



Original Paper

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

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

Dynamique spatio-temporelle de la végétation contractée de l'ouest du Niger suivant le gradient pluviométrique et d'anthropisation de 1990 à 2020

Amadou ABOUBACAR^{1*}, Mourtala BACHIR², Diouf ABDOULAYE³ et Iro DAN GUIMBO¹

¹Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP. 10 960 Niamey, Niger.

²Centre National de Surveillance Ecologique et Environnementale (CNSEE), BP. 11 780 Niamey, Niger.

³Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, BP 465 Maradi, Niger.

*Auteur correspondant ; E-mail : aboubamadou@gmail.com ; Tel : (+227) 96 40 95 78.

Received: 14-06-2023

Accepted: 21-08-2023

Published: 31-08-2023

RESUME

La végétation contractée de l'ouest du Niger constitue des écosystèmes dans lesquels les communautés locales tirent l'essentiel de leur subsistance de l'exploitation du bois. Les animaux y pâturent pendant toute la saison des pluies. Sa dégradation s'est accentuée ces trois dernières décennies, sous l'effet, principalement de la pression anthropique et du climat. Cette étude visait à analyser la dynamique de cette végétation de 1990 à 2020, dans les communes de Kouré, Farey, Gaya et Tanda. Les images Landsat 5TM (1990) et Landsat 8 de novembre (2020) ont été utilisées. La classification non supervisée par l'algorithme iso-data et le calcul des superficies au moyen du logiciel ENVI et Excel ont permis de quantifier les transformations spatiales survenues sur la base du fichier HBF, dont la sortie est une matrice de transition. Les NDVI ont été calculés grâce à la commande *Quick statistic* d'ENVI et les indices Standardisés des Précipitations à partir des cumuls annuels des précipitations. Les résultats ont montré une régression de végétation contractée régulière de 63,26%, de 55,76% et de 34,75% respectivement à Kouré, à Farey et dans le bloc Gaya/Tanda. De plus, une régression de la végétation contractée dégradée de 40,74%, de 55,39% et de 8,29% été enregistrée respectivement à Kouré à Farey et dans le au bloc Gaya/Tanda. La corrélation positive entre l'indice standardisé de précipitation et l'indice de végétation a été significative à Farey et non significatif à Kouré et Gaya.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clé : Végétation contractée régulière, transformation spatiale, végétation contractée dégradée, NDVI.

Spatio-temporal dynamics of contracted vegetation in western Niger following the rainfall and anthropisation gradient from 1990 to 2020

ABSTRACT

The contracted vegetation of western Niger constitutes ecosystems in which local communities derive most of their livelihood from timber exploitation. Animals graze here throughout the rainy season. Its degradation has increased over the last three decades, mainly due to anthropic pressure and climate. The aim of this study was to analyze the dynamics of this vegetation from 1990 to 2020, in the communes of Kouré, Farey, Gaya and Tanda. Landsat 5TM (1990) and Landsat 8 November (2020) images were used. Unsupervised classification

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9451-IJBCS

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.8>

using the iso-data algorithm and area calculations using ENVI and Excel software were used to quantify spatial transformations based on the HBF file, the output of which is a transition matrix. NDVI was calculated using ENVI's Quick statistic command, and Standardized Precipitation Indices were calculated from annual rainfall totals. The results showed a regular contracted vegetation regression of 63.26%, 55.76% and 34.75% respectively at Kouré, Farey and in the Gaya/Tanda block. In addition, a regression of degraded contracted vegetation of 40.74%, 555.39% and 8.29% was recorded in Kouré, Farey and the Gaya/Tanda block respectively. The positive correlation between the standardized rainfall index and the vegetation index was significant in Farey and insignificant in Kouré and Gaya.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Regular contracted vegetation, spatial transformation, degraded contracted vegetation, NDVI.

INTRODUCTION

Au Sahel, la gestion durable des ressources végétales constitue un enjeu majeur avec des situations contrastées selon les potentialités du milieu (FAO, 2012). Les principales contraintes sont d'ordres climatique et humain (défrichements anarchiques pour l'agriculture) eux-mêmes conséquences de l'accroissement démographique (Daget et Djellouli, 2002). A ces défrichements massifs s'ajoutent les prélèvements incontrôlés du bois énergie pour les besoins du milieu rural et l'approvisionnement en bois des centres urbains (Ouédraogo et al., 2006). et les exploitations anthropiques deviennent de plus en plus importantes (Moussa Abdou et al., 2022). Les processus naturels de succession des végétations sont alors perturbés par l'activité anthropique à travers l'exploitation du bois et les différents systèmes d'exploitation de l'espace en particulier les systèmes de culture et / ou d'élevage traditionnels et extensifs (Fournier et al., 2001).

Au Niger, les ressources forestières ont régressé de 78,5% en 2016 par rapport à leurs superficies de 1975 (Ministère de l'Environnement de la Salubrité Urbaine et Développement Durable, 2015). Face à une agriculture tributaire des aléas climatiques, les populations se rabattent sur les ressources naturelles pour la satisfaction de leurs besoins vitaux (Ago, 2016). Au Niger, la superficie des ressources forestières perdue annuellement sous l'effet des coupes de bois, de feu de brousse, de surpâturage, de l'extension des champs de culture et des sécheresses récurrentes est estimée à 100.000

hectares (Tahirou et al., 2019). La destruction de la végétation contractée observée depuis plusieurs décennies, s'est accentuée ces trois dernières décennies sous l'effet, principalement de la pression anthropique (avancée du front agricole, exploitation du bois, ...) et le changement climatique qui ont fortement influencé sa dynamique. Le plus grand problème de la dégradation de la végétation contractée a débuté vers les années 90 suite à l'explosion démographique (Amadou et al., 2010). Ainsi une dynamique régressive de cette végétation s'observe dans le temps et dans l'espace, de par l'occupation du sol dans la zone. Cette dynamique paysagère pourrait être mise en évidence et quantifier par l'analyse de la composition et la configuration de ses éléments (Bamba et al., 2008). Les informations sur l'état de dégradation de ces formations végétales contractées durant les trois dernières décennies ne sont pas disponibles pour la zone d'étude.

La présente étude avait pour objectif d'analyser les tendances évolutives des formations végétales contractées de l'ouest du Niger à travers une étude diachronique permettant d'apprécier les changements observés sur la période 1990-2020. Elle servira de base pour la détermination des indicateurs en vue de la préservation et la conservation durable des reliques de cette végétation caractéristique de l'ouest du Niger.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude correspond au bassin d'Iullemenden situé à l'Est du fleuve Niger qui englobe les régions de Tillabéry et Dosso, et la

communauté urbaine de Niamey. Ces entités comptent 5787043 habitants avec une densité de 28,5 hbts/km² pour Tillabéry, 2280703 habitants et une densité de 66 hbts/km² pour la région de Dosso et 110125 habitants avec une densité de 4353,43 hbts/km² pour la communauté urbaine de Niamey (INS, 2015). Dans cette partie du Niger, les plateaux constituent l'essentiel du paysage, caractérisés par des formations végétales contractées plus connues sous le vocable de brousses tigrées dont l'édaphologie a été bien décrite par Ambouta (1997) et des savanes (arbustives et arborées) et steppes arbustives par endroit. La pluviosité annuelle moyenne varie de 350 mm à l'extrême nord, au voisinage de la 15^e parallèle à 800 mm à l'extrême sud. Afin de mieux caractériser cette végétation, trois (3) sites ont été choisis suivant un gradient climatique Nord-Sud et un degré d'anthropisation décroissant. Le plateau de Kouré, fortement anthropisé ayant pour coordonnées 13°19'33" N et 2°37'18" E. Le plateau de Guittodo, moins anthropisé que celui de Kouré (12°31'32"N et 3°15'05"E) et la forêt classée de Gourou Bassounga vers la frontière Niger-Bénin à la latitude (11°58'04"N et 3°22'48" E). Les communes qui abritent ces trois sites sont respectivement Kouré (50001hbts), Farey (45108hbts), en fin Gaya (71425hbts) et Tanda (55932 hbts) (INS, 2015). La moyenne des cumuls pluviométriques annuels de trente années (1990-2020) est de 495,49 mm pour Kouré, 669,61 mm pour Farey, 849,92 mm pour Gaya et 749,64 mm pour Tanda (Amadou et al., 2023). Les savanes, les steppes, et les formations contractées sont les types physiologiques de végétation les plus rencontrés et qui dépendent des unités paysagères.

Matériels et méthodes

Choix et acquisition des Images satellites

Les images satellites Landsat 5TM de novembre 1990 et Landsat8 de novembre 2020 (Tableau 1) ont été gratuitement téléchargées sur le site www.earthexplorer.usgs.gov/ d'United States of Geological Survey. Le choix de ce type d'images a été motivé par leur

accessibilité ainsi que de leur résolution moyenne (Moussa Abdou et al., 2020). Elles sont idéales pour les études des écorégions car elles intègrent à la fois les attributs biophysiques et anthropiques du paysage (CILSS, 2016). La période d'octobre à décembre a été retenue lors du téléchargement pour éviter des images de mauvaise qualité affectées par les nuages. Les mois de novembre a été ciblé car les ligneux gardent encore leur feuilles vertes et correspond à la période de développement maximal des frondaisons des ligneux (Massaoudou et al., 2015) alors que les herbacées ont perdu leur chlorophylle. Ceci augmente les chances de disposer des données essentiellement sur les ligneux.

Prétraitement des images

Cette étape a consisté à la correction radiométrique qui a permis de passer des comptes numériques à la luminance par la méthode de *Gain and offset values* et la radiance a été appliquée pour passer de la luminance à la réflectance. La correction atmosphérique réalisée par la méthode DOS (*Dark Object Subtract*) a permis de corriger des bruits susceptibles de modifier la qualité des informations des images par correction atmosphérique. Les bandes (canaux) 2, 3 (vert et rouge) et 4 (proche infrarouge) pour l'image du capteur TM de 1990 et 3, 4 (vert et rouge) et 5 (proche infrarouge) pour l'image du capteur OLI de 2020 ont servi à l'élaboration des compositions colorées en fausse couleur (Proche Infrarouge pour le rouge, rouge pour le vert et vert pour le bleu). Ce choix s'explique du fait que les longueurs d'onde du visible et du proche infrarouge contiennent à elles seules 90% des informations spectrales relatives à la végétation vivante (Baret et al., 1988).

Classification des images

La classification constitue la partie la plus décisive, car elle nécessite une analyse globale des données collectées et une maîtrise parfaite des outils SIG. La classification non supervisée a été utilisée dans le cadre de cette étude. Elle fait appel à une connaissance a priori du terrain par le télédéacteur qui identifie sur l'image plusieurs zones dont il connaît la signification (Mariétou, 2012). Ce choix s'explique par le fait que l'analyste

dispose préalablement d'une bonne connaissance de la zone d'étude et le contexte sécuritaire peu favorable aux déplacements dans la zone. Les images ont été redimensionnées à la taille des communes, puis extraites et classifiées par l'algorithme iso-data, implémenté dans le programme ENVI.

Post classification

Cette partie a pour rôle d'affiner les résultats issus du traitement d'images. Comme certaines classes d'occupation de sol n'apparaissent pas correctement ou sont confondues à d'autres unités, la numérisation visuelle à l'écran a été utilisée pour compléter la classification automatique en vue de faire ressortir les unités mal individualisées par la précédente classification faire ressortir les différentes classes d'occupation de sol. La nomenclature des différentes classes d'occupation elle a été faite en s'inspirant des travaux (Abdou et al., 2016 ; Issoufou et al., 2018).

Extraction et calcul du NDVI et SPI

Pour extraire l'indice de différence normalisée de végétation dans les données en format HDF renfermant le NDVI, et les bandes (du visible et proche infrarouge), l'algorithme Toolkit a été utilisé pour géo-référencer la végétation contractée dont les statistiques basiques des valeurs de NDVI ont été calculées grâce à la commande Quick statist sous ENVI. L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais Standardized Precipitation Index (SPI) (Mckee et al., 1993) a été calculé à travers la formule $SPI = (Xi - X_m) / S_i$, où Xi est le cumul de pluie de l'année i, X_m et S_i respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée. Les valeurs

d'index (Tableau 2) indiquent des détails sur l'humidité ou la sécheresse environnementale. Les données pluviométriques de Kouré, Farey et Gaya ont été obtenues à la Direction Nationale de Météorologie du Niger. Le test de corrélation a permis de mettre en évidence une corrélation positive entre le SPI et le NDVI.

Mission de vérité terrain

Elle constitue une étape très importante qui permet de confirmer avec précision les informations contenues sur la carte. Les images de 2020 ont servi d'images de référence pour valider la classification des unités d'occupation du sol des images de 1990. Sur ces images, un maximum de zones d'entraînement a été échantillonné dans différentes classes d'occupation du sol. Ce qui permet de rehausser la précision globale « overall accuracy » de la classification des images de référence (Idrissa et al., 2019). Compte tenu de l'aspect sécuritaire qui limite la mobilité dans la zone, la mission de vérification terrain n'a concerné que les points les plus accessibles, préalablement relevés. Ces derniers ont été vérifiés sur le terrain à l'aide d'un récepteur GPS et confirmés sur la carte. Les points n'ayant pas fait l'objet de visite terrain ont été vérifiés et confirmés en utilisation Google Earth. Ce qui a conduit à la validation de la carte.

Analyse des données

Le calcul des changements de superficie a été effectué en utilisant une matrice de transition de 1990 à 2020 sous forme d'une matrice carrée condensée décrivant les changements des unités pendant la période considérée (Bamba et al., 2008). Le tableur Excel a permis de tracer les courbes.

Tableau 1 : Liste des images satellitaires utilisées.

Images Landsat	Communes	Années	C nuageuse
LT05_L1TP_192051_19901124_20170128_01_T1	Kouré et Far	1990	0% nuage
LC08_L1TP_192051_20201126_20210316_02_T1	Kouré et Far	2020	0% nuage
LT05_L1TP_192052_19901108_20170128_01_T1	Gaya-Tanda	1990	0% nuage
LC08_L1TP_192052_20201110_20210316_01_T1	Gaya-Tanda	2020	0% nuage

C= couverture

Tableau 2 : Degré de sécheresse en fonction des valeurs de l'indice standardisé de précipitation

SPI	SPI > 2	1 < SPI < 2	0 < SPI < 1	-1 < SPI < 0	-2 < SPI < -1	SPI < -2
Degré de	Humidité	Humidité	Humidité	Sécheresse	Sécheresse	Sécheresse
Sécheresse	extrême (HE)	forte (HF)	Modéré (HM)	modérée (SM)	Forte (SF)	extrême (SE)

RESULTATS

Evaluation de la dynamique de l'occupation du sol entre 1990 et 2020

Le traitement des images Landsat a permis d'identifier 9 classes d'occupation du sol à Kouré, 10 à Farey et 13 au bloc Gaya/Tanda (Figures 1, 2, 3) en 1990 et respectivement 8, 10 et 12 classes d'occupation de sol en 2020. Le fait marquant sur les cartes de l'occupation du sol est la présence de beaucoup de bâtis, de végétation contractée dégradée, de zones de cultures, de surface dénudée et peu de végétation contractée régulière en 2020 qu'en 1990. En effet, la commune de Kouré est caractérisée par une dynamique progressive des superficies des (bâtis, terrains rocheux, cordons rupicoles, surfaces dénudées et zone de culture pluviale), une régression des superficies des végétations contractées (dégradée et régulière), des plans d'eau et une disparition totale des fourrés rupicoles (Tableau 3). Cependant, dans la commune de Farey les jachères ont complétement disparu entre 1990 et 2020. La végétation contractée dégradée, les Bâtis, les surfaces dénudées, les zones de culture pluviale, les cordons rupicoles et les ravins ont connu une dynamique progressive tandis que les fourrés rupicoles, les jachères et la végétation contractée régulière une dynamique régressive (Tableau 4). Dans le boc Gaya-Tanda l'analyse des résultats (Tableau 5) fait ressortir d'une part, une évolution progressive ou augmentation des superficies des bâtis, ravins, zones de culture pluviale zones inondables, terrains rocheux, et plans d'eau et d'autre part une évolution régressive des superficies des cordons rupicoles, végétation

contractée régulière, surfaces dénudées et les prairies aquatiques

Transformation spatio-temporelle de la végétation contractée de 1990 à 2020

Les matrices de transition (Tableaux 6, 7 et 8) présentent les changements survenus dans chaque unité d'occupation de sol entre 1990 et 2020. L'analyse des résultats a porté sur les changements survenus au niveau des deux unités de la végétation contractée, objet de notre étude. Dans la commune de Kouré, c'est au total 77 088,30 ha de toutes les unités d'occupation de sol qui sont restés stables durant cette période. La végétation contractée dégradée a perdu 17 984,62ha, qui se sont transformés majoritairement en terrain rocheux (6 614,39 ha), sol nu (5 862,56 ha) zone de culture pluviale (3 448,92 ha) et en cordon rupicole (1 846,18 ha). Simultanément, cette même unité a connu une augmentation de 10409,12 ha liée principalement à la dégradation de 10403,29 ha de la partie régulière et la régénération de 5,83 ha de sol nu. On note globalement un disponible de 10 985,14 ha de végétation contracté dégradée en 2020. Concernant la végétation contractée régulière, on note une perte de 18 314,22 ha imputable à la dégradation de 10 403,29 ha de sa superficie, la transformation de 2 936,66 ha en sol nu, 2 416,09 ha en terrain rocheux et 1 682,92 ha en zone de culture pluviale. D'autre part cette unité a connu une augmentation de 197,53 ha issus de la reconstitution de la partie dégradée. On estime à 10 585,92 ha la superficie de végétation contractée régulière à Kouré en 2020. La commune de Farey a totalisé 57 982 ha de toutes les unités d'occupation du sol qui sont restés stables entre

1990 et 2020 toutes unités confondues. En effet, ce sont 1 713 ha de végétation contractée dégradée qui sont restées stables. Cependant, cette unité a connu un élargissement de 11 118,77 ha issus de la dégradation de 11 066,01 ha de la partie régulière et la transformation de 38,59 ha de jachère et 14,17 ha de surface dénudée. Aussi, à la même période, cette unité a perdu 244,76ha morcelés en zone de culture pluviale (230,31ha), surface dénudée (0,06) et jachère (14,38 ha) et le disponible en 2020 est de 12 831,87 ha. Pour la végétation contractée régulière, 16 173 ha sont restés stables de 1990 à 2020. Elle a perdu 20 423,18 ha transformés en grande partie en végétation contractée dégradée (11 066,01 ha), zones de culture pluviale (8 083,96 ha) et en jachère (750,21 ha). Cependant elle a connu un gain de 16,87 ha dont 11,83 ha issus des cordons rupicoles et 5,04 ha des surfaces dénudées. On note un disponible de 16 190,20 ha en 2020. Dans le bloc Gaya-Tanda, 63 929,71 ha, toutes unités confondues sont restées stables de 1990 à 2020. La végétation contractée dégradée a connu un élargissement de 3 426,58 ha issus de la dégradation de la partie régulière et une régression de 2 486,39 ha transformés majoritairement en zones de culture pluviale (2 327,26 ha), surface dénudée (45,53 ha) et bâtis (111,40 ha), avec un disponible de 12 274,28 ha en 2020. La végétation contractée régulière a connu une perte de 8 297,92 ha convertis surtout en zone de culture pluviale (4769,72 ha) et végétation contractée dégradée (3426,58 ha) et une augmentation de 17,90 ha issus de la jachère. On note 15 544,82 ha de végétation contractée régulière en 2020.

Effet du climat sur la dynamique de la végétation

L'Indice Standardisé des Précipitations permet d'identifier les années de sécheresse et d'humidité (Tableau 2) et les relier à la

dynamique de la végétation (Bergaoui et al., 2002). L'analyse de l'Indice Standardisé des Précipitations calculé à partir d'une série chronologique des précipitations sur 21 ans (Figure 4,5 et 6) montre que la commune de Kouré (plateau de Kouré) a connu 1 an de sécheresse extrême, 4 ans de forte sécheresse, 7 ans de sécheresse modérée, 5ans d'humidité modérée, 2 ans de forte humidité et 2 ans d'humidité extrême. Celle de Farey (Plateau de Guittodo) a connu 1 an de sécheresse extrême, 5ans de forte sécheresse, 5ans de sécheresse modérée, 7 ans d'humidité modérée, 2 ans de forte humidité et 1 an d'extrême humidité. Le Bloc Gaya/Tanda (Forêt classée de Gorou Bassounga) a connu 1 an de sécheresse extrême, 5 ans de forte sécheresse, 5 ans de sécheresse modérée, 7 ans d'humidité modérée et 3 ans d'extrême humidité. Les années de sécheresse (11 à 12) ans selon la commune ont été plus fréquents que les années humides (9 à 10). L'indice de végétation (NDVI) qui a des valeurs théoriques extrêmes comprises entre -1 (pas de végétation) et 1 (végétation très dense) (Baggnia et al., 2021) était resté positif même durant les années d'extrême sécheresse.

Le test de corrélation (Tableau 9) fait ressortir une corrélation positive entre le SPI et NDVI avec un coefficient de corrélation plus élevé sur le plateau de Guittodo (0.46) suivi du plateau de Kouré (0.15) et la forêt classée de Gorou Bassounga (0.09). Ces valeurs positives indiquent que ces deux indices (SPI et NDVI) évoluent dans le même sens. Ces résultats montrent que l'indice standardisé de précipitation (SPI) influence positivement l'indice de végétation (NDVI). Cependant, cette influence n'est pas significative sur le plateau de Kouré et la forêt classée de Gorou Bassounga ($P > 0,05$) (Tableau 9). Par contre sur le plateau de Guittodo, le SPI influence significativement le NDVI ($P < 0,05$).

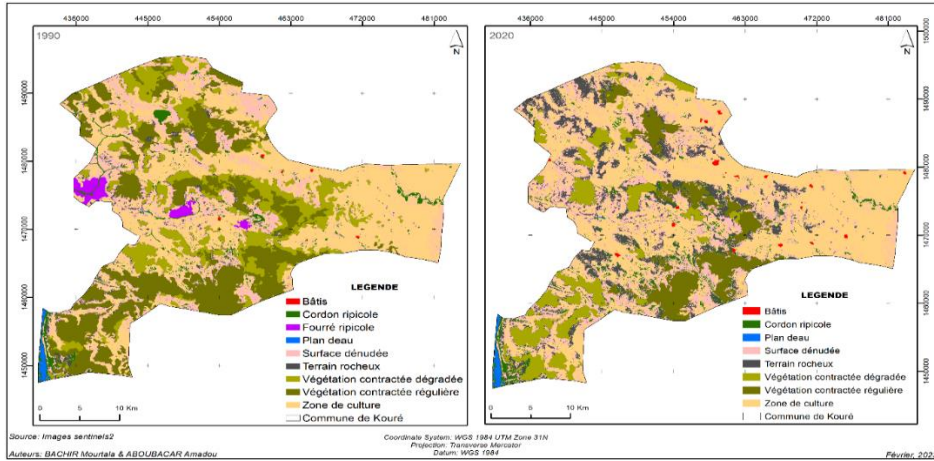


Figure 1 : Dynamique d'occupation du sol de la commune de Kouré de 1990 à 2000.

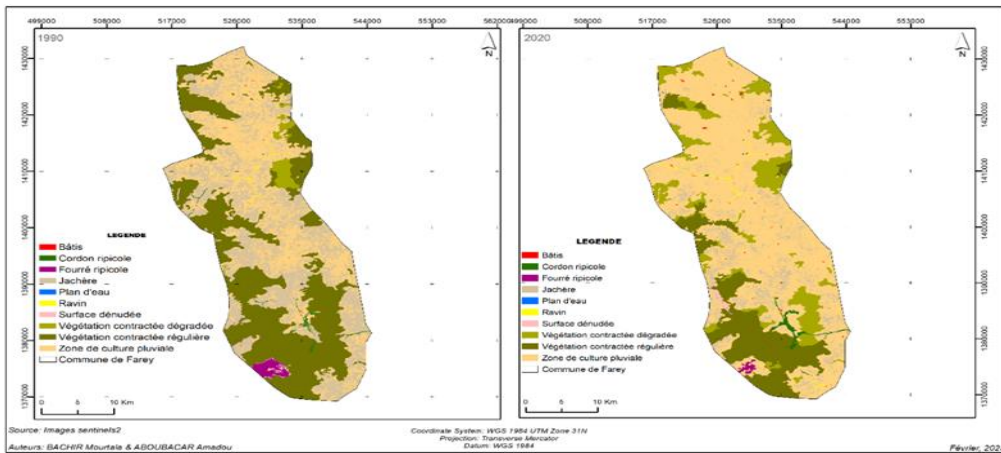


Figure 2 : Dynamique d'occupation du sol de la commune de Farey de 1990 à 2000.

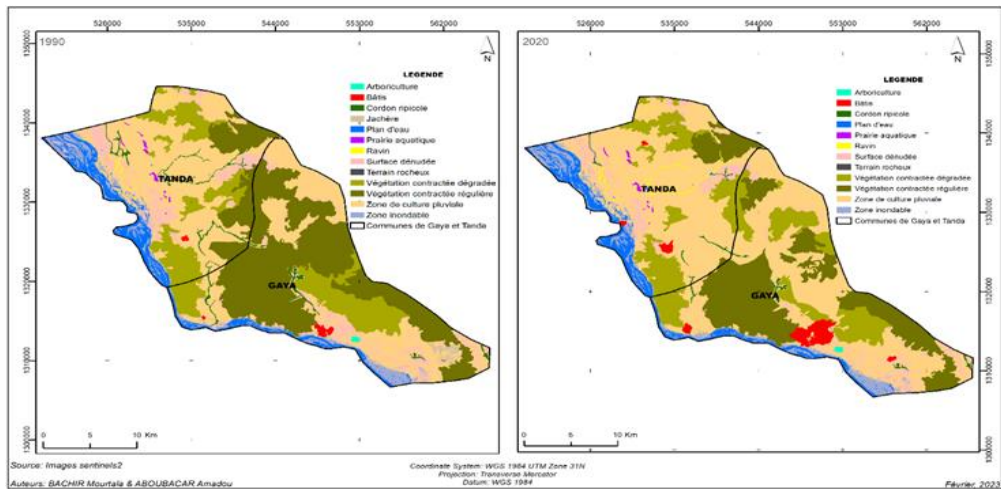


Figure 3: Dynamique d'occupation du sol du bloc Gaya/Tanda de 1990 à 2000.

Tableau 3 : Changements des superficies d'unités d'occupation du sol de Kouré.

Unités d'occupation du sol	Superficie (ha) 1990	Superficies (ha) 2020	Changement (ha)	Taux (%)
Bâtis	71,48	343,02	271,54	379,90
Cordon rupicoles	3 590,42	5 440,77	1 850,35	51,54
Fourré rupicole	1 629,49	0,00	-1 629,49	-100
Plan d'eau	522,04	503,28	-18,76	-3,60
Surface dénudée	18 800,79	24 371,31	5 570,52	29,63
Terrain rocheux	2 476,58	11 777,99	9 301,41	375,57
Végétation CD	18 537,68	10 984,92	-7 552,76	-40,74
Végétation CR	28 702,38	10 544,46	-18 157,92	-63,26
Zone de culture	46 004,32	56 328,02	10 323,70	22,44
Total	120 335,19	120 293,78	-41,41	-0,034

CD= contractée dégradée, CR contractée régulière

Tableau 4: Changements des superficies d'unités d'occupation du sol de Farey.

Unités d'occupation du sol	Superficie (ha) 1990	Superficies (ha) 2020	Changement (ha)	Taux (%)
Bâtis	49,32	214,91	165,59	335,74
Cordon rupicoles	414,04	745,80	331,77	80,13
Fourré rupicole	1 042,10	278,75	-763,35	-73,25
Jachère	28 409,91	7 857,79	-20 552,12	-72,34
Plan d'eau	6,33	16,89	10,56	166,74
Ravin	192,89	341,77	148,88	77,18
Surface dénudée	191,52	375,47	183,95	96,04
Végétation CD	1 957,87	12 831,84	10 873,97	555,40
Vegetation CR	36 596,41	16 190,16	-20 406,25	-55,76
Zone de culture	32 248,81	62 228,26	29 979,44	92,96
Total	101 109,20	101 081,63	-27,57	-0,027

CD= contractée dégradée, CR contractée régulière

Tableau 5 : Changements des superficies d'unités d'occupation du sol du bloc Gaya/Tanda.

Unités d'occupation du sol	Superficie (ha) 1990	Superficies (ha) 2020	Changement (ha)	Taux (%)
Arboriculture	59,65	59,65	0,00	0
Bâtis	259,75	1 419,29	1 159,54	446,40
Cordon rupicole	1 081,48	477,00	-604,48	-55,90
Jachère	396,32	0,00	-396,32	-100
Plan d'eau	3 871,49	3 882,36	10,87	0,28
Prairie aquatique	147,74	131,87	-15,87	-10,74
Ravin	148,72	392,01	243,29	163,58
Surface dénudée	5 777,09	4 331,48	-1 445,61	-25,02
Terrain rocheux	1,44	1,48	0,03	2,34
Vegetation CD	11 333,70	12 274,28	940,58	8,29
Vegetation CR	23 824,84	15 544,82	-8 280,02	-34,75
Zone de culture	27 725,94	35 893,60	8 167,66	29,46
Zone inondable	3 237,55	3 399,72	162,17	5,009
Total	77 865,73	77 807,57	-58,16	-0,075

CD= contractée dégradée, CR contractée régulière

Tableau 6: Matrice de transition d'unités d'occupation de sol de la commune de Kouré.

	Unités	2020								Total 1990	Perte
		Bâtis	Cordon rupicole	Plan d'eau	Sol nu	Terrain rocheux	Végétation contractée dégradée	Végétation contractée régulière	Zone de culture		
1990	Bâtis	52,53	2,11	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	15,85	71,48	18,95
	Cordon rupicole	96,23	2 591,21	0,12	182,82	13,61	0,00	0,00	706,43	3 590,42	999,21
	Fourré rupicole	0,00	46,65	0,00	750,02	154,30	0,00	0,00	678,52	1 629,49	1 629,49
	Plan d'eau	0,00	2,01	502,98	2,79	13,19	0,00	0,00	1,07	522,04	19,06
	Sol nu	31,00	77,37	0,00	14 644,65	92,05	5,83	0,00	3 949,88	18 800,79	4 156,14
	Terrain rocheux	1,00	0,00	0,00	0,00	2 475,58	0,00	0,00	0,00	2 476,58	1,00
	Végét C dégradée	14,85	1 846,18	0,18	5 862,56	6 614,39	576,02	197,53	3 448,92	18 560,64	17 984,62
	Végét C régulière	0,00	875,26	0,00	2 936,66	2 416,09	10 403,29	10 388,38	1 682,92	28 702,60	18 314,22
	Zone de culture	147,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45 856,96	46 004,32	147,36
Total 2020	342,98	5 440,79	503,28	24 380,50	11 779,22	10 985,14	10 585,92	56 340,54	120 358,36		
Gain	290,45	2 849,58	0,30	9 735,85	9 303,64	10 409,12	197,53	10 483,58			

Tableau 7 : Matrice de transition d'unités d'occupation de sol de la commune de Farey.

		2020											
	Unités	Bâtis	Cordon rupicole	Fourré rupicole	Jachère	Plan d'eau	Ravin	Surface dénudée	Végétation C dégradée	Végétation C régulière	Zone de culture	Total 1990	Perte
1990	Bâtis	49,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,32	0,00
	Cordon rup	0,00	306,60	0,00	46,21	0,00	0,00	0,01	0,00	11,83	49,39	414,04	107,44
	Fourré rup	2,48	0,00	247,04	67,82	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00	723,46	1 041,66	794,62
	Jachère	103,46	261,94	0,00	6 975,68	3,05	148,88	27,41	38,59	0,00	20 823,76	28 382,77	21 407,09
	Plan d'eau	0,00	0,00	0,00	0,00	6,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,33	0,00
	Ravin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	192,89	0,00	0,00	0,00	0,00	192,89	0,00
	Surf dénudée	0,01	0,00	31,71	3,50	0,00	0,00	68,52	14,17	5,04	68,57	191,52	122,99
	Végét C degr	0,00	0,00	0,00	14,38	0,00	0,00	0,06	1 713,11	0,00	230,31	1 957,87	244,76
	Végét C Reg	59,64	177,26	0,00	750,21	7,51	0,00	278,60	11 066,01	16 173,32	8 083,96	36 596,51	20 423,18
	Culture Plu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32 248,81	32 248,81	0,00
Total 2020		214,91	745,80	278,75	7 857,80	16,89	341,77	375,47	12 831,87	16 190,20	62 228,27	101 081,72	
Gain		165,59	439,21	31,71	882,12	10,56	148,88	306,94	11 118,77	16,87	29 979,46		

Tableau 8 : Matrice de transition d'unités d'occupation de sol du bloc Gaya/Tanda.

		2020													
	Unités	Arboriculture	Bâtis	Cordon rupi	Plan d'eau	Prairie aquat	Ravin	Surf dénud	Ter roch eux	Végét C dégradée	Végét C régulière	culture pluviale	Zone inond	Total 1990	Perte
1990	Arboricult	59,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,65	0,00
	Bâtis	0,00	248,60	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	7,09	2,16	259,75	11,15
	Cordon rup	0,00	0,00	464,59	7,33	0,00	223,54	58,12	0,00	0,00	0,00	319,37	8,54	1 081,48	616,89
	Jachère	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,58	0,00	0,00	17,90	357,84	0,00	396,32	396,32
	Plan d'eau	0,00	0,84	0,00	3 867,48	0,00	0,00	1,88	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	3 871,49	4,01
	Prairie aquat	0,00	0,00	0,00	0,00	131,87	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	15,47	0,00	147,74	15,87
	Ravin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	148,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	148,72	0,00
	Surf dénud	0,02	404,97	14,44	7,17	0,02	47,43	4 250,40	0,03	0,00	0,00	921,11	187,16	5 832,77	1 582,37
	Ter roch	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00
	Végt C deg	0,00	111,40	1,47	0,38	0,00	0,34	45,53	0,00	8 847,69	0,00	2 327,26	0,00	11 334,08	2 486,39
	Végt C régu	0,00	72,31	0,21	0,00	0,00	19,41	9,69	0,00	3 426,58	15 526,92	4 769,72	0,00	23 824,84	8 297,92
	Culture plu	0,00	546,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27 179,06	0,00	27 725,94	546,88
	Zone inond	0,00	34,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3 203,27	3 237,55	34,28
	Total 2020		59,68	1 419,29	480,71	3 882,36	131,89	439,44	4 388,51	1,48	12 274,28	15 544,82	35 898,21	3 401,13	77 921,80
Gain		0,02	1 170,68	16,12	14,89	0,02	290,72	138,11	0,03	3 426,58	17,90	8 719,15	197,86		

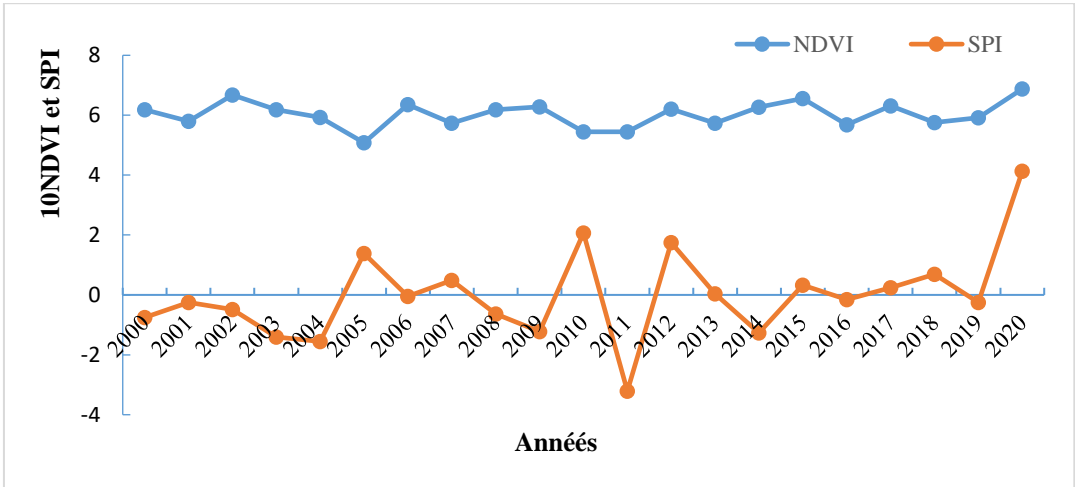


Figure 4: Variation du SPI et NDVI sur le plateau de Kouré de 2000 à 2020.

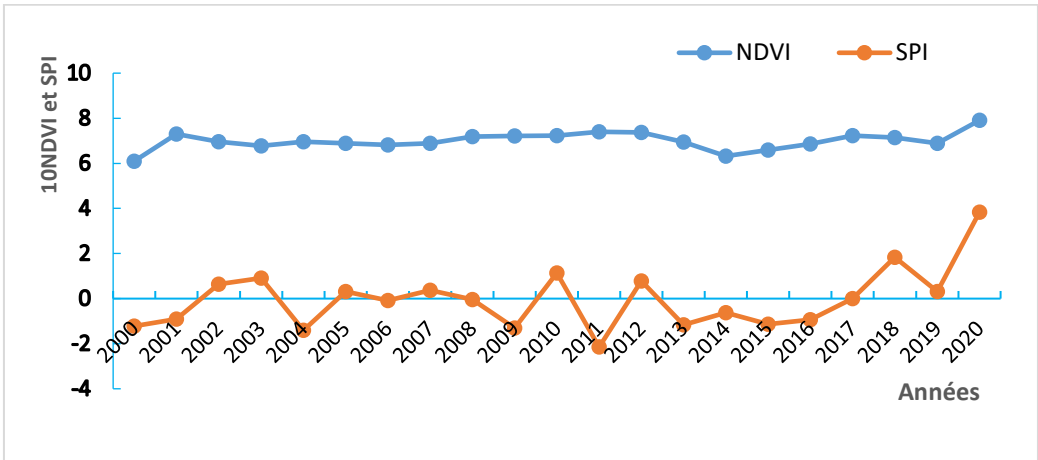


Figure 5: Variation du SPI et NDVI sur le plateau de Guittodo de 2000 à 2020.

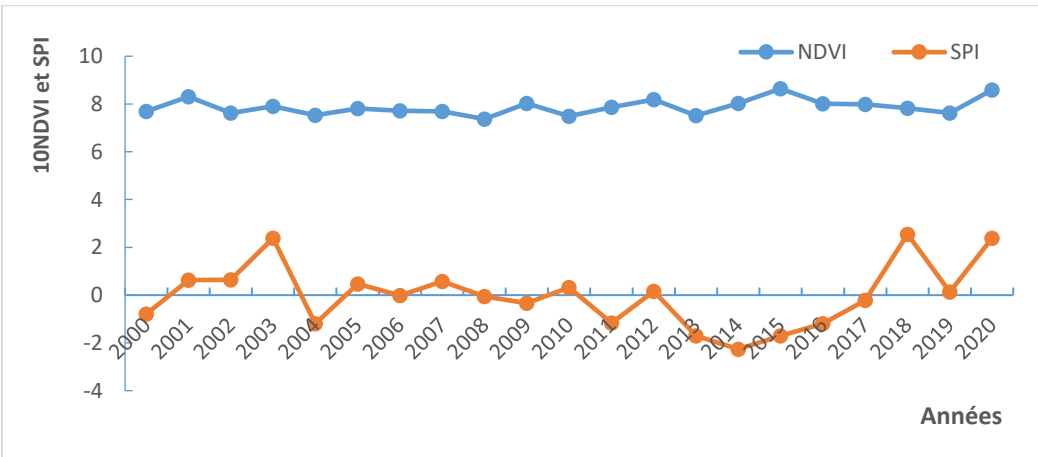


Figure 6 : Variation du SPI et NDVI dans la forêt classée de Gorou Bassounga de 2000 à 2020.

Tableau 9 : Coefficient et probabilité du test de corrélation entre de l'indice standardisé de précipitation et l'indice de végétation par différence normalisée par site.

	Plateau de K	Plateau de G	Forêt de GB
Coefficient de corrélation	0,15	0,46	0,09
P-Value	0,52	0,03	0,68

DISCUSSION

L'augmentation des superficies des bâtis, des ravins, de la zone de culture pluviale, de la végétation contractée dégradée, des zones inondables, des surfaces dénudées et la diminution des superficies des cordon rupicole, jachère, végétation contractée régulière, et prairies aquatiques s'explique par la pression humaine due à une forte croissance démographique avec un taux d'accroissement naturel de (3,9%) (INS (2015) et les effets du changement climatique. Ces résultats sont conformes à ceux de Alohoun et al. (2016) dans le bloc de forêt classée-forêts sacrées au Sud – Bénin et par (Mariétou, 2012) à Dakar, Thiès et Saint-Louis au Sénégal. La faible augmentation de la superficie de la végétation contractée dégradée dans le bloc de Gaya-Tanda s'explique par le statut de la Forêt de Gorou Bassounga qui couvre l'essentiel de la végétation contractée. Sa hausse spectaculaire à Farey s'explique par les défrichements inhabituels observés ces dernières années dans la zone. Cette situation est liée à l'arrivée massive des migrants agricoles et éleveurs transhumants des pays voisins (Bénin et Mali) et des autres régions du pays et leur installation à proximité de l'indice standardisé de précipitation de la réserve partielle de faune de Dosso (Idriss et al., 2019). La régression de la végétation contractée dégradée à Kouré témoigne d'une dégradation très prononcée ayant facilité son remplacement par d'autres unités. La diminution des superficies de la végétation contractée régulière sur les trois sites s'explique surtout par l'exploitation massive du bois énergie et la prolifération des champs. Ces résultats concordent avec ceux de Massaoudou et al. (2015) qui dans leur travaux sur la caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* dans le centre

sud Nigérien lient ces types de pertes à l'action de l'homme sur son milieu et la (FAO, 2001) qui estime d'ailleurs la diminution du couvert forestier à 3,7% au Niger.

Dans la commune de Kouré, la perte de 17984,62 ha de végétation contractée dégradée n'exprime qu'un niveau plus grave de dégradation. En effet cette dernière a été totalement dégradée au point d'être transformée en terrain rocheux, en sol nu ou en zone de culture. Cela s'explique à la fois par l'exploitation anarchique du bois énergie pour approvisionner les villes de Niamey et Dosso et l'expansion des champs liée à la forte croissance démographique. Ces mêmes facteurs ont induit la perte de 18314,22 ha de végétation contractée régulière transformés en végétation contractée dégradée, en sol nu, en terrain rocheux et en zone de culture. Selon Tente (2005), la dégradation d'une végétation contractée régulière en végétation contractée dégradée, très dégradée ou champ de culture est qualifiée, respectivement de régression d'ordres 1, 2 ou 3. Ces résultats illustrent bien le rôle de l'accroissement démographique (Daget et al., 2002), de l'exploitation anarchique du bois et l'approvisionnement en bois énergie des centres urbains (Ouédraogo et al., 2006) dans la dégradation des écosystèmes forestiers. Dans la commune de Farey, la végétation contractée dégradée s'est élargie de 11 119 ha et la partie régulière a régressé de 20 423,18ha. Cette situation s'explique par l'arrivée massive des migrants agricoles dans la zone. Ces derniers exploitent de façon anarchique la partie régulière à cause de la qualité de son bois. Elle est vouée à la dégradation et du coup une partie est convertie en champ de culture. Des situations analogues ont été rapportées par Idriss et al. (2019) dans

la même zone au sein de la réserve partielle de faune de Dosso. Dans le bloc Gaya/Tanda, l'élargissement de la végétation contractée dégradée et la régression de la partie régulière sont faibles par rapport à Farey. Cette situation s'explique par le statut de la forêt classée de Gorou Bassounga où les pressions anthropiques sont quelque peu règlementées. Les changements observés dans les deux unités de la végétation contractée sont les faits d'une mise en culture progressive constatée ces dernières années, combinées à l'exploitation anarchique du bois. Plusieurs auteurs (Bamba et al., 2008; Moussa, 2016 ; Atachada et al., 2018; Idrissa et al., 2019) ont rapporté que cette situation trouve son explication dans l'accroissement rapide de la population.

Dans les reliques de végétation contractée étudiées, les valeurs de l'indice de végétation (NDVI) sont restées positives même en année d'extrême sécheresse. Les résultats montrent que le climat ne peut pas totalement dégrader la végétation contractée au point d'impacter sa dynamique et confirment Hountondji et al. (2006) au Burkina Faso et Saidou et Ambouta, (2020) au Niger qui rapportent que le climat n'explique pas à lui seul la tendance observée de la végétation. D'ailleurs Ambouta, (1997) rapporte que la sécheresse, même sévère, ne fait pas disparaître la brousse tigrée. Ce constat est corroboré par l'influence non significative du SPI sur le NDVI à Kouré et dans le bloc Gaya/Tanda. Le cas spécifique de Farey où l'influence est significative s'explique par la reconstitution progressive des étendues défrichées par les migrants agricoles et les éleveurs transhumants qui se replient ces dernières années à cause de l'insécurité. A cet état où les pressions humaines et pastorales sont réduites, la pluviométrie induit une augmentation de la couverture végétale. Ce type de résilience a été noté par (Bagnian et al., 2013) dans le centre sud du Niger. En effet, les valeurs du NDVI restées positives laissent présager une possible reconstitution naturelle de cette végétation, si les actions anthropiques sont contrôlées. Cette hypothèse d'une possible reconstitution de la

végétation contractée est comparable aux observations de Herrmann et al. (2005) qui qualifient ce type de situation d'une transition vers un nouvel état d'équilibre.

Conclusion

Il ressort de la présente étude que les actions anthropiques influencent plus sur la dynamique de la végétation contractée de l'ouest du Niger que les facteurs climatiques. En effet les transformations subies par cette dernière sont en majorité liées à la dégradation, l'expansion des champs et la transformation en zone dénudée et terrain rocheux, tous imputables aux actions de l'homme. La variation de la dynamique de la végétation contractée observée le long du gradient pluviométrique est fonction des caractéristiques spécifiques propres à chaque site que la pluviométrie. Les valeurs évolutives ($NDVI \geq 0$) au sein de la relique de végétation contractée indiquent le cas d'une végétation ayant conservé ses potentialités malgré les multiples pressions. Les résultats de cette étude ont contribué à mettre en lumière la dynamique des unités d'occupation du sol dans la zone d'étude. Ils ont également permis de mettre en évidence la régression des superficies de la végétation contractée, les transformations qu'elle a subies entre 1990 et 2020 et l'influence du gradient pluviométrique sur l'indice de végétation.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Dans le cadre de cette étude, AA a élaboré le projet de recherche, collecter les données du terrain, téléchargé les images satellites et rédigé le manuscrit. MB a traité les images et a proposé le plan de la rédaction. IDG a dirigé le travail en apportant des suggestions dans le projet de recherche et la première monture des cartes qui ont permis d'améliorer leur netteté. Il a aussi beaucoup contribué à l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit. DA a fait une lecture critique du document et amélioré sa qualité scientifique. Enfin ces auteurs ont tous participé à la relecture et la validation du document.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CNSEE pour la mise à disposition de la salle et du matériel pour la réalisation des cartes.

REFERENCES

- Abdou B, Souleymane ST, Baba C, Cheick Hamalla D, Moriké D, Alou T, Sidi D. 2016. Pressions anthropiques et dynamique d'occupation des terres dans le terroir de Ziguéna, zone cotonnière du Mali. *European Scientific Journal*, **12**(5): 90-99. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n5p90
- Aboubacar A, Bagnian I, Laouali A, Dan Guimbo I. 2023. Caractéristiques de la Régénération de la Végétation Contractée de l'Ouest du Niger Suivant le Gradient Pluviométrique et d'Anthropisation. ESI Preprints. DOI : <https://doi.org/10.19044/esipreprint.8.2023.p459>
- Ago E. 2016. Dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes Ouest-Africains : cas des forêts et savanes sous climat soudanien au Bénin. Thèse de Doctorat, Université de Liège Gembloux Agro Bio Tech, Bruxelles, p. 184.
- Amadou A T, Rodrigue G, Zibo G, Jean-Louis R, Christophe P, Vincent B, Alain D, David S. 2010. Evolution des paysages sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey, de la dégradation de la brousse tigrée à l'encroustement de surface des sols, P35-40
- Ambouta K.1997. Définition et caractérisation des structures végétales contractées au sahel : cas des brousses tigrées du Niger, P 41-57
- Alohou EC, Ouinsavi C, Sokpon N. 2016. Facteurs déterminants de la fragmentation du bloc forêt classée- forêts sacrées au Sud – Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **101**: 9618-9633. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v101i1.5>
- Atchada CC, Zoffoun AG, Akplo AHA, Tente AB, Djego JG. 2018. Mode d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(6): 2818-2829. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.27>
- Bagnian I, Adam T, Mahamane A. 2021. Reverdissement du Centre-Sud du Niger: Deux décennies de données de télédétection et de terrain. www.agrimaroc.org (consulté 13/11/2022)
- Bagnian I, Adamou MM, Adam T, Mahamane A. 2013. Impact des modes de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le Centre-Sud du Niger. www.m.elewa.org (consulté le 16/11/2022)
- Bamba I, Mama A, Neuba DFR, Koffo KJ, Traoré D, Visser M, Sinsin B, Lejoly J, Bogaert J. 2008. Influence des pressions anthropiques sur la dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas Congo (République Démocratique du Congo). *Sciences et Nature*, **5**: 4960. DOI: 10.4314/scinat.v5i1.42151
- Baret F, Guyot G, Bague A, Maurel P. 1988. Complementary of middle-infrared with visible and near-infrared reflectance for monitoring wheat canopies. *Remote Sensing of Environment*, **26**: 213-225.
- Bergaoui M, Alouini A. 2002. Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse*, **12**: 205-13.
- CILSS (Comité Permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel). 2016. Les paysages de l'Afrique de l'ouest : Une fenêtre sur un monde en pleine évolution. U.S. Geological Survey EROS, 47914 252nd St, Garretson, SD 57030, UNITED STATES, p. 219.

- Daget P, Djellouli Y. 2002. Une approche écoclimatique des potentialités pastorales en régions sahéliennes. *Sécheresse*, **13**(2): 73-80.
- FAO. 2001. State of the world's forests. Rome, 181p. Institut National de la Statistique.
2012. Présentation des résultats globaux définitifs du quatrième (4ème) recensement général de la population et de l'habitat (rgp/h) de 2012. Rapport final, 351p.
- FAO. 2012. Plan forestier National PFN-Niger 2012-2021, 98p.
- Fournier A, Hien M, Millogo-Rasolodimby J. 2001. Les jachères de moins de cinq ans en savane soudanienne: richesse floristique, structure de la végétation. Cas de Bondoukuy (Ouest du Burkina Faso). *Floret et Pontanier*, **1**: 390399.
- Hermann SM, Anyamba A, Tucker CJ. 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, **15**: 394 – 404.
- Hountondji YC, Sokpon N, Ozer P. 2006. Analysis of vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982-1999) for the monitoring of desertification. *International Journal of Remote Sensing*, **27**: 871-884.
- Idrissa K A, Tougiani A, Moussa M, Habou R, Idrissa S, Jan B. 2019. Influence des Pressions Anthropiques sur la Dynamique Paysagère de la Reserve Partielle de Faune de Dosso (Niger). DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.41>
- Issoufou M, Boureïma O, Ado D. 2018. Evolution de l'occupation des sols dans la partie nord du dallol Bosso, départements de Filingué et Balleyara, région de Tillabéri-Niger. *European Scientific Journal*, **14**(30): 391-407. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n30p391
- INS (Institut National de la Statistique). 2015. Etat et structure de la population du Niger en 2012. Projection sur les données du recensement général de la population et de l'habitat de 2012, p. 54.
- Illiassou SA, Diouf A, Mamoudou BM, Satta AS, Mahamane A, Saadou M. 2015. Dynamics of a third world city: Case of Niamey, Niger. *Journal of Geography and Regional Planning*, **8**(5): 120-139. DOI: 10.5897/JGRP2015.0491
- Mariétou N. 2012. Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès et Saint-Louis). Thèse de Doctorat en Géographie. Université Toulouse le Mirail Toulouse II, 2012. Français.
- Massaoudou M, Larwanou M, Mahamane S. 2015. Caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* (Del) A. Chev. et à *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. du centre-sud nigérien. *Journal of Applied Biosciences*, **94**: 8890-8906. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v94i1.6>
- Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. Actes de la 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, Californie), p. 179-184
- Ministère de l'Environnement de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable du Niger. 2015. Stratégie Nationale de Développement de l'Agroforesterie et plan d'action, 60p.
- Moussa MB. 2016. Caractérisation des stades de dégradation des écosystèmes de l'Ouest du Niger et proposition de techniques simples de restauration des stades dégradés. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, 166p.
- Moussa Abdou O, Saidou S, Dan Guimbo I. 2022. Dynamique spatio-temporelle de la dégradation des terres dans les communes rurales de Simiri et Tondikiwindi du

- département de Ouallam, région de Tillabéri (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16**(5): 2143-2157. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.25>
- Ouédraogo A, Adjima T, Hahn-Hadjali K, Guinko S. 2006. Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, **17**(4): 485-491.
- Sadda AS, Diouf A, Lawali S, Ouedrago 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). *Tropiculture*, **34**(2) : 127-139. URL : <https://www.tropicultura.org%2Fcontent%2Fv34n2.html&usg=AOvVaw1ldA8HFclcRxzXiiYDrmKS> (consulté, le 21/01/2023)
- Saidou S, Ambouta JMK. 2020. Part contributive de la densité démographique au reverdissement de certaines zones fortement anthropisées du Sahel: cas des Communes d'Aguié et d'Ibohamane au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**: 816-834.
- Tahirou H, Abdou MM, Lawali S, Diouf A, Idrissa S, Moussa M, Alzouma MZ. 2019. Variables agro-écologiques indicatrices de performance dans l'évaluation de la vulnérabilité alimentaire et nutritionnelle. *Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, **24**(8): 10-21. Ser. 5.
- Tente ABH. 2005. Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora: Secteur Perma-Toucountouna (Bénin), Thèse de Doctorat, Université d'Abomey Calavi, Cotonou, p 252.