



Dynamique de l'occupation des sols de la région de Diffa: cas des communes de Diffa, Chétimari et Mainé-Soroa (Sud-Est du Niger)

MAÏ MOUSSA CHETIMA Mahaman Bagana¹, KANEMBOU Lawandi¹, AMADOU ISSOUFOU Abdourhimou², ABDOU HABOU Maman Kamal^{2*}, RABIOU Habou² et MAHAMANE Ali³

¹Université de Diffa, Institut Supérieur en Environnement et Ecologie, BP 78, Diffa, Niger

²Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques, BP 78, Diffa, Niger

³Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, BP 10662, Niamey, Niger

*Auteur correspondant : abdoukamalm@gmail.com; abdoukamalm@yahoo.fr

Submitted 08/1/2026, Published online on 28/02/2026 in the <https://www.m.elewa.org/journals/journal-of-applied-biosciences-about-jab/> <https://doi.org/10.35759/JABs.217.2>

RESUME

Objectif : L'objectif de la présente étude est d'analyser la dynamique de l'occupation du sol en lien avec les mouvements des populations (refugiés, déplacés internes et retournés) dus à l'insécurité entre 2004 et 2024 à partir de données satellitaires (images Landsat).

Méthodologie et Résultats : La méthodologie s'appuie sur l'utilisation de la télédétection et des SIG pour analyser le changement des grandes classes d'occupation du sol de la région de Diffa. Les cartes d'occupation du sol ont été produites à partir d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance. Les résultats ont montré que les communes de Diffa et de Mainé-Soroa sont beaucoup plus affectées par la transformation des steppes en terres agricoles. En effet, de 2004 à 2014, les steppes ont connu une régression de 5,16% et 0,84% respectivement à Mainé-Soroa et à Diffa. En outre, la période de 2014 à 2024, correspondant à la période d'installation des réfugiés, les steppes ont régressé de 3,25% et 9,35% respectivement à Mainé-Soroa et à Diffa. La nécessité de satisfaire les besoins vitaux dans un contexte de croissance démographique consécutif à l'installation des réfugiés, déplacés et retournés a provoqué la dégradation des formations végétales. Le besoin en bois pour la construction des abris et celui en terres de culture sont sans doute les facteurs qui justifient cette transformation du paysage. Ces résultats ont montré que les steppes de la commune de Diffa suivies de celles de la commune de Mainé-Soroa sont beaucoup plus impactées par l'installation des camps de réfugiés et/ou des déplacés et retournés. La commune de Chétimari est celle qui est la moins affectée par la transformation de ses steppes.

Conclusion et Application des résultats : ce travail montre que le paysage de la région de Diffa est largement façonné par l'influence conjuguée de plusieurs facteurs, à la fois naturels et anthropiques. Les mesures de protection sont donc nécessaires pour assurer une utilisation durable des ressources naturelles.

Mots clés : Dynamique, anthropisation, dégradation, paysage, Diffa.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to analyze land use dynamics in relation to population movements (refugees, internally displaced persons, and returnees) resulting from insecurity between 2004 and 2024 using satellite data (Landsat images).

Methodology and Results : The methodology relies on the use of remote sensing and GIS to analyze changes in major land use classes in the Diffa Region. Land use maps were produced based on maximum likelihood supervised classification. The results showed that the municipalities of Diffa and Mainé-Soroa are much more affected by the conversion of steppes into agricultural land. Indeed, from 2004 to 2014, the steppes experienced a decline of 5.16% and 0.84% in Mainé-Soroa and Diffa, respectively. Furthermore, during the period from 2014 to 2024, corresponding to the refugee settlement period, the steppes declined by 3.25% and 9.35% in Mainé-Soroa and Diffa, respectively. The need to meet vital needs in the context of population growth resulting from the settlement of refugees, displaced people, and returnees has led to the degradation of vegetation formations. The demand for wood for shelter construction and for arable land are undoubtedly the factors that justify this transformation of the landscape. These results showed that the steppes of the Diffa commune, followed by those of the Mainé-Soroa commune, are much more affected by the establishment of refugee camps and/or displaced and returning populations. The Chétimari commune is the one least affected by the transformation of these steppes. Alternative measures are therefore necessary to ensure the sustainable use of environmental resources in the area.

Conclusion and Application of Results : This work shows that the landscape of Diffa region is largely shaped by the combined influence of several factors, both natural and anthropogenic. Protective measures are therefore necessary to ensure sustainable use of natural resources.

Keywords: Dynamic, anthropization, degradation, Landscape, Diffa.

INTRODUCTION

Le paysage agroécologique des milieux sahéliens dispose d'énormes ressources naturelles renouvelables telles que les terres, la végétation, la faune, les eaux etc. qui constituent la base fondamentale pour le développement économique et social de la population de cette zone, en majorité rurale. Ces ressources contribuent à la subsistance de 78% des populations et représentent un maillon essentiel de la vie rurale (Sadda *et al.*, 2016 ; Lemeister *et al.*, 2018). L'impact ne se limite pas à la dégradation physique des terres. Les services écosystémiques, tels que la régulation du climat, la production de biomasse, la protection contre l'érosion et la conservation de la biodiversité, ont été fortement perturbés. Cette perte de fonctionnalité compromet la capacité des milieux naturels à fournir durablement leurs biens et services, essentiels pour la résilience des communautés locales (Sambiéni *et al.*,

2015 ; Bennett, 2016). La surexploitation des ressources naturelles génère une dynamique préoccupante, qui menace non seulement l'équilibre écologique mais aussi la sécurité alimentaire et la stabilité socio-économique de la région de Diffa. Le conflit armé lié à la secte Boko Haram survenu au Nigeria a eu pour conséquence directe, un important mouvement de populations vers la région de Diffa au Niger. Cet afflux massif a provoqué une croissance démographique rapide, entraînant une pression accrue sur les maigres ressources naturelles locales. En raison de cette pression humaine, de vastes portions des milieux naturels ont été progressivement transformées pour répondre aux besoins des populations nouvellement installées (Maï Moussa *et al.*, 2025). La disponibilité apparente de terres arables a facilité l'installation des migrants et a favorisé une occupation accrue du sol. Cette situation s'est traduite par une densification

démographique dans plusieurs zones, accélérant ainsi l'expansion des surfaces agricoles (Zoungrana *et al.*, 2018 ; Asenso *et al.*, 2020). Parallèlement, les activités d'exploitation forestière, notamment la coupe du bois pour l'énergie domestique et le commerce, se sont intensifiées de manière significative (Tidjani *et al.*, 2009 ; Bogart *et al.*, 2011 ; Mamane *et al.*, 2018 ; Noma *et al.*, 2024). La plupart des biotopes sont en train de subir une pression anthropique plus ou moins austère, entraînant leur morcellement accompagné des impacts négatifs, à l'échelle locale et régionale (Mamane *et al.*, 2018 ; Bogaert, 2011 ; Mahamane *et al.*, 2007 ;

Barmo *et al.*, 2021). Ces pressions se matérialisent par des changements d'occupation du sol, qui se traduisent à l'échelle locale par la disparition progressive des différentes agrégations forestières (espaces forestiers et non forestiers) (Ariori et Ozer, 2005 ; Arouna *et al.*, 2016 ; Noma *et al.*, 2024). Cette situation souligne la nécessité d'actions urgentes et concertées pour la gestion durable des terres et la restauration des écosystèmes dégradés. La présente étude s'inscrit dans ce contexte, dont l'objectif est d'analyser la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans les trois communes de la région de Diffa.

MATERIEL ET METHODES

Zones d'étude : Cette étude a été conduite dans trois (3) communes de la région de Diffa. Il s'agit des Communes de Diffa, Chétimari et Mainé-Soroa. Avec un climat de type tropical sec, la région de Diffa est située au sud-est du Niger (Figure 1). Elle présente des caractéristiques biophysiques typiques de la zone sahélienne et saharo-sahélienne, avec des spécificités liées à la présence du bassin du lac Tchad. La région de Diffa située en zone sahélienne, est caractérisée par une courte saison des pluies (juin à septembre) et une longue saison sèche (d'octobre à mai). Les précipitations sont faibles et très variables, allant de 400 mm/an au sud à 20 mm/an au nord, avec une tendance générale à la baisse et un glissement des isohyètes vers le sud. Les températures varient entre 14 et 41°C au cours de l'année. Peu contrasté, le relief de la région est dominé par de grandes étendues de sédiments alluviaux et éoliens quaternaires. Principalement sablonneux ou argilo-sablonneux, le sol de la région est généralement pauvre en éléments nutritifs et en matière organique. On trouve aussi des sols hydromorphes, notamment dans les zones liées à l'hydrographie. La région est aussi confrontée à l'avancée du désert, à l'érosion éolienne et à l'ensablement des terres et des

cours d'eau. Le réseau hydrographique est limité et comprend la Komadougou Yobé (ressource vitale pour les riverains), qui est une rivière non permanente (sauf pour certains tronçons), affluent du lac Tchad, qui traverse la région. On note également que la région de Diffa correspond à la partie nord de la cuvette occidentale du lac Tchad. Sur le plan de la végétation, on rencontre surtout des steppes arbustives et buissonnantes clairsemées, ainsi qu'une végétation dense et diversifiée, tout au long de la Komadougou Yobé, dans les cuvettes oasiennes ou les vallées mortes, et dans le bassin du lac Tchad grâce à l'humidité présente dans le sol (cultures de décrue, pâturages). La zone nord de la région de Diffa est essentiellement pastorale, marquée par la dégradation des pâturages et la désertification. Dans l'ensemble de la région, la densité de la végétation est généralement faible, la croissance est lente et les régénérations naturelles sont faibles en raison du climat aride. Sur le plan socioéconomique, les secteurs d'activités clés sont l'agriculture, l'élevage, la pêche et le commerce. La culture de rente comme le Poivron rouge, avec ses diverses variétés, est la culture emblématique de la région et contribue à sa renommée en tant que « région phare » dans la sous-région ouest-

africaine. L'élevage des Bovins, des ovins, des caprins et des camelins est très développé dans cette région. En ce qui concerne la pêche, elle produit du poisson fumé et séché, principalement dans les départements de Bosso et N'Guigmi ainsi que le long de la

Komadougou. L'activité commerciale est significative, notamment autour des produits locaux (poivron, bétail, poisson) et des échanges transfrontaliers (Nigéria, Tchad). Le marché de Diffa est un pôle majeur pour le poivron.

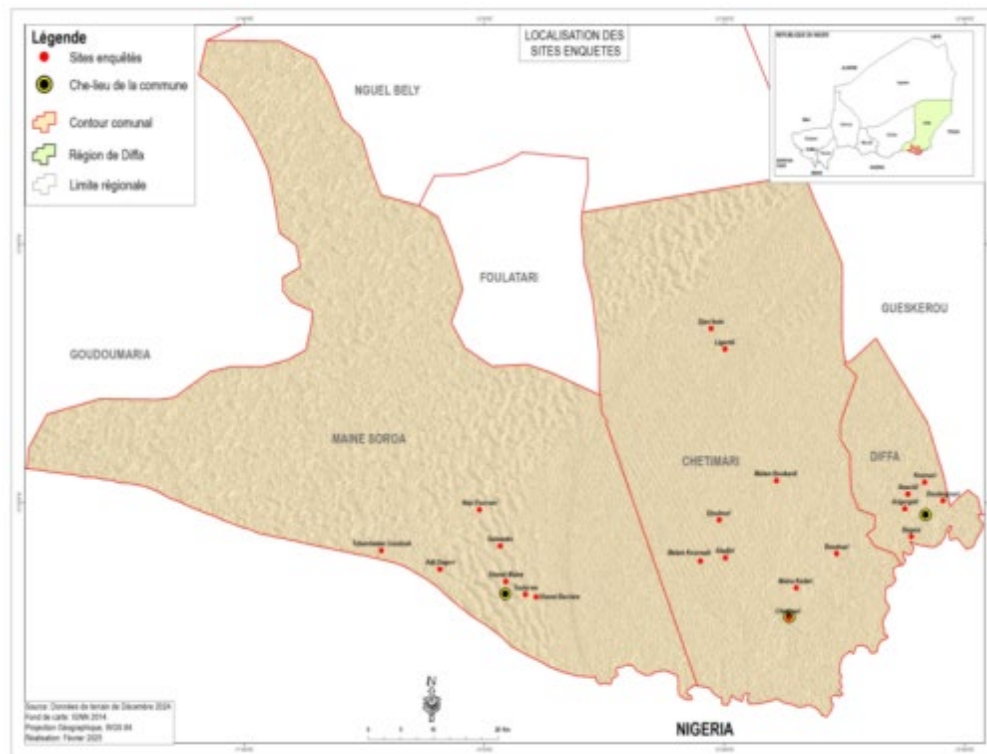


Figure 1: Localisation des communes d'étude

Matériel : Pour réaliser le suivi diachronique, les matériels suivants sont utilisés :

- Un récepteur GPS pour relever les coordonnées géographiques dans le cadre de la campagne de vérité terrain en vue de la validation des cartes et la géolocalisation de certaines informations,
- Les logiciels de traitement des images et du SIG tels que ArcGIS 10.8 et QGIS 3.X.
- Des logiciels d'analyse statistiques, d'importation et de conversion des données et la réalisation des graphiques : le tableur Excel/SPSS et le traitement statistique.

Les données de base : Des données climatiques issues de NASA POWER/Data Access Viewer (DAV) ont été utilisées pour calculer l'Indice de Précipitation Standardisé

(SPI) afin de déterminer les distributions spatiales et temporelles des épisodes de sécheresse. Chaque année de la période étudiée a été classée comme normale, modérée, significative, critique ou en inondation sur la base du niveau maximal d'eau enregistré. Cette analyse a permis de comprendre l'évolution de la sévérité, de la fréquence et de l'occurrence des périodes de sécheresse. Cette dernière constitue un indicateur pertinent pour analyser l'évolution et la dynamique des paysages. Les données de base pour cette étude comprennent, entre autres les couches géoréférencées des limites administratives et localités du Niger produites par l'IGNN. Ces données ont servi de support cartographique pour la délimitation de la zone d'étude et la localisation des

villages. Aussi, des images satellitaires Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI et Landsat 9 OIL -2 ont été utilisées pour l'élaboration des

cartes d'occupations des terres et des changements spatio-temporels (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des images utilisées

Image	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Capteur	Date d'acquisition	Path & Row
Landsat 7 ETM+	30 m	16 jours	ETM	Décembre 2004	186-050 ; 186-051, 187-050 ; 187-051
Landsat 8			OIL & TIRS	Décembre 2014	
Landsat 9			OIL -2 & TIRS-2	Décembre 2014	

Méthodologie utilisée : Pour appréhender la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols, l'approche méthodologique utilisée est axée principalement sur l'analyse diachronique à partir des images satellitaires Landsat de références, et l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Analyse diachronique de l'occupation des terres

Identification et téléchargement des scènes Landsat des sites d'étude : Dans l'élaboration des cartes d'occupation des terres des sites d'étude, l'étape première a consisté à l'identification et téléchargement des scènes à travers la grille Landsat (Path et Row), sur le site l'USGS EarthExplorer. Ces images sont soumises à des opérations de prétraitement,

notamment la composition colorée fausse couleur dans l'ordre 5-4-3 (Landsat 7 ETM+) et 6-5-4 (Landsat 8 et 9), puis le rehaussement linéaire de contraste pour améliorer l'apparence visuelle.

Acquisition et traitements des images et cartographie : Pour réaliser la cartographie d'occupation des sols/terres de la zone d'étude, le cheminement proposé a consisté aux traitements et à l'interprétation des images Landsat 7 ETM ; Landsat 8 et Landsat 9, et à l'intégration des données de terrain (Tableau 2). Pour ce faire, des logiciels SIG tels que ArcGIS 10.8 et QGIS 3.X et de traitement d'image ainsi que le tableur Excel sont utilisés (Bodart *et al.*, 2011).

Tableau 2 : Caractéristiques des images utilisées

Landsat 7 ETM+	
Dates d'acquisition	déc-04
Nombre de bandes	8
Capteur	ETM+
Résolution spatiale	30 m (B1, B2, B3, B4, B5 et B7) ; 60 m (B6) ; 15 m (B8/Panchromatique)
Path& Row	186-050 ; 186-051, 187-050 ; 187-051
Landsat 8	
Dates d'acquisition	déc-14
Nombre de bandes	11
Capteurs	OIL & TIRS
Résolution spatiale	30 m (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 et B9) ; 100 m (B10, B11) ; 15 m (B8/Panchromatique)
Path& Row	186-050 ; 186-051, 187-050 ; 187-051
Landsat 9	
Dates d'acquisition	déc-14
Nombre de bandes	11
Capteurs	OIL -2 & TIRS-2
Résolution spatiale	30 m (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 et B9) ; 100 m (B10, B11) ; 15 m (B8/Panchromatique)
Path & Row	186-050 ; 186-051, 187-050 ; 187-051

a. Les prétraitements : Ce sont des opérations effectuées en plusieurs étapes sur les images afin d'améliorer leurs aspects radiométriques et géométriques pour en extraire les informations télédétections. Les images satellitaires étant généralement fournies en bandes individuelles, ces dernières doivent être importées puis combinées afin de constituer une image multispectrale unique. La mosaïque consiste à couvrir la zone d'intérêt par la fusion des images, en vue d'en former une seule plus grande. Le rehaussement de l'image vise à améliorer son apparence visuelle afin de faciliter son interprétation. Il s'agit du rehaussement des contrastes et de la composition colorée. Cette opération permet d'améliorer l'apparence visuelle des images pour faciliter l'interprétation sur écran. La composition colorée quant à elle consiste en la superposition des canaux ou bandes afin d'avoir une image en fausse ou vraie couleur, notamment en attribuant les couleurs additives rouge, vert et bleu à trois canaux différents qu'on superpose.

b. Établissement de la nomenclature : La clé d'interprétation a permis de définir les différentes unités d'occupation des sols, tout en établissant une correspondance entre celles-ci et la Nomenclature d'Occupation des Sols (NOS)/ Nomenclature d'Occupation des Sols/Terres (NOS ou NOT) du Niger. Ainsi, six (6) classes ont été retenues dans le cadre de la présente étude.

c. Élaboration des documents cartographiques : Cette étape a permis d'élaborer des cartes d'occupation des sols/terres provisoires, grâce à l'interprétation des images satellitaires. L'interprétation des images a permis d'observer les changements d'état des surfaces intervenus, particulièrement la dynamique des ressources forestières entre 2010 et 2024. Cette étape a conduit à la réalisation des cartes provisoires, sur la base des connaissances préalables du terrain, dont la campagne de vérité-terrain

(vérification-terrain) a permis la validation. En effet, la vérité-terrain reste une étape indispensable dans l'élaboration des cartes, car elle permet de vérifier la validité des différentes classes d'occupation des sols/terres issues du traitement des images selon la méthode choisie.

d. Traitement des images : C'est l'étape d'extraction analytique et ou sélective des informations. Il s'agit de tous les traitements devant conduire à la discrimination des différentes classes d'occupation des sols recherchées au cours de la classification supervisée. Ils sont effectués sur la base d'une connaissance préalable des caractéristiques biophysiques du milieu. Trois (3) principaux types de traitements sont généralement utilisées (la classification supervisée ; la classification non supervisée ou automatique et l'interprétation visuelle ou numérisation). La classification supervisée a été retenue dans le cadre de cette étude. Elle consiste au regroupement des unités en classes d'occupation des sols en fonction des caractères communs qui prennent un sens thématique bien précis grâce à une connaissance préalable du terrain. En effet, dans ce type de classification, les résultats obtenus ont une signification précise, mais dont certains des inconvénients sont le temps de réalisation qui est relativement long, le choix des zones d'entraînement qui tendent souvent à confusion sur l'image, etc.

e. Vérité-terrain : La vérité-terrain est une étape fondamentale dans l'élaboration des cartes, car elle permet de vérifier la validité de l'interprétation et sa précision par la confrontation des résultats à la réalité du terrain. Ainsi, des points de contrôle sont identifiés sur l'image, auxquels des coordonnées sont affectées. A l'aide d'un récepteur GPS, les classes d'occupation des sols leur correspondant sur le terrain ont été ainsi vérifiées. Des enquêtes ont été menées auprès des populations à travers des

discussions individuelles et en groupe, qui ont porté sur un échantillon correspondant au 1/Xème de la population de la zone d'étude. Ceci a facilité les corrections des images ainsi que leur analyse afin de finaliser les documents cartographiques. La vérité-terrain consiste

donc de confronter les résultats cartographiques à la réalité du terrain, notamment en intégrant les données de terrain, en les superposant avec la couche de base afin d'apporter les corrections nécessaires.

RESULTATS

Occurrence de sécheresse à travers l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI) : La Figure 2 illustre l'historique des inondations dans la région de Diffa de 1981 à 2024. Selon

l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI), les périodes de 2005, 2016 et 2018 révélèrent des risques élevés de sécheresse dans la région de Diffa.

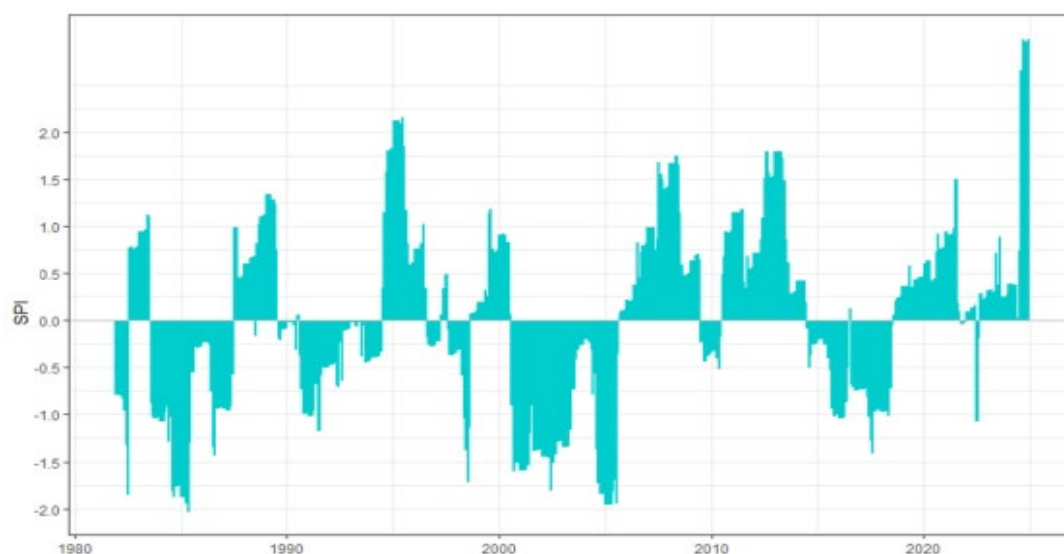


Figure 2 : SPI dans la région de Diffa (Niger) de 1980-2024.

Dynamique de l'occupation du sol entre 2004 et 2014 : Dans la commune de Mainé-Soroa, les steppes qui sont des formations naturelles exploitées de diverses façons par les populations, font place aux formations anthropisées notamment les cultures. Entre 2004 et 2014, les superficies des champs de cultures ont augmenté de 25% à 29%. Par contre, les steppes arbustives denses ont régressé de 9,7% à 8,6%. Il en est de même pour les steppes arbustives dégradées qui ont passé de 29,5% en 2004 à 25,6% en 2014 (Figure 3). On assiste à une légère augmentation des sols dégradés (30,1% à 31,5%) pendant cette période (Figure 3). Quant à la commune de Diffa, les changements

majeurs intervenus concernent la steppe arbustive dense qui a perdu 4,25% de sa superficie (Figure 4). Dans cette zone, l'analyse diachronique de l'occupation du sol entre 2004 et 2014 indique ainsi une dynamique relativement stable, bien que la tendance générale révèle une anthropisation accrue au détriment des formations naturelles hormis la commune de Chétimari qui présente une relative stabilité (Figure 5). En dépit de certains changements, la structure spatiale globale n'a pas connu de transformations majeures. Cette stabilité apparente masque toutefois des signes d'anthropisation progressive.

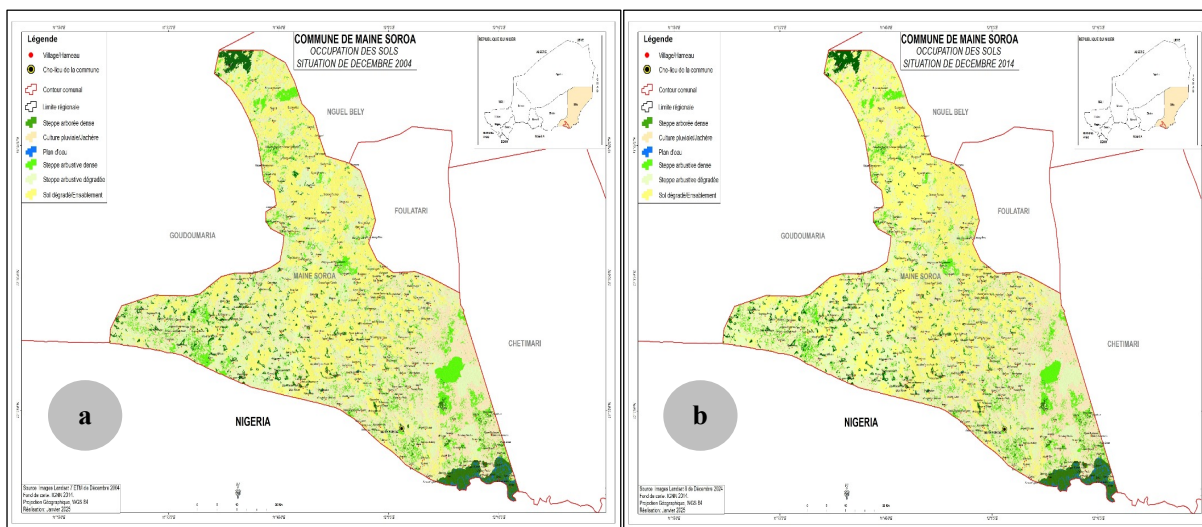


Figure 3: Dynamique de l'occupation du sol entre 2004 (a) et 2014 (b) de la commune de Mainé-Soroa

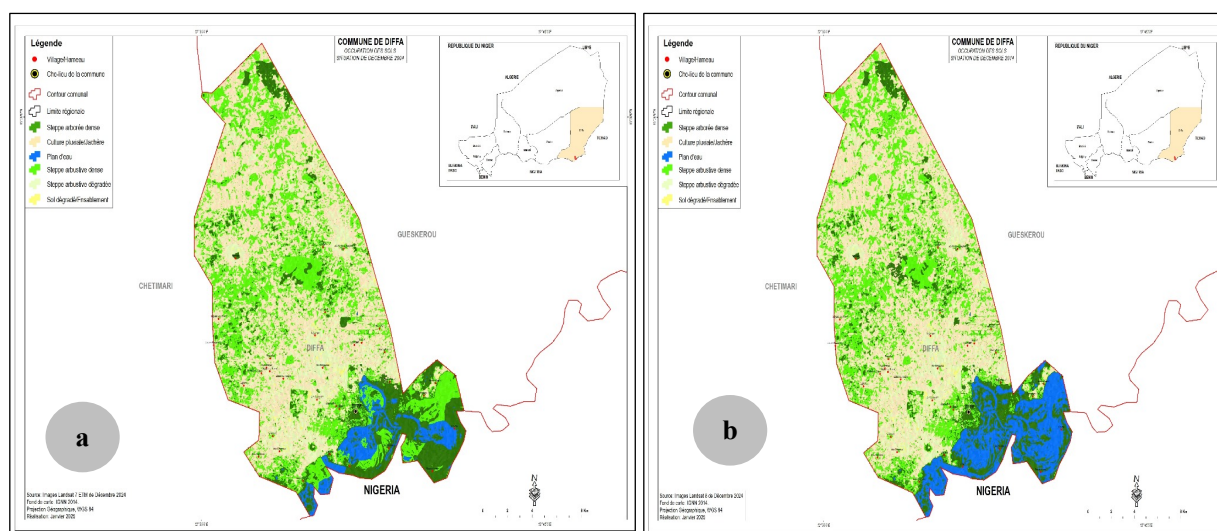


Figure 4 : Dynamique de l'occupation du sol entre 2004 (a) et 2014 (b) de la commune de Diffa

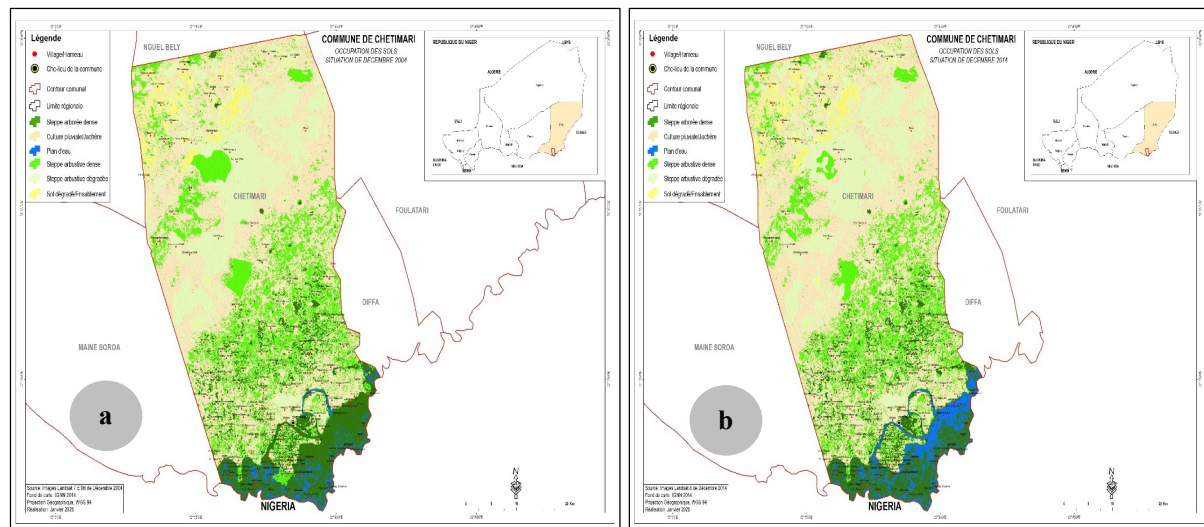


Figure 5 : Dynamique de l'occupation du sol entre 2004 (a) et 2014(b) de la commune de Chétimari

Dynamique de l'occupation du sol entre 2014 et 2024 : Entre 2014 et 2024, des changements mineurs ont été observés au niveau de la végétation naturelle dans toutes les communes (Mainé-Soroa, Diffa et Chétimari) (Figures 6, 7 et 8). En effet, on observe une conversion des steppes arborées et arbustives vers l'agriculture pluviale. Ce

changement se traduit par une extension des surfaces cultivées, qui progressent de 1,33 fois pour atteindre 30,79% de la zone. Cette évolution traduit une dynamique classique au Niger, liée à la pratique courante des populations rurales qui défrichent les espaces naturels pour accroître leurs surfaces agricoles.

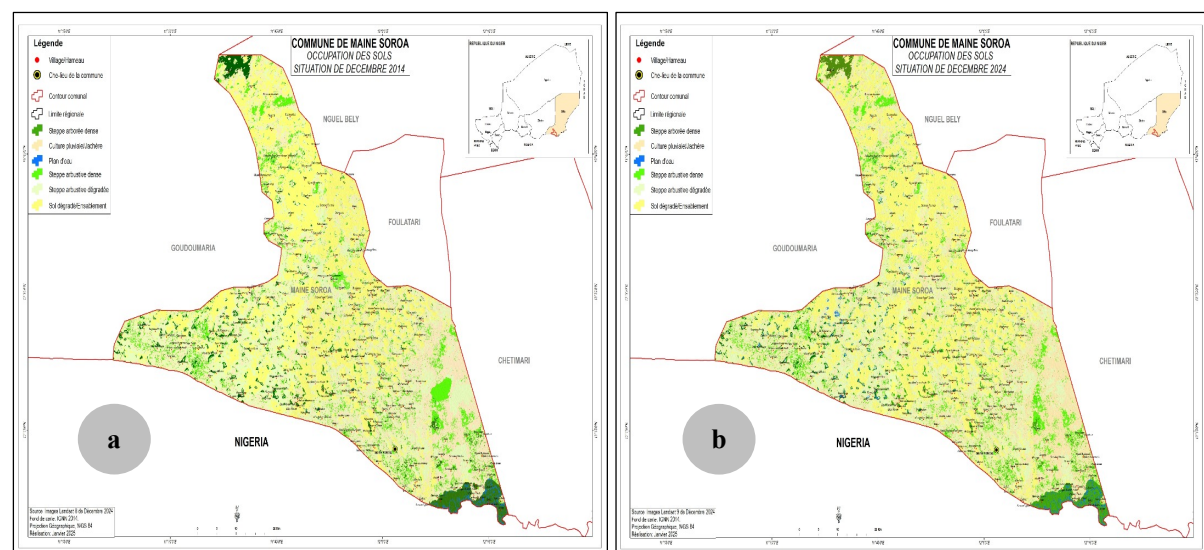


Figure 6 : Dynamique de l'occupation du sol entre 2014 (a) et 2024 (b) de la commune de Mainé-Soroa

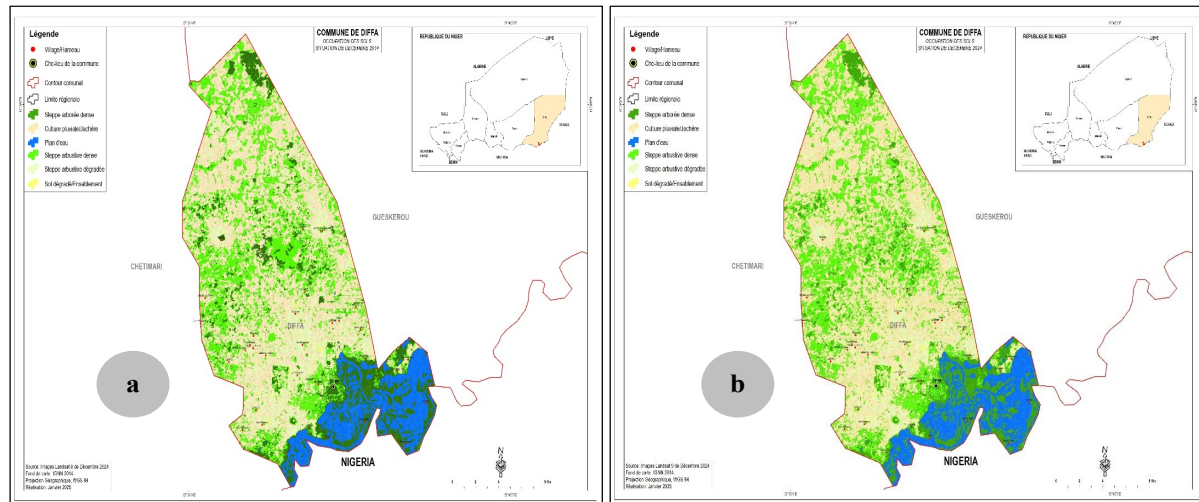


Figure 7 : Dynamique de l'occupation du sol entre 2014 (a) et 2024 (b) de la commune de Diffa

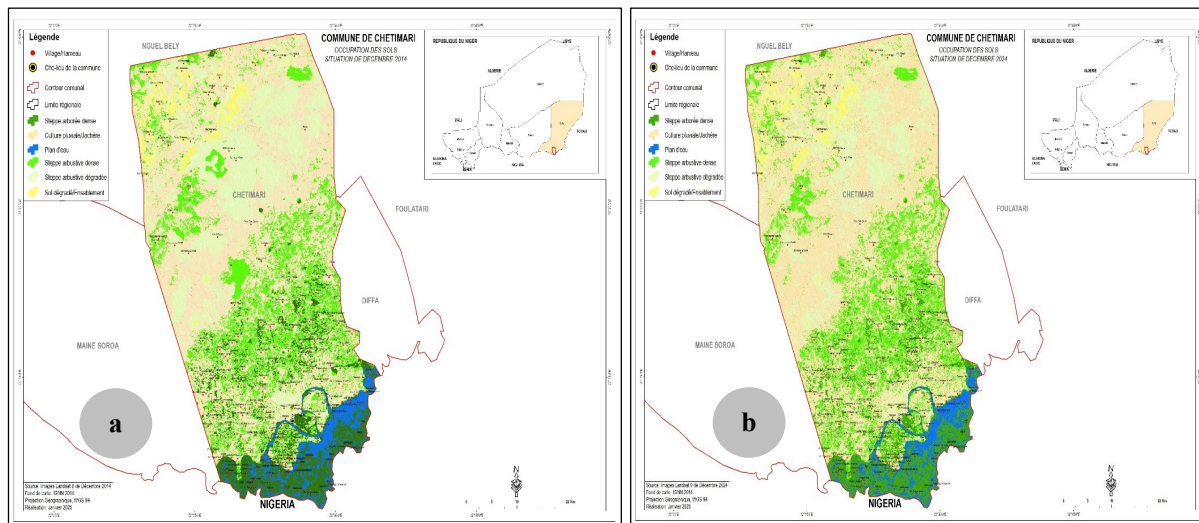
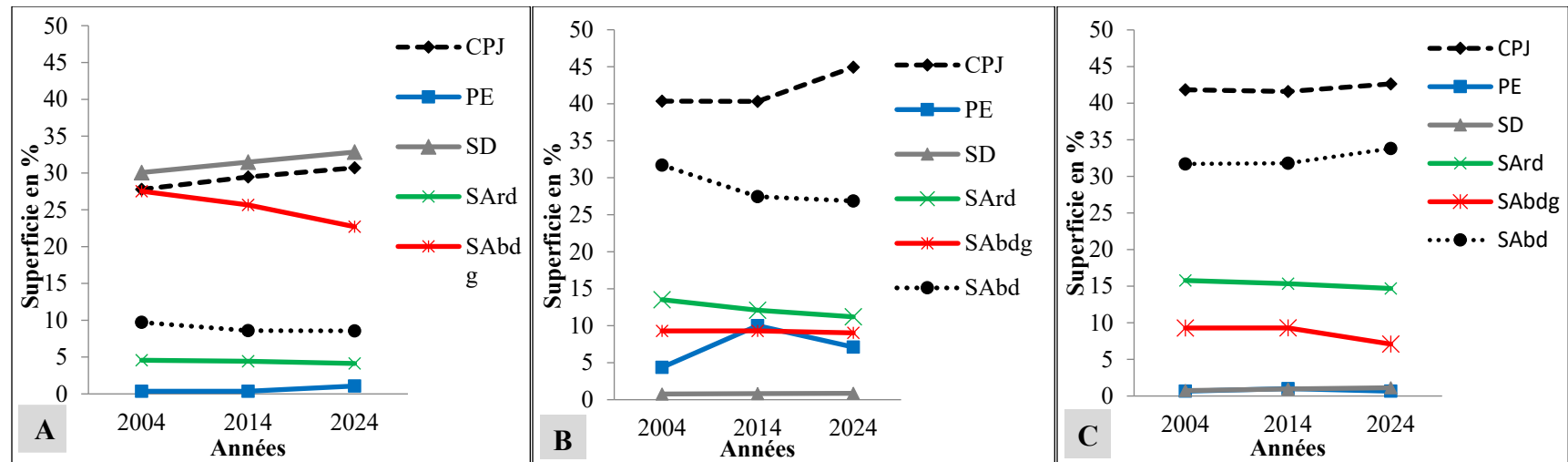


Figure 8 : Dynamique de l'occupation du sol entre 2014 (a) et 2024(b) de la commune de Chétimari

Changement intervenu entre 2004 et 2024 :

L'évolution de l'occupation du sol entre 2004 et 2024 est retracée dans la figure 9, mettant en évidence les mutations spatiales sur deux décennies. En effet, les transformations majeures du paysage ont été observées, notamment la régression des formations naturelles (forêts, savanes, zones humides) au profit des espaces agricoles et des zones

d'habitation. Cette dynamique traduit les effets combinés de la pression démographique, des activités humaines et des aléas climatiques sur l'environnement. L'analyse visuelle de la figure permet ainsi de mieux comprendre les tendances d'artificialisation des terres et les enjeux de gestion durable des ressources naturelles dans la région.



CPJ : Culture pluviale/Jachère ; PE : Plan d'eau ; SD : Sol dégradé/Ensablement ; SArd : Steppe arborée dense ; SABdg : Steppe arbustive dégradée ; SABd : Steppe arbustive dense.

Figure 9 : Evolution des unités d'occupation du sol dans les communes de Mainé-Soroa (A), Diffa (B) et Chétimari (C).

Transition écosystémique entre 2004, 2014 et 2024 : Les tableaux 3 et 4 présentent les matrices de transition respectivement entre 2004 et 2014 et entre 2014 et 2024, qui permettent de quantifier les flux et les mutations entre les différentes classes d'occupation du sol à Diffa, Chétimari et Mainé-Soroa. Ces données mettent en lumière les dynamiques de conversion et de stabilité qui ont façonné le paysage durant ces décennies.

Transition entre 2004 et 2014 : À Mainé-Soroa, on constate une dynamique de dégradation relativement plus marquée. En effet, on observe une forte instabilité des sols nus. Près de 43,8% des sols dégradés/ensablés ont évolué vers la steppe arbustive dégradée, suggérant une certaine dynamique de recolonisation végétale. Cependant, la steppe arborée dense montre des signes de vulnérabilité : si elle se maintient à 67,3%, une part non négligeable (24,5%) s'est transformée en cultures pluviales/jachères, illustrant une pression agricole persistante sur les formations

forestières les plus denses (Tableau 3). La commune de Diffa se distingue par une forte persistance des sols dégradés (93,6% de stabilité). Le fait marquant réside dans la dégradation de la steppe arborée dense : plus de la moitié de sa superficie (50,3 %) s'est convertie en sols dégradés/ensablement. Cette tendance traduit un processus de désertification sévère ou une exploitation intensive des ressources ligneuses qui laisse le sol à nu (Tableau 3). La commune Chétimari présente une dynamique singulière où la steppe arbustive dense fait figure de pôle de stabilité (78,1%). On observe un basculement important des autres unités vers la steppe arbustive dense. En effet, on constate que 60,4% de la steppe arborée dense est devenue une steppe arbustive dense. De même, 46,2% des zones de cultures/jachères ont également évolué vers ce type de steppe (Tableau 3). Ce glissement suggère une fermeture des milieux ou une déprise agricole favorisant le développement d'un couvert arbustif au détriment des arbres de grande taille.

Tableau 3 : Matrice de transition entre 2004 et 2014

Commune de Mainé-Soroa	Sol dégradé/Ensablement	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensablement	0,561	0,000	0,000	0,000	0,000	0,438
Steppe arborée dense	0,016	0,673	0,000	0,000	0,245	0,066
Plan d'eau	0,001	0,000	0,999	0,000	0,000	0,000
Steppe arbustive dense	0,043	0,280	0,000	0,524	0,146	0,008
Culture Pluviale/Jachère	0,015	0,157	0,000	0,246	0,515	0,067
Steppe arbustive dégradée	0,002	0,031	0,000	0,000	0,262	0,706
Commune de Diffa	Sol dégradé/Ensablement	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensablement	0,936	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Steppe arborée dense	0,503	0,477	0,000	0,000	0,020	0,001
Plan d'eau	0,186	0,000	0,814	0,000	0,000	0,000

Steppe arbustive dense	0,037	0,056	0,000	0,715	0,190	0,002
Culture Pluviale/Jachère	0,013	0,038	0,000	0,474	0,468	0,008
Steppe arbustive dégradée	0,005	0,049	0,000	0,333	0,490	0,185
Commune de Chétimari	Sol dégradé/Ensalement	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensalement	0,175	0,000	0,000	0,446	0,170	0,209
Steppe arborée dense	0,010	0,206	0,000	0,604	0,161	0,020
Plan d'eau	0,738	0,000	0,262	0,000	0,000	0,000
Steppe arbustive dense	0,039	0,083	0,000	0,781	0,098	0,000
Culture Pluviale/Jachère	0,026	0,059	0,000	0,462	0,450	0,004
Steppe arbustive dégradée	0,007	0,030	0,000	0,214	0,365	0,384

Transition entre 2014 et 2024 : L'analyse du tableau 4 d'intensités des unités d'occupation des sols et d'utilisation des terres entre 2014 et 2024 indiquent que les cultures pluviales ont intensément gagné en superficie dans les 3 communes respectivement 1,33% à Mainé-Soroa, 4,61% à Diffa et 1,17% à Chétimari. Parallèlement, les sols dégradés ont connu une progression de leurs superficies, soit 1,37% à Mainé-Soroa, 0,03% à Diffa et 1,61% à Chétimari. Durant cette même période, plusieurs unités ont régressé, notamment les steppes arborées et les steppes arbustives. L'observation la plus frappante au niveau de la commune de Mainé-Soroa est la quasi-disparition de la steppe arborée dense (3,8%). On observe une conversion vers les cultures (46,2%). Le glissement vers la steppe arbustive (32,2 %) traduit une dégradation par exploitation sélective. En outre, une

dynamique des cultures (24,8% vers sol dégradé) a été observée avec une part importante des terres cultivées qui retombe en sol nu (Tableau 4). La commune de Diffa présente un profil de dégradation radicale de sa strate arborée. En effet, 50,3% de la steppe arborée est transformé en sol dégradé. On constate une stabilité des sols nus (93,6%) (Tableau 4). La commune de Chétimari montre une dynamique de transition vers des systèmes plus ouverts. En effet, la mutation des steppes arboré vers les steppes arbustives (31,8%) montre le niveau d'anthropisation au niveau de cette commune notamment la coupe du bois qui transforme les formations denses en formations plus claires. On peut aussi noter la stabilité des cultures (56,8%) qui constitue la plus haute stabilité des trois communes. Cela indique une sédentarisation de l'agriculture.

Tableau 4 : Matrice de transition entre 2014 et 2024

Commune de Mainé-Soroa	Sol dégradé/Ensamblément	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensamblément	0,968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Steppe arborée dense	0,008	0,038	0,113	0,322	0,462	0,058
Plan d'eau	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Steppe arbustive dense	0,000	0,001	0,000	0,330	0,616	0,053
Culture Pluviale/Jachère	0,248	0,009	0,000	0,160	0,607	0,223
Steppe arbustive dégradée	0,000	0,000	0,000	0,005	0,111	0,668
Commune de Diffa	Sol dégradé/Ensamblément	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensamblément	0,936					0,063
Steppe arborée dense	0,503	0,477	0,000	0,000	0,020	0,001
Plan d'eau	0,186	0,000	0,685	0,000	0,000	0,000
Steppe arbustive dense	0,037	0,056	0,000	0,715	0,190	0,002
Culture Pluviale/Jachère	0,013	0,038	0,000	0,474	0,468	0,008
Steppe arbustive dégradée	0,005	0,049	0,000	0,333	0,490	0,253
Commune de Chétimari	Sol dégradé/Ensamblément	Steppe arborée dense	Plan d'eau	Steppe arbustive dense	Culture Pluviale/Jachère	Steppe arbustive dégradée
Sol dégradé/Ensamblément	0,921	0,000	0,000	0,068	0,006	0,000
Steppe arborée dense	0,219	0,384	0,000	0,318	0,078	0,000
Plan d'eau	0,034	0,000	0,966	0,000	0,000	0,000
Steppe arbustive dense	0,013	0,021	0,000	0,518	0,448	0,002
Culture Pluviale/Jachère	0,014	0,023	0,000	0,372	0,568	0,033
Steppe arbustive dégradée	0,002	0,005	0,000	0,019	0,191	0,777

Prédiction de la dynamique des unités d'occupation 2024-2034 : À Mainé-Soroa, la prédiction met en évidence une dynamique contrastée. Les superficies Steppe arbustive dense, culture pluviale/ ainsi que les zones de sols dégradés enregistrent une régression marquée, se traduisant par des diminutions à tendance exponentielle au fil du temps

(Tableau 5). Cette contraction met en évidence une pression croissante sur les écosystèmes forestiers et une amélioration apparente, mais potentiellement factice (artificielle), des surfaces classées comme dégradées, susceptibles de découler de changements d'usage plutôt que de véritables processus de restauration. En parallèle, les plans d'eau

connaissent une expansion notable, tout comme les steppes dont l'étendue progresse de manière régulière. Ces transformations suggèrent des modifications profondes des dynamiques écologiques et hydrologiques locales, influencées à la fois par les conditions climatiques et les pratiques anthropiques. Les projections pour la commune de Diffa mettent en évidence une mutation structurelle du paysage, caractérisée par une régression conjointe des écosystèmes naturels et des espaces anthropisés. Le déclin simultané des steppes arborées, des plans d'eau et des surfaces cultivées suggère une rupture des équilibres biophysiques, entraînant une reconfiguration globale de l'occupation du sol. En revanche, les zones de steppes arbustives dégradées et denses enregistrent une expansion significative, indiquant un processus d'arbustification du paysage (Tableau 5). À

Chétimari, la prédiction de l'occupation des terres montre une dynamique contrastée : les plans d'eau, les steppes arborées denses et les steppes arbustives dégradées progressent, tandis que les steppes arbustives denses, les cultures pluviales/jachères et les zones de sols dégradés ou ensablés régressent. Cette tendance traduit une reconfiguration écologique marquée par l'extension des formations arborées et arbustives dégradées au détriment des espaces agricoles et des zones fortement perturbées (Tableau 5). La modélisation prédictive des dynamiques à l'horizon 2034 met également en évidence une régression progressive des formations naturelles, notamment les steppes arbustives denses, les cultures pluviales et les sols dégradés. Cette diminution se ferait au profit de l'expansion des zones urbanisées.

Tableau 5: Superficiers des unités d'occupation en 2034

Unités Mainé-Soroa	Superficie en ha	Pourcentage (2034)	2024-2034	Nature
Plan d'eau	4805,28	1,4199341	0,45444682	Progression
Steppe arbustive dense	3808,44	1,125373302	-7,43825724	Régression
Steppe arborée dense	10759,1	3,179255521	-0,95117967	Progression
Culture pluviale/Jachère	63567,4	18,7838209	-12,0051276	Régression
Steppe arbustive dégradée	153828	45,45533719	22,7542216	Progression
Sol dégradé/Ensablement	101647,485	30,03627899	-2,81410384	Régression
Unités Diffa	Superficie en ha	Pourcentage (2034)	2024-2034	Nature
Steppe arborée dense	6208,56	17,5081	-9,354092055	Régression
Plan d'eau	698,4	1,96948	-5,137293181	Régression
Steppe arbustive dégradée	7590,69	21,4057	12,3782129	Progression
Culture pluviale/Jachère	13068,718	36,8561	-8,08445638	Régression
Steppe arbustive dense	7833,69	22,0909	10,88655271	Progression
Sol dégradé/Ensablement	60,21	0,169791	-0,68885299	Régression
Unités Chétimari	Superficie en ha	Pourcentage (2034)	2024-2034	Nature
Plan d'eau	19385,46	7,80515	4,18404726	Progression
Steppe arbustive dense	7763,31	3,12573	-16,5375884	Régression
Steppe arborée dense	35298,9	14,2124	5,99133678	Progression
Culture pluviale/Jachère	91591,3184	36,8776	-11,0920338	Régression
Steppe arbustive dégradée	87764,4	35,3365	19,5125077	Progression
Sol dégradé/Ensablement	6563,52	2,64266	-2,05822963	Régression

DISCUSSION

La dynamique récente de l'occupation des sols dans la région de Diffa, notamment dans les communes de Mainé-Soroa, Diffa et Chétimari, s'inscrit dans un contexte biophysique et socio-économique fortement influencé par l'afflux massif de populations réfugiés, déplacées, et retournées, accentuant la pression sur les terres agricoles, les zones pastorales et les formations végétales naturelles. Depuis les années 2004, les analyses d'occupation du sol montrent une transformation profonde du paysage régional marquée par la régression des savanes arbustives et des cordons ripicoles au profit des cultures, des zones d'habitation et des espaces dénudés. Ces changements s'expliquent par la conjugaison de facteurs humains (défrichements, prélèvements de bois, expansion agricole) et climatiques (irrégularité pluviométrique, sécheresses récurrentes). Toutefois, sur les deux dernières décennies, plusieurs travaux (Tra Bi *et al.*, 2013 ; Voigt *et al.*, 2016 ; Zoungrana *et al.*, 2018 ; Asenso *et al.*, 2020) mettent en évidence une dynamique saisonnière contrastée, marquée par des phases de reprise végétative liées aux années pluvieuses, traduisant une certaine résilience écologique des écosystèmes sahéliens. Ces observations nuancent l'idée d'un déclin uniforme et montrent que le paysage de Diffa évolue selon un cycle d'altération et de régénération, dépendant à la fois de la variabilité climatique et des pratiques d'utilisation des terres. Nos résultats de 2014 à 2024 pour Mainé-Soroa, Diffa et Chétimari s'insèrent dans cette trame : de légers reculs des steppes arborées/arbustives au profit des cultures pluviales ($\approx 29,46\%$ à $30,79\%$). Cette évolution est cohérente avec la forte dépendance du Niger à l'agriculture pluviale et la pression foncière (Laouali *et al.*, 2021). La conversion des steppes arbustives en cultures pluviales engendre une dégradation multifactorielle des services écosystémiques. Elle altère non seulement la régulation

hydrique et la biodiversité, mais réduit également la disponibilité fourragère. En brisant la barrière naturelle contre l'érosion éolienne, ce changement d'usage des terres exacerbe la vulnérabilité des sols et contraint les pasteurs à déplacer leur pression sur des écosystèmes encore plus fragiles (Rasmussen *et al.*, 2014). Cette évolution s'accompagne d'une augmentation modérée des sols dégradés, qui sont passés de $30,1\%$ à $31,5\%$. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Kpedenou *et al.*, 2017 et Biga *et al.*, 2020, qui affirment que la disparition des formations végétales naturelles a probablement entraîné l'augmentation des zones anthropisées. En effet, l'augmentation des populations a entraîné une pression sans cesse croissante sur les écosystèmes forestiers due essentiellement aux activités anthropiques de tout genre (feux de brousse, exploitations anarchiques de certaines essences recherchées pour le charbon ou pour le bois de feu et pour le bois d'œuvre, divagations des animaux, pratiques culturelles traditionnelles). Ces actions anthropiques entraînent des pertes considérables sur les ressources naturelles accentuées avec l'effet des sécheresses récurrentes et de changement climatique (Mahamane *et al.*, 2007 ; Barmo *et al.*, 2021 ; Noma *et al.*, 2024). Les résultats de la matrice de transition mettent en exergue la prédominance des facteurs anthropiques dans la mutation des paysages. À Mainé-Soroa, l'extension des surfaces cultivées au détriment de la steppe arborée ($46,2\%$ de conversion) témoigne d'une quête de terres fertiles. À l'inverse, à Diffa, la dégradation de plus de la moitié des formations arborées en sols nus ($50,3\%$) illustre l'impact de la ponction de bois-énergie et du surpâturage périurbain. Ces dynamiques traduisent une rupture des équilibres traditionnels sous l'effet de la pression démographique et des besoins croissants des centres urbains. Ces tendances mettent en évidence la nécessité de développer et de mettre en œuvre des stratégies intégrées

de gestion durable des terres dans la région de Diffa, afin d'atténuer les effets de la dégradation environnementale et de renforcer la résilience des communautés locales face aux changements climatiques. La dégradation progressive des sols, la réduction de la couverture végétale et la pression accrue sur les ressources naturelles imposent une approche concertée et multidimensionnelle (Biga *et al.*, 2020). Celle-ci devrait reposer sur la restauration écologique des écosystèmes dégradés, à travers des actions telles que la régénération naturelle assistée, le reboisement des zones dénudées, la stabilisation des dunes et la protection des couloirs écologiques et zones humides. Parallèlement, la promotion des pratiques agroécologiques constitue un levier essentiel pour concilier productivité agricole et durabilité environnementale. Ces pratiques incluent l'agroforesterie, la diversification culturale, la rotation des cultures, la valorisation des matières organiques et la gestion raisonnée des intrants (Barmo *et al.*, 2021). L'adoption de ces pratiques permet d'améliorer la fertilité des sols, de réduire la vulnérabilité des exploitations et de restaurer les fonctions écologiques des agroécosystèmes (Kaoulé *et al.*, 2024). En outre, la réussite de ces stratégies dépendra de la mise en place de mécanismes institutionnels et participatifs favorisant la concertation entre les acteurs collectivités locales, services techniques, organisations paysannes et partenaires de développement pour une gouvernance partagée et équitable

des ressources naturelles. Enfin, la consolidation de la résilience locale nécessitera l'intégration des considérations climatiques dans les politiques régionales d'aménagement du territoire, la mise en place de dispositifs d'alerte précoce, et la valorisation des savoirs endogènes en matière d'adaptation et de gestion durable des terres. L'analyse de la prédiction à l'horizon 2034 si les conditions actuelles se maintiennent permet de constater 3 grandes formes de transformation. Il s'agit de (1) de "Boom" de la dégradation qui constitue la barre la plus haute dans les trois communes qui est systématiquement celle de la steppe arbustive dégradée. Avec des hausses comprises entre 12% et 22%, cette classe devient le socle dominant du paysage. Cela traduit une transition vers des écosystèmes simplifiés et moins résilients ; (2) Le déclin agricole généralisé où contrairement aux décennies précédentes où l'agriculture progressait, les projections indiquent une régression homogène des cultures pluviales (environ -10%). Ce recul suggère un essoufflement du modèle agricole traditionnel, probablement dû à l'épuisement des sols et à l'ensablement qui rend les parcelles inexploitable ; Enfin, (3) l'effondrement de la strate ligneuse dense qui se manifeste à Diffa et à Chétimari, par la perte critique de steppes denses (arborées ou arbustives). Cette décapitalisation forestière au profit de formations dégradées confirme que la pression pour le bois-énergie et le pâturage ne permet plus aux écosystèmes de se régénérer.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude montre que le paysage de la région de Diffa est largement façonné par l'influence conjuguée de plusieurs facteurs, à la fois naturels et anthropiques. Ces facteurs agissent sur le capital productif de la zone. Les champs de production agricole cèdent par endroits la place à des formations végétales qui deviennent denses dans les zones d'insécurité. L'étude révèle que la pression démographique

et l'expansion agricole sont les principaux moteurs de la régression des formations steppiques (-10,6% entre 2004 et 2024), aggravée par l'urbanisation liée à l'afflux de déplacés. Face à cette dynamique, des mesures alternatives s'imposent pour garantir une gestion durable des ressources environnementales. Le basculement des formations steppiques vers l'agriculture

pluviale fragilise l'équilibre écologique de la zone. Les conséquences de cette situation sont multiples dont entre autres une perte de biodiversité et de ressources fourragères, une exposition accrue des sols au vent (accéléralant l'ensablement), et un risque de report de la

pression pastorale vers des zones refuges déjà saturées. Il est urgent de mettre en place des mesures durables de protection des écosystèmes et de préservation de la biodiversité.

REFERENCES

- Ariori S.L., Ozer, P., 2005. Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29, 61–68.
- Arouna, O., Etene, C.G. and Issiako, D., 2016. Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 108, 10543-10552. DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v108i1.7>
- Asenso Barnieh, B., Jia L., Menenti M., Zhou J., & Zeng, Y. 2020. Mapping Land Use Land Cover Transitions at Different Spatiotemporal Scales in West Africa. *Sustainability*, 12(20), 8565. DOI : <https://doi.org/10.3390/su12208565>
- Barmo S., Amani A., Idrissa A., Bachir M. M., Mahamane A., 2021. Cartographie et Dynamique Spatio-Temporelle des Formations Végétales de la Forêt Protégée de Baban Rafi (Niger). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 9(1): 64-72. URL: https://agrimaroc.org/index.php/Actes_I_AVH2/article/view/906
- Bennett N. J., 2016, Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management, *Conservation Biology*, 30(3), pp. 582-592 DOI : [10.1111/cobi.12681](https://doi.org/10.1111/cobi.12681)
- Biga I., Amani A., Soumana I., Bachir M. et Mahamane A., 2020. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (3) 949-965
- Bodart C.; Eva H.; Beuchle R.; Raši,R.; Simonetti D.; Stibig, H.-J.; Brink, A.; Lindquist, E.; Achard, F., 2011. Pre-processing of a sample of multi-scene and multi-date Landsat imagery used to monitor forest cover changes over the tropics. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* , 66, 555
- Bogaert J., 2011, Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la dégradation d'une aire protégée du Mali (la Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 22 : 97-107.
- Kaoulé K., Boubacar M., Abdourhimou A. and Mahamane. 2024. Spatio-Temporal Dynamics of Land Use Units in the Kadzel Sub-Catchment Basin in Diffa, Niger. *Journal of Geographic Information System*, 16, 259-275. DOI: [10.4236/jgis.2024.164016](https://doi.org/10.4236/jgis.2024.164016).
- Laouali A., Abdou M. M., Bachir, A., Alzouma, Z. M. 2021. Dynamics land use in the Lake Chad area of Niger: Between climatic pejoration and anthropization. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, pp8. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.9.2.0039>
- Lemeister A, Heubach K, Lykke AM, Thiombiano A, Wittig R & Hahn K, 2018. The contribution of non-timber forest products (NTFPs) to rural household revenues in two villages in

- south-eastern Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 92: 139–55.
- Mahamane A., Saadou M., Bakasso Y., Abassa I., Ichaou A., Karim S., 2007 : Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 18 (4) : 296-304
- Maï Moussa C. M. B., Abdou H. M. K., Rabiou H., Illo S. M. H., Jaouna M. M., Mahamane A., 2025. Impacts de l'installation des populations réfugiées et déplacées internes sur la structure des peuplements ligneux dans la région de Diffa (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **19**(6) : 2627-2645. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v19i6.23>
- Mamane B., Amadou G., Baragé M., Comby J., Ambouta J.M.K. 2018. Dynamique Spatio Temporelle d'Occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la Variabilité Climatique (Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12(4): 1667-1687. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.13>
- Noma A. S., Daoudi L. & Abdourhamane T. A. (2024). Dynamique d'occupation des sols et perception paysanne au Sud-ouest du Niger : Cas du bassin versant du Kori Ouallam. *European Scientific Journal*, 20 (35), 163. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n35p163>
- Rasmussen K. Fensholt, R.; Fog, B.; Vang Rasmussen, L.; Yanogo, I., 2014. Explaining NDVI trends in northern Burkina Faso. *Geogr. Tidsskr. J. Geogr.*, 114 : 17–24.
- Sadda A-S., Diouf A., Lawali S. Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride : cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicultura* 34, 2, 127-139.
- Sambiéni K., M. Toyi et Mama A., 2015. Perception paysanne sur la fragmentation du paysage de la Forêt classée de l'Ouémé Supérieur au nord du Bénin, [VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 15 (2), pp 1-17, DOI : [10.4000/vertigo.16477](https://doi.org/10.4000/vertigo.16477)
- Tidjani A. A., Ozer A., Karimoune S. 2009. Apports de la Télédétection dans l'étude de la Dynamique Environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33: 69-80. URL: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/249546/1/pub_331_06.pdf
- Tra Bi Z.A., Bi Z.K., Yao Brou T., Mahé G., Emran A., 2013. Télédétection et analyse statistique de la dynamique de la végétation dans un contexte de variabilité climatique sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc), in: Boegh, E., Blyth, E., Hannah, D.M., Hisdal, H., Kunstmann, H., Su, B., Yilmaz, K.K. (Eds.), *Climate and land surface changes in hydrology : proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI assembly*, Publication - AISH. AISH, Wallingford, pp. 403–410.
- Voigt S.; Giulio Tonolo F.; Lyons J.; Kucera J.; Jones B.; Schneiderhan T.; Platzeck, G.; Kaku, K.; Hazarika, M.K.; Czaran, L. 2016. Global trends in satellite-based emergency mapping. *Science*, 353: 247–252.
- Zoungrana B.J.-B., Conrad, C., Thiel, M., Amekudzi, L.K., Da E.D., 2018. MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, *West Africa. J. Arid Environ.*, 153 : 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.01.005>