

Cartographie et dynamique spatio-temporelle des formations végétales de la forêt protégée de Baban Rafi (Niger)

S. BARMO¹, A. AMANI², A. IDRISSE², M. M. BACHIR², A. MAHAMANE³

(Reçu le 15/07/2020; Accepté le 04/01/2021)

Résumé

Au Niger, les aires protégées perdent chaque année plusieurs hectares de leurs étendues sous les effets conjugués de la pression anthropique et des changements climatiques. Pour appréhender cette dégradation continue du couvert végétal, une étude a été menée dans la forêt protégée de Baban Rafi. Cette étude a pour objectif principal de mettre en évidence la dynamique spatio-temporelle des formations forestières entre 1996 et 2016 au moyen de la télédétection et des Systèmes d'information géographique (SIG). Pour ce faire, une exploitation des images satellitaires de type Landsat LT05 de l'année 1996, Landsat LE07 de l'année 2005 et Sentinelle T32PKV pour l'année 2016 couplée avec la vérité terrain à l'aide du GPS dont 17 points visités a été faite. Ceci a permis d'identifier 8 types d'occupation des terres que sont le cordon ripicole, la savane arborée, la savane arbustive, les cultures pluviales, la jachère, la zone habitée, les sols nus et le ravin. Les résultats cartographiques révèlent également une régression de la couverture forestière de l'ordre de 171,8 ha/an entre 1996 et 2016. Cette régression s'est faite au profit des zones de culture qui ont augmenté de 3 450 ha. Ces résultats suggèrent la mise en place d'une stratégie efficace de gestion durable de la forêt protégée de Baban Rafi pour éviter sa disparition à long terme.

Mots clés: Dégradation, télédétection, dynamique, gestion durable, Forêt protégée de Baban Rafi, Niger

Mapping and spatio-temporal dynamics of plant formations in the protected forest of Baban Rafi (Niger)

Abstract

In Niger, protected areas lose several hectares of their land each year under the combined effects of anthropogenic pressure and climate change. To understand this continuous degradation of the plant cover, a study was carried out in the protected forest of Baban Rafi. The main objective of this study is to highlight the spatio-temporal dynamics of forest formations between 1996 and 2016 by means of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). For this purpose, an exploitation of Landsat LT05 type satellite images from 1996, Landsat LE07 from 2005 and Sentinel T32PKV for 2016 coupled with ground truth using GPS including 17 visited points. This made it possible to identify 8 types of land use: the riparian belt, the tree savannah, the shrub savannah, the rainfed crops, the fallow, the inhabited area, the bare soils and the ravine. The cartographic results also reveal a regression in forest cover in the order of 171.8 ha / year between 1996 and 2016. This regression was in favor of cultivated areas which increased by 3,450 ha. These results suggest the implementation of an effective strategy for the sustainable management of the Baban Rafi protected forest to avoid its disappearance in the long term.

Keywords: Degradation, remote sensing, dynamic, sustainable management, Baban Rafi forest, Niger

INTRODUCTION

Les ressources naturelles jouent un rôle fondamental dans la vie socio-économique des populations des pays subsahariens (Tahirou et Germaine, 2006). En effet, l'exploitation incontournable mais incontrôlée, couplée aux impacts du changement et de la variabilité climatique, ne sont pas sans conséquences sur les écosystèmes semi-arides à arides (Wezel et Lykke, 2006). A l'instar des pays sahéliens, le Niger est confronté au problème de la dégradation et de la disparition progressive de son couvert végétal avec un taux annuel de réduction de 3,7% entre 1990 et 2000 (FAO, 2005). Ces dernières années, cette dégradation des ressources forestières est devenue un fléau alarmant et ce problème se pose avec acuité compte tenu de l'appartenance du pays à la bande saharo-sahélienne où la menace de la désertification est inquiétante. Ainsi, dans le cadre d'une politique de conservation de la biodiversité pour une gestion durable des ressources, l'État Nigérien a créé un certain nombre d'aires protégées dont la forêt de Baban Rafi (Inoussa, 2011). Aujourd'hui, vu les multiples sollicitations de la population dues à la fragilité du système

socio-économique et aux contraintes agro-écologiques, la forêt de Baban Rafi tend à devenir un espace convoité principalement pour les activités agricoles et pastorales affaiblissant du coup sa protection. Par conséquent, il s'avère nécessaire de faire un état des lieux de la végétation de la zone à travers des analyses cartographiques pouvant servir de support aux activités d'aménagement des écosystèmes.

Cette étude a pour objectif d'améliorer les connaissances sur l'état des ressources forestières de la forêt de Baban Rafi afin de donner aux gestionnaires des outils d'aide à la décision indispensable à la mise en place d'une politique de gestion durable des aires protégées au Niger. Spécifiquement, il s'agit plus de caractériser et cartographier les différents types d'occupation des terres et d'évaluer la dynamique forestière entre 1996 et 2016. Pour atteindre ces objectifs fixés, les hypothèses émises étaient : (i) l'imagerie satellitaire offre un outil de description fine de l'occupation des terres; (ii) les changements observés entre 1996 et 2016 sur la couverture végétale dans la forêt de Baban Rafi sont imputables aux activités anthropiques dans un contexte de variabilités climatiques.

¹ Département recherche en Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, Niamey, Niger

² Centre National de Surveillance Écologique et Environnementale, Niger

³ Université de Diffa, Niger

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la forêt protégée de Baban Rafi et sa zone périphérique située dans le département de Madarounfa à 50 km au sud de Maradi. Cette forêt est comprise entre les latitudes 13° et 13°20' Nord et les longitudes 6°40' et 7°30' Est et couvre une superficie d'environ 39 000 ha (Figure 1). Elle est limitée à l'est par la commune rurale de Gabi, à l'ouest par celle de Safo, au nord par les communes rurales de Safo et Sarkin Yamma, et au sud par la République Fédérale du Nigéria.

La zone d'étude est soumise à un climat de type sahélo-soudanien caractérisé par une longue saison sèche (8 à 9 mois) et une saison des pluies (3 à 4 mois) (Ichaou, 2004). La moyenne annuelle de la pluviométrie enregistrée de 1984 à 2015, s'élève à $501,4 \pm 67,2$ mm et les moyennes des températures moyennes maximales des mois les plus frais et chaud sont respectivement 14°C et 41°C. L'écart indique une forte variabilité de la pluviométrie entre les années (Figure 2). En effet, 17 années sont déficitaires sur les 32 ans soit environ une année sur deux.

Sur le plan pédologique, la forêt est caractérisée par des sols ferrugineux lessivés typiques sur sable faiblement

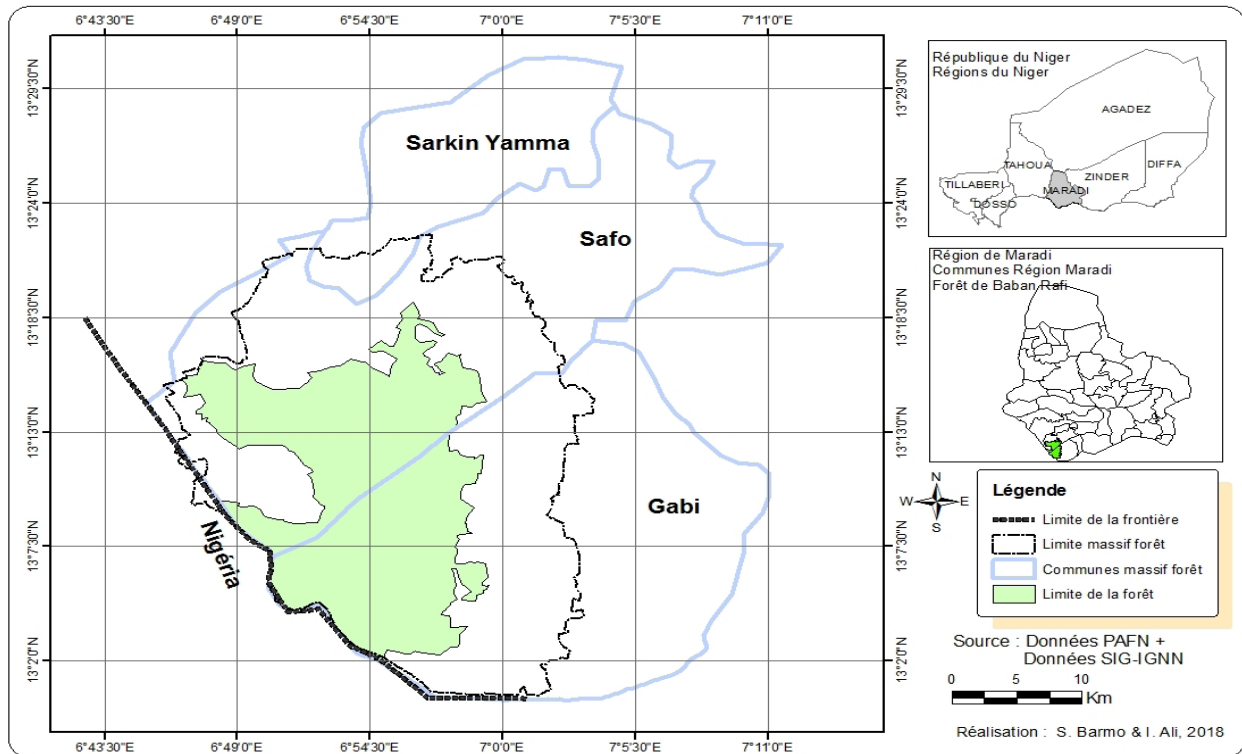


Figure 1: Localisation de la forêt de Baban Rafi

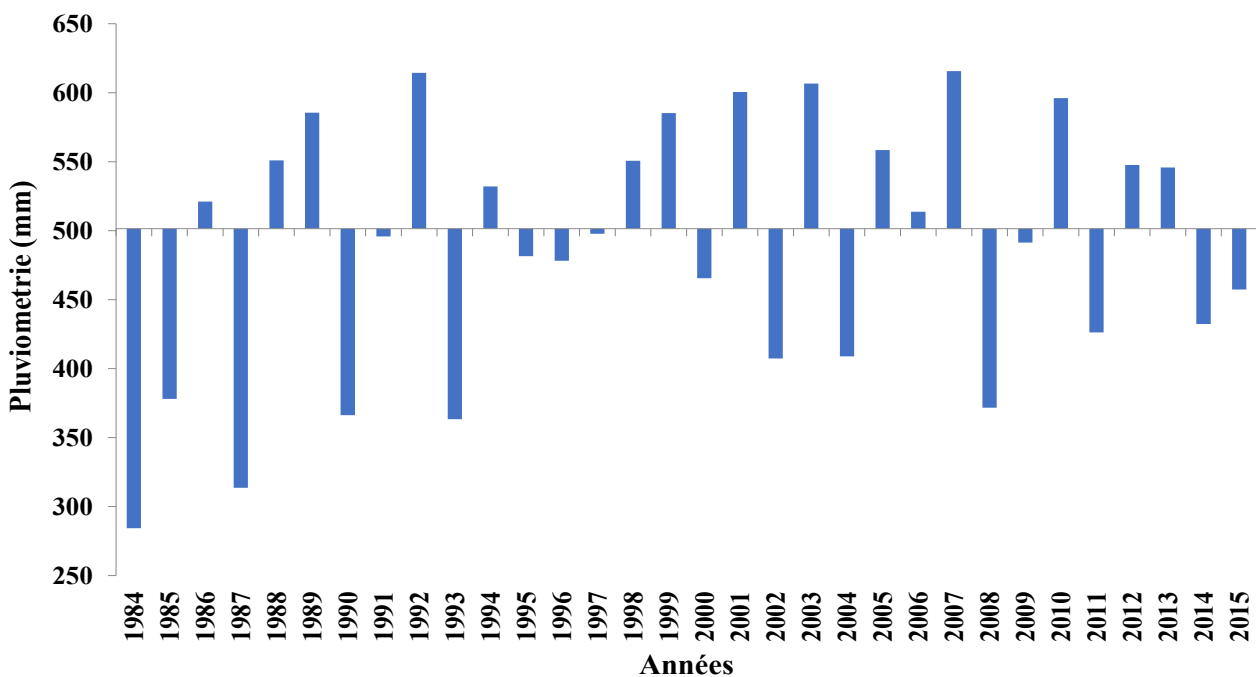


Figure 2: Variabilité interannuelle de la pluviométrie de la zone de 1984 à 2015 (Source des données: Station Météorologique de l'Aéroport de Maradi)

argileux, des sols ferrugineux peu lessivés à marbrure et concrétion et des placages sablo-argileux issus d'alluvions à galets (Mahamane et al., 2007).

La végétation naturelle de la forêt est constituée de savanes arborées, savanes arbustives et de cordons ripicoles généralement établis sur des sols ferrugineux tropicaux. Les espèces ligneuses les plus dominantes sont *Guiera senegalensis* J.F.Gmel, *Combretum micranthum* G.Don, *Combretum nigricans* var *elliottii* (Engl. Ex Diels) Aubrev. et *Acacia macrostachya*. La strate herbacée est dominée par des graminées telles que *Tripogon minimus* (A.Rich.) Hochst.Ex Steud. *Schizachyrium exile* (Hochst.) Pilger. et *Cenchrus pedicellatus*(Trin.) Morrone.

L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités économiques de la zone. A celles-ci s'ajoute également l'exploitation du bois de chauffe à travers les 22 marchés ruraux de bois mis en place en 1997 à la suite du plan aménagement de la forêt de Baban Rafi. Un marché rural de bois est comme un site rural de vente de bois-énergie géré par une structure locale de gestion et agréée par l'administration en charge de l'environnement. Ce marché est approvisionné par une zone d'exploitation délimitée d'un commun accord entre la population locale, la structure locale de gestion et l'administration de l'environnement (Alain, 1995). Les principales espèces exploitées sont *Combretum nigricans*, *Combretum. Micranthum*, *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. et *Guiera senegalensis*. La superficie des terroirs agricoles riverains de la forêt est estimée à 50 439 ha représentant 62% des unités d'occupation de terre de la commune de Gabi et est essentiellement consacrée à la production céréalière (Mahamane et al., 2007). A cela, s'ajoutent les cultures de niébé, arachide et sésame considérées comme des cultures de rente. L'accès aux terres reste l'une des principales préoccupations de la population locale avec les terres qui s'appauvrissent devant une poussée démographique galopante.

Le cheptel est estimé à environ 216 700 têtes dont 35 547 têtes de bovins, 52 771 têtes d'ovins, 115 060 têtes de caprins, 3 128 têtes de camelins, 3 220 têtes d'équins et 6 981 têtes d'asins (MEL, 2015). Cette zone accueille également des troupeaux transhumants du nord-Niger et du sud Nigeria. Ainsi, Ichaou (2009) a recensé environ 45 800 têtes d'animaux pâture à l'intérieur de la forêt.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel utilisé

Pour les besoins de travaux plusieurs logiciels ont été utilisés (Excel, Arcgis 10.5, Envi) et des images satellitaires Landsat 5 et 7 pour les années 1984 et 2005 et Sentinelle 2A pour l'année 2016. La plateforme Google earth et le site web Earth explorer de la Nasa ont été également utilisés respectivement pour la photo-interprétation et le téléchargement des images satellitaires. Les dates de prise de ces

images correspondent à la période de saison sèche afin de maximiser les différences spectrales entre les éléments de la couverture végétale.

L'identification des images satellitaires couvrant la zone d'étude a été faite à l'aide d'une grille (vecteur) des images sentinelles et Landsat de l'ensemble du Niger. Ainsi, il s'est agi de superposer la limite de la forêt sur chacune de ses deux grilles Landsat et Sentinelle (Tableau 1) et d'identifier les scènes couvrant la forêt. Le site Earth explorer a été également utilisé pour le téléchargement des deux types d'images utilisées.

Méthodes

La connaissance approfondie du secteur d'étude a guidé le choix en faveur de la méthode de classification non supervisée automatique couplée avec la vérité terrain à l'aide du GPS dont 17 points ont été visités (Tableau 2).

Pré-traitements des images acquises

Il s'agit à ce niveau de procéder à un certain nombre de correction, notamment radiométrique et atmosphérique des bandes du visible et du proche infrarouge (PIR) uniquement. Ce choix s'explique du fait que ces longueurs d'onde contiennent à elles seules 90% des informations spectrales relatives à la végétation vivante (Baret et al., 1988)

Ainsi les bandes 2, 3 et 4 des images Landsat 5 et 7 et les bandes 2, 3, 4 et 8 de l'image sentinelle sont combinées séparément pour créer les images multi-spectrales «Fausse couleurs» afin de mieux apprécier les états de surface des années 1996, 2005 et 2016.

Tableau 2: Coordonnées géographiques des points visités dans la forêt de Baban Rafi

N° points	Unités	Longitude	Latitude
1	Savane arbustive	6° 48' 10,11''	13° 15' 42,95''
2	Savane arbustive	6° 53' 5,90''	13° 14' 27,68''
3	Savane arbustive	6° 57' 2,12''	13° 13' 24,22''
4	Culture pluviale	6° 58' 12,56''	13° 16' 1,63''
5	Sol nu	6° 52' 16,54''	13° 13' 27,26''
6	Savane arborée	6° 55' 40,14''	13° 10' 16,38''
7	Savane arborée	6° 49' 23,77''	13° 7' 54,42''
8	Culture pluviale	6° 58' 40,99''	13° 8' 54,92''
9	Culture pluviale	6° 58' 30,33''	13° 3' 4,15''
10	Cordon ripicole	6° 53' 37,04''	13° 6' 49,60''
11	Cordon ripicole	6° 52' 50,10''	13° 10' 59,70''
12	Ravin	6° 54' 25,55''	13° 4' 29,01''
13	Sol nu	6° 58' 1,72''	13° 10' 23,24''
14	Savane arbustive	6° 56' 3,71''	13° 5' 43,40''
15	Jachère	6° 57' 49,72''	13° 15' 46,86''
16	Jachère	6° 55' 29,49''	13° 18' 7,49''
17	Zone habitée	6° 58' 40,01''	13° 2' 50,37''

Tableau 1: Références des images Landsat et Santinelle utilisées

Type d'image	Scènes	Références	Dates	Couverture nuageuse
Landsat 5	LT05_L1TP_190051_19960516_20170109_01_T1.tar	190-051	16/05/1996	5%
Landsat 7	LE07_L1TP_190051_20050519_20170114_01_T1	190-051	19/05/2005	1%
Sentinelle 2A	T32PKV_20160528T095031	PKV	28/05/2016	0%

Comme la composition colorée en fausses couleurs offre une meilleure discrimination des pixels (Sarr, 2009; Kpedenou *et al.*, 2017) et la meilleure forme de visualisation des signatures spectrales, elle, est utilisée pour l'identification des unités d'occupation et d'utilisation des sols. Les signatures spectrales méconnaissables sont géo-localisées sur l'image multi-spectrale (fausses couleurs) puis caractérisées sur le terrain grâce à un récepteur Global Positioning System (GPS).

Reconnaissance spectrale des classes d'occupation du sol

La détection des différentes catégories d'occupation du sol à partir des seules images satellites est difficile, c'est pourquoi il est nécessaire de s'appuyer sur des données terrain (Sarr, 2009). La vérité terrain a pour but de reconnaître et de définir les éléments paysagers de la zone d'étude et d'effectuer des relevés de points GPS représentatifs de chaque classe d'occupation du sol précédemment définies. Les données ainsi obtenues devaient permettre d'aider à la compréhension des données satellitaires, puis de points de vérité terrain pour la validation de la classification récente de 2017.

La caractérisation de ces points sur la base de la Nomenclature de l'Occupation des Sols du Niger (NOS Niger) élaborée par le Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et de la lutte contre la désertification (MHE/LCD) en 2006 en 2006 a permis de dresser la légende qui a été retenue dans les cartes et d'identifier les signatures spectrales des points jugés incertains. Les points qui n'ont pas pu être identifiés sur le terrain l'ont été par photo interprétation à l'aide de Google Earth.

Classification

Compte tenu de la connaissance de la zone d'étude suite aux nombreuses missions effectuées dans la forêt dans le cadre de nos recherches couplée avec la vérité terrain à l'aide du Global Positioning System (GPS) dont 17 points ont été visités (Tableau 2), nous avons opté à la classification non supervisée qui a l'avantage d'avoir des groupes aussi homogènes que possible, avec des distances entre groupes aussi grandes que possibles d'une part et d'autre part pour sa simplicité donc facile à implémenter. Dans ce cas, l'objectif est de classer l'ensemble des pixels d'une image à partir d'un certain nombre de classes que l'analyste spécifie dans l'algorithme iso-cluster (Tou and Gonzalez, 1974).

Afin de mieux discriminer les différentes signatures spectrales des compositions colorées, il a été réalisé initialement une classification de 20 classes. Ces classes ont ensuite été agrégées selon la structure, la texture et la signature.

Post traitement

Cette partie a permis d'individualiser à travers la numérisation visuelle à l'écran (CILSS, 2016) certaines unités d'occupation et d'utilisation des sols. En effet, il existe une forte variabilité au sein des valeurs de réflectance spectrale associées à divers types d'occupation des terres (Lillesand *et al.*, 2008).

La photo interprétation via les images très haute résolution de Google Earth a permis d'améliorer la qualité de la classification. De ce fait, deux indices de validation de classification ont été utilisés la précision globale (proportion de pixels bien classés) et l'indice de Kappa (rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés) (Skupinski *et al.*, 2009). L'indice de Kappa informe sur la

concordance entre les données à classer et les données de référence (Congalton, 1991). Sa formule est la suivante:

$$\text{Kappa} = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)} \quad (1)$$

Kappa est compris entre -1 et +1

Po: la proportion d'accord observée et Pe: la proportion d'accord aléatoire

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; Landis et Koch, 1977).

Finalement, les classes d'occupation du sol retenues sont: les cordons ripicoles, les savanes arborées, les savanes arbustives, les cultures pluviales, les jachères, ainsi que les sols nus et les ravins.

Évaluation de la dynamique de l'occupation du sol

Les données obtenues de l'interprétation de chaque image Landsat 5 (1996), Landsat 7 (2005) et Sentinelle 2A (2016) ont été analysées et comparées. Ainsi, pour chaque unité d'occupation du sol, le taux d'évolution annuel est calculé selon la formule suivante:

$$\text{Tannuel} = \frac{(Vf - Vi/P)}{P} \times 100 \quad (2)$$

Où Vf représente la valeur de la statistique de la strate finale, Vi la valeur des statistiques de la strate initiale et P est la durée de la période d'observation entre les dates. Cette formule permet de faire une analyse diachronique de la dynamique d'occupation des sols sur la zone étudiée (Leslie *et al.*, 2017).

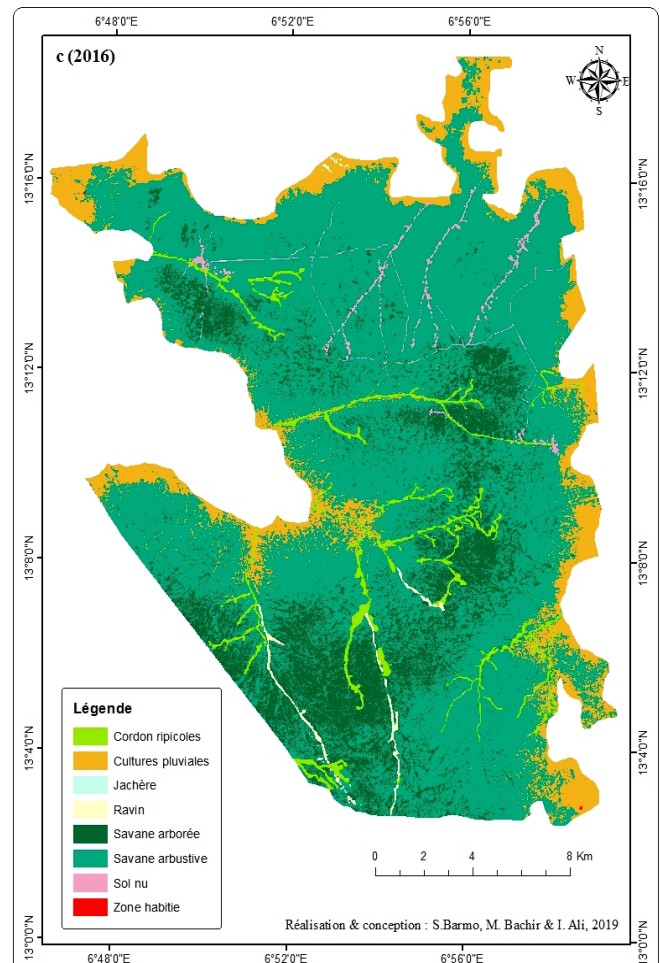


Figure 3: Carte d'occupation des sols de la forêt protégée de Baban Rafi (2016)

RÉSULTATS

Évaluation de la précision de la classification

L'évaluation des résultats de la précision des classifications à partir des matrices de confusion sont de 57,0% pour les images Landsat de 1996, de 61,1% pour celles de 2005 et 73,5% pour les images Sentinelle de 2016) avec des indices de Kappa respectifs de 72,3%; 67,1% et 77,6%. Les indices de Kappa étant compris entre 50 et 75%, ces résultats indiquent que les classifications sont de bonne qualité donc validés.

Caractérisation des types de végétation

A travers l'ensemble des investigations, de la numérisation à la validation (images de très haute résolution de Google Earth, vérité terrain, indices de Kappa), une carte de végétation de la forêt protégée de Baban Rafi a été élaborée suite à la discrimination des différentes unités d'occupation de la zone (Figure 3). Au total, 8 classes ont été définies et elles constituent la légende de la carte établie (Figure 4). D'après cette figure, les formations forestières occupent plus de 87% de la superficie de la forêt. Par contre, les cultures pluviales et les sols nus occupent respectivement 11,9 % et 1,02 %.

Les principaux types de formations forestières sont le cordon ripicole, la savane arborée et la savane arbustive:

Le cordon ripicole couvre une superficie de 1170 ha soit 2,86%. Le couvert arboré peut être très dense de 70 à 90%. Il est rencontré dans les dépressions et le long des cours d'eau à écoulement temporaire sur des sols à texture argilo-limoneuse. Sa végétation reste verte plus ou moins toute l'année. Les principales espèces ligneuses de cette formation sont: *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, *Terminalia avicennioides* Guil. & Perr., *Acacia erythrocalyx* Brenan et *Crossopteryx febrifuga* (Afz.) Benth. Le tapis herbacé peu dense est composé des espèces comme *Cenchrus pedicellatus*, *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr et *Digitaria horizontalis* Willd.

La savane arborée est caractérisée par une dominance de la strate arborée avec peu d'arbustes. Elle couvre une superficie de 6 975 ha soit 17,0% de la forêt. Le recouvrement ligneux est compris entre 30 et 60%. Les principales espèces rencontrées sont *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. et Perr., *Adansonia digitata* L., *Vitellaria paradoxa* Gaertn., *Lannea microcarpa* Engl. & K. krause, *Combretum glutinosum*. et *Prosopis africana* (Guill. & Pen.) Taub. Il existe un tapis herbacé peu dense majoritairement com-

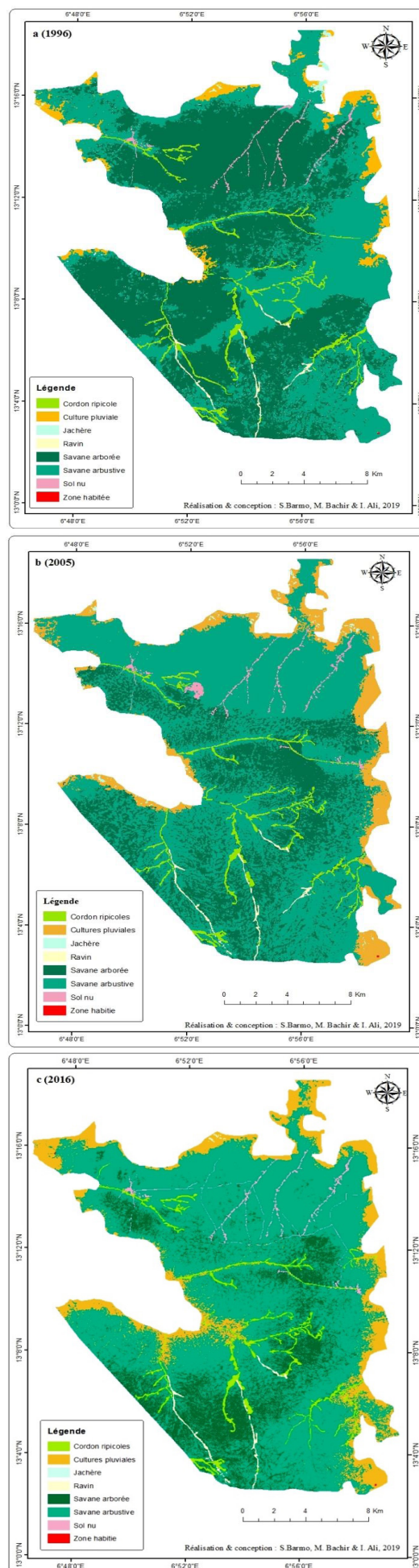
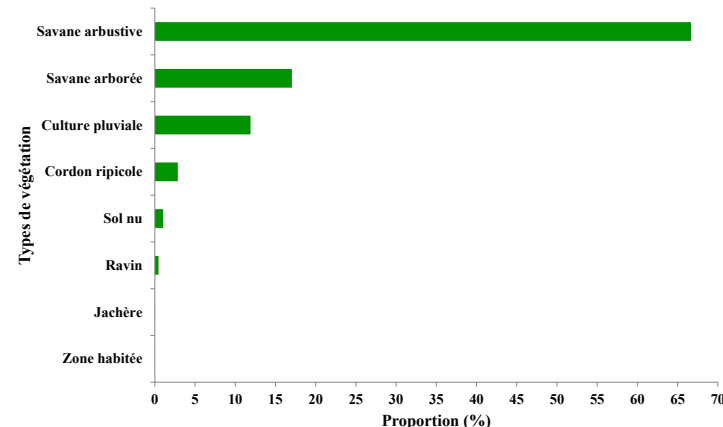


Figure 4: Proportions des différents types d'unités d'occupation des sols de la forêt de Baban Rafi (2016)

Figure 5: Cartes d'occupation des terres de la forêt en 1996 (a), en 2005 (b) et en 2016 (c)

posé de *Zornia glochidiata* Reichb. Ex DC. et *Spermacoce stachydea* DC.

La savane arbustive est une formation végétale qui est dominée par les arbustes, avec une densité élevée. Elle couvre une superficie de 27 281 ha soit 66,7%. La savane arbustive est caractérisée par une strate ligneuse dense avec un tapis herbacé composé essentiellement de graminées vivaces denses. Le recouvrement ligneux varie de 15 à 30% dont moins de 10% pour les arbres (Mahamane et Saadou, 2008). Les principales espèces qu'on y rencontre sont *Piliostigma reticulatum* (D.) Hochst, *Guiera senegalensis*, *Combretum nigricans*, *Acacia sieberiana* DC. et *Combretum micranthum*.

États de l'occupation des terres en 1996, 2005 et 2016

La cartographie de l'occupation des terres en 1996 montre que le cordon ripicole ne représentait que 2,92% (1 140 ha) de la forêt; comparativement aux savanes qui représentent,

à elles seules, 92,0% (35 900 ha). Cela dénote de la forte dominance de ce faciès dans cette forêt (Figure 5a). Avec 1 473 ha, les cultures pluviales et les jachères occupaient 3,78% de la superficie totale cartographiée (Figure 5a). Le sol nu ne représente que 0,76%.

La même tendance est observée sur la carte de 2005 (Figure 5b). A ce niveau, la superficie du cordon ripicole est légèrement moins importante (2,67%). Celle des savanes représentait 86,3% de la forêt. La superficie des cultures pluviales et des jachères devient de plus en plus importante et occupe 9,57% de la superficie de la forêt.

En 2016, les formations végétales représentent 86,6 % de la superficie totale de la forêt (Figure 5c). Elles sont essentiellement constituées de cordon ripicole (1 116 ha), savane arborée (6 648 ha) et savane arbustive (26 002 ha). La superficie du cordon ripicole représente 2,86% de la superficie de la forêt contre 83,7% pour les savanes. Les

Tableau 3: Matrice de transition de l'occupation des terres (ha) entre 1996 et 2005 dans la forêt de Baban Rafi

	1996									Total 2005	Écart
	Unités	CR	CP	Ja	Ra	Sarbo	Sarbu	Solnu	ZH		
2005	CR	1 042	0	0	0	0	0	0	0	1 042	-97
	CP	7	1 016	97	0	337	2 147	11	0	3 615	2 264
	Ja	0	23	9	0	21	66	0	0	119	-2
	Ra	0	0	0	191	1	18	0	0	209	19
	Sarbo	52	19	0	0	7 601	2 953	3	0	10 626	-9 778
	Sarbu	39	292	16	0	12 352	10 284	52	0	23 036	7 540
	Solnu	0	0	0	0	91	28	230	0	350	54
	ZH	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2
	Total 1996	1 140	1 351	122	191	20 404	15 496	296	1	39 000	0

CR: cordon ripicole, CP: cultures pluviales, Ja: jachère, Ra: ravin, Sarbo: savane arborée, sarbu: savane arbustive, Solnu: sol nu, ZH: zone habitée

Tableau 4: Matrice de transition de l'occupation des terres (ha) entre 2005 et 2016 dans la forêt de Baban Rafi

	2005									Total 2016	Variation
	Unité	CR	CP	Ja	Ra	Sarbo	Sarbu	Solnu	ZH		
2016	CR	1 042	6	0	9	26	32	0	0	1 116	73
	CP	0	2 678	60	0	63	1 837	0	1	4 639	1 024
	Ja	0	5	5	0	0	1	0	0	11	-108
	Ra	0	0	0	177	0	5	0	0	182	-27
	Sarbo	0	0	0	0	4 447	2 195	5	0	6 648	-3 978
	Sarbu	0	922	54	24	6 080	18 851	71	1	26 002	2 966
	Solnu	0	2	0	0	10	114	273	0	400	50
	ZH	0	1	0	0	0	1	0	1	3	0
Total 2005	1 042	3 615	119	209	10 626	23 036	350	3	39 000	0	

CR: cordon ripicole, CP: cultures pluviales, Ja: jachère, Ra: ravin, Sarbo: savane arborée, sarbu: savane arbustive, Solnu: sol nu, ZH: zone habitée

zones de culture pluviale et des jachères, avec une superficie de 4 650 ha occupent 11,9% de l'ensemble de la forêt. La superficie du sol nu est de 400 ha soit 1,02%.

Dynamique végétale de la forêt

Les résultats cartographiques et statistiques obtenus ont permis de mettre en évidence l'évolution progressive de certaines classes d'occupation des terres de la forêt de Baban Rafi entre 1996; 2005 et 2016 (Tableaux 3 et 4). La savane arbustive est le type de végétation qui a connu la plus forte augmentation de sa surface (Tableau 3). Elle est passée de 15 496 ha en 1996 à 23 036 ha en 2005, soit une augmentation annuelle de 19,3%. Les zones de cultures pluviales ont connu aussi une augmentation de 2 264 ha entre 1996 et 2005, passant ainsi de 1351 ha à 3615 ha. Les sols nus ont enregistré une augmentation de 54 ha sur la même période. Contrairement aux autres classes d'occupation des terres; le cordon ripicole, la savane arborée et la jachère sont en recul entre 1996 et 2005. Ainsi, le cordon ripicole et la savane arborée ont perdu respectivement 97 ha et 9 778 ha en 10 ans. Enfin, la classe jachère a perdu 2 ha entre 1996 et 2005, soit une régression de 0,01% par an.

Entre 2005 et 2016, à l'exception de la savane arborée et de la jachère qui ont connu des pertes respectives de 3 978 ha et 108 ha, les autres classes d'occupation des terres ont connu une progression (Tableau 4). Une évolution positive de l'ordre de 4 063 ha en 10 ans soit 10,5 % est notée dont 296,6 ha; 102,4 ha et 7,3 ha et 5 ha par an, respectivement pour la savane arbustive, les cultures pluviales, le cordon ripicole et les sols nus. Ainsi, les sols nus ont augmenté en superficie.

DISCUSSION

Description de la végétation et traitements d'images

L'approche cartographique de l'occupation des terres à travers les classifications d'images satellitaires Landsat LT055, Landsat LE07 et Landsat T32PKV couplée à une vérité terrain confirme l'importance de la connaissance du milieu et de l'acquisition des données auxiliaires pour l'amélioration de la qualité des traitements d'images (Mama, 2014; Trepanier *et al.*, 2002). Les résultats cartographiques ont permis d'identifier 8 classes d'occupation des terres dans la forêt de Baban Rafi. Parmi ces 8 classes, trois (3) classes de végétation confirment les descriptions faites sur le terrain (cordon ripicole, savane arborée et savane arbustive). Ce qui signifie que les classes thématiques sont bien définies. Une meilleure définition des classes d'occupation des terres permet de faire une classification de qualité (Inoussa, 2011). Mais, l'inconvénient de la méthode des classifications dirigées utilisée est qu'elle ne permet pas toujours de bien différencier les classes d'occupation surtout les classes de petites superficies. Cette confusion est due à des réponses spectrales proches pour ces formations ligneuses (Diallo *et al.*, 2011). Ces mêmes difficultés ont été signalées par d'autres auteurs (N'Dia *et al.*, 2008; Tankoano *et al.*, 2015). En plus, la confusion pourrait être liée à la définition des parcelles homogènes lors du choix des sites d'entraînement. Malgré ces difficultés, les résultats cartographiques obtenus sont satisfaisants. Ces cartes peuvent être validées, car les indices de Kappa et les taux de classification global sont supérieurs à 50% (Ozer, 2004;

Kabba, 2011). Quant aux confusions observées entre la classe des zones de cultures et la classe de savane arbustive, cela est lié au fait que les arbres utiles épargnés dans les champs donnent à cette classe par endroits l'aspect d'une savane arbustive. Cette dernière a un recouvrement ligneux variant de 15 à 30% dont moins de 10% pour les arbres (Mahamane et Saadou, 2008).

Dynamique de la végétation de la forêt et activités anthropiques

Il ressort de cette étude que les formations savanicoles sont bien représentées et couvrent 32 649 ha soit 83,7% de la superficie ce qui confirme l'appartenance de la forêt à la zone de savanes ouest africaine, la zone soudanienne. Cette forte proportion des savanes a été déjà soulignée par d'autres auteurs (Inoussa, 2011; Couteron *et al.*, 1992; De Wispelaere, 2002) au niveau de la végétation du Parc National W et de la réserve de faune de Tamou, appartenant aussi à la zone soudanienne. Mais, la superficie de certaines formations boisées (cordon ripicole et savane arborée) a connu une régression entre 1996 et 2005 de l'ordre de 25,3%. Cette régression pourrait être liée aux activités humaines (exploitation de bois-énergie et service, surpâturage, défrichage, feux de brousse). Cette pression anthropique sur les savanes boisées a déjà été signalée (Inoussa, 2011; Mama, 2014; Kouassi *et al.*, 2012). La pression anthropique sur la forêt protégée est plus perceptible par l'installation des activités agricoles à sa périphérie dont la superficie avoisine 4 639 ha en 2016. La présence de zones de culture dans la forêt s'explique par une forte pression foncière à la périphérie et à la présence des hameaux installés par certains transhumants sédentarisés. En plus, le passage régulier des feux ne favorise pas la reconstitution rapide de la végétation naturelle (Diallo *et al.*, 2011). Outre les activités humaines, il y a le facteur climatique qui pourrait expliquer cette dynamique régressive de ces formations arborées. En effet, la contrainte climatique principale n'est pas simplement la rareté des précipitations, mais également la variabilité dans la distribution et l'imprévisibilité des précipitations, qui s'augmentent du sud au nord (Ouoba, 2006). Plusieurs études ont montré les impacts négatifs de la sécheresse sur la végétation (Dillo *et al.*, 2011; Ouoba, 2006). En Afrique, certaines études ont montré que les sécheresses répétées des années 1980 ont entraîné la mortalité des espèces ligneuses des écosystèmes sensibles (Koné *et al.*, 2007; Kossi *et al.*, 2009). Les effets de la sécheresse en milieu de savane sont observés à travers les variations de la couverture ligneuse qui sont très indicatrices des changements climatiques à l'échelle locale (Kouassi *et al.*, 2012; Diallo *et al.*, 2011). Aujourd'hui, dans la forêt, les espèces les plus sensibles à la sécheresse comme *Pterocarpus erinaceus*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* caractéristiques de la savane arborée disparaissent progressivement. Elles sont remplacées par des espèces les plus rustiques comme *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* dominantes dans les savane arbustive (Diallo *et al.*, 2011).

Par contre, la classe de la savane arbustive a connu un accroissement très important passant de 39,73% en 1996 à 66,7% en 2016 au détriment de la savane arborée. Cette situation peut être considérée comme une forme de dégradation de la végétation de la zone explorée. Toutefois, la

sécheresse et les activités humaines ont le plus souvent entraîné la dégradation du couvert végétal surtout en milieu anthropisé (Dai *et al.*, 2004; Fall *et al.*, 2006; Kossi *et al.*, 2009). On note également, une forte progression des classes de végétation à l'exception de la savane arborée entre 2005 et 2016. Cela pourrait s'expliquer par une surveillance des services forestiers et les efforts d'aménagements (marchés ruraux de bois) consentis dans la forêt. Mais, les zones de culture ont connu une progression significative au cours de cette même période. Cela pourrait s'expliquer par la forte pression foncière à l'intérieur et à la périphérie de ladite forêt. Cette pression foncière a été mise en évidence par la cartographie qui montre une progression du front agricole de l'ordre de 1 024 ha entre 2005 et 2016. Ce phénomène s'observe aussi dans plusieurs aires protégées des régions d'Afrique de l'Ouest (Sawadogo *et al.*, 2008; Tankoano *et al.*, 2015; Tabopda et Fotsing, 2010).

CONCLUSION

L'étude a permis de mettre en évidence la dynamique forestière de la forêt de Baban Rafi de 1996 à 2016 au moyen de la télédétection, des données de terrain et des systèmes d'information géographique. La démarche méthodologique adoptée a consisté aux traitements numériques d'images Landsat et Sentinelles couplés aux données de terrain. Cette approche, nous a permis de discriminer les différentes classes d'occupation des terres de la forêt. La cartographie de l'état de changement de ces classes d'occupation des terres entre 1996 et 2016 a révélé quelques modifications du paysage de la zone. Il ressort que les formations végétales ont enregistré des dynamiques variables d'une classe thématique à une autre pendant cette période. Ainsi, la forêt est dominée par les formations savanicoles plus précisément la savane arbustive. Les résultats montrent également que la savane arborée a régressé de 14 433 ha entre 1996 et 2016. Ces changements sont principalement dus à des perturbations liées aux activités humaines et au climat. Cela constitue une inquiétude pour la conservation de la forêt.

Toutefois, il reste évident que, dans ce genre d'étude, en particulier sur les impacts de la variabilité climatique sur la végétation, surtout dans la région sahélienne, le changement pourrait intervenir d'abord au niveau de la structure et de la composition floristique des communautés végétales avant d'être perceptible à l'échelle spatiale. Donc, des analyses floristiques et phytocologiques ainsi que des inventaires dendrométriques doivent être menés sur la végétation de la forêt.

RÉFÉRENCES

- Alain B. (1995). Nouvelle politique forestière et marchés ruraux de bois énergie au Niger: transfert de la gestion locale des ressources naturelles ligneuses aux communautés rurales. *Cahier Agricultures*, 4:185-193.
- Baret, F., Guyot, G., Begue, A., Maurel, P. (1988). Complementarity of middle-infrared with visible and near-infrared reflectance for monitoring wheat canopies. *Remote Sensing of Environment*, 26: 213-225.
- Charles B. et Stephane G. (2009). Classification supervisée et non supervisée des données de grande dimension. *La revue de Modulad*, 40: 81-102.
- CILSS (2016). Les Paysages de l'Afrique de l'Ouest: Une Fenêtre sur un Monde en Pleine Évolution. U.S. Geological Survey EROS, 47914, p 219.
- Congalton R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46
- Couteron P. et Kokou K et Mahamane A. (1992). Parc National du W (Niger): typologie et cartographie de la végétation du Parc National et de la réserve de faune de Tamou, éd. Mab-Unesco, 98 p.
- Dai A. Lamb, P.J. Trenberth, K.E. Hulme, M., Jones, P.D., Xie, P. (2004). The recent Sahel Drought is real. *Int. J. Climatol.*, 24: 1323-1331.
- De Wispelaere G. (2002). Cartographie de la végétation du complexe du «W». Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, France.
- Diallo H., Bamba I., Barima Y. S. S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M. et Bogaert J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du baoulé). *Sécheresse*, 22: 97-107.
- Fall, S., Semazzi, F. H. M., Miyogi, D. D. S., Anyah, R. O. and Bowden, J. (2006). Spatiotemporal climate variability over Senegal and its relationship to global climate. *Int. J. Climatol.*, 26: 2057-2076.
- FAO (2005). Situation des Forêts du monde. FAO, Rome, Italie, 166 p.
- Ichaou A. (2004). La caractérisation des formations des bas-fonds et de plaines sableuses: un préalable pour une meilleure connaissance de leur dynamique de régénération. MHE/LCD. PAFN, Niamey/Niger, 91 pages.
- Ichaou A. (2009). Conduite test du protocole régional de suivi environnemental au Niger et au sein des formations forestières des plaines sableuses de Baban Rafi Sud (Maradi-Niger), CRC/PREDAS, 88 p.
- Inoussa. M. M., Mahamane A., Saadou M. et Bachmann Y. (2011). Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest), *Sécheresse*, 22:108-116.
- Kabba S. T. V. and Li J. (2011). Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology*, 3:104-118.
- Koné M., Aman A., Yao A. C. Y., Coulibaly L. et N'Guessan K. E. (2007). Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane Soudanienne en Côte d'Ivoire. *Télédétection*, 7: 433-446.
- 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. *Sécheresse*, 20: 394-6.
- Kouassi A. M., Kouamé K. F., Ahoussi K. E., Oularé S. et Biemi J. (2012). Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 20:124-146.

- Kpedenou K. D., Drabo O., Ouoba A. P., Da Dapola C. E., Tchamie T. T. K. (2017). Analyse de l'occupation du Sol pour le suivi de l'évolution du paysage du Territoire Ouatchi Au Sud-Est Togo entre 1958 et 2015. *Cahiers du Cerleshs, Presses de l'Université de Ouagadougou*. XXXI (55), pp. 203-228. fhal-01701176f
- Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.
- Leslie B. K., Suspense A. I. et Stoffenne B. (2017). Changement de couverture forestière dans le département de la Likouala (République Du Congo) durant la période de 1986 à 2015. *European Scientific Journal*, 13:322-343.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., and Chipman, J. (2008). Remote sensing and image interpretation (6th ed.), New York: John Wiley & Sons.
- Mahamane A, Mahamane S, Yacoubou B, Issaka A, Ichaou A, Saley K. (2007). Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 18: 296-304.
- Mahamane A. et Saadou M. (2008). Méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicale, Acte de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes, Niamey-Niger, du 4 au 9 août 2008, 74 p.
- Mama A. (2014). Déforestation, savanisation et développement agricole des paysannes de savanes forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Bois For, Trop.*, 322:1-11.
- Ministère de l'Élevage (MEL) (2015). Évolution du cheptel nigérien: Statistiques sur l'élevage au Niger, 76 p.
- N'Da D. H., N'Guessan E. K., Wadja M. E. et Affian K. (2008). Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8:17-34.
- Ouoba P. (2006). Flore et végétation de la forêt classée de Niangoloko, sud-ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 140 p.
- Ozer P. (2004). Bois de feu et déboisement au Sahel: Mise au point. *Sécheresse*, 15: 243-251.
- Pontus R. G. J. (2000). Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 1011-1016.
- Sarr M.A. (2009). Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Sawadogo H, Zombre PN, Bock L, Lacroix D. (2008). Évolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photos aériennes. *Revue de Télédétection*, 8: 59-73.
- Skupinski G., Don B. T., 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 Bruche (Bas-Rhin), *European Journal of Geography*.
- Tabopda G. W. et Fotsing J-M. (2010). Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Sécheresse*, 21:169-178.
- Tahirou A. et Gemaine I. (2006). Analyse des impacts socioéconomiques des investissements dans la gestion des ressources naturelles: Étude de cas dans les Régions de Maradi, Tahoua et Tillabery au Niger, 73 p.
- Tankoano B., Hien M., N'Da D. H., Sanon Z., Yaméogo J. T. et Somda I. (2015). Dynamique spatio-temporelle des savanes boisées de la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9:1984-2000.
- Tou, J. T. and Gonzalez R. C. (1974). Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 377p
- Trepanier I., Dubois J. M. M., Bonn F. (2002). Suivi de l'évolution du trait de côte à partir d'images HRV (XS) de SPOT delta du fleuve Rouge, Viêt-Nam. *Int. J. Remote Sensing*, 23: 917-937.
- Tristan D. (2007). Exploitation de données de Télédétection en vue d'étudier la mise en place de l'Écotourisme dans la Région de ANDAVADOAKA (Madagascar); Institut de Recherche pour le Développement (IRD) & Maison de la Télédétection; Rapport de stage de Deuxième année de SUPAGRO Montpellier; 19 p.
- Wezel A. et Lykke A. M. (2006). Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge. *Environment, Development & Sustainability*; 8: 553-567.