



Original Paper

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

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

Effets des aménagements de restauration des terres sur la dynamique d'occupation des sols et les caractéristiques de la végétation ligneuse dans la commune de Badaguichiri au Niger

Maman Nassirou ADO^{1*}, Leyamine ALOU NAMATA², Boubacar MOUSSA MAMOUDOU² et Salifou SAIDOU¹

¹ Faculté des Sciences Agronomiques, Université Djibo Hamani de Tahoua

² Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques, Université de Diffa

*Auteur correspondant: Maman Nassirou Ado, Email : adomamannasser@yahoo.fr

Received: 12-08-2024

Accepted: 17-12-2024

Published: 31-12-2024

RESUME

Au Niger, la dégradation des écosystèmes a incité la mise en place des techniques de restauration des terres qui ont apporté des changements du paysage. L'objectif global de cette étude était d'évaluer les effets des techniques de restauration des terres sur la dynamique d'occupation des sols et les caractéristiques de la végétation ligneuse dans la commune de Badaguichiri. L'étude était basée sur la cartographie spatio-temporelle de l'occupation des sols à l'aide des images satellitaires Landsat des années 1984, 2000 et 2022 en utilisant à la fois la méthode de classification non supervisée avec l'algorithme Iso Cluster Unsupervised Classification et la méthode de classification supervisée avec l'algorithme maximum de vraisemblance. En outre, l'inventaire floristique des ligneux a été effectué sur trois sites de la commune (Kossa, Kiré-Kafada et Moudjia) où les techniques de restauration des terres ont été réalisés depuis 7 à 15 ans. Les résultats ont montré que de 1984 à 2022, il y a eu une régression de la classe de savane arbustive (-6,5% de la superficie totale de la commune) et celle de la classe des sols nus (-3,5% de la superficie totale de la commune). Par contre, la classe des champs de culture a quasiment doublé sa superficie (10800 ha en 1984 à 19868 ha en 2022). On a également noté une légère extension de la classe de steppe arbustive (+0,8% de la superficie totale de la commune). Par ailleurs, la végétation de la zone d'étude se caractérise par un degré élevé d'anthropisation. En effet, la répartition par classe de diamètre et de hauteur dans la zone a montré une distribution asymétrique positive ou asymétrique droite et un taux de régénération > 50%. Cette composition et structure de la végétation serait liée aux effets des aménagements de restauration des terres, dans la revégétalisation de la zone.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Ecosystèmes, Dégradation des terres, Techniques de restauration des terres, Dynamique spatio-temporelle, Occupation des terres, Végétation ligneuse.

Effects of land restoration techniques on land use dynamics and woody vegetation characteristics in Badaguichiri commune in Niger

ABSTRACT

In Niger, ecosystem degradation has prompted the implementation of land restoration techniques that have brought about changes in landscap. The main objective of this study was to evaluate the effects of land restoration techniques on land use dynamics and woody vegetation characteristics in the commune of

Badaguichiri. The study was based on spatio-temporal mapping of land use using Landsat satellite images acquired for three years (1984, 2000 and 2022) according to both the unsupervised classification method with the Iso Cluster Unsupervised Classification algorithm and the supervised classification method with the maximum likelihood algorithm. Furthermore the floristic inventory of woody plants which was performed on three sites in the commune (Kossa, Kiré-Kafada and Moudjia) where land restoration techniques have been installed since 7 to 15 years. The results showed, during 1984-2022 period, a regression of shrub savannah class (-6.5% of the total area) and bare soil class (-3.5% of total area). However, the crops land class has almost doubled its surface area (10,800 ha in 1984 to 19,868 ha in 2022). A slight extension of the shrub steppe class was also observed (23975 ha in 1984 to 24795 ha in 2022). Furthermore, the vegetation in study zone was characterized by a high degree of anthropization. Indeed, the distribution in diameter and height class showed a positive asymmetrical or right asymmetrical distribution and a regeneration rate > 50%. This composition and structure of the vegetation would be linked to positive effects of land restoration techniques in revegetation of study zone.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Ecosystem, Land degradation, Land restoration techniques, Spatio-temporal dynamics, Land use, Woody vegetation.

INTRODUCTION

Au Niger, comme dans la plupart des pays sahéliens, l'économie est basée essentiellement sur l'exploitation des ressources naturelles notamment à travers l'agriculture, l'élevage et l'exploitation des ressources forestières (Roose, 2017 ; Abdoul et al., 2019) Cependant, les ressources naturelles sont de plus en plus épuisées et menacées par les processus de dégradation. En effet, les grandes sécheresses des années 1972/1973, 1984/1985, ont déclenché les processus de dégradation des terres notamment par l'augmentation des érosions hydrique et éolienne, la baisse de la fertilité des sols, la diminution de la couverture végétale (Oumarou, 2012 ; Baragé et al., 2018). En outre, la pression démographique, ayant augmentée la pression sur les ressources naturelles notamment par la déforestation au profil des superficies des terres cultivées, couplée aux variabilités climatiques ont accéléré la réduction quasiment généralisée des formations végétation au Niger (Issoufou et al., 2018). Au Niger, la perte annuelle en superficie des forêts naturelles est estimée à 37 050 hectares à partir de 2000. Ainsi, entre 1990 et 2010, le pays a perdu 741 000 hectares de forêts, ce qui représente 38,1% de son couvert forestier total (FAO, 2010). Selon DGEF (2018), le Niger a perdu 904 400 ha de terres de 2000 à 2013, soit une perte de 64 600 ha/an

en moyenne sur cette période. Ainsi, l'équilibre des écosystèmes est continuellement perturbé et les ressources naturelles disponibles s'amenuisent au fil du temps (Abdou et al., 2019). Cette situation a eu des conséquences néfastes sur le développement économique de la zone notamment par l'augmentation de l'insécurité alimentaire et l'appauvrissement de la population (Ambouta et Bouzou, 2004 ; Roose, 2017 ; Abdoul et al., 2019). Pour tenter de renverser la tendance à la dégradation des écosystèmes et rendre les sols plus productifs, l'Etat du Niger, en collaboration avec les partenaires techniques et financiers, a engagé des actions de restauration des terres dégradées notamment par les techniques de Conservation des Eaux et des Sols (C.E.S) et Dépense et Restauration des Sols (CES/DRS) (Eveqoz et Guero, 2000 ; TerrAfrica, 2011 ; GIZ, 2015). Ces techniques ont fait preuve d'efficacité sur la restauration des écosystèmes par l'amélioration de la productivité agricole des terres et la re-végétalisation des milieux tant au Niger (Fatondji et al., 2009 ; Abdoulaye, 2012 ; Ado et al., 2021) que dans la sous-région (Zougmore et al., 2003 ; Nyamekye et al., 2018). La région de Tahoua au Niger, particulièrement touchée par la dégradation des terres, est considérée comme l'une des zones pilotes en termes des techniques de CES/DRS (Eveqoz et Guero, 2000 ; Ambouta et Bouzou, 2004). En effet, plusieurs projets orientés sur

les ouvrages de récupération des terres y ont été expérimentés (projet de développement intégré de Keita (PIK), projet de développement rural de Tahoua (PDRT), projet Badaguichiri, etc.). La commune de Badaguichiri, à l'instar des autres communes de la région de Tahoua, a bénéficié des aménagements de restauration des terres. Selon Abdou et al. (2019), les ouvrages de restauration des terres réalisés dans la commune de Badaguichiri ont eu des impacts positifs sur l'amélioration des écosystèmes et sur la vie socio-économique de la population. Ainsi, le suivi des changements des écosystèmes est un défi majeur pour évaluer les effets des aménagements afin d'orienter les actions de restauration des écosystèmes et la gestion des ressources naturelles.

L'objectif général de la présente étude était d'évaluer les effets des aménagements de restauration des terres sur la dynamique d'occupation des sols et la composition et la structure de la végétation ligneuse dans la commune de Badaguichiri.

MATERIELS ET METHODES

Zone d'étude

L'étude était conduite dans la commune de Badaguichiri qui est localisée dans la partie Est du département d'Illéla dans la région de Tahoua (14°25'10'' et 14°34'00'' de latitude nord et 5°16'45'' et 5°26'10'' de longitude Est) (Figure 1). Le climat de la zone est tropical de type sahélien caractérisé par une moyenne pluviométrique annuelle comprises entre 300 à 450 mm. Les sols rencontrés dans la zone sont les lithosols et les régosols sur les plateaux ; les sols sableux bruns rouges et les sols ferrugineux sur les glacis et les alluvions limono-sableux associés par endroit à des vertisols au des bas-fonds et vallées (Djibo, 2011). La végétation, fortement artificialisée, est caractérisée par une steppe arborée dominé par *Acacia ataxacantha*, *Acacia tortilis*, *Acacia nilotica*, *Combretum nigricans...* etc. et une steppe arbustive à graminées annuelles.

Matériels

Pour conduire cette étude, les matériels suivants ont été utilisés :

- Un récepteur GPS de marque Garmin 64s pour enregistrer les coordonnées géographiques,
- Un mètre ruban pour la délimitation des placettes et les mesures des circonférences
- Une perche graduée pour la mesure des hauteurs
- Un livre d'identification des espèces intitulé Lexique des Plantes du Niger
- Une fiche de relevés floristiques pour saisir les données sur le terrain

Méthodes

Etude diachronique d'occupation des sols

Acquisition des images

L'acquisition des images satellitaires a été effectuée grâce à la plateforme satellitaire Landsat en téléchargement libre accès (<https://www.usgs.gov/landsat-missions>). Les images LANDSAT des années 1984, 2000 et 2022 ont été acquises. Le choix de ces années est justifié non seulement par la disponibilité des images mais aussi par la période relativement longue (38 ans) pouvant expliquer des changements des écosystèmes dans la zone d'étude.

Les images ont été acquises en utilisant 2 capteurs de la série Landsat : TM 4 (*Thematic Mapper*) pour les années 1984 et 2000 et ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) pour les années 2022 avec une résolution de 30 m. Ces images ont été acquises en fin de saison pluvieuse (Octobre), la période où la différenciation des unités d'occupation est maximale car la couverture nuageuse est trop faible. Le choix de ces images était basé sur leurs disponibilités, leur qualité ainsi que sur leurs bonnes résolutions spectrales (6 à 11 bandes) et spatiale (30 m pour TM et ETM+) permettant de caractériser des éléments paysagers au sol de 1200 m² et 900 m². Ainsi, les images ont été extraites sous forme des bandes individuelles en niveau de gris au format Géo Tiff.

Traitements d'images et élaboration des cartes

Les images précédemment acquises, sous forme de bandes individuelles en niveau de gris au format Géotiff de l'USGS, ont été compilées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.8.

Une composition RVB (Rouge-Vert-Bleu) en fausses couleurs a été réalisée à partir des bandes compilées. Les compositions colorées les mieux adoptées sont respectivement i) 4-3-2 pour l'image Landsat TM pour les années 1984 et 2000 et ii) 6-5-4 pour l'image Landsat ETM+ pour l'année 2022. Ces compositions font ressortir les réponses spectrales de différentes unités et rehaussent mieux les contrastes entre ces unités.

La classification des unités d'occupation des sols a été effectuée dans un premier temps par la méthode de classification non supervisée avec l'algorithme Iso Cluster Unsupervised Classification (Mariétou, 2012) pour avoir une idée sur les différentes classes d'occupation de la zone avant la phase terrain pour vérification. Ensuite, la deuxième étape a consisté à la classification supervisée avec l'algorithme maximum de vraisemblance (Salmanou et al., 2018). Les unités homogènes d'occupation des terres telles qu'elles apparaissent sur les images ont été délimitées tout en tenant compte de l'objectif de l'étude. Ainsi, cinq (5) classes ont été définies : i) la classe d'affleurement rocheux, ii) la classe du sol nu, iii) la classe des champs de cultures, iv) la classe de steppe arbustive et v) la classe de savane arbustive (Tableau 1).

Analyse spatio-temporelle des classes d'occupations des sols

La dynamique spatio-temporelle du paysage a été déterminée grâce à une analyse diachronique des classes d'occupation des sols. Les superficies de chaque classe ont été générées à partir des tables attributaires des cartes élaborées en format vecteur. Une analyse comparative de la superficie des classes d'occupation des sols a été réalisée entre 1984 et 2022.

Caractérisation de composition floristique et diversité de la végétation ligneuse

Cette phase était basée essentiellement sur l'inventaire floristique de la végétation ligneuse dans notamment dans les localités où il y a eu des travaux de restauration des terres dégradées la zone d'étude.

Choix des sites

Le choix des sites pour l'inventaire floristique était basé essentiellement sur

l'accessibilité du site, l'ancienneté des aménagements, le suivi du site après la réalisation des aménagements et l'hétérogénéité du point de vue de la diversité floristique. Ainsi, trois (3) sites ont été retenus à savoir les villages de Moujia, Kossa et Kiré-Kafada situés dans la commune de Badaguichiri. Les principales caractéristiques des aménagements de ces villages sont présentées par le Tableau 2.

Echantillonnage et collecte des données de l'inventaire

Pour l'échantillonnage, la méthode « classique » d'inventaire systématique stratifié utilisant des placettes de taille fixe a été utilisé. L'unité d'échantillonnage étaient des placettes carrées de 50 m x 50 m, des transects de direction Est-Ouest et Nord-Sud (Dramé et Berti, 2008). Au niveau de chaque site, deux (2) transects ont été mis en place avec un minimum de 20 placettes pour chaque transect. Au niveau de chaque placette, toutes les espèces ligneuses ont été identifiées et recensées. Le nombre de pieds par espèce a été aussi déterminé. Pour les tiges juvéniles, dont le diamètre du tronc à la base (à moins de 30 cm) était inférieur ou égal à 4 cm, leur nombre a été évalué pour apprécier la régénération dans chaque placette. Les paramètres dendrométriques mesurés étaient la hauteur totale de l'individu, la circonférence à 1,30 m pour tous les sujets dont la hauteur totale dépassait 1,30 m et le diamètre moyen de la couronne suivant deux axes perpendiculaires en simulant leur projection verticale du houppier au sol à l'aide d'un mètre ruban. Ce paramètre sert à déterminer le recouvrement global des ligneux dans les trois sites.

Traitement des données

Calcul des paramètres de diversité spécifique

Les paramètres de la diversité spécifique, qui rendent compte de la richesse et de la distribution d'abondance spécifique dans les écosystèmes ont été calculés. Il s'agit de :

Richesse spécifique qui correspond au nombre d'espèces que compte une communauté ou un peuplement.

Indice de diversité de Shannon (H') qui a été calculé par la formule suivante

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \text{ avec}$$

S nombre total des espèces, *P_i* la fréquence relative des espèces. Pour $H' < 2,5$ la diversité est faible ; $2,5 \leq H' < 4$, la diversité est moyenne et $H' \geq 4$ la diversité est élevée (Maman, 2014).

Équitabilité de Pielou (E) qui évalue la régularité de la distribution des espèces au sein d'une communauté. Il varie de 0 à 1. Il est maximal quand les espèces ont les abondances identiques dans le peuplement et est minimal lorsqu'une seule espèce domine tout le peuplement. Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$E = \frac{H'}{\log_2 S} \text{ avec}$$

H' l'indice de Shannon- wheaver et *S*, le nombre total des espèces. $E=0,6$ = faible ; $0,6 \leq E < 0,7$ = moyen ; $0,8 < E$ = élevé

Calcul des paramètres dendrométriques

Les paramètres dendrométriques suivants ont également été évalués :

Densité moyenne

Elle est le nombre de tiges sur pied ramené à l'hectare et était calculée selon la formule suivante :

$$D = N/S$$

N : nombre total de tiges inventoriées ; *S* : superficie totale en hectare.

Diamètre moyen (Dg),

Il est exprimé en centimètre (cm), est déterminé à l'échelle de chaque placette par la formule suivante :

$$Dg = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n di^2}$$

n: nombre total de tiges rencontrées dans la placette et *di* : diamètre de la tige *i* (cm).

Surface terrière

Elle est définie comme étant la somme des sections transversales des arbres mesurées à 1,30 m au-dessus du sol ou le cas échéant à 30 cm au-dessus des contreforts. Elle renseigne sur le niveau d'occupation du sol par l'arbuste, comme espace vital de croissance (Inoussa, 2012). Elle se calcule selon la formule suivante :

$$G = \frac{\pi}{400000S} \sum_{i=1}^n di^2$$

s: superficie de la placette en hectare et *di* : diamètre de la tige *i* (cm).

Taux de recouvrement

Il correspond à la surface du sol recouverte par la projection des parties aériennes des individus. Le taux de recouvrement (R) des espèces ligneuses en pourcentage (%) est obtenu par la formule suivante :

$$R (\%) = \frac{r \cdot 100}{s} \text{ avec } r = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n di^2$$

r = recouvrement de l'ensemble des individus de la placette (m²) ; *di* = diamètre moyen du houppier de l'individu *i* (m) ; *s* = surface de la placette (m)

Densité et taux de régénération

La densité de la régénération représente le nombre de rejet sur une surface donnée. Elle s'exprime en nombre de rejet par hectare :

$$Dr = n/s$$

Le taux de régénération est le rapport entre l'effectif total des jeunes plants et l'effectif du peuplement :

$$T (\%) = (\Delta y / \Delta x) \times 100$$

Avec *T* = Taux de régénération, Δy = effectif total des jeunes plants, Δx = effectif total du peuplement.

➤ Indice de valeur d'importance (IVI)

Il a été calculé en pourcentage pour chaque espèce de la flore à partir de la formule de Curtis et McIntosh. Il est calculé par sommation de la densité relative, de la dominance relative et de la fréquence relative. Cet indice permet d'évaluer la prépondérance spécifique d'une espèce dans le peuplement et varie de 0 à 300 %. Toute espèce dont l'indice de valeur d'importance est supérieur ou égal à 50% est considérée écologiquement importante.

$$IVI_i = DER_i + DOR_i + FRR_i$$

L'IVI globale du peuplement (IVI_g) est obtenue à travers la formule suivante :

$$IVI_{gi} = DER_{gi} + DOR_{gi} + FRR_{gi}$$

Où, *g*=globale, *i*=individu, DER, DOR et FRR sont respectivement la densité relative, la dominance relative et la fréquence relative. Ces paramètres sont calculés par les formules suivantes :

$$DER_i = \frac{\text{Nombre d'individus d'une espèce}}{\text{Nombre total d'individus dans l'échantillon}} \times 100$$

$$DOR = \frac{\text{Surface terrière d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale de l'échantillon}} \times 100$$

$$FRR = \frac{\text{Fréquence d'une espèce}}{\text{Total des fréquences de toutes les espèces}} \times 100$$

La fréquence de l'espèce est le nombre de placettes dans lesquelles l'espèce a été observée sur le nombre total de placettes échantillonnées.

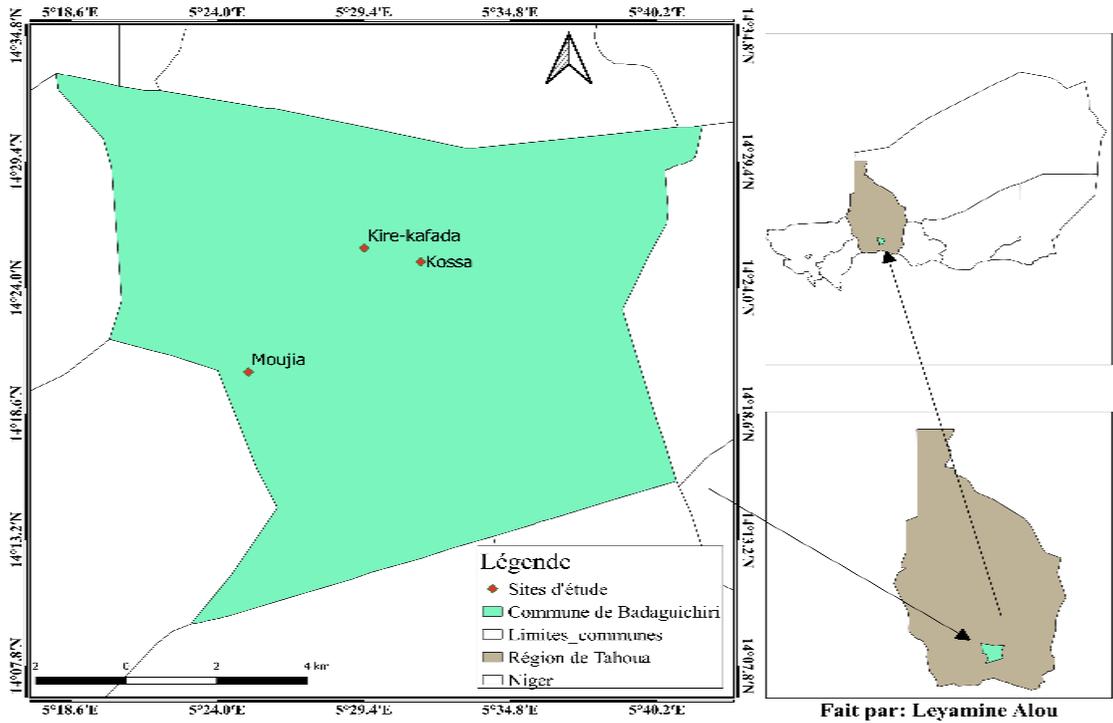


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude (commune de Badaguichiri).

Tableau 1 : Nomenclature des classes d'occupation des sols.

Classes d'occupation des sols	Description
Affleurement rocheux	Amas et affleurement rocheux et les zone de cuirasse : Plateaux, collines, montagnes, blocs de roches.. sont inclus dans cette classe.
Culture pluviale	Cette classe regroupe l'ensemble des zones de culture pluvieuses exclusivement liés à la pluie.
Steppe arbustive	Cette classe présente les formations végétales à couvert très irrégulier, ou les petits arbres arbustes et arbusseaux sont présents.
Savane arbustive	Elle regroupe les formations végétales ligneuses, y compris les cordons arborés mono-spécifique à <i>Prosopis juliflora</i> présent dans les bas font.
Sol nu	Cette classe présente toutes les surfaces de sols dégarnis de couvert végétal, des terres endurées et dégradés.

Tableau 2 : Caractéristiques des aménagements réalisées sur les sites d'étude.

Villages	Type des aménagements	Superficies concernées (ha)	Année de réalisation	Durée (an) par apport à 2022
Kossa	Demi-lunes et Banquette	133	2007	15
Moujia	Demi-lune	200	2010	12
Kiré-Kafada	Demi-lunes	125	2015	7

RESULTATS

Etat d'occupation des sols en 1984, 2000, 2022

Globalement, l'état de surface de la commune de Badaguichiri, occupant une superficie totale d'environ 109 297 ha, est dominé par le sol nu et les affleurements rocheux (Figure 2, Tableau 3). En effet, ces unités d'occupation des sols occupent 51,1 ; 57,3 et 48,5% de la superficie totale respectivement en 1984, 2000 et 2022. Par ailleurs, les formations végétales (savane arbustive et steppe arbustive), représentent 39,0 ; 32,3 et 33,3% de la superficie totale respectivement en 1984, 2000 et 2022. Ainsi, en 2000, la physionomie du territoire a changé en faveur de la classe des affleurements rocheux et celle du sol nu par rapport à l'année 1984 (Figure 2B). Quant aux champs des cultures, ils occupent 9,9 ; 10,4 et 18,3% respectivement en 1984, 2000 et 2022 ; enregistrant ainsi une augmentation progressive avec les années dans le territoire.

Dynamique de l'occupation des sols dans la zone entre 1984 et 2022

Les résultats du Tableau 4 ont montré une régression de superficie des classes de savane arbustive et du sol nu respectivement de -6,5 et -3,5% durant la période de 1984 à 2022. Par contre, les classes des champs des cultures, d'affleurement rocheux et de steppe arbustive ont connu une augmentation de superficie respectivement de 8,3, 0,9 et 0,8% durant cette période de 1984 à 2022. Ainsi, les espaces perdus par les classes de savane arbustive et du sol nu ont été occupés en grande partie occupés par la classe des champs des cultures pluviales.

Caractéristiques de la végétation ligneuse

Composition et répartition floristique

Le Tableau 5 présente la composition floristique dans la zone d'étude. Globalement, la végétation ligneuse dans cette zone, répartie sur trois sites, était constituée de 6 familles réparties sur 8 genres et 13 espèces. Cette végétation est dominée par les Mimosaceae avec 6 espèces soit 46,2% suivi des Caesalpinaceae avec 2 espèces soit 15,4% et des Combretaceae avec 2 espèces soit 15,4%. Sur le site de Kiré-kafada, où les aménagements sont plus récents (7 ans), la flore est constituée de 10 espèces réparties dans 7 genres et 5 familles. La famille des Mimosaceae était la plus représentées avec 4 espèces soit 40% suivies des Caesalpinaceae et Combretaceae avec 2 espèces chacune soit 20% et les moins représentées étaient les Balanitaceae avec 1 espèce soit 10% (Tableau 4). Sur le site de Moujia où les aménagements ont une durée de 10 ans, la flore était constituée de 12 espèces réparties en 9 genres et 6 familles. Les Mimosaceae était la famille la plus représentée avec 5 espèces soit 41,67% suivi des Caesalpinaceae avec 2 espèces soit 16,67% et les moins représentées étaient les Meliaceae avec 1 espèce soit 8,33% (Tableau 5). Sur le site de kossa ayant des aménagements âgés de 12 ans, la flore était composée de 7 espèces réparties en 4 genres et 3 familles (Tableau 5) avec une dominance des Mimosaceae représentées par 5 espèces soit 71,43% suivie des Caesalpinaceae et des Balanitaceae avec 1 espèce soit 14,29% chacune.

Diversités floristiques

La richesse spécifique, les indices de diversité et l'équitabilité de Pielou des trois sites sont présentés dans le Tableau 4. Il ressort

de ce tableau que la richesse spécifique du peuplement de la zone étudiée était composée de 13 espèces. Cette richesse spécifique était plus faible sur le site de Kossa (7 espèces) que sur le site de Kiré-kafada (10 espèces) et celui de Moujia (12 espèces). Pour l'indice de Shannon-Wiener, il était plus faible sur le site de Kossa (2,80 bits) que sur le site de Kiré-kafada (3,32 bits) et celui de Moujia (3,58 bits). Par contre, l'Équitabilité de Pielou, était plus élevée sur le site de Kossa (0,75) que sur le site de Moujia (0,71) et celui de Kiré-kafada (0,62).

Paramètres dendrométriques

Le Tableau 7 présente les caractéristiques des paramètres dendrométriques des sites étudiés. La densité, compris entre 131 et 144 ind/ha, était plus élevée sur le site de Kossa (144 ind./ha) que sur le site de Kiré-Kafada (137,07 ind./ha) et le site de Moujia (131,6 ind./ ha) bien que la différence entre les sites n'était pas significative. Cette même tendance est observée sur le taux de recouvrement qui était également plus élevé sur le site de Koss (10,36%) que sur le site de Kiré-Kafada (9,87%) et le site de Moujia (9,48%). La différence n'était pas significative entre les sites sur le taux de recouvrement. Par contre, la hauteur moyenne de Lorey était significativement plus élevée sur le site de Kossa (2,41 m) que sur le site de Moujia (1,90 m) et celui de Kiré-Kafada (1,81 m).

Importance écologique des espèces

Le Tableau 8 présente les indices de valeur d'importance écologique des espèces de la zone d'étude. Globalement les espèces *Acacia raddiana* et *Acacia seyal* sont les espèces de grandes importances écologiques sur l'ensemble des trois sites avec des valeurs IVI supérieure 50%. Sur le site de Kossa, les espèces de grandes importances écologiques ayant un IVI supérieur à 50% étaient *Acacia raddiana*, *Acacia nilotica* et *Prosopis juliflora* avec respectivement 63,3, 54,4 et 72,6% d'IVI. Sur le site de Kiré-kafada, c'étaient les espèces telles qu'*Acacia raddiana* et *Acacia seyal* qui étaient écologiquement importantes avec respectivement 92,7 et 89,1% d'IVI. Sur le site de Moujia, *Acacia seyal* était écologiquement importante avec 76,5% d'IVI. Par contre, les espèces écologiquement faibles

(ayant un IVI inférieure à 50%), étaient *Bauhinia rufescens*, *Acacia nilotica*, *Combretum glutinosum*, *Piliostigma reticulatum* et *Azadirachta indica*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* ...etc.

Densité et taux de régénération

De manière générale, la zone d'étude a présenté une densité moyenne de 86 tiges/ha avec un taux de régénération moyen de 54,1%. Le site de Kossa a présenté la plus grande densité de régénération avec 110 tiges/ha et un taux de régénération de 76,18% suivi du site de Kiré-kafada et de Moujia avec respectivement 89 tiges/ha soit 44,94% du taux de régénération et 60 tiges/ha soit 41,04% du taux de régénération. L'analyse statistique (ANOVA) a montré qu'il ya une différence significative entre les sites pour la densité (P=0,000).

Structure du peuplement

La structure en classe de hauteur de tous les sites est présentée par la Figure 3. De manière générale, la structure en classe de hauteur du peuplement ligneux au niveau de tous les sites a présenté une distribution asymétrique positive ou asymétrique droite. Les valeurs du paramètre de forme c de la distribution de Weibull est compris entre $1 < C < 3,6$. La distribution du peuplement par classe de hauteur a montré une dominance des individus ayant une hauteur comprise entre 0,4-3,4 m sur l'ensemble des sites. Les individus les moins représentés sont ceux ayant une hauteur comprise entre 3,4-9,4 m. Globalement les individus de petite taille dominant le peuplement.

La structure en classe de diamètre de tous les sites est présentée par la Figure 4. De manière générale, la structure en classe de diamètre du peuplement ligneux au niveau de tous les sites a présenté une distribution asymétrique positive ou asymétrique droite. Les valeurs du paramètre de forme, c de la distribution de Weibull était compris entre $1 < C < 3,6$. La distribution du peuplement par classe de diamètre montre une dominance des individus ayant une hauteur comprise entre 4-16 m sur l'ensemble des sites. Les individus les moins représentés étaient ceux ayant une hauteur comprise entre 16-52 m. Globalement les individus de petit diamètre dominant le peuplement.

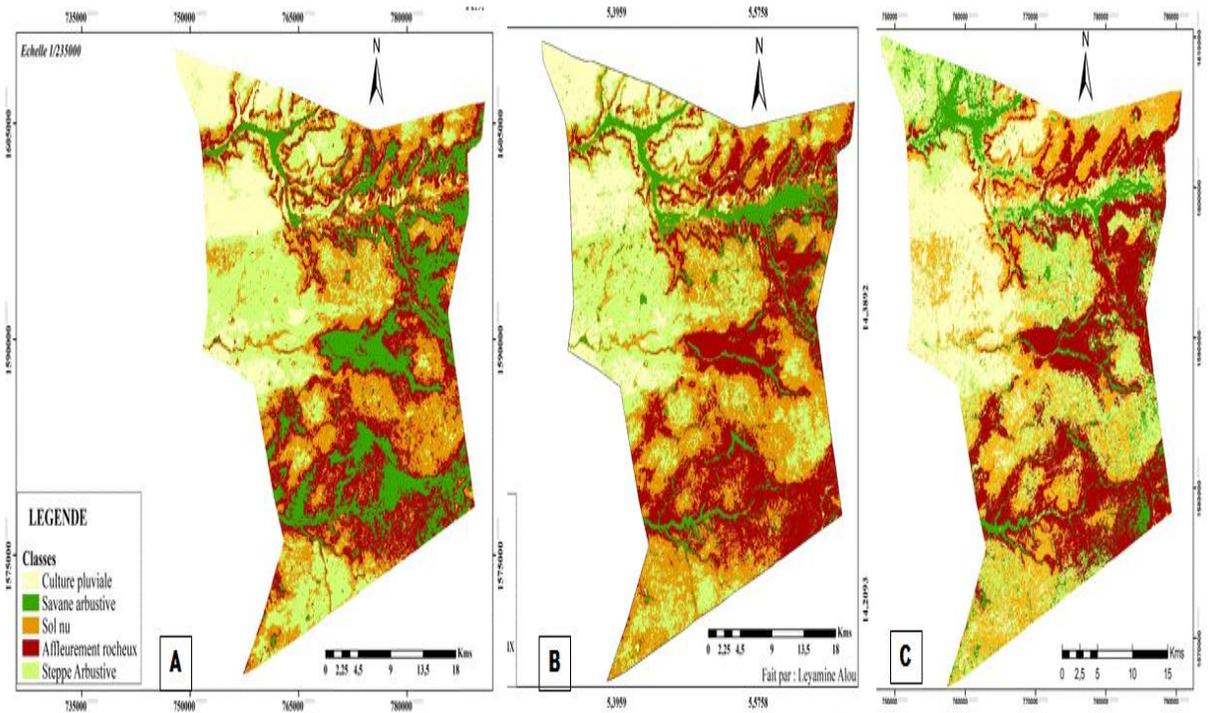


Figure 2: Cartes d’occupation des sols des années 1984 (A), 2000 (B) et 2022 (C) dans la commune de Badaguichiri.

Tableau 3 : Expansion spatiale des classes d’occupation des sols de la zone d’étude.

Classes	1984		2000		2022	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Culture pluviale	10800	09,9	11329	10,4	19868	18,2
Savane arbustive	18656	17,1	9877	09,0	11576	10,6
Sol nu	29393	26,9	35232	32,2	25622	23,4
Affleurement rocheux	26473	24,2	27388	25,1	27436	25,1
Steppe arbustive	23975	21,9	25471	23,3	24795	22,7
Total	109297		109297		109297	

Tableau 4 : Evolution des différentes unités d’occupation des sols entre 1984 et 2022.

Classes	1984		2022		Ecart 1984-2022		
	(ha)	%	ha	%	Progression (ha)	Régression (ha)	Taux du chang.
Culture pluviale	10800	09,9	19868	18,2	9068	--	8,3
Savane arbustive	18656	17,1	11576	10,6	---	-7080	-6,5
Sol nu	29393	26,9	25622	23,4	---	-3771	-3,5
Affleurement rocheux	26473	24,2	27436	25,1	963	---	0,9
Steppe arbustive	23975	21,9	24795	22,7	820	---	0,8

Tableau 5 : Composition floristique par site dans la zone d’étude.

Famille	Genre	Kiré-kafada				Moujia				Kossa			
		Genre	%	Espèce	%	Genre	%	Espèce	%	Genre	%	Espèce	%
Mimosaceae	2	28,57	4	40,0	3	33,33	5	41,67	2	50	5	71,43	
Balanitaceae	1	14,29	1	10,0	1	11,11	1	8,33	1	25	1	14,29	
Rhamnaceae	1	14,29	1	10,0	1	11,11	1	8,33	--	--	--	--	
Caesalpinaceae	2	28,57	2	20,0	2	22,22	2	16,67	1	25	1	14,29	
Combretaceae	1	14,29	2	20,0	1	11,11	2	16,67	--	--	--	--	
Meliaceae	--	--	--	--	1	11,11	1	8,33	--	--	--	--	
Total	7		10		9		12		4		7		

Tableau 6 : Indices de diversités des espèces ligneuses.

Indices de diversité	Sites			Ensemble du peuplement
	Kossa	Kiré-kafada	Moujia	
Richesse spécifique (S)	7	10	12	13
Indice de Shannon-Wiener H' (bits)	2,80	3,32	3,58	3,70
Equitabilité de Pielou (E)	0,75	0,62	0,71	0,66

Tableau 7: Caractéristiques des paramètres dendrométriques des trois sites.

Paramètres dendrométriques	Sites			P value
	Kossa	Kiré-kafada	Moujia	
Densité (inds/ha)	144,00±60,8 ^a	137,07±60,02 ^a	131,6±58,9 ^a	0,157
Diamètre moyen (cm)	10,77±5,73 ^a	10,35±5,39 ^a	9,79±5 ^a	0,071
Surface terrière (m ² /ha)	0,13±0,25 ^a	0,14±0,22 ^a	0,15±0,21 ^a	0,235
Recouvrement (%)	10,36±4,52 ^a	9,87±4,42 ^a	9,48±4,32 ^a	0,06
Hauteur de Lorey (m)	2.41±1,29 ^b	1.81±1,16 ^a	1.90±1.24 ^a	0,000

Sur la même ligne les valeurs accompagnées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 8 : Indice de valeur d'importance écologique des espèces ligneuses des sites d'études.

Espèces	Sites			Valeurs globales du peuplement
	Kossa (IVI)	Kiré-kafada (IVI)	Moujia (IVI)	
<i>Acacia nilotica</i>	54,43	8,84	15,72	23,65
<i>Acacia raddiana</i>	63,29	92,67	76,46	76,27
<i>Acacia senegal</i>	27,99	-	-	7,02
<i>Acacia seyal</i>	40,38	89,07	30,38	47,49
<i>Azadirachta indica</i>	-	-	2,48	1,16
<i>Balanites aegyptiaca</i>	32,78	27,08	24,13	27,76
<i>Bauhinia rufescens</i>	8,48	12,55	18,86	14,64
<i>Combretum glutinosum</i>	-	2,33	24,41	12,59
<i>Combretum micranthum</i>	-	10,11	6,32	5,83
<i>Faidherbia albida</i>	-	-	10,15	4,77
<i>Piliostigma reticulatum</i>	-	4,83	54,04	28,13
<i>Prosopis juliflora</i>	72,64	37,04	22,57	39,27
<i>Ziziphus mauritiana</i>	-	15,04	14,43	10,74

IVI : Indice de Valeur d'Importance

Tableau 9: Densité et du taux de régénération de la végétation ligneuse des trois sites.

	Sites			P value	Moyenne du la zone
	Kossa	Kiré-kafada	Moujia		
Densité moyenne (tige/ha)	110±35 ^a	89±29 ^a	60±15 ^b	0,000	86±25
Taux de régénération (%)	76,18	44,94	41,04		54,1

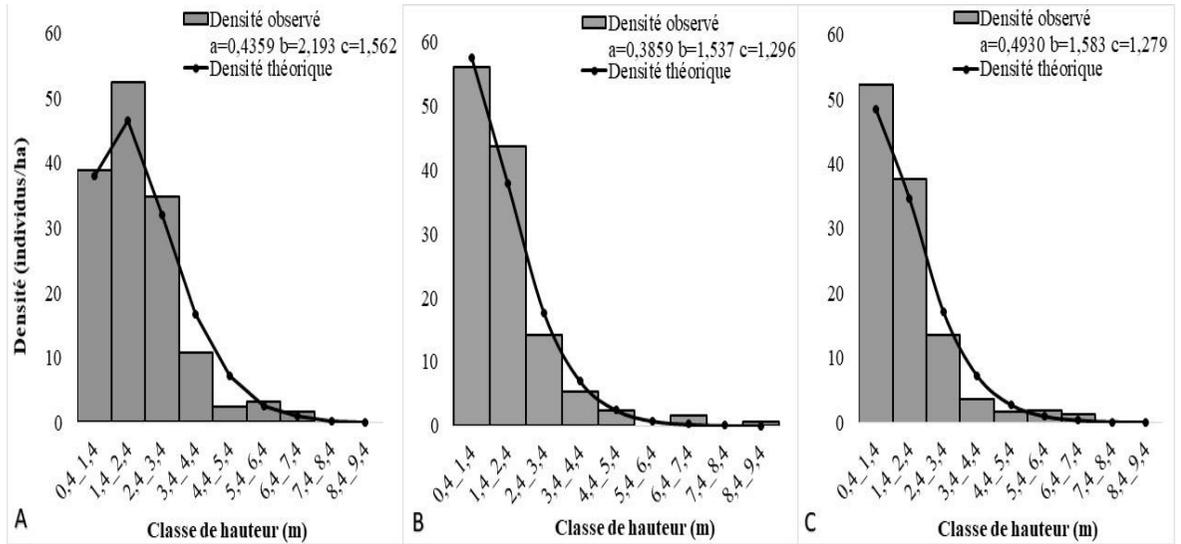


Figure 3: Distribution par classe de hauteur des ligneux des trois sites. Site de Kossa (A) ; site de Kiré-kafada (B) ; site de Moujia (C)

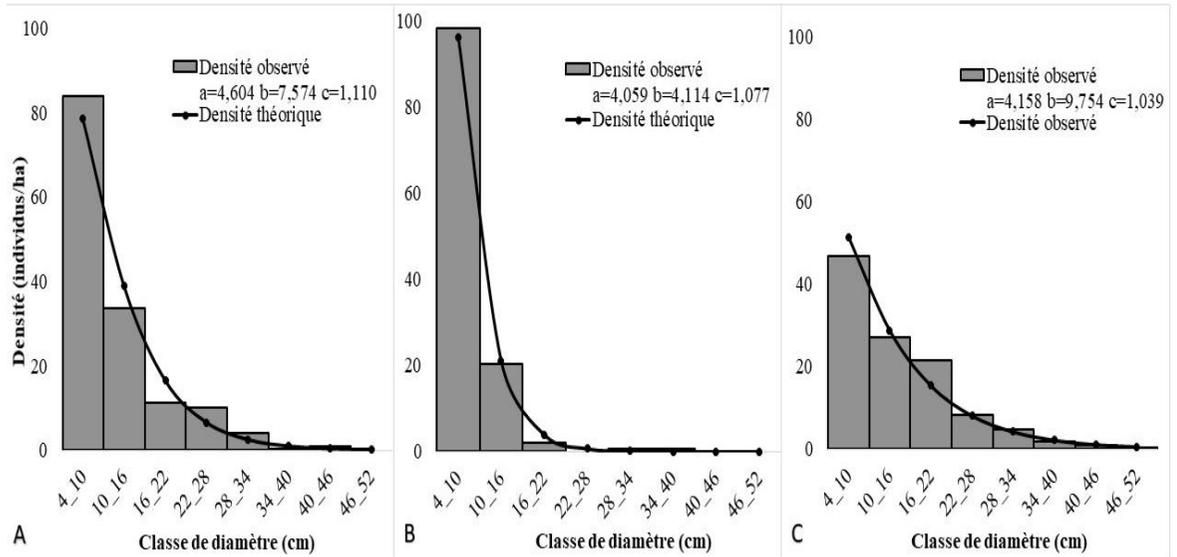


Figure 4: Distribution par classes de diamètre des ligneux des trois sites. Site de Kossa (A) ; site de Kiré-kafada (B) ; site de Moujia (C).

DISCUSSION

Cette étude a montré que la commune de Badaguichiri a suivi des changements sur l'occupation des sols durant la période de 1984 à 2022. En effet, les résultats ont montré une régression de 3,5 et 6,5% respectivement pour les classes de savane arbustive et du sol nu. Par

contre, la classe des champs des cultures a quasiment doublé sa superficie pendant cette période. Les causes de ces changements seraient principalement d'ordre climatique et anthropique. En effet, dans la commune de Badaguichiri et à l'image du sahel en général, la récurrence des périodes de sécheresse tend à

dégrader les écosystèmes (DGEF, 2018). La tendance à la dégradation de la couverture végétale et à l'augmentation des superficies des champs a été également observés par plusieurs auteurs au Niger (Baragé et al., 2018 ; Issoufou et al., 2018 ; Abdou et al., 2019 ; Abdou et al., 2022 ; Aboubacar et al., 2023). Selon Hamidou et al. (2012) la dynamique du front agricole serait due à l'accroissement de la population et à la recherche de nouvelles terres pour compenser la baisse des rendements du fait du manque de jachères sur les terres anciennes.

Par ailleurs, on note une légère extension de la classe de steppe arbustive qui passe de 21,9% à 22,7% de la superficie totale de la commune respectivement en 1984 et 2022. Ce changement serait expliqué par les aménagements réalisés dans la commune notamment les techniques de restauration des terres qui ont fait la promotion de revégétalisation par la plantation des ligneux. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de l'inventaire notamment sur la composition et la structure du peuplement ligneux qui traduisent un peuplement des jeunes plants avec un taux de régénération relativement important. Plusieurs auteurs ont rapporté les effets positifs des techniques de restauration des terres sur la revégétalisation notamment Mishra et al. (2023) qui ont montré une augmentation de la couverture végétale d'environ 50% après 10 ans des ouvrages de restauration des terres dans la partie sud-ouest de la région de Maradi au Niger. Manzo et al. (2020) ont constaté une amélioration du couvert végétal de 11,5% après 5 ans d'aménagement avec les banquettes dans le département de Ouallam au Niger. La tendance au reverdissement au Sahel ces dernières années a été également rapporté par Bahari et al. (2021) dans la partie Ouest du Niger et par Larwanou et al. (2012) et Saidou et Ambouta (2020) dans le département d'Aguïé au Niger.

Par ailleurs, la richesse floristique de la zone d'étude au niveau des trois sites est caractérisée par 6 familles réparties sur 8 genres et 13 espèces avec une dominance des Mimosaceae représentés par 6 espèces suivie des Caesalpinaceae et des Combretaceae avec 2 espèces chacune. Ces résultats sont

inférieurs à ceux Djibo (2011) qui a évalué la diversité des peuplements ligneux des champs du bassin versant de Badaguichiri dans la région de Tahoua, où il a trouvé une richesse spécifique de 24 espèces. Amadou et al. (2017) ont également observé une richesse spécifique de 22 espèces avec une dominance des Fabaceae-Mimosoideae dans le bassin de la Maggia dans la commune de Bagaroua.

Du point de vue de la diversité floristique ligneuse, les valeurs de l'indice de Shannon-Weaver sont comprises entre 2,80 et 3,58bits. Ces valeurs montrent que les sites étudiés ont une diversité floristique moyenne. Cette diversité floristique peut s'expliquer par les aménagements de CRS/DRS et RNA qui ont occasionné des meilleures conditions d'infiltration de l'eau pour le développement de la végétation tel que rapporté par Manzo et al. (2020). Ces conditions ont contribué efficacement à la restauration du couvert végétal mais aussi favorisés le développement des espèces ligneuses tel que *Acacia seyal*, *Acacia raddiana* et *Acacia senegal* qui dominant largement sur les sites.

Le peuplement ligneux dans la zone d'étude était caractérisé par des valeurs assez élevées de densité moyenne des ligneux (131,6 à 144 inds/ha). Cependant, il présente des valeurs faibles du recouvrement qui varie de 9,48 à 10,36% et de la surface terrière qui varie de 0,13 à 0,15 m²/ha. Le peuplement ligneux du site de Kossa où les aménagements ont une durée de 15 ans, a présenté la plus grande valeur de la densité moyenne (144 inds/ha) par rapport aux autres sites bien que la différence entre les sites n'était pas statistiquement significative. Ces résultats sont inférieurs à ceux observés par Abdou (2021) sur le site de Bodo Santché dans la commune rurale de Tombokoirey dont les valeurs sont de 186,75individus/ha. Cette différence pourrait être liée à l'effort de protection des sites par les initiateurs ou le comité de gestion mis en place pour le respect de la mise en défens du site.

La répartition par classe de diamètre et de hauteur sur les sites d'étude a montré une distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, caractérisant ainsi des

peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou à faible diamètre. Selon plusieurs auteurs (Ouedraogo, 2006 ; Dan Guimbo et al., 2010 ; Djibo, 2011), la prédominance des individus de petit diamètre est une structure souvent observée pour les écosystèmes non perturbés. Les individus de petit diamètre assurent l'avenir des formations naturelles (Morou, 2001).

En outre, cette étude a montré que la zone présente des valeurs assez importantes de densité moyenne de régénération et un taux de régénération > 50%, ce qui correspond à un peuplement en pleine expansion où les jeunes individus sont plus importants que les adultes. Ces résultats seraient expliqués par le choix des espèces épineuses (*Acacia raddiana*, *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*) plantées lors des travaux de CRS/DRS sur les sites car ces espèces présentent une grande capacité d'adaptation et de régénération dans les milieux ayant un important déficit hydrique. Selon Kagambèga et al. (2019), en zone sahélienne, les capacités de régénération résident dans les caractères d'adaptation des espèces et des structures de végétation face à la sécheresse et à la variabilité des conditions édapho-climatiques.

Conclusion

Cette étude a montré que dans la commune de Badaguichiri les formations naturelles ont régressé au profit des champs des cultures pluviales avec une perturbation de la végétation durant les 38 dernières années (1984-2022). Toutefois, les résultats ont montré une légère extension de la classe de steppe arbuste durant cette période qui serait liée aux aménagements de restauration des terres réalisés dans la zone. La végétation ligneuse sur les sites aménagés par les ouvrages de restauration de terres est assez diversifiée avec la valeur de l'indice de diversité de Shannon-Weaver de 2,80 à 3,56 bits et la richesse spécifique de 7 à 15 espèces ligneuses. Par ailleurs, la répartition par classe de diamètre et de hauteur a montré une

distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, caractérisant ainsi des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou à faible diamètre. Cette composition et structure de la végétation serait expliquée par les aménagements de restauration des terres réalisés dans la zone qui ont fait notamment la promotion de revégétalisation. Ainsi, des efforts doivent être conjugués pour soutenir cette dynamique de reconstitution de la végétation lancée par les aménagements dans la zone.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Dans le cadre de cette étude, ANL a élaboré le protocole de recherche, collecté les données satellitaires et du terrain et aussi a rédigé la première version du manuscrit. AMN a amélioré la qualité scientifique du projet de recherche, élaboré le plan de traitement des données, contribué à l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit. MMB a dirigé ce travail et a apporté des suggestions dans la conduite des différentes activités et l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit. SS a participé à l'élaboration des cartes et a apporté une lecture critique sur le manuscrit. Enfin, les trois auteurs ont participé à la relecture ainsi qu'à la validation du document.

REFERENCES

Abdou A, Abdoulahi SC, Tidjani MA, Hassimi MS, Sabra AKA, Soulé AE, Kaire M. 2019. Économie de la dégradation des terres à Tahoua, Niger. Analyse coût-bénéfice des activités de récupération des terres (banquettes, demi-lunes et cordons pierreux) des quatre sites de la commune rurale de Badaguichiri. Un rapport de l'Initiative ELD dans le cadre du projet «

- Inverser la dégradation des terres en Afrique par l'adoption à grande échelle de l'agroforesterie.
- Abdou H. 2021. Biodiversité végétale des sites dégradés restaurés dans l'Ouest du Niger : Cas du site de Bodo Santché dans la commune rurale de Tombokoirey II. Mémoire de Master. Université de Dosso p. 54.
- Abdou M, Nazoumou Y, Favreau G, Issoufou O. 2022. Dynamique d'occupation et d'utilisation des sols et la hausse de la nappe dans la basse vallée du Dallol Maouri. *European Scientific Journal*, **18** (14) : 162.
- Abdou OM, 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). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **16**(5): 2143-2157.
- Abdoulaye I. 2012. Impact de la restauration des terres sur la dynamique des peuplements ligneux du bassin versant de Badaguichiri (Tahoua / Niger). Mémoire de master en Gestion des Ressources Naturelles, Université Abdou Moumouni, p. 60.
- Aboubacar A, Bachir M, Abdoulaye D, Dan Guimbo, I. 2023. Dynamique spatio-temporelle de la végétation contractée de l'ouest du Niger suivant le gradient pluviométrique et d'anthropisation de 1990 à 2020. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **17**(5): 1873-1888.
- Ado MN, Moussa MS, Ambouta Karimou H. 2021. Effets des Demi-Lunes Multifonctionnelles sur la Production du Sorgho en Afrique de l'Ouest : Cas de la Région de Tahoua au Niger. *Européen Scientific Journal*, **17**(34): 112-123.
- Amadou G, Idrissou T, Lawali A, Ali M. 2017. Caractérisation de la végétation ligneuse du bassin versant de la Maggia dans la commune rurale de Bagaroua (région de Tahoua). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **11**(2): 571-584.
- Ambouta JMK, Bouzou MI. 2004. Expériences de récupération des sols sahéliens dégradés grâce à l'incorporation de doses variables de fumier et d'un hydro rétenteur fertilisant. *Sécheresse*, **15**(1) : 49-55.
- Bahari IM, Malam Abdou M, Mamadou I, Maman I, Abba B, Kadaouré I, Faran Maiga O, Bouzou MI. 2021. Tendances du reverdissement et de la dégradation du sol dans l'Ouest du Niger. *Revue Canadienne de Géographie Tropicale*, **8**(1) : 52-57.
- Barage M, Garba A, Moussa B, Jacques C. 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). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **12**(4): 1667-1687. <http://ajol.info/index.php/ijbcs>.
- Dan Guimbo I, Mahamane L, Mamane MI. 2014. Utilisation de *Prosopis africana* (G. et Perr.) dans le sud du département d'Aguié au Niger : les différentes formes et leur importance. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **8**(3): 1991-8631.
- Direction Générale des Eaux et Forêts (DGEF). 2018. Rapport d'activités de suivi de la végétation des sites de l'observatoire et du projet Badaguichiri.
- Djibo S. 2011. Diversité des peuplements ligneux des champs du Bassin versant de Badaguichiri (Tahoua/Niger). Mémoire de Master en Gestion des Ressources Naturelles et de la Biodiversité (RESBIO). Université Abdou Moumouni de Niameyp. 51.

- Dramé Y, Berti F. 2008. Les enjeux socio-économiques autour de l'agroforesterie villageoise à Aguié (Niger). *Tropicultura*, **26**(3).
- Evequoz M, Guero Y. 2000. Conservation et Gestion des eaux et des sols : Durabilité des systèmes de production nord sahélien. Programme de Conservation et Gestion des Eaux et des Sols au Niger. Univ. Abdou Moumouni (Niamey) and Ecole Polytechnique de Zurich, p. 120.
- FAO. 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales. Rapport principal, Rome, Italie.
- Fatondji D, Martius C, Bielders CL, Koala S, Vlek PLG, Zougmore R. 2009. Decomposition of organic amendment and nutrient release under the zai technique in the Sahel. Nutrient Cycling in Agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **85** (3): 225-239.
- GIZ. 2015. 25 ans de réhabilitation et de conservation des sols au Sahel. Rapport techniques, GIZ.
- Hamidou A, Morou B, Mahamane A, Saadou M, Issaka A. 2012. Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts de classées de Dan kada Dodo - Dan Gado (région de Maradi, Niger). *Journal des Sciences de l'Environnement*, **1**(1): 16-26.
- Inoussa A. 2012. Impact de la Restauration des terres sur la dynamique des peuplements ligneux du bassin versant de Badaguichiri (Tahoua / Niger). Master en Gestion des Ressources Naturelles et de la Biodiversité (RESBIO). Université Abdou Moumouni de Niamey. 52 p.
- 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.
- Kagambèga FW, Nana R, Bayen P, Thiombiano A, Boussim JI. 2019. Tolérance au déficit hydrique de cinq espèces prioritaires pour le reboisement au Burkina Faso. *BASE*, **23**(4) : 245-256.
- Larwanou M, Dan Guimbo I, Oscar EM, Issaka A I. 2012. Farmer managed tree natural regeneration and diversity in a sahelian environment: case study of Maradi region, Niger. *Continental J. Agricultural Science*, **6**(3): 38-49.
- Maman BM. 2014. Etude de la biodiversité végétation de la komadougou. Master en Biodiversité et Gestion de l'Environnement Soudanien et Sahélo Saharien (BGESSS). Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi. 39p.
- Manzo OL, Amani A, Dan Guimbo, ID, Rachidi AH, Mahamane A. 2020. Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, **151**(1) : 15510-15529.
- Mariétou N. 2012. Dynamiques et gestions 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.
- Mishra V, Limaye AS, Doehnert F, Policastro R, Hassan D, Ndiaye MTY, Rashid A. 2023. Assessing impact of agroecological interventions in Niger through remotely sensed changes in vegetation. *Scientific Reports*, **13**(1) : 360.
- Morou B. 2001. Contribution à l'étude des adventices des cultures pluviales dans l'arrondissement de Kollo (Niger): Etudes Floristique et Ecologique Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie (DEA). Université d'Ouagadougou. p. 57.
- Nyamekye C, Thiel M, Schönbrodt-Stitt S, Zoungrana BJB, Amekudzi LK. 2018.

- Soil and Water Conservation in Burkina Faso, West Africa. *Sustainability*, **10** (9): 31-82.
- Ouédraogo A, Adjima T, Karem H, Sita G. 2006. Diagnostique de l'état de la dégradation des peuples de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Science et Changement Planétaires/Sécheresse*, **17**(4): 485-480.
- Oumarou B, 2012. Capital Sol et arrangements institutionnels dans les agrosystèmes du Nord-Cameroun Thèse de Doctorat, Montpellier SupAgro, p. 204.
- Roose E. 2017. *Restauration de la Productivité des Sols Tropicaux et Méditerranéens. Contribution à Agroécologie*. Edition IRD.
- Saidou S, Ambouta JMK. 2020. Recent landscape dynamic in the anthropized Sahel zone's: from degradation to greening, case study of Aguié and Ibohamane municipalities. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, **13**(12): 08-26. DOI: 10.9790/2380-1312030826.
- Salmanou I, Issoufou S, Maman Sani A. 2018. Dynamique de l'occupation des sols et l'évaluation des mares dans le bassin versant de la Korma, commune rurale de Droum, Région de Zinder. *Afrique SCIENCE*, **14**(4): 346-358.
- TerrAfrica. 2011. Pratique de gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne.
- Zougmoré R, Zida Z, Kambou NF. 2003. Role of nutrientamendments in the success of half-moonsoil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil and Tillage Research*, **71**(2): 143-149.