSSI T, Tanzidani T, Tchamie K. 2016. Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Rev. Sc. Env.*, **13**: 137-156. URL: hal-01409418
- Kossi A, Bellefontaine R, Kokou K. 2009. Les Forêts Claires du Parc National Oti-Keran au Nord-Togo : Structure, Dynamique et Impacts des Modifications Climatiques Récentes. *Sècheresse*, **20**(1): 394-396. DOI: 10.1684/sec.2009.0217
- Kumar L, Priyakant S, Brown JF, Ramsey RD, Rigge M, Stam CA, Hernandez AJ, Hunt Jr ER, Reeves MC. 2016. Characterization, Mapping and Monitoring of Range lands : Methods and Approaches. In *Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing*. CRC Press: Boca Raton, FL, États-Unis; 309–350.
- Lu D, Mausel P, Brondi Zio E, Moran E. 2004. Change Detection Technic. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(12): 2365-2407. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Maâzou R, Rabiou H, Issiaka Y, Abdou L, Saidou SI, Mahamane A. 2017. Influence de l'Occupation des Terres sur la Dynamique des Communautés Végétales en zone Sahélienne : Cas de la Commune Rurale de Dantchandou (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(1): 79-92. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.7>
- Mahamane A, Saadou M, Bakasso Y, Abassa I, Aboubacar I, Karim S. 2007. Analyse Diachronique de l'Occupation des terres et Caractéristiques de la Végétation dans la Commune de Gabi (Région de Maradi, Niger). *Sècheresse*, **18**(4): 296-304. DOI: 10.1684/sec.2007.0105
- 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. DOI: <http://www.tropicultura.org/text/v31n1/78>
- Mama A, Bamba I, Sinsin B, Bogaert J, De Cannière C. 2014. Déforestation, Savanisation et Développement Agricole des Paysages de Savanes-Forets dans la zone Soudano- Guinéenne du Bénin. *Bois For Trop.*, **322**(4): 65-75. DOI: <https://doi.org/10.19182/bft2014.322.a31237>
- Mamadou BA, Diouf A, Satta AS, Mahamane A, Bogaert J. 2019. Tendances Evolutives des Paysages Semi-Arides Anthropisés au Niger : cas des communes rurales d'Aguié, Tchadoua et Gangara (Région de Maradi). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(6): 2857-2873. DOI: 10.4314/ijbcs.v13i6.34

- Mamane B, Amadou G, Baragé M, Comby J, Ambouta JMK. 2018. Dynamique Spatio-Temporelle d'Occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la Variabilité Climatique (Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(4): 1667-1687. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.13>
- Mani K. 2012. Land use and Land Cover Changes Detection using Multi Temporal Satellite Data Devikulam Taluk, Idukki district. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, **3**(1): 1420-1429.
- Millogo D, Nikiéma AA, Koulibaly B, Zombré NP. 2017. Analyse de l'Évolution de l'Occupation des Terres à partir de Photographies Aériennes de la localité de Loaga dans la Province du Bam, Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(5): 2133-2143. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.16>
- Mas JF. 2000. Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement. *Journal canadien de télédétection*, **26**(4): 349-362. DOI: <https://doi.org/10.1080/07038992.2000.10874785>
- Omrane MN. 1999. Les Cartes Topographiques et la Numérisation de la Dynamique Spatiale de la Végétation Permanente dans le bassin versant du barrage Lebna : Cap bon. *Édit. Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de La Manouba (Tunisie)*, 355-395. URL: <https://www.pist.tn/record/124930?ln=en>
- Oszwald J, Antoine L, Arnauld de Sartre X, Marcello T, Gond V. 2010. Analyse des Directions de Changement des états de Surface Végétaux pour Renseigner la Dynamique du Front Pionnier de Maçaranduba (para, Brésil) entre 1997 et 2006. *Télédétection*, **9**(2): 97-111.
- Panwar S, Sinha RK, Singh G. 2011. Time sequential surface change analysis of Talcher Angul region of Orissa using Remote Sensing and GI. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, **1**(4): 828-838. URL: [https://www.semanticscholar.org/paper/Time-sequential-surface-change-analysis-of-region-Panwar-](https://www.semanticscholar.org/paper/Time-sequential-surface-change-analysis-of-region-Panwar-Sinha/b0400c9c23a1b5aa6233eca1852d80b08d4a6f99)
- Sinha/b0400c9c23a1b5aa6233eca1852d80b08d4a6f99
- PDC. 2012. Plan de Développement Communal de la commune rurale de Kirtachi.
- Pontius Jr RG. 2000. Quantification error versus location in comparison of Categorical Maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **166**(8): 1011-1016. URL: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2000journal/august/2000_aug_1011-1016.pdf
- Pouchin T. 2001. Elaboration d'un Observatoire Paysager, Application à l'estuaire de Seine. Thèse de Doctorat, Le Havre, p. 316.
- Schlaepfer R. 2002. Analyse de la Dynamique du Paysage. Fiche d'Enseignement 4.2. Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, p. 10.
- Skupinski G, Binhtran D, Weber C. 2009. Les Images Satellites Spot Multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du Changement Urbain et Suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Cybergeo European Journal of Geography*, **439**. DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.21995>
- Tidjani AA, Ozer A, Karimoune S. 2009. Apports de la Télédétection dans l'étude de la Dynamique Environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Geo-Eco-Trop*, **33**: 69-80. URL: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249546/1/pub_331_06.pdf
- Vittoz P, Guisan A. 2007. How Reliable is the Monitoring of Permanent Vegetation Plots? A Test with Multiple Observers. *Journal of Vegetation Science*, **18**: 413-422. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02553.x>
- Yuvaraj E, Saravanan, Dharanirajan K. 2014. Assessment of Land Use and Land Cover Changes in South Andaman Island Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, **5**(1): 171-181. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Yuvaraj-Eswaran/publication/269134581>