

Dynamique de l'occupation des terres dans le système agricole de la commune de Kéllé au Niger

[Dynamics of land use in the agricultural system of the commune of Kéllé in Niger]

Ibrahim Souley Malam Zanaidou¹, Kanembou Lawandi², Hammadou Younoussa Bachirou³, Waziri Mato Maman⁴, and Garba Zibo³

¹Laboratoire d'étude et de recherche sur les territoires sahélo-sahariens (LETRESS), Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

²Département de Gestion des Ressources Naturelles et Géomatique. Université de Diffa, Niger

³Département de sciences fondamentales, Université de Dosso, Niger

⁴Département de Géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Niger, the combined effects of climate variability and climate change, together with anthropogenic pressure over recent decades, have strongly influenced land-use dynamics, particularly within agricultural systems. In the municipality of Kéllé, located in the Gouré Department (Zinder Region), spatio-temporal landscape analysis reveals, as in many other municipalities in Niger, significant changes in landscape evolution. In the present study, the analysis of satellite imagery and the use of a Geographic Information System (GIS) made it possible to trace ongoing changes between 1995 and 2025, in order to identify general trends and support decision-making in community-based natural resource management.

The main objective of this study is to detect land-use dynamics in the municipality in response to climate change and human activities. The methodology is based on the interpretation of Landsat satellite imagery from 1995, 2015, and 2025. The results obtained from land-use maps, change-detection maps between observation dates, and a predictive map up to 2035 indicate that land use in the municipality is undergoing continuous transformation.

Thus, areas occupied by tree-shrub steppe and dense tree steppe decreased from 62.54% and 10.79% in 1995 to 60.76% and 7.94% in 2025, respectively. In contrast, rainfed croplands and bare or degraded soils expanded, increasing from 17.44% and 0.82% in 1995 to 31.81% and 0.51% in 2025, respectively, relative to the total area of the municipality.

The projected trend of the natural environment suggests that by 2035, tree-shrub steppe will continue to decline, while dense tree steppe is expected to expand.

KEYWORDS: dynamics, satellite imagery, Kéllé, rainfed agricultural system.

RESUME: Au Niger, les effets combinés de la variabilité et des changements climatiques, ainsi que la pression anthropique depuis quelques décennies influencent fortement la dynamique de l'occupation des terres, notamment dans le système agricole. Dans la commune de Kéllé, situé dans le département de Gouré (Région de Zinder), l'analyse spatio-temporelle du paysage montre, qu'à l'instar de plusieurs autres communes du Niger, des changements notoires dans l'évolution paysagère. Dans le cadre de la présente étude, l'exploitation des imageries satellitaires et l'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) ont permis de retracer les changements en cours entre 1995 et 2025 afin de dégager la tendance générale de ceux-ci (changements) aux fins des prises de décisions dans le cadre de la gestion des ressources naturelles communautaires.

L'objectif principal de ce travail est de détecter la dynamique de l'occupation des terres dans cette commune face aux changements climatiques et aux activités humaines. La méthodologie utilisée est basée sur l'interprétation des imageries satellitaires Landsat de 1995, 2015 et 2025. Les résultats obtenus à travers les cartes d'occupation des terres, celles des changements entre deux dates d'observation, et celle de prédition jusqu'en 2035 permettent de dire que l'état d'occupation des terres est en mutation continue dans ladite commune.

Ainsi, les superficies occupées par la steppe arborée-arbustive et la steppe arborée dense sont passées respectivement 62,54% et 10,79% en 1995 à 60,76% et 7,94% en 2025. Quant aux cultures pluviales et les sols nus ou dégradés, elles ont connu une extension en superficie, passant respectivement de 17,44% et 0,82% en 1995 à 31,81% et 0,51% en 2025 par rapport à la superficie totale de la commune.

La tendance évolutive du milieu naturel prévoit à l'horizon 2035 une régression de la steppe arborée arbustive, tandis que la steppe arborée dense connaîtra une progression de son espace en 2035.

MOTS-CLEFS: dynamique, imageries satellitaires, Kéllé, système pluvial.

1 INTRODUCTION

Le Niger, pays sahélien, est confronté à des problèmes de désertification et de dégradation des terres. Ces phénomènes sont le résultat de la combinaison des effets néfastes du climat, de la croissance démographique et des modes d'exploitation du milieu qui constituent les facteurs déterminants [1] qui entraînent d'importantes répercussions négatives sur l'environnement naturel. En effet, l'étude de la dynamique de l'occupation du sol à travers l'analyse diachronique est une approche privilégiée pour évaluer les interactions entre l'Homme et son environnement et identifier les stratégies adaptées à une gestion planifiée des ressources naturelles [2], [3]. Aussi, les impacts des activités humaines et des facteurs climatiques entraînent une modification de l'occupation des terres, avec des conséquences néfastes sur les écosystèmes, dont les formations végétales [4]; [5]; [6]; [7]; [8], [9]. De ce fait, les besoins vitaux des populations ne cessent de croître, provoquant une forte pression sur les ressources naturelles déjà fragilisées par des facteurs physiques [10]; [11], [12], d'où la nécessité de mettre à la disposition des décideurs des informations fiables sur la dynamique des ressources territoriales.

Dans l'atteinte de ces objectifs, plusieurs méthodes ont été inventées et appliquées avec des niveaux d'efficacité divers, dont l'utilisation conjointe des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et la télédétection afin d'appréhender l'évolution du paysage [13]; ([14]; [15]; [4]; [16]. A l'évidence, les changements dans l'environnement biophysique sahélien sont notables et il était impérieux de pouvoir évaluer leur ampleur en vue d'y apporter des réponses appropriées. Pour ce faire, la télédétection et les SIG sont des outils adaptés pour analyser et comprendre les différents changements notamment ceux liés à l'occupation du sol et à la couverture végétale [17]; [18]. L'intérêt scientifique de l'utilisation de ces outils pour l'étude des écosystèmes, le suivi et la compréhension de l'état actuel ainsi que de leurs évolutions des régions arides en vue de proposer des schémas appropriés de mise en valeur n'est plus à démontrer [19]; [20]; [21]; [22]; [23]; [24]; [25].

A l'instar d'autres communes du département de Gouré, celle de Kéllé fait face depuis quelques décennies à une dynamique spatio-temporelle des états d'occupation des terres, mettant en évidence une mutation progressive du milieu naturel. Les sécheresses récurrentes des dernières décennies ont profondément bouleversé l'équilibre environnemental du Niger oriental [26], tandis que le déficit pluviométrique persistant aurait modifié le faciès environnemental dans le département de Gouré avec l'avènement de la deuxième période dramatique de sécheresse des années 1980 (1982-1987) qui a entraîné la disparition ou la raréfaction des espèces ligneuses [27]. De ce fait, l'étude de ces changements a permis d'apprécier la dynamique des différentes unités d'occupation des terres (cultures pluviales, végétations, sols nus, etc.) afin d'appréhender les enjeux liés à la gestion durable de ces ressources. Ainsi, l'analyse diachronique du milieu naturel a permis de mettre en évidence les tendances des mutations paysagères passées et actuelles dans la commune de Kéllé, et prédire l'évolution future des ressources naturelles. L'objectif de ce travail est d'analyser la dynamique de l'occupation des terres dans le secteur d'étude à partir d'images satellitaires des périodes d'observation 1995, 2015 et 2025, en vue d'évaluer les principales tendances de leur évolution. Il s'agit principalement de réaliser la cartographie diachronique des états d'occupation des terres de la commune pour les trois années de références, à partir des images Landsat, afin de retracer l'évolution des différentes unités du paysage et analyser les changements observés dans un contexte de variations climatiques et de croissance démographique.

2 MATERIEL ET MÉTHODES

ZONE D'ÉTUDE

La commune rurale de Kéllé est située entre 13°51'40" et 14°53'40" de latitude Nord et 9°51'40" et 11°14'20" de longitude Est dans le département de Gouré (région de Zinder). Elle couvre une superficie de 6 720 km² et est limitée au Nord-est par la commune de Tesker, au Sud-est par celle de Goudoumaria. Au sud, elle fait frontière avec la commune de Gouré et à l'Ouest avec celles de Gamou et Alakoss (fig1). Elle compte deux cent cinquante-quatre (254) localités réparties en villages administratifs, hameaux, campements et points d'eau totalisant une population de 102.476 habitants dont 50.962 femmes (49,73% de l'effectif total) en 2020 (PDCR-Kellé 2021-2025, p.10).

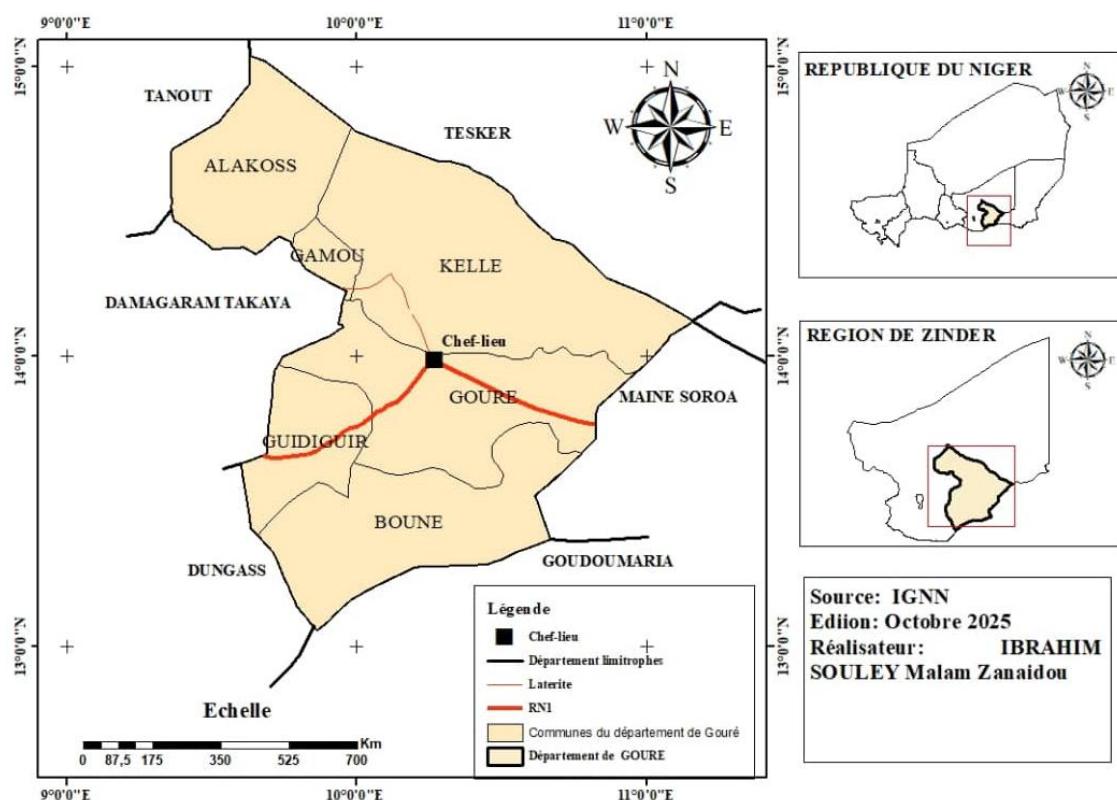


Fig. 1. Carte de localisation

MATÉRIEL

Le matériel utilisé dans cette étude se compose d'un récepteur GPS, destiné au relevé des coordonnées géographiques sur le terrain, et des logiciels de traitement d'images et de Systèmes d'Information Géographique (SIG), notamment ArcGIS 10.8 et QGIS 3.X, ainsi que des outils d'analyse statistique, et de réalisation des graphiques dont le tableur Excel.

LES DONNÉES DE BASE

Le suivi de l'évolution du paysage de la commune de Kéllé se base sur l'analyse des sources de données existantes, notamment les couches géoréférencées des limites administratives et localités du Niger produites par l'IGNN. Elles sont complétées par les images satellitaires issues des différents capteurs Landsat: Thematic Mapper (TM), et Operational Land Imager (OLI). Le tableau 1 donne les caractéristiques des images Landsat utilisées.

Tableau 1. Caractéristiques des images Landsat utilisées

Image	Resolution spatiale	Capteur	Date d'acquisition	Path & Row
Landsat 5 TM	30 m	TM	Juin 1995	187/050-051
Landsat 8 OLI		ETM+	Juin 2015	
Landsat 9 OLI -2		OLI -2 & TIRS-2	Juin 2025	

Source: USGS/EarthExplorer, 2025 adaptés

MÉTHODOLOGIE UTILISÉE

La méthodologie utilisée pour la détection des changements d'occupation des terres dans la commune de Kéllé se base sur l'analyse diachronique à partir des images Landsat, de la cartographie par classification supervisée et l'utilisation des techniques du Système d'Information Géographique (SIG).

PRÉTRAITEMENT DES IMAGES

Au préalable, il a été procédé à l'identification et l'acquisition des scènes d'images à différentes dates, puis leur téléchargement sur le site l'USGS EarthExplorer. Des compositions colorées en fausses couleurs ont été réalisées à partir des combinaisons de bandes 5-4-3 (Landsat 5 TM) et 6-5-4 (Landsat 8 et Landsat 9 OLI-2) afin d'obtenir une synthèse visuelle permettant une meilleure discrimination des différentes unités d'occupation du sol. Une classification supervisée à l'aide de l'algorithme « *Maximum likelihood* » a été effectué, en se référant à la Nomenclature d'Occupation des Terres du Niger (NOT). Celui-ci calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle pour déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondantes aux signatures spectrales [30]. Ainsi, la classification supervisée des images a permis de réaliser la cartographie thématique provisoire. La précision de cette classification a été validé à travers la matrice de confusion et des indices dont le coefficient Kappa entre autres pour vérifier et évaluer le nombre de pixels bien classés et ceux qui ne le sont pas. Les missions de terrain ont permis de collecter les *points de contrôle* à l'aide d'un récepteur GPS afin de corriger la classification. Après intégration des données de terrain et correction de la classification, un filtre spatial majoritaire (*Majority Filter*) a été appliqué pour lisser les éventuels pixels isolés, avant de vectoriser les images classifiées et réaliser les cartes thématiques définitives avec le logiciel ArcGIS 10.8.©.

DÉTECTION DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DES TERRES

Afin de mettre en évidence les changements observés entre deux dates, les paires des images classifiées de 1995, 2015 et 2025 ont été croisées entre elles. Ces changements sont appréhendés à travers l'évolution dans le temps et dans l'espace des classes d'occupation des terres. Cette dynamique permet en effet de synthétiser les changements intervenus dans un même paysage à différentes périodes [31]. Dans le cadre de ce travail, la détection des changements entre deux dates a été effectuée avec le plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) de QGIS en utilisant les images classifiées, de 1995 à 2015 et de 2015 à 2025. En plus, cette extension a permis de calculer la matrice de transition, de simuler les évolutions futures du paysage (prédictions de changements d'occupation du sol) et de déterminer le coefficient de Kappa.

Le Taux Global (TG) de l'évolution de l'occupation des terres est calculée en utilisant l'équation proposée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) de 1996. Ainsi, le taux correspondant à la dynamique de chaque unité d'occupation du sol est calculé selon la formule de [1].

$$Tg = \frac{(S2 - S1)}{S1} * 100$$

Où:

Tg: Taux global de croissance;

S₁: la surface d'une classe d'unité de surface à la date **t₁**;

S₂: la superficie de la même classe d'unité de surface à la date **t₂**.

Les données issues des résultats du calcul du taux d'évolution de l'occupation du sol seront précédées des signes moins (-) ou plus (+) pour exprimer une dynamique régressive ou progressive [32].

Le taux d'évolution annuel (T) entre les dates consécutives est lui calculé selon la formule suivante d'Oloukoi et *al.*, de 2007 [8].

$$T = \frac{(\ln S_{i+1} - \ln S_i)}{t \times \ln e} \times 100$$

Où:

S_i = Superficie de la classe d'occupation à la date **i**;

S_{i+1} = Superficie de la classe d'occupation à la date suivante;

t = Nombre d'années qui sépare les dates d'observation **S_i** et **S_{i+1}**;

ln = logarithme népérien et

e = 2.71828 (valeur approchée de **e** de Leonard EULER).

Cette formule mesure le taux moyen annuel d'évolution d'une surface ou d'une variable entre deux dates données [8].

MATRICE DE TRANSITION

Elle permet de mettre en évidence transformations subies par les unités d'occupation des sols entre deux dates t_1 et t_2 . Elle décrit de manière condensée les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée [33], dont les cellules contiennent la valeur d'une variable ayant passé d'une classe initiale **a** à une classe finale **b** pendant la période allant de t_1 à t_2 [34]. Elle est constituée de **X** lignes et de **Y** colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre de classes d'occupation des terres au temps t_0 ; le nombre **Y** de colonnes de la matrice est le nombre de classes d'occupation des terres converties au temps t_1 et la diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font donc des lignes vers les colonnes [35].

Dans le cadre de la présente étude, la matrice de transition est obtenue à partir du croisement des images classifiées de 1995, 2015 et 2025, grâce au plugin MOLUSCE de QGIS et leur traitement avec le tableur Excel après exportation. La figure 2 présente le schéma conceptuel pour le traitement et l'analyse des données.

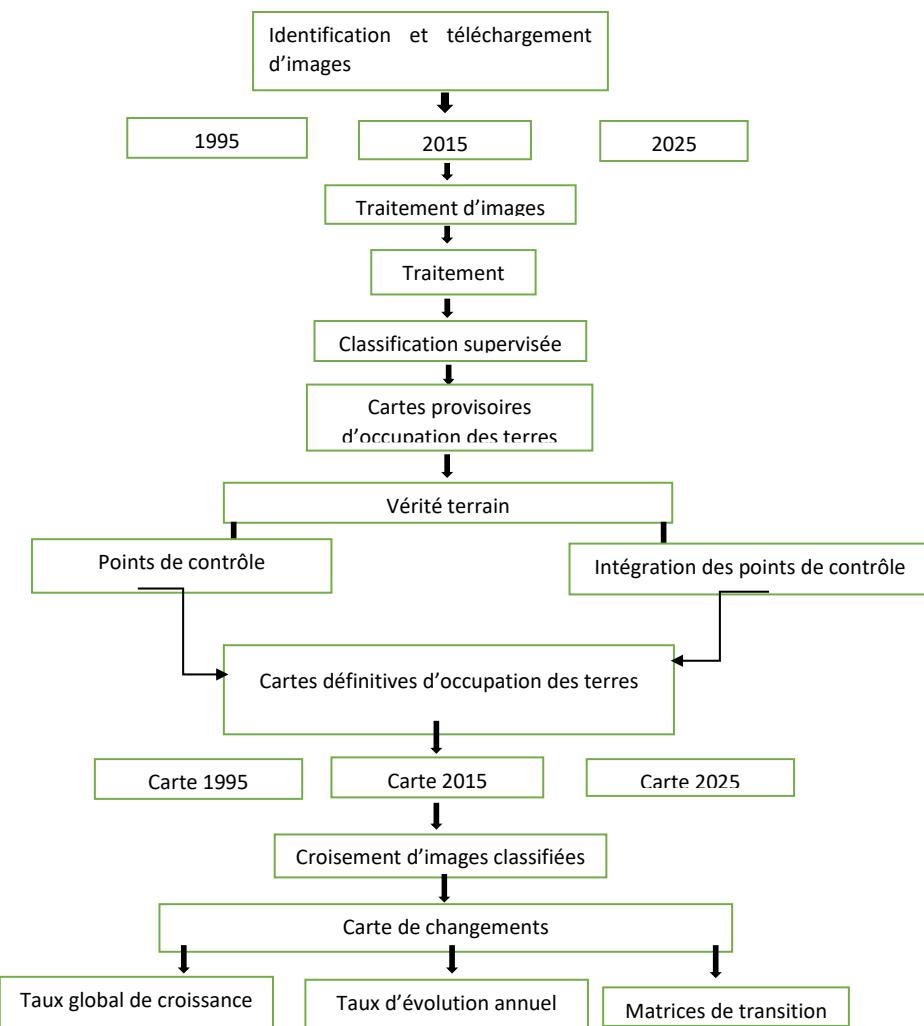


Fig. 2. Schéma conceptuel pour le traitement et l'analyse des données

3 RESULTAS

EVOLUTION CLIMATIQUE

L'analyse des données sur les précipitations enregistrées à la station de Gouré entre 1983 et 2024 (Figure 3) montre une évolution en dent de scie des précipitations. La courbe linéaire marque une tendance au retour à la pluviométrie normale. La sous période 1983 à 1993 révèle une séquence sèche, marquée toutefois par une année excédentaire (1988). C'en est suivie une alternance d'années sèches et humides jusqu'en 2019 où on remarque le retour à la pluviométrie normale. Cette succession des périodes sèches et humides aurait influencé les changements d'occupation des terres, notamment des ressources végétales.

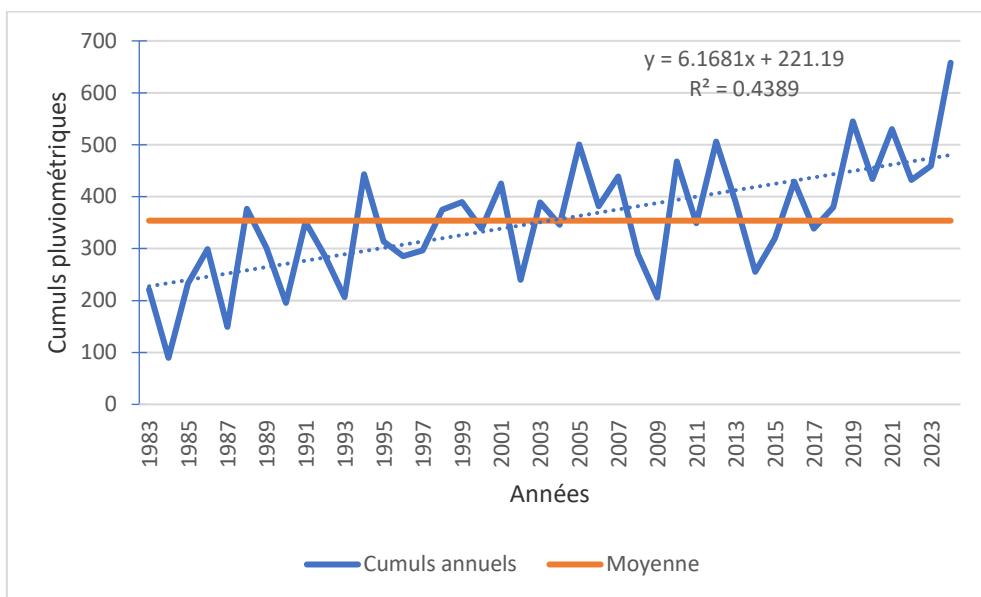


Fig. 3. Evolution de la pluviométrie de la station de Gouré sur la période 1983-2024

Source: Direction Département de la Station Synoptique de Gouré

PRÉCISION DES CLASSIFICATIONS DES IMAGES SATELLITAIRES ET RÉSULTATS CARTOGRAPHIQUES

Le tableau 2 présente les résultats relatifs à la précision des classifications des images de 1995, 2015 et 2025. Les classifications obtenues se révèlent globalement excellentes et fiables, et cette fiabilité est confirmée par les précisions globales de terrain issues des validations sur le terrain, réalisées à l'aide des points de contrôle au sol (*Ground Control Point (GCP)*), comparant les classes de la carte d'occupation des terres provisoire de 2025 à la réalité-terrain.

Tableau 2. Indice de validation des classifications de la commune de Kéllé en 1995, 2015 et 2025

Indice de validation	1995	2015	2025
Coefficient kappa	0,95	0,93	0,98
Precision utilisateur (%)	84,35%	85%	87,5%
Précision globale (%)	98%	97,63 %	98,88%

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DES TERRES

Les résultats cartographiques d'occupation des terres de la commune de Kéllé sont donnés par les figures. 4, 5, 6 et 7. Il ressort globalement une régression des ressources végétales, notamment de la steppe arborée-arbustive et de steppe arborée dense, tandis que les unités cultures pluviales, ainsi que les sols nus ou dégradés, connaissent une augmentation de leur superficie. Par contre, l'unité affleurement rocheux reste relativement stable.

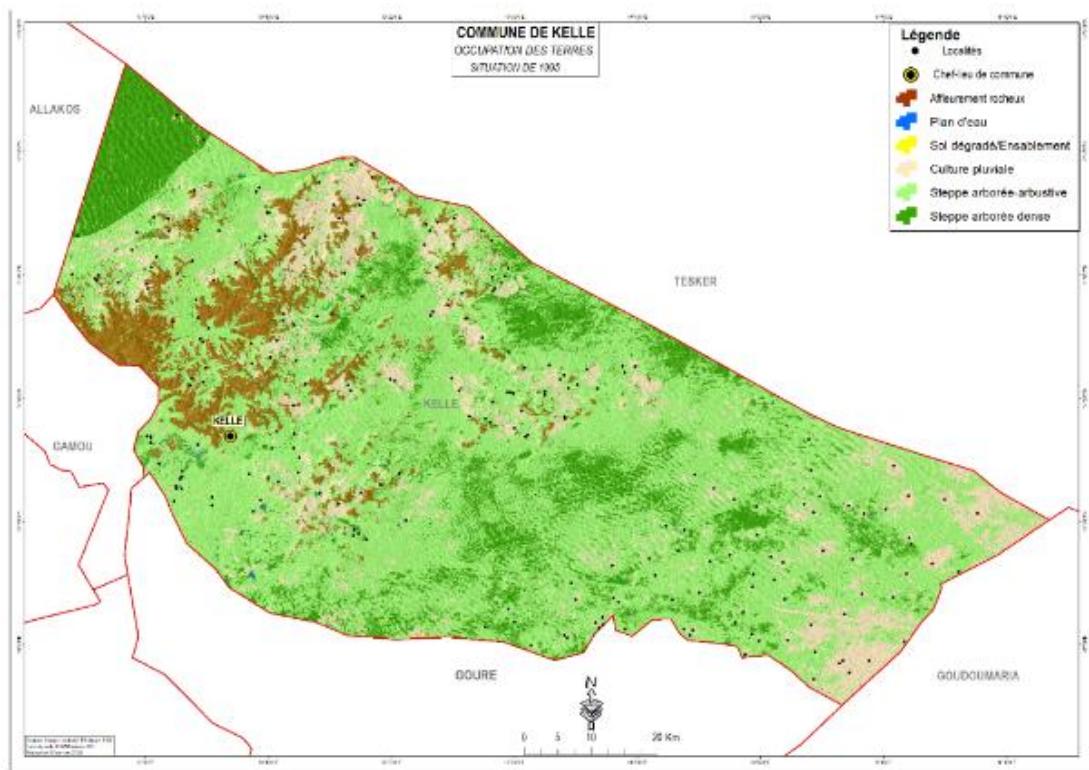


Fig. 4. Carte d'occupation des terres de la commune de Kéllé en 1995

En 1995, la steppe arborée-arbustive et la steppe arborée dense occupaient chacune 423252,45 ha et 73021,59ha, soit 62,54% et 10,79 % de la superficie totale du secteur d'étude. Les zones de cultures pluviales représentaient 118019,25ha, soit 17,44%. Les sols dégradés et ou d'ensablement couvraient quant à eux 5534,46 ha, correspondant à 0,82%. Les affleurements rocheux et les plans d'eau occupaient respectivement 54669,60 ha (8,08%) et 2205,00ha (0,33%).

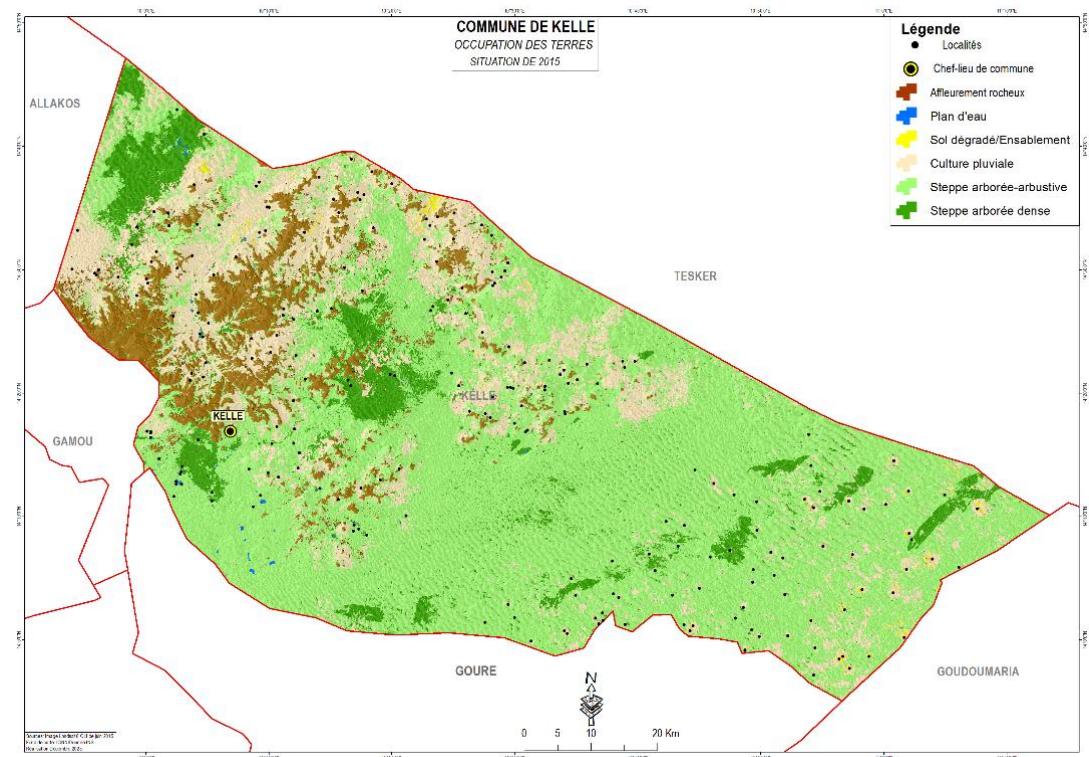


Fig. 5. Carte d'occupation des terres de la commune de Kéllé en 2015

L'analyse de la carte d'occupation des terres de 2015 révèle que les cultures pluviales occupaient 153647,64 ha, soit 22,70 % de la superficie totale de la zone d'étude. La steppe arborée dense et la steppe arborée arbustive représentaient respectivement 411200,28 ha (60,76%) et 53739,63 ha (7,94%). Les sols dégradés et ou d'ensablement couvraient 2704,32 ha, tandis que les plans d'eau s'étendaient sur 740,88 ha.

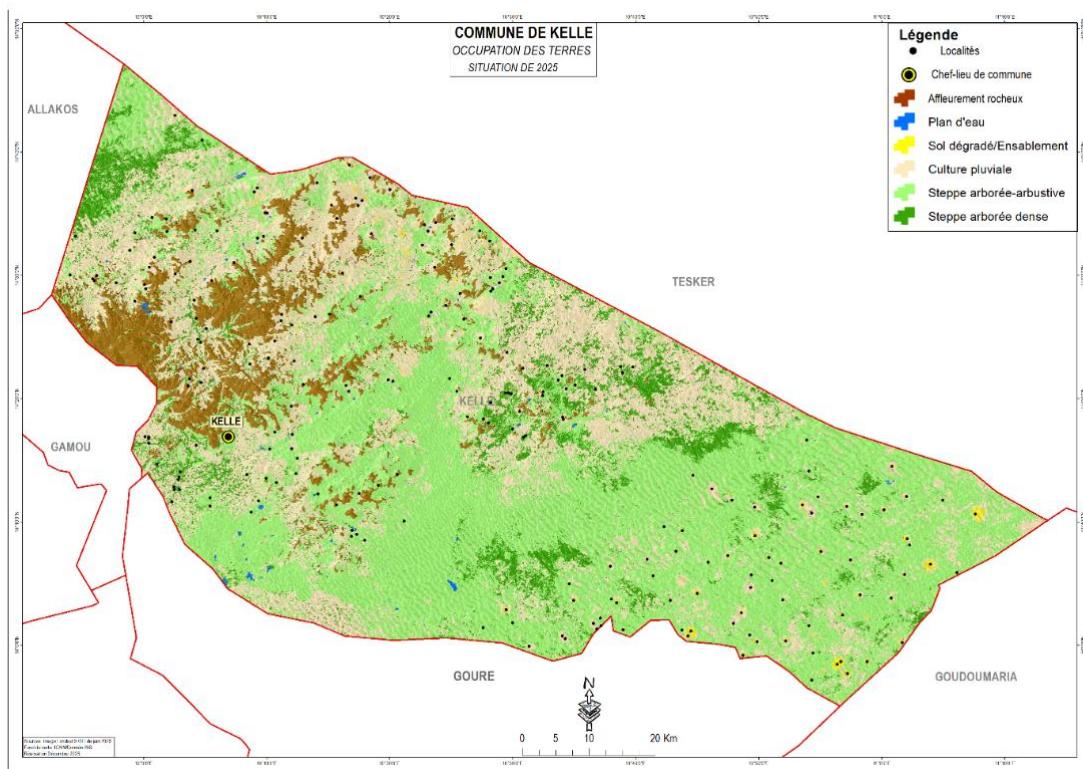


Fig. 6. Carte d'occupation des terres de la commune de Kellé en 2025

En 2025, le paysage de la commune de Kellé se caractérise par une régression des surfaces occupées par la steppe arborée arbustive qui ne représentent plus que 51,48 % contre 62,54% en 1995. Quant à la steppe arborée dense, elles représentaient 10,79% en 1995 contre 7,90% en 2025. En revanche, on observe une expansion des surfaces dédiées aux cultures pluviales allant de 17,44% (118019,25ha) à 31,81 % (215255,16ha), tandis que les affleurements rocheux demeurent relativement intacts.

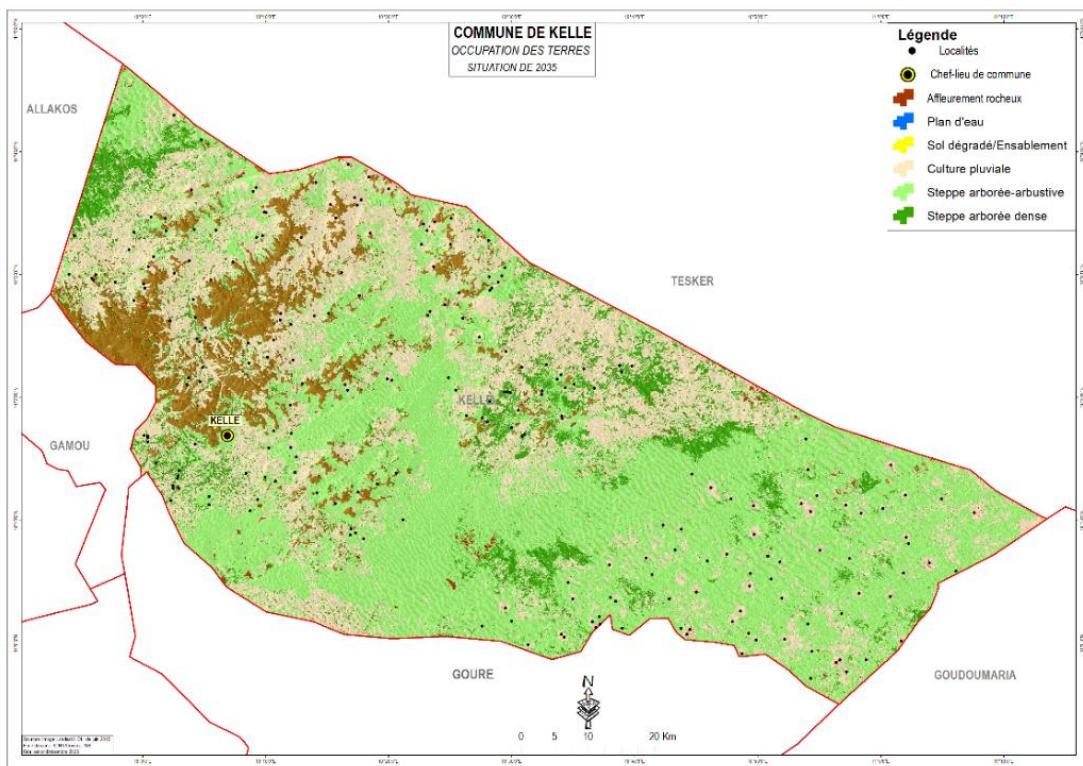


Fig. 7. Carte d'occupation des terres de la commune de Kéllé en 2035

En 2035, le paysage de la commune de Kéllé sera marqué par une régression considérable des formations végétales, notamment de la steppe arborée-arbustive, 62,54% en 1995 contre 51,48% en 2035 (diminution de plus de 10% de son espace occupé au cours de 40 ans). Une tendance similaire s'observera pour certaines unités mais insignifiant par rapport à cette première, telles que la steppe arborée dense (10,79% en 1995 contre 8,61% en 2035), les plans d'eau (0,33% en 1995 contre 0,03% en 2035), les sols dégradés (0,82% en 1995 contre 0,00% en 2035). En revanche, la culture pluviale connaîtra une extension de son espace, traduisant une progression notable de cette unité.

CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DES TERRES INTERVENU DE 1995 À 2025

Les résultats de l'analyse spatio-temporelle des unités d'occupation des terres montrent une importante évolution des superficies emblavées (culture pluviale), dont la part est passée de 17,44 % en 1995 à 22,70 % en 2015 et à 31,81 % en 2025 et une prédition de 33 % en 2035. En revanche, le plan d'eau et le sol dégradé et ou zone d'ensablement ont connu une évolution en dent de scie. En effet, elles ont passé respectivement de 0,33% et 0,82% en 1995 avant de régresser à 0,11% et 0,40% en 2015 pour évoluer à 0,22% et 0,51% en 2025. Par ailleurs, certaines des unités d'occupation des sols n'ont subi qu'une régression marquée de leurs superficies, notamment la steppe arborée arbustive (passé de 62,54% en 1995 à 60,76% en 2015 pour atteindre 51,48% en 2025), la steppe arborée dense (passé de 10,79% en 1995 à 7,94% en 2015 pour atteindre 7,90% en 2025). Les statistiques détaillées de cette évolution sont présentées dans le tableau 3, tandis que la figure 8 illustre graphiquement la dynamique de chaque unité d'occupation des terres pour les trois périodes de références (1995, 2015 et 2025).

Tableau 3. Statistiques des unités d'occupation des terres de la commune de Kéllé en 1995, 2015, 2025 et prédition 2035

Unités	1995		2015		2025		Prédiction 2035	
	Superficie (Ha)	Pourcentage						
Affleurement rocheux	54669,60	8,08	54669,60	8,07	54669,60	8,07	54669,60	8,08
Plan d'eau	2205,00	0,33	740,88	0,11	1493,28	0,22	192,34	0,03
Sol dégradé/Ensablement	5534,46	0,82	2704,32	0,40	3480,30	0,51	23,85	0,00
Culture pluviale	118019,25	17,44	153647,64	22,70	215255,16	31,81	223335,83	33,00
Steppe arborée-arbustive	423252,45	62,54	411200,28	60,76	348355,17	51,48	340204,89	50,27
Steppe arborée dense	73021,59	10,79	53739,63	7,94	53448,84	7,90	58275,85	8,61

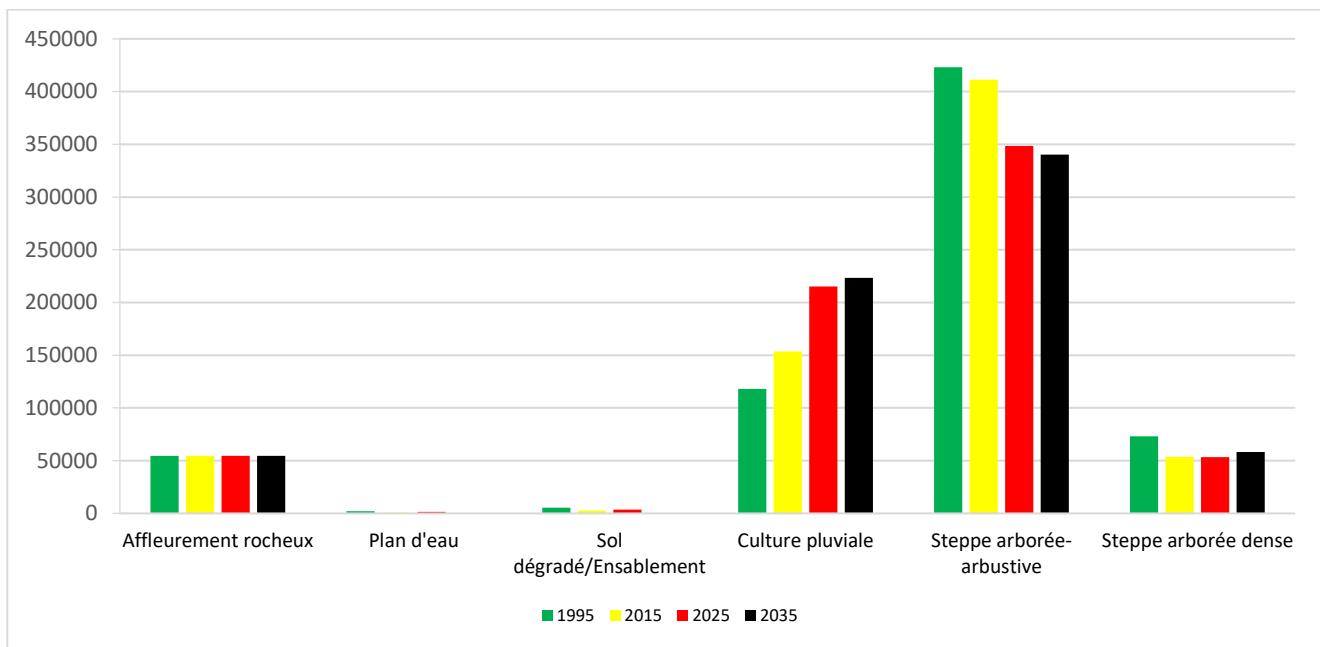


Fig. 8. Evolution des unités d'occupation des terres de la commune de Kéllé en 1995, 2015, 2025 et 2035

LE TAUX GLOBAL D'ÉVOLUTION DES UNITÉS D'OCCUPATION DES TERRES DE 1995 À 2035

Le taux d'évolution spatio-temporelle des unités d'occupation des terres (tableau 4) fait ressortir une régression des ressources végétales, notamment des steppes arborée-arbustive et arborée dense qui enregistrent respectivement un taux de variation de **-11,068 % et -2,892**. En revanche, la steppe arborée-arbustive présente une évolution de 50,27 %, tout en demeurant l'unité la plus fortement affectée par la régression. La même tendance est observée pour les plans d'eau et les sols dégradés et ou zones d'ensablement avec des régressions respectives de **-0,105% et -0,304%**. Par contre ces deux dernières unités d'occupation des terres ont connu une tendance progressive de **2015-2025** dont respectivement **0,111% et 0,115%**. Cependant la diminution des sols dégradés s'explique en partie par les opérations de fixation des dunes et de restauration des sols dégradés actuellement en cours dans la commune. En revanche, l'écosystème pluvial a enregistré une progression notable, avec un taux de **17,446%**. Ce taux évolue de **6,165%** entre **1995-2015** à **11,280%** entre **2015-2025** et **17,446%** entre **1995-2035**.

Tableau 4. Taux d'évolution des classes d'occupation des terres de la commune de Kéllé

Unités d'occupations des terres	1995-2015	2015-2025	Nature	1995-2035	Nature
Affleurement rocheux	0,000	0,000	Relative stabilité	0,000	Relative stabilité
Plan d'eau	-0,216	0,111	Progression	-0,105	Régression
Sol dégradé/Ensablement	-0,418	0,115	Progression	-0,304	Régression
Culture pluviale	6,165	11,280	Progression	17,446	Progression
Steppe arborée-arbustive	-1,781	-9,287	Régression	-11,068	Régression
Steppe arborée dense	-2,849	-0,043	Régression	-2,892	Régression

LES CHANGEMENTS INTERVENUS DE 1995 À 2035

La figure 9 montre les taux annuels d'évolution des classes d'occupation des terres de la commune de Kéllé entre 1995 et 2025. L'analyse de celle-ci (figure 9) fait ressortir qu'entre 1995 et 2025, certaines unités ont connu une régression, notamment le plan d'eau, le sol dégradé/Ensablement, la steppe arborée-arbustive et la steppe arborée dense dont les valeurs sont négatives. A l'inverse, les unités présentant des valeurs positives témoignent d'une progression (culture pluviale). Les affleurements rocheux sont au niveau zéro, signifiant que cette unité n'a connu aucune évolution significative.

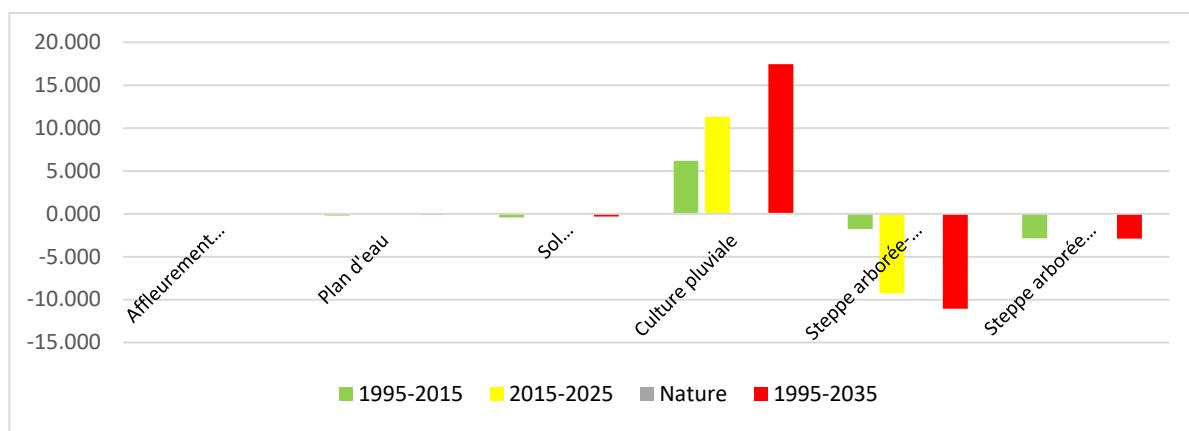


Fig. 9. Taux annuels d'évolution des classes d'occupation des terres de la commune de Kéllé entre 1995 et 2035

LES MATRICES DE TRANSITION DE 1995 À 2025

Les matrices de transition, illustrant les transformations des unités d'occupation des terres de la commune de Kéllé pour les périodes 1995-2015, 2015-2025, 1995-2025, ainsi que la projection à l'horizon 2025-2035 sont présentées dans les tableaux 5, 6, 7 et 8. Ces matrices indiquent pour chaque paire d'années les valeurs exprimées en pourcentage des transformations observées.

Entre 1995 et 2015, des changements majeurs ont été observés au sein de certaines unités d'occupation des terres. Ainsi, 1,00% des superficies occupées par la steppe arborée-arbustive se sont transformées en d'autres unités, notamment 0,054% en culture pluviale et 0,019% en sol dégradé ou zone d'ensablement, tandis que seulement 0,787 % de cette unité sont restés stables. De même, la steppe arborée dense a subi des modifications, avec 0,079% de leur superficie initiale convertie en d'autres unités, contre 0,0921% conservée. L'unité des cultures pluviales a également connu des transformations: 0,887% de sa superficie ont été maintenus, alors que 0,113 % ont été convertis en d'autres formes d'occupation des terres.

Entre 2015 et 2025, les changements les plus significatifs concernent la steppe arborée-arbustive qui n'a conservé que 0,663% de sa superficie initiale. Des transformations importantes sont également observées au niveau de l'unité plan d'eau, dont 0,291% qui se sont transformés en d'autres unités, contre 0,698% de sa superficie initiale. La steppe arborée dense a également connu des modifications de sa superficie en d'autres unités d'occupation des terres, notamment la steppe arborée arbustive (0,078%) et le plan d'eau (0,302%). En revanche, la culture pluviale n'a connu qu'une progression de sa superficie, passant de 0,887% entre 1995-2015 à 0,976% entre 2015-2025. Une seule unité d'occupation des terres a mieux résisté aux changements; il s'agit des affleurements rocheux.

Entre 2015 et 2035, grâce au reboisement entrepris ces dernières années la steppe arborée dense a progressé de 2015-2035. En effet, elle était de 0,712% entre 2015 et 2025 avant d'atteindre en 2035 (10 ans de plus) à 0,758%. Excepté cette unité et la culture pluviale qui ne connaît que l'expansion de son écosystème du fait de la croissance démographique qui caractérise la zone d'étude, toutes les autres unités ne font que régresser au cours de ces quatre (4) décennies.

Entre 2025 à 2035, une régression considérable des formations végétales est attendue, notamment au niveau de la steppe arborée-arbustive (-11,068%). Ainsi, une légère régression est observée à l'unité steppe arborée dense (-2,892). Une tendance similaire sera observée pour le plan d'eau (-0,105), le sol dégradé/Ensablement (-0,304%). Cependant, une unité devrait connaître une progression en termes de superficie occupée, notamment la culture pluviale (+17,446%). Cette progression, particulièrement marquée pour la culture pluviale s'explique par son extension spatiale liée à l'explosion démographique dont une forte demande en terres agricoles.

Tableau 5. Matrice de transition en pourcentage (%) des unités d'occupation des terres entre 1995 et 2015

Classe (1995-2015)	Affleurement rocheux	Plan d'eau	Sol dégradé / Ensablement	Culture pluviale	Steppe arborée-arbustive	Steppe arborée dense	Total
Affleurement rocheux	0,975	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	1,00
Plan d'eau	0,000	0,989	0,000	0,001	0,000	0,010	1,00
Sol dégradé / Ensablement	0,000	0,000	0,981	0,000	0,019	0,000	1,00
Culture pluviale	0,000	0,000	0,014	0,887	0,054	0,044	1,00
Steppe arborée-arbustive	0,000	0,001	0,002	0,202	0,787	0,008	1,00
Steppe arborée dense	0,000	0,000	0,001	0,079	0,000	0,921	1,00
Total	0,975	0,990	0,999	1,168	0,885	0,984	6,00

Tableau 6. Matrice de transition en pourcentage (%) des unités d'occupation des terres entre 2015 et 2025

Classe (2015-2025)	Affleurement rocheux	Plan d'eau	Sol dégradé/Ensablement	Culture pluviale	Steppe arborée-arbustive	Steppe arborée dense	Total
Affleurement rocheux	0,850	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	1,00
Plan d'eau	0,000	0,698	0,000	0,000	0,000	0,302	1,00
Sol dégradé/Ensablement	0,000	0,000	0,768	0,000	0,232	0,000	1,00
Culture pluviale	0,000	0,001	0,013	0,976	0,010	0,000	1,00
Steppe arborée-arbustive	0,000	0,001	0,002	0,255	0,663	0,078	1,00
Steppe arborée dense	0,000	0,008	0,001	0,279	0,000	0,712	1,00
Total	0,850	0,708	0,785	1,509	1,055	1,093	6,00

Tableau 7. Matrice de transition en pourcentage (%) des unités d'occupation des terres entre 2025 et 2035

Classe (2015-2035)	Affleurement rocheux	Plan d'eau	Sol dégradé / Ensablement	Culture pluviale	Steppe arborée-arbustive	Steppe arborée dense	Total
Affleurement rocheux	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,00
Plan d'eau	0,000	0,945	0,000	0,020	0,035	0,000	1,00
Sol dégradé/Ensablement	0,000	0,000	0,781	0,000	0,219	0,000	1,00
Culture pluviale	0,000	0,000	0,020	0,980	0,000	0,000	1,00
Steppe arborée-arbustive	0,000	0,001	0,003	0,323	0,589	0,084	1,00
Steppe arborée dense	0,000	0,000	0,000	0,242	0,000	0,758	1,00
Total	1,000	0,946	0,803	1,566	0,843	0,842	6,00

4 DISCUSSION

STEPPE ARBORÉE-ARBUSTIVE ET STEPPE ARBORÉE DENSE

La steppe arborée-arbustive dense, qui occupait 62,54% de la superficie de la commune, soit 423252,45 ha en 1995 a enregistré une régression de 1,78%, pour ne plus couvrir que 60,76% de la surface totale en 2025, soit une superficie de 348355,17 ha. De son côté la steppe arborée dense a aussi connu une baisse significative, passant de 10,79% en 1995 à 7,90% en 2025, soit une diminution de 2,89 % de sa superficie initiale. Cette tendance à la régression des formations végétales mise en évidence dans cette étude a également été observée par d'autres auteurs qui ont travaillé sur le changement d'état d'occupation des terres. Il s'agit notamment des travaux de [9], portant sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la commune de Simiri au Niger entre 1973 et 2020. D'autres auteurs ont également confirmé ce recul, voire la disparition des formations végétales [36]; [37]; [38]; [39]. Au Bénin, une étude effectuée par [40] sur la Forêt classée de la Mékrou a mis en évidence une régression des formations végétales, passant de 70,53% en 1992 à 39,33% en 2012. De leur côté, [39] ont montré que la savane arbustive dans la commune d'Allada (Bénin) a connu un déclin significatif, passant de 11,47% en 1990 à une disparition complète en 2014. Les résultats obtenus au Niger par [41] dans la Réserve Totale de Faune de Tamou, [42] et [62] dans le département de Gouré, [43] et [16] dans les communes de Gabi et Gothèye, ainsi que ceux de [34] au Togo et de [44] dans la province du Bam au Burkina Faso, confirment globalement une diminution de plus en plus généralisée des formations végétales. Concernant la steppe arbustive, une évolution progressive est attendue à l'horizon 2045 avec une augmentation estimée à 0,30% par rapport à sa situation de 2025. Ces résultats corroborent ceux de [45], qui ont observé une amélioration de la couverture végétale de 66,8% entre 2001 et 2013 dans le sud-est du Burkina Faso. D'autres études menées au Niger, confirment les tendances observées dans la présente étude [46]; [47]; [48]; [49]; [50], [62].

CULTURE PLUVIALE

Les surfaces occupées par les cultures pluviales représentaient respectivement 17,44% de la superficie totale de la zone d'étude en 1995 contre 31,81% en 2025. L'extension de cette unité d'occupation du sol s'est effectuée au détriment d'autres formations, notamment la steppe arborée-arbustive dense et la steppe arbustive. Cette expansion serait en lien avec la conquête de nouvelles terres de cultures, favorisée par la croissance démographique de la commune [51]. Plusieurs travaux ont mis en évidence l'impact de la croissance démographique sur l'expansion des superficies cultivées [52]; [53]; [54]; [55]; [56]; [37]. En effet, les surfaces occupées par les cultures pluviales sont passées de 118019,25 ha en 1995, à 215255,16 ha en 2025, soit une extension de 97235,91 ha en trente ans (30).

PLANS D'EAU ET AFFLEUREMENT ROCHEUX

Les plans d'eau représentaient 0,33% de la superficie totale de la zone d'étude en 1995, contre 0,11% en 2015, puis 0,22% en 2025. Cette évolution en dent de scie serait en lien avec la variabilité pluviométrique qui caractérise la zone, comme l'illustre bien la courbe d'évolution de la pluviométrie du département de Gouré. Les résultats de la présente étude corroborent ceux de [16], qui ont observé entre 1984 et 2017 une régression des plans d'eau de **-23,16%** à Gothèye et de **-11,67%** à Torodi au Niger. De même, [54] ont mis en évidence une diminution des eaux de surface de 9,92% en 1987 à 0,98% en 2013, soit une baisse de **-8,94%**. À l'inverse, d'autres auteurs tels que [57] et [38] rapportent dans leurs travaux une progression des superficies occupées par les plans d'eau.

Quant aux affleurements rocheux, c'est une unité qui est relativement stable, dont les changements sont très négligeables du fait de leurs résistance aux facteurs dégradants. Les superficies occupées par cette unité n'ont pas connu une modification sensible et quantifiable, variant entre 8,08% et 8,07% de la superficie totale entre 1995 et 2025, selon la qualité de l'image traitée.

SOLS DÉGRADÉS OU ZONES D'ENSABLEMENT

Dans la commune de Kéllé, les sols dégradés et ou les zones d'ensablement ont connu une dynamique contrastée. Ainsi, les superficies occupées par cette unité sont passées de 0,82% de la superficie totale du secteur d'étude en 1995 à 0,40% en 2015, puis 0,50% en 2025 soit une régression de -0,82% pour la période 1995-2025. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces dynamiques, dont les effets du changement climatique et ses corollaires, ainsi que les actions anthropiques. Ces dernières incluent à la fois des pratiques négatives (déforestation, pratiques agricoles, etc.) et des actions positives (opérations de fixation biologique et mécanique des dunes, restauration des écosystèmes dégradés, etc.). Selon [58], la réduction de la couverture végétale expose davantage les terres aux principaux agents érosifs, notamment le vent et l'eau de ruissellement, dans un contexte sahélien marqué par une forte variabilité pluviométrique et des sols constitués des dépôts sableux éoliens. D'autres études confirment cette tendance dont celle de [38] qui rapporte une progression des sols nus dans la partie Nord du Dallol Bosso au Niger, ou de [59] et [61] qui ont observé des résultats similaires dans d'autres régions du pays. Dans l'Est du Niger, [60] et [62] ont également mis en évidence la dynamique accrue d'ensablement. De même, [9] note une régression de la couverture végétale entre 1973 à 2020, et parallèlement une augmentation des surfaces de sols nus dans la commune de Tondikiwindi au Niger.

5 CONCLUSION

L'étude diachronique de l'évolution de l'état d'occupation des terres de la commune de Kéllé commune de Kéllé, basée sur l'utilisation des produits de la télédétection et des techniques d'utilisation des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) a permis d'appréhender les changements intervenus entre 1995 et 2025. Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude a connu une modification de son écosystème qui se traduit par une régression des formations végétales, notamment la steppes arborée-arbuste, et la steppe arborée dense.

Cependant, l'on observe une extension de certaines unités d'occupation des terres (culture pluviale), tant que d'autres unités comme les plans d'eau et les sols dégradés ont évolué en dent de scie, avec une progression des superficies entre 1995 et 2015, puis une régression entre 2015 et 2025.

Globalement, cette étude met en évidence les transformations majeures survenues au sein des différentes unités d'occupation des terres, et de prédire l'évolution du paysage à l'horizon 2035. Les résultats indiquent une régression de certaines unités d'occupations telles que la steppe arborée-arbustive et la steppe arborée dense, les zones d'ensablement et les plans d'eau, tandis que d'autres unités comme les cultures pluviales devraient connaître une extension de leurs superficies ou une relative stabilité (affleurement rocheux).

REFERENCES

- [1] MAHAMADOU S., SALEY M.B, KOUAME K.J, AMBOUTA J M K, Ibrahim MAMADOU I., N'DOH ANGE F.2024. Analyse de l'occupation des sols dans le contexte de changement climatique à l'échelle du bassin versant de Karey Gorou (Sud-Ouest du Niger). *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences Volume 10 ~ Issue 10 (2024) pp: 09-21 ISSN (Online): 2348-2532.*
- [2] Jofack SVC, Kouamé FK, Dibi N'da H, Tankoano B, Akpa YL, Ngounou NB, 2016. Cartographie de l'occupation de sol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun par réseaux de neurones appliqués à une image LANDSAT 8 OLI. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 23 (2): 443-454.
- [3] Pelletier, C., 2017. Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions Identification et traitement des données mal étiquetées. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, p. 259.
- [4] Gildas LD, Henri STV, Nickson EK, 2016. Dynamique de l'occupation du sol et évolution des terres agricoles dans la commune de Sinende au nord Bénin. *Cahiers du CBRST*, 9: 101-121.
- [5] Ayebo, G., 2017. Stratégies de lutte contre la dégradation des terres dans une zone cotonnière. Cas de la préfecture de l'Est-Mono au Togo. Mémoire de Master, Centre Régional Agrhyemet, 75 pages.
- [6] Idrissa M., 2018. Impact du climat et des activités anthropiques sur les écosystèmes dans le Nord-Ouest de la région de Tillabéri au Niger. Thèse de Doctorat Unique de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 2018; 139 pages.
- [7] Harouna, M., 2002. De la migration circulaire à l'abandon du territoire local dans le Zarmaganda (Niger). *Revue européenne des migrations internationales*. 2002; 18 (2): 1-23. DOI: <https://doi.org/10.4000/remi.1662>.
- [8] Moussa Abdou O. et al, 2024. Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la commune de Simiri, ouest-nigérien. *International Journal of Applied Research* 2024; 10 (6): 193-202.
- [9] Moussa Abdou O. et al. (2024). Etude de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune de Tondikiwindi dans l'ouest-nigérien. AFRIMED AJ - Al Awamia (145). p. 49-59.
- [10] Ouédraogo A. (2006). Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de doctorat (Université de Ouagadougou, Ouagadougou). 196 pages.
- [11] Dan Guimbo I. (2011). Fonction, dynamique et productivité des parcs à Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn. et à Neocarya macrophylla (Sabine) Prance dans le sud-ouest du Niger. Thèse de Doctorat (Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, Niger). 158 pages.
- [12] Alohou, EC., Ouinsavi, C., Sokpon, N. (2016). Fragmentation des écosystèmes forestiers: Définitions des concepts et évolution des méthodes d'évaluation. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17 (2): 474-486.
- [13] Mas JF. 2000. Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement. *Journal canadien de télédétection*, 26 (4): 349-362. DOI: <https://doi.org/10.1080/07038992.2000.10874785>.
- [14] Lu, D, Mausel P, BrondíZio E, Moran E. 2004. Change Detection Technic. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (12): 2365-2407. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>.
- [15] Avakoudjo, J., et al., 2014. Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin.
- [16] I. BIGA et al, 2020. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (3): 949-965, 2020.
- [17] Lambin, E. (1988) Apport de la télédétection satellitaire pour l'étude des systèmes agraires et la gestion des terroirs en Afrique occidentale. Exemple au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 239p.
- [18] Nonguerma, A. (2005) Evaluation et suivi par télédétection des zones humides au Sahel. Centre Agrhyemet, CILSS, 15p.
- [19] Elliott, D.C. (1996) A conceptual framework for geoenvironmental indicators. In: *Geoindicators – Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Berger, A.R. et Iams, W.J. eds., A.A. Balkema, Rotterdam: 337-349.

- [20] Hulme, M. (1996) Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical Research Letters*, 23: 61-64.
- [21] Gueye, M. et Ozer, A. (2000). Apport de la télédétection à l'étude de la transformation de l'agriculture et de l'environnement dans le département de Bignona (Sénégal méridional). In: La télédétection en Francophonie: analyse critique et perspectives. Dubois, J.M.M., Caloz, R. et Gagnon, P. eds., AUPELF-UREF, 141-151.
- [22] Foody, G.M. (2003) Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: an example focused on the NDVI/rainfall relationship. *Remote Sensing of Environment*, 88: 283-293.
- [23] Eklundh, L., Olsson, L. (2003) Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999. *Geophysical Research Letters*, 30, 10.1029/2002 GL016772.
- [24] Hountondji, Y.C., Ozer, P. et Tychon B. (2003) Etude des modifications environnementales à partir des données pluviométriques et NDVI de NOAA-AVHRR en Afrique de l'Ouest. in: Les Journées des Géographes Belges, Tome 1: Evaluer la capacité du milieu, Schmitz, S. et Meert, H. (eds.), Editions BEVAS/SOBEG: 19-24.
- [25] Hiernaux, P. et Turner, M.D. (2002). The influence of farmer and pastoralist management practices on desertification processes in the Sahel. In: Global desertification: Do humans cause deserts? Reynolds, J.F. et Stafford Smith, D.M. eds., Dalhem University Press: 135-148.
- [26] Bodart.C, 2004. Etude de l'ensablement dans la région de Gouré (Sud-Est du Niger): processus et apport de la télédétection. Mémoire de maîtrise en sciences géographique, Université de Liège, 150 pages.
- [27] JAHIEL M., 1998. Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger. *Sécheresse*, 9: 167-174.
- [28] KANEMBOU L., MALAM ASSANE M. & MALAM BOURNA BAGALE M. (2024). Impacts socio-économiques des cultures des cuvettes-oasiennes sur la sécurité alimentaire des populations: cas de la cuvette de Gursilik dans la commune de Goudoumaria (Région de Diffa/ Sud-Est du Niger). *European Scientific Journal*, ESJ, 20 (29), 106.
- [29] Tahirou et al., 2016 Perception paysanne des ligneux à houppier fermé dans les agrosystèmes de Gaya: cas du terroir villageois de Tanda (République du Niger). *Journal of Applied Biosciences* 106: 10309 –10319.
- [30] Taibou B, Seck D. 2012. Dynamique de l'occupation des sols, cartographie des CLPA, des zones de pêche et mise en place d'un système d'information géographique au Sénégal. Rapport d'exécution University of Rhode Island, Narragansett RI, p. 66.
- [31] Tchibozo É. A. M.T, 2020. Modélisation De La Dynamique Spatio – Temporelle De L'occupation Du Sol Et Analyse Des Changements Du Territoire De La Lama Au Bénin. *European Scientific Journal*, ESJ, 16 (6), 499.
- [32] Souleymane A.D., Aboubacar A., Nassirou A.M. & Garba I., 2025. Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la zone agropastorale de la commune de Korahane, centre Nord de la république du Niger. *European Scientific Journal*, ESJ, 21 (14), 111.
- [33] Schlaepfer, R., 2002, Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, 10 pages.
- [34] Kpedenou KD, Boukpessi T, Tanzidani T, Tchamie K. 2016. Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Rev. Sc. Env.*, 13: 137-156 10.
- [35] Soufouyane Z, Ismaïla T. I., Omer A. T., Mama D. et Ousséni A. (2018). Application de la Télédétection Et du SIG au suivi des formations végétales de la forêt classée des trois rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal*. Vol. 14 (15). p. 450-469.
- [36] Hountondji Y. H. (2008). Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal.
- [37] Appolinaire, B. T., Brice A. T. et Ibouraïma Y. (2017). Pression agro-foncière et mutations agraires sur le plateau Adja au Sud-Ouest du Benin. *European Scientific Journal*. Vol. 13 (8). p. 177-199. DOI: 10.19044/esj.2017.v13n8p177.
- [38] Issoufou M., Boureïma O. et 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*. Vol. 14 (30). p. 391-407. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n30p391.
- [39] Brun L, Gaudence D., Gibigaye M. et Tente B. (2018). Dynamique de l'occupation du sol dans les zones humides de la commune d'Allada au Sud-Benin (Sites Ramsar 1017 Et 1018). *European Scientific Journal*. Vol. 14 (12). p. 59-77. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n12p59.
- [40] Bouko, B. S., Dossou, P. J., Amadou, B., & Sinsin, B. (2016). Exploitation Des Ressources Biologiques Et Dynamique De La Forêt Classe De La Mekrou Au Benin. *European Scientific Journal*, ESJ, 12 (36), 228. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n36p22>.
- [41] MAMANE, B. et al, 2018. Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12 (4): 1667-1687, 2018.
- [42] Tidjani, A. D., Bielders, C.L. et Ambouta, K. J. M. (2009). Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger oriental. *Geo-Eco-Trop.* 33. p. 39-56.
- [43] Mahamane, A. et al, 2007. Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Science et changements planétaires / Sécheresse*. 2007; 18 (4): 296-304. Doi: 10.1684/sec.2007.0105.
- [44] Millogo D, Nikiema AA, Koulibaly B, Zombre NP. 2017. Analyse de l'évolution de l'occupation des terres à partir de photographies aériennes de la localité de Loaga dans la province du Bam, Burkina Faso. *Int. J. Bio. Chem. Sci.*, 11 (5): 2133-2143. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.16>.

- [45] Soulama, S. et al. 2015. Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences* 87: 8047–8064.
- [46] Zabeirou.T, Guéro.M, Amadou.B, 2004. Etude sur la dynamique de l'ensablement dans le Département de Maïné-Soroa, 28 pages.
- [47] Olsson, L., L. Eklundh et J. Ardo, 2005, A recent greening of the Sahel-trends, patterns and potential causes, *Journal of Arid Environments*, 63, pp 556–566.
- [48] Hermann, S., A. Anyamba, C.J. Tucker, 2005, Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate, *Global Environmental Change*, 15, pp 394-404.
- [49] Reij, C., et al, 2006. Etude de la régénération naturelle assistée dans la région de zinder (niger) p. 259.
- [50] Mahamane.S et Mahamane.L, 2006. Evaluation de la flore et de la végétation dans certains sites traités et non traités des régions de Tahoua, Maradi et Tillaberi. *Travaux de recherches, CRESA Niamey*, 90 pages.
- [51] Plan de Développement Communal de Kéllé, 2021-2025, 117 pp.
- [52] KANEMBOU L, AMBOUTA J M Karimou, WAZIRI MATO M, 2009. Dynamique des aires pastorales dans le département de Gouré: apport de la télédétection et du SIG. *Revue du Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales (LaRBE)*, n° 005, pp. 119 à 143.
- [53] Hamidou A., Morou B., Mahamane A., Saadou M. et 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*. Vol. 1 (1). p. 16-26.
- [54] Abdou B., Souleymane S. T., Baba C., Cheick Hamalla D., Moriké D., Alou T. et Sidi D. (2016). Pressions anthropiques et dynamique d'occupation des terres dans le terroir de Ziguéna, zone cotonnière du Mali. *European Scientific Journal*. Vol. 12 (5). p. 90-99. DOI: 10.19044/esj. 2016.v12n5p90.
- [55] Abdo M. (2014). Pratiques, techniques et technologies de restauration des paysages dégradés du Sahel. *African Forest Forum. Working Paper Series*. Vol. 2 (3). 47 pages.
- [56] Soufouyane Z., Ismaïla T. I., Omer A. T., Mama D. et Ousséni A. (2018). Application de la Télédétection Et du SIG au suivi des formations végétales de la forêt classée des trois rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal*. Vol. 14 (15). p. 450-469.
- [57] Moussa I. A., Hassane B., Wagani I., Abdourhamane T. A., Abdoulaye A. et Garba Z. (2020). Dynamique hydro-géomorphologique des mares et de l'occupation des sols de 1973 à 2018 dans la commune de Dogonkiria, Dosso. *International Journal of Applied Research*. Vol. 6 (12). p. 294-300.
- [58] Abdourhamane T. A., Rajot J. L., Garba Z., Marticorena B., Petit C. et Sebag D. (2011). Impact of very low crop residues cover on wind erosion in the Sahel. *Catena*, Vol. 85 (2011). p. 205-214.
- [59] IDRISSE, A. et al, 2023. Analyse spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la commune de Kirtachi au sud-ouest du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17 (3): 1033-1047, 2023.
- [60] KANEMBOU L, KARIMOUNE S, 2013. Processus d'ensablement des cuvettes et suivi par télédétection dans le département de Gouré. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou (RGO)*, n°002, pp. 173 à 197.
- [61] MALAM ASSANE, M. & al (2021). Les cuvettes oasiennes du Manga, Sud-Est Niger: un patrimoine à forte productivité agricole menacé d'ensablement, protégé par la fixation des dunes. *Afrique SCIENCE* 18 (5) (2021) 102 – 117.
- [62] KANEMBOU, L.; & al (2025). Changes in Land Occupation in the System Oasien of Southeastern Niger, Goudoumaria in Niger. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 10 (11), 1923-1937.
- <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25nov1323>.