



## 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)

Salifou MAHAMADOU<sup>1</sup>, Mahaman Bachir SALEY<sup>2</sup>, KOUAME Kan Jean<sup>3</sup>, AMBOUTA Karimou Jean-Marie<sup>4</sup>, Ibrahim MAMADOU<sup>5</sup>, N'DOH ANGE Fabrice<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doctorant Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup> Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup> Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10969, Niger

<sup>5</sup> Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Zinder, BP 656, Zinder, Niger

<sup>6</sup> Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Corresponding author : Salifou MAHAMADOU

**ABSTRACT:** The article deals with land use dynamics in the context of climate change at the scale of the Karey Gorou watershed (South-West Niger) between 1975 and 2022. The aim of this study is to analyze the land-use dynamics that have prevailed at the watershed scale as a result of the effects of climate change. The method used is supervised classification corrected by direct on-screen digitizing, which enabled the delimitation of the various homogeneous units. The data used are three (3) high spatial resolution satellite images from Landsat MSS of 1975, Landsat TM 5 of 2010 and Landsat 8 - OLI-TIRS of 2022. Between 1975 and 2022, substantial mutations affected the different land use units, characterized by an increase in bare soil units, rain-fed crops, Koris and a decrease in vegetation formations. Vegetation formations, which occupied 61.3% of the watershed in 1975, have fallen to 56.3% in 2010 and 50.81% in 2022. Cultivated areas increased from 26.49% in 1975 to 23.84% in 2010 and 28.41% in 2022. Bare soil increased from 6.7% in 1975 to 12.83% in 2010 and 13.28% in 2022. Significant changes were observed between 1975 and 2022, and mainly concern the degradation of the entire watershed. The main driving forces behind these changes are the way in which people exploit natural resources through agriculture, livestock breeding and wood energy, and the effects of climate variability and change, as well as galloping demographics.

**KEYWORDS:** Remote sensing, GIS, Land use, Climate change and variability, Niger

Received 25 Sep., 2024; Revised 04 Oct., 2024; Accepted 06 Oct., 2024 © The author(s) 2024.

Published with open access at [www.questjournals.org](http://www.questjournals.org)

### I. INTRODUCTION

Le Niger, pays sahélien fait face à des problèmes de désertification et de dégradation des terres avec le climat, la pression démographique et les modes d'exploitation du milieu comme constituant les facteurs déterminants [20]. Le pays perd en moyenne chaque année 100 000 hectares de terres arables en raison de causes environnementales et anthropiques [10].

La cartographie de l'occupation des sols est un outil fondamental qui permet une meilleure compréhension des changements environnementaux à l'échelle d'un bassin versant et peut servir de supports à la planification des actions d'aménagement pour une gestion durable des ressources naturelles. La gestion rationnelle des ressources naturelles est devenue une grande nécessité [7]. L'occupation du sol est une variable fondamentale pour la gestion des ressources et la planification ainsi que pour l'étude et la compréhension de la dynamique de l'environnement [6]. Elle est aussi un outil nécessaire de caractérisation des ressources à l'échelle d'un bassin versant.

Dans la commune rurale de Bittinkodji, qui couvre l'essentiel du bassin versant de Karey Gorou, l'agriculture et l'élevage constituent la base de l'économie des populations qui leur procure l'essentiel de leurs revenus. Le diagnostic ressorti dans le plan de développement communal [23], montre que la commune fait face à une dégradation de ses ressources (sols, déforestation, surpâturage, assèchement de bas-fonds et ensablement des mares et du fleuve) et a atteint la saturation de l'espace agricole avec la disparition de la jachère. Le diagnostic fait ressortir également que la commune est déficitaire sur le plan alimentaire, ce qui expose les populations à l'insécurité alimentaire de façon épisodique.

Pour inverser la tendance à la dégradation des ressources naturelles, plusieurs programmes et projets avec l'appui de l'Etat nigérien ont intervenu dans le bassin du fleuve Niger en général et dans le bassin de Karey Gorou en particulier pour mener des actions de conservation des sols et défense et restauration des sols. Les actions de restauration des terres jusqu'ici entreprises semblent insuffisantes pour inverser durablement la tendance de la dynamique érosive du bassin du fleuve.

Les études réalisées sur les ressources naturelles du bassin n'ont pas jusqu'ici spécifiquement appréhendé la dynamique d'occupation des sols au moyen de la cartographie prenant en compte la variabilité et les effets de changement climatique.

La présente étude vise à analyser la dynamique de l'occupation des sols à partir de l'imagerie satellitaire et d'un Système d'Information Géographique (SIG) sur les périodes de 1975 et 2022 dans le contexte de variabilité et de changement climatiques dans le bassin versant de Karey Gorou. De façon spécifique l'étude vise à cartographier les unités d'occupations de sols du bassin versant de Karey Gorou entre 1975, 2010, et 2022 à partir des images Landsat et d'analyser la dynamique des changements survenus. Notre hypothèse de recherche est que les modes d'exploitation agricoles qui ont cours, combinés aux conditions climatiques induisent la dégradation des ressources naturelles dans le bassin versant et contribuent à l'ensablement du fleuve Niger.

## **II. MATERIELS ET METHODES**

### **Zone d'étude**

La zone d'étude se trouve dans le sud-ouest du Niger. Le bassin versant de Karey Gorou (figure 1) se trouve dans la Commune Rurale de Bittinkodji. Il est compris entre 1°54'36'' et 2°3'36'' de Longitude Est et 13°29'24'' et 13°35'24'' de Latitude Nord. Sa superficie est de 2001,62 hectares. Le bassin versant est traversé par un kori principal qui fait partie d'un ensemble de Koris qui alimentent le fleuve Niger. La Commune rurale de Bittinkodji est située dans le Département de Kollo/Région de Tillabéri au Niger. Elle est comprise entre 2°2'8'' et 1°51'7'' longitude Est et 13°35'3'' et 13°10'5'' de latitude Nord. Elle couvre une superficie de 180 000 ha et comporte 21 villages administratifs et 41 hameaux. La population projetée en 2023 est estimée à 43394 habitants.

Le bassin versant est situé dans une zone qui appartient au climat soudano-sahélien caractérisé par une variabilité intra annuelle et interannuelle et spatiale des précipitations. La saison de pluie s'étend sur quatre mois (juin à septembre) suivie d'une longue saison sèche (octobre à mai). Les précipitations sont unimodales (figure 2). Les pluies sont caractérisées par leur irrégularité spatio-temporelle et leur violence causant localement des dégâts très importants, voire des inondations [1].

La variabilité des pluies occasionne souvent des déficits pluviométriques ne permettant pas aux cultures de boucler leurs cycles végétatifs, ce qui occasionne souvent des déficits alimentaires.

Les sols sont pauvres en éléments nutritifs et en matière organique et ont une faible capacité de rétention de l'eau. Ils sont sensibles à l'érosion hydrique et éolienne [1].

Les vents dominants sont l'harmattan qui souffle durant la saison sèche et la mousson durant la saison pluvieuse. Les principales activités économiques dans la commune de Bittinkodji sont l'agriculture, l'élevage, l'exploitation des ressources forestières qui dépendent des conditions climatiques.

### **Caractérisation du climat de la zone d'étude**

Les données pluviométriques utilisées proviennent de la Direction Nationale de la Météorologie du Niger et du Centre Régional Agrhymet de Niamey, et sont issues de la station de Niamey Aéroport sur la période de 1950-2022. L'évolution du climat a été caractérisée par l'analyse des anomalies de la pluviométrie sur la base du

calcul de l'indice Standardisé de Précipitation ou indice pluviométrique centré réduit ([13], et [19]), suivant la formule :

$$Ii = (Xi - \bar{X}) / \sigma$$

Avec :  $Xi$  = hauteur de pluie en mm (ou débit en  $m^3/s$ ) de l'année  $i$  ;  $\bar{X}$  = hauteur moyenne de pluie en mm (ou débit en  $m^3/s$ ) moyenne sur la période d'étude ;  $\sigma$  = écart-type de la hauteur de pluie (ou débit) sur la période d'étude.

Lorsque  $Ii \geq 2$ , on parle d'humidité extrême ; s'il est de 1,5 à 1,99, l'humidité est très forte. Lorsque  $Ii$  est compris entre 1 à 1,49 l'humidité est modérée et entre -0,99 à 0,99 l'humidité est proche de la normale. Lorsque  $Ii$  a des valeurs de -1,0 à -1,49, on parle de sécheresse modérée. Lorsque  $Ii$  prend des valeurs de -1,5 à -1,99, la sécheresse est qualifiée de forte et lorsque  $Ii \leq -2$  la sécheresse est dite extrême.

Les séries pluviométriques annuelles ont été analysées à l'aide du logiciel KhronoStat 1.01 en vue de détecter une éventuelle rupture liée à une non-stationnarité.

## **Démarche méthodologique**

### **Données utilisées**

L'ensemble du bassin versant a pu être couvert par des images Landsat téléchargées en format GEOTIFF dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau I.

## **Méthodes de traitement et d'analyse des données de la cartographie de l'occupation de sols**

### **Prétraitement des images satellitaires**

Les canaux des images satellitaires utilisées vont du visible au proche infra-rouge (Canaux 1,2 et 3 pour le capteur MSS, canaux 2,3 et 4 pour le capteur TM et canaux 3,4 et 5 pour les capteurs OLI-TIRS). Ensuite l'opération de mosaïquage a suivi afin d'obtenir une vision synoptique du bassin. Les photographies aériennes couvrant la zone d'étude ont été scannées et ont constitué par la suite une image panchromatique. Les unités d'occupation de sols ont été délimitées et numérisées. L'image a été ensuite géo référencée avec des points amers (points physiques) identifiés sur des images de 2022. Le traitement a consisté à des améliorations radiométriques et atmosphériques en vue d'augmenter la lisibilité des images pour faciliter leur interprétation [9] et [11].

### **Classification numérique des images**

La notation des informations relativement aux données de terrain (lieu, type d'occupation de sols, géomorphologie, topographie, érosion, structure, texture, dégradation de la végétation) et la description des unités d'occupations des sols ont été réalisées. La Nomenclature pour la construction de bases de données sur l'occupation des sols au Niger au sud du 16<sup>ème</sup> parallèle [20] et dont les classes s'accordent avec le système de classification de la FAO [5], a été utilisée (tableau II), pour l'identification des différentes unités d'occupation de sols. La bonne connaissance du terrain du fait des travaux antérieurs [16] a facilité la numérisation et la classification visuelle à l'écran des unités d'occupation de sols. Selon [2], le choix de cette approche se justifie au Sahel du fait de la difficulté de différencier distinctement certaines classes d'occupation des sols telles que les cultures des autres classes sur la base de leurs seules propriétés spectrales.

A l'issue de l'interprétation des images satellitaires, des zones d'ombres ont été recensées. Les missions de terrain ont permis d'actualiser et de compléter la base de données sur le bassin versant. Elles ont permis de collecter les informations complémentaires et actualisées de la base de données sur le bassin versant. Une composition colorée (Bleu, Vert, Rouge) a été faite permettant une discrimination des différents types d'occupation des sols.

### **Finalisation de la classification**

Une interprétation visuelle a permis l'identification des zones d'entraînement à partir de deux transects réalisées en 2020 et 2022 dont le suivi a permis la collecte des données.

Après la mission de vérification sur le terrain, les cartes d'occupations des sols ont été enrichies et améliorées. L'intégration des informations recueillies lors des missions de vérité terrain ont permis d'apporter des corrections à l'interprétation et d'affiner les cartes tenant compte des travaux antérieurs [16].

La classification supervisée corrigée par numérisation directe à l'écran a permis de produire des fichiers matriciels classifiés. La finalisation a consisté à l'affichage des différentes thématiques nécessaires à l'établissement d'une carte sur une vue pour l'occupation des sols.

### **Détection des changements**

Dans le but de mettre en évidence les transformations survenues entre deux périodes, des croisements des cartes de 1975, 2010 et 2022 ont été effectuées.

Le changement entre deux périodes se fait par l'intersection des couches cartographiques (1975-2022). Une vectorisation automatique a été effectuée et les résultats de la classification ont été par la suite exportés en format

vectorel pour les traitements cartographiques à l'aide du logiciel Arc GIS 10.8. La vérification des changements s'effectue à partir des changements des codes des vecteurs homologues. Le tableau II indique la classification adoptée. Une codification a servi de base pour la réalisation de ce croisement (tableau III).

### **Analyse statistique**

#### **Quantification du changement**

La matrice de transition a été calculée pour quantifier les changements au niveau des classes d'occupation des sols. Elle a été utilisée pour représenter les changements d'occupation des sols entre deux périodes 1975-2010, 2010-2022 et 1975-2022. Elle est utilisée pour suivre les changements dans les types d'occupation des sols d'une période à une autre. Chaque cellule de la matrice indique le nombre de pixels qui sont passés d'une classe à une autre entre deux périodes.

#### **L'évaluation de la classification**

L'évaluation de la classification a consisté à la détermination de la matrice de confusion et l'indice kappa. Le calcul du coefficient Kappa (K), c'est à dire le taux d'erreurs pouvant être évitées en cas de classification supervisée, est effectué à partir de la formule suivante :

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Avec  $P_o$  : Pourcentage réel obtenu de la classification des éléments de l'occupation du sol

$P_c$  : Estimation de la probabilité d'obtenir une classification correcte

La matrice de confusion permet d'évaluer le niveau de classification des principales unités d'occupation des sols par rapport aux observations faites sur le terrain. Par cet outil, les niveaux de classement correct, excédentaire ou déficitaire des unités sont calculés de même que le niveau total de précision et le coefficient Kappa.

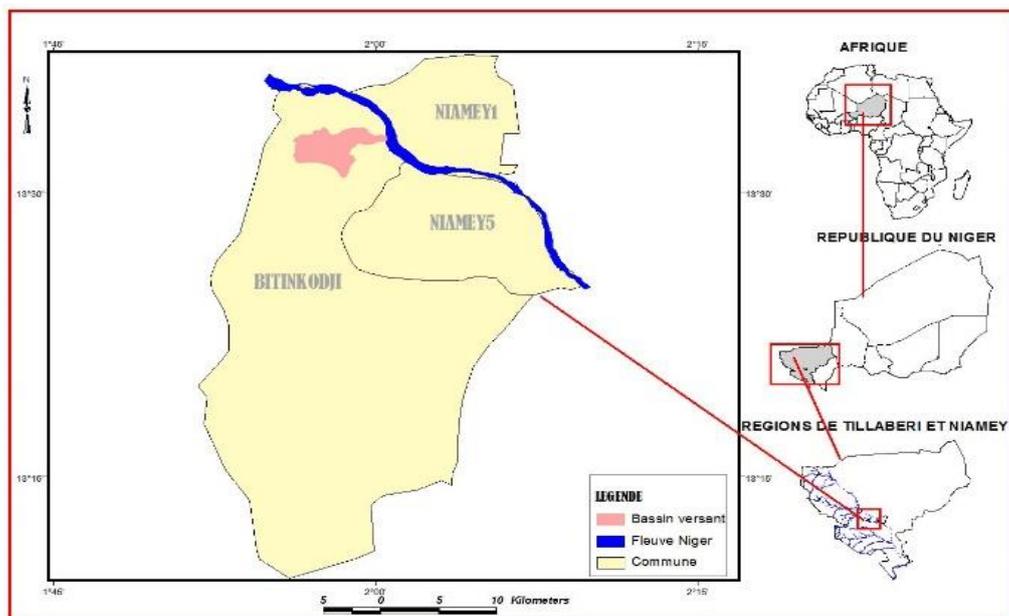
#### **Taux d'évolution annuel**

Pour chaque unité d'occupation du sol, le taux d'évolution annuel a été calculé selon la formule de l'équation suivante :

$$T_{\text{annuel}} = \frac{(V_{2022} - V_{1975})}{100 \times P}$$

Où  $V_{2022}$  = la valeur représente la valeur de la statistique de la strate en 2022 ;  $V_{1975}$  = année de 1975 et  $P$  = période d'observation de 47 ans.

Les valeurs positives du bilan indiquent une progression de la surface de la classe d'occupation durant la période d'analyse. A contrario, les valeurs négatives indiquent une régression d'une classe entre les deux périodes. Les valeurs avoisinant zéro, indiquent une stabilité de la classe d'occupation entre les deux périodes.



**Figure 1: Localisation du bassin versant de Karey Gorou**

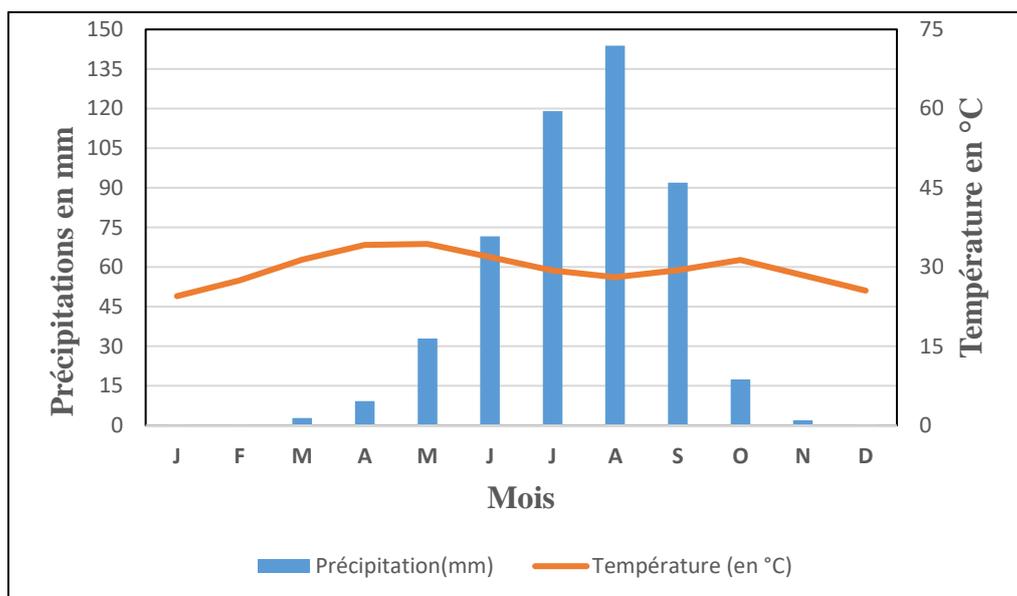


Figure 2: Courbe ombrothermique de la station de Niamey (1960-1922)

Tableau I: Caractéristiques des scènes Landsat utilisées

Path	Row	Date d'acquisition	Capteur	Mode	Bandes spectrales	
					Nombre de bandes	Résolution spatiale
193	051	17/12/2022	OLI_TIRS	Multi spectral	13	30 m
193	051	8/12/2010	TM5		7	30 m
193	051	22/11/1975	MSS		6	60 m

Source : [www.landsat.com](http://www.landsat.com)

Tableau II: Classification des unités d'occupation adoptée

Thèmes ou classe d'occupation	Description des classes d'occupation
Végétation	Brousse tigrée régulière qui est une végétation arborée et ou arbustive dominée par les combrétacées Brousse tigrée dégradée, (d>100 pieds/ha), faible recouvrement, composition floristique plus pauvre Brousse tigrée dégradée très dégradée avec formations arbustives à végétation contractée, peu structurée, caractérisées par une mosaïque de taches couvertes de végétations et de taches nues Cordon rupicole localisés le long des cours d'eau, composition floristique assez variée, de densité est très variable ainsi que leur taux de recouvrement (20%>R>60%) Steppe arbustive dense, végétation souvent à base d'épineux Steppe arbustive dégradée, apparait sous forme de bourrelets massifs à texture lisse Steppe arbustive très dégradée, se localisent sur des substrats sableux Talus boisé localisé au niveau des glaciers
Agriculture	Culture pluviale, ce sont des champs cultivés Jardin, zone de l'arboriculture fruitière Jachère se présente de même forme que les cultures pluviales mais s'en différencient par la forte densité d'arbustes et l'absence de résidus de culture
Hydrographie	Fleuve, cours d'eau permanent Kori, caractérisé par une incision assez profonde et large dont le lit porte des alluvions grossières (sable, graviers, cailloux ou blocs rocheux) Mare, plan d'eau localisé les bas-fonds ou les zones dépressionnaires

Etablissements humains	Village et hameau : présence d'auréoles de zones de culture et la convergence de divers voies de communication (routes, pistes rurales, etc.). Habitation, s'identifie comme le village mais s'en différencie par leur taille plus réduite et leur forme ponctuelle
Sols nus	Dune, zone sableuse ou des zones de remobilisation des sables d'anciennes dunes fixées. Terrain rocheux, de formes très variables (linéaire sinusoïdale, en bloc, etc.), ils apparaissent généralement en vert foncé sur les bordures des plateaux dénudés, sur les talus ou partout ailleurs sous forme de larges bombements
Voies de Communication	Route, c'est une voie de communication qui se présente sous forme linéaire

**Tableau III: Correspondance des codes**

<b>0</b>	Terrain rocheux
<b>31</b>	Steppe arbustive dense
<b>32</b>	Steppe arbustive dégradée
<b>33</b>	Steppe arbustive très dégradée
<b>11</b>	Brousse tigrée régulière
<b>12</b>	Brousse tigrée dégradée
<b>13</b>	Brousse tigrée très dégradée
<b>T</b>	Talus boisé
<b>D</b>	Dune
<b>Cr</b>	Cordon rupicole
<b>K</b>	Kori
<b>H</b>	Habitations
<b>83</b>	Cultures pluviales
<b>J</b>	Jardins
<b>Fl</b>	Fleuve Niger

### III. RESULTATS

#### Evolution climatique

L'application du test de ruptures de Pettit [22] à la série pluviométrique de la station de Niamey de la période 1950-2022 à l'aide du logiciel KhronoStat a permis de détecter une rupture dans la série en 1969 (Figure 3). Sur cette base, le pourcentage de l'évolution de la pluviométrie a été estimé en baisse de 22,92% à partir de 1969 par rapport à la normale de 1950-22 comme l'indique la figure 3. La période 1950-1969 a connu une pluviosité excédentaire, suivie d'une période déficitaire de 1970 à 1989, puis de légères reprises de précipitation et alternance des années excédentaires et déficitaires ont été observées à partir de 2000 à nos jours. L'analyse de la figure 4 indique que 39 années sont déficitaires. Le déficit le plus important a été enregistré en 1984 avec une valeur de l'indice de Kappa de -1,92 ; les années 1952 et 2017 ont connu des excédents respectivement avec une valeur de l'indice de Kappa de 3,13 et 2,06 correspondant à 980 et 835 mm de précipitation.

#### Etat d'occupation des sols en 1975, 2010 et 2022

A l'issue des données collectées de terrain et des traitements des images, quinze (15) unités d'occupation des sols ont été déterminées (figures 8, 9 et 10). La valeur de la matrice de confusion est de 99,22% et l'indice Kappa est de 90,90% en 2022. Selon [14], la valeur de l'indice Kappa indique que la classification est très bonne.

Sur la figure 5, représentant la carte d'occupation des sols de 1975, la végétation représentait 61,31% de la superficie du bassin. Les zones de cultures occupaient 26,5% de la superficie du bassin. Elles sont constituées de cultures pluviales (25,1%) et jardins (1,4%). Les sols nus représentent 6,7% de la superficie totale du bassin versant. Le réseau hydrographique représente quant à lui 5,51% de la superficie totale du bassin. L'habitation constituée de hameaux et de villages représente 0,004% de la superficie totale.

La figure 6 présente la carte d'occupation des sols en 2010. La végétation couvre globalement 56,3% de la superficie totale du bassin versant. Quant aux sols nus leurs valeurs sont passées à 12,43% soit une diminution de 6,8%. Le Réseau hydrographique occupe 6,99%. L'habitation occupe 0,05%.

La figure 7 présente la carte d'occupation des sols de 2022. La végétation couvre globalement 50,8% de la superficie totale du bassin versant. Quant aux sols nus leurs valeurs sont de 13,3%. Le réseau hydrographique occupe 7,36%. Les habitations occupent 0,13%.

L'analyse de ces différentes figures d'unités d'occupation des sols montre que les tendances de l'évolution des unités au cours des trois périodes considérées (1975, 2010, et 2022) n'est pas linéaire. Ainsi la brousse tigrée régulière a considérablement diminué de 335,58 ha entre 1975 et 2010 soit 71,22%. Sa valeur est restée constante entre 2010 et 2022. La brousse tigrée très dégradée a augmenté de 26,37 ha de 1975 à 2010 soit 557,51% et de 2010 à 2022 de 163,45 ha soit une augmentation de 525,56%. Sur la période 1975 à 2022, cette unité a augmenté de 189,82 ha soit une progression de 4013,11%. La brousse tigrée très dégradée a augmenté de 206,68 ha entre 1975 et 2010 soit 150,23% et a diminué entre 2010 et 2022 de 213,98 ha soit 62,16%. Sur la période 1975 à 2022, cette unité a diminué de 7,3 ha soit 5,31%. La steppe arbustive dense a diminué de 104,42

ha entre 1975 et 2010 soit 31,31% et de 64,36 ha entre 2010 et 2022 soit 28,10%. Sur la période 1975 à 2022, cette unité a diminué 169 ha soit 50,61%. Les terrains rocheux ont augmenté de 89,05 ha entre 1975 et 2010 soit 82,26% et de 40,76 ha soit 20,66%. Sur la période 1975 à 2022, cette unité a augmenté globalement de 129, 81 ha soit 119,92%. Les terres de cultures pluviales ont diminué de 53,33 ha entre 1975 et 2010 soit 10,62% et ont connu une augmentation entre 2010 et 2022 de 77,83 ha soit 17,36%. Cette tendance d'évolution de cette unité d'occupation des sols est de 24,58 ha sur la période 197 à 2022 soit augmentation de 4,89%. Les koris ont progressé de 31,97 ha entre 1975 et 2010 soit une augmentation de 33,40% et de 7,36 ha entre 2010 et 2022 soit de 5,77%. La tendance à l'augmentation est observée dans les unités d'occupation des sols telles que le fleuve, les habitations, les jardins et les dunes, les steppes arbustives dégradées, les steppes arbustives très dégradées. Par contre le talus boisé est resté intact.

### **Analyse de la dynamique des changements d'occupation des sols**

Les changements dans la dynamique d'occupation des sols ont été mis en évidence entre les périodes 1975 et 2022.

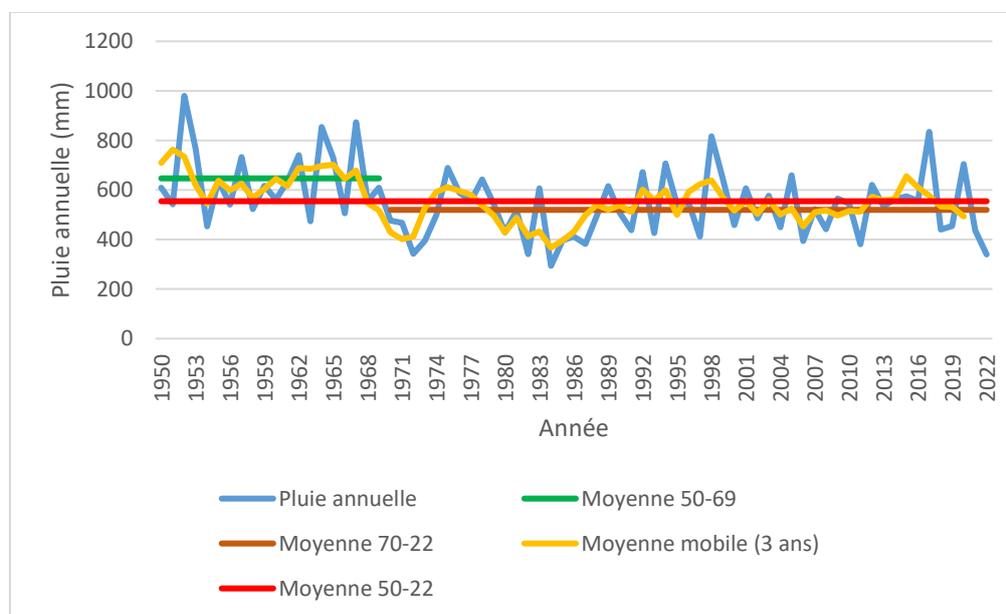
La figure 8 représente la carte de la dynamique d'occupation de sols entre 1975 et 2022. La matrice de transition (tableau V), révèle les différents changements intervenus.

On remarque deux types de changements des unités qui se sont converties en d'autres unités et la transformation (des modifications à l'intérieur des unités). On remarque deux types de changements des unités d'occupation des sols. La modification a surtout concerné la brousse tigrée régulière, la steppe arbustive dense mais toutes les autres unités ont fait l'objet de conversion. Ces modifications ont été accompagnées de l'augmentation des sols nus, des koris et des zones de cultures.

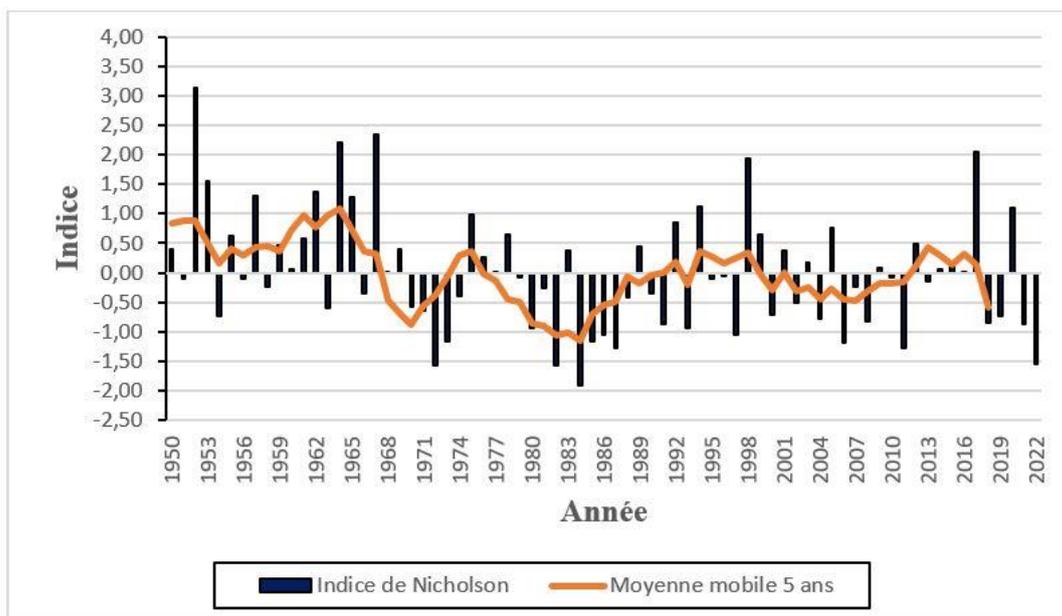
Ainsi, l'analyse combinée des différentes périodes d'occupation des sols à différentes dates de 1975 à 2022, montre une régression dans la végétation de 210 hectares. Par contre les zones de cultures pluviales ont connu une nette augmentation en termes de cultures pluviales qui se pratiquent presque dans toutes les unités et de jardins qui empiètent sur les terres du fleuve. Cette évolution s'est manifestée également par l'augmentation des sols nus et l'augmentation du kori.

Le tableau VI donne la synthèse de l'évolution des unités d'occupation en les regroupant par unité d'occupation des sols.

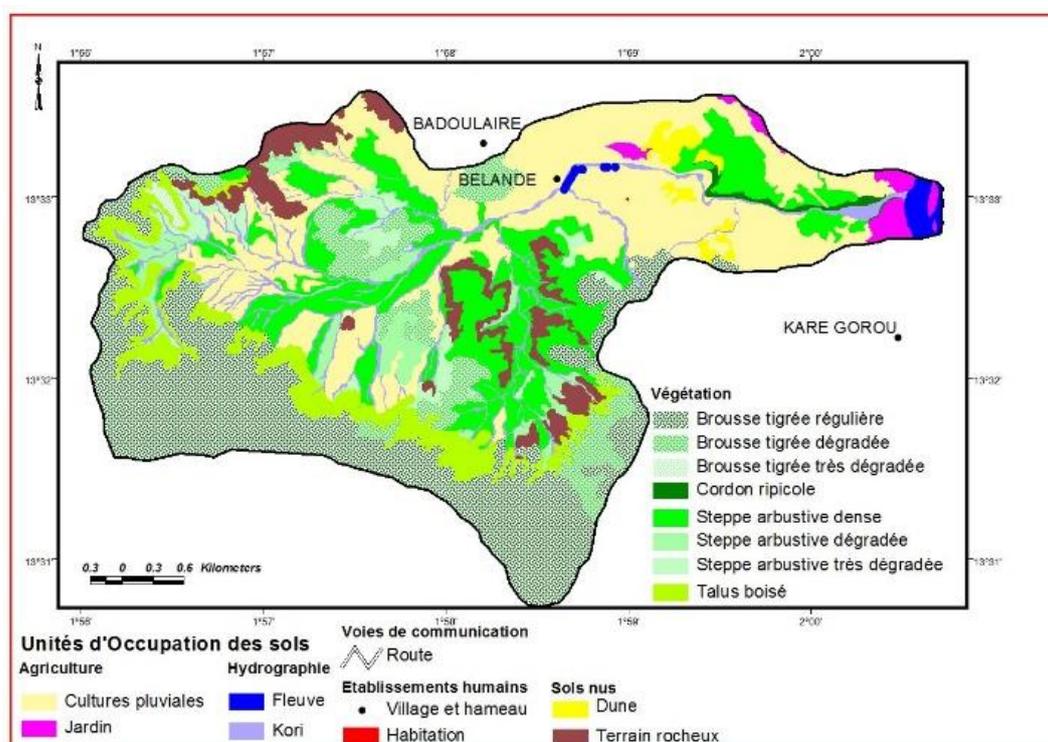
De l'analyse de ce tableau, en regroupant les classes d'occupation des sols par unité, on se rend compte de la dynamique qui prévaut au niveau du bassin versant. Ainsi la végétation a diminué de 210 ha. Les zones de cultures ont augmenté de 38,5 ha. Les sols nus ont progressé de 132 ha, le réseau hydrographique de 37,2 ha et l'habitation de 2,57 ha.



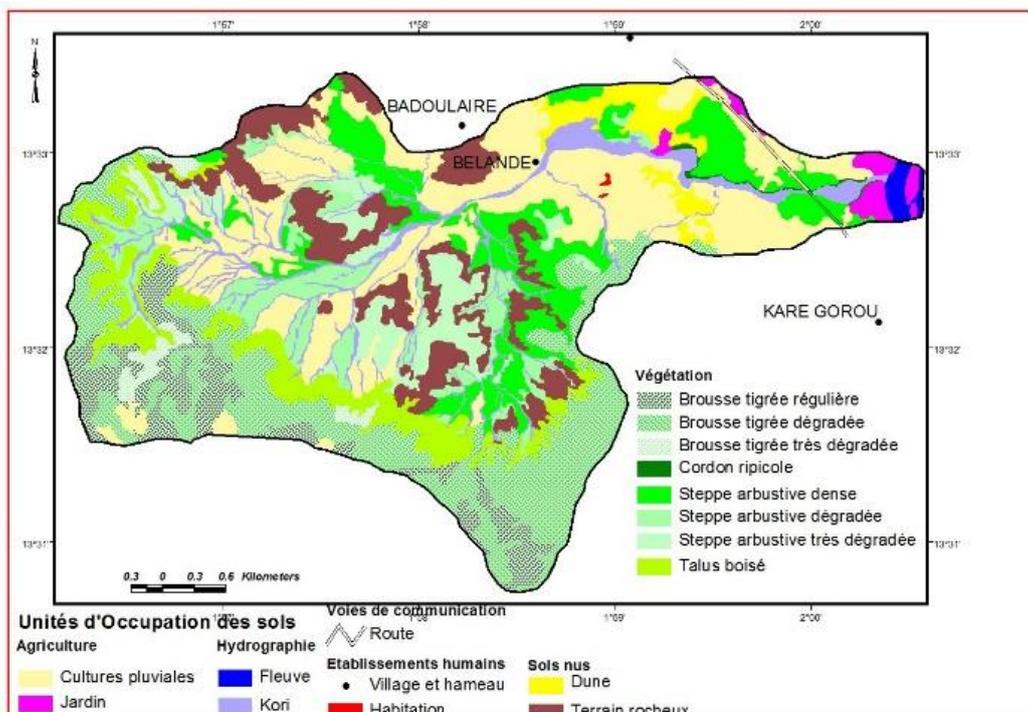
**Figure 3: Evolution de la pluviométrie de la station de Niamey aéroport sur la période 1950-2022**



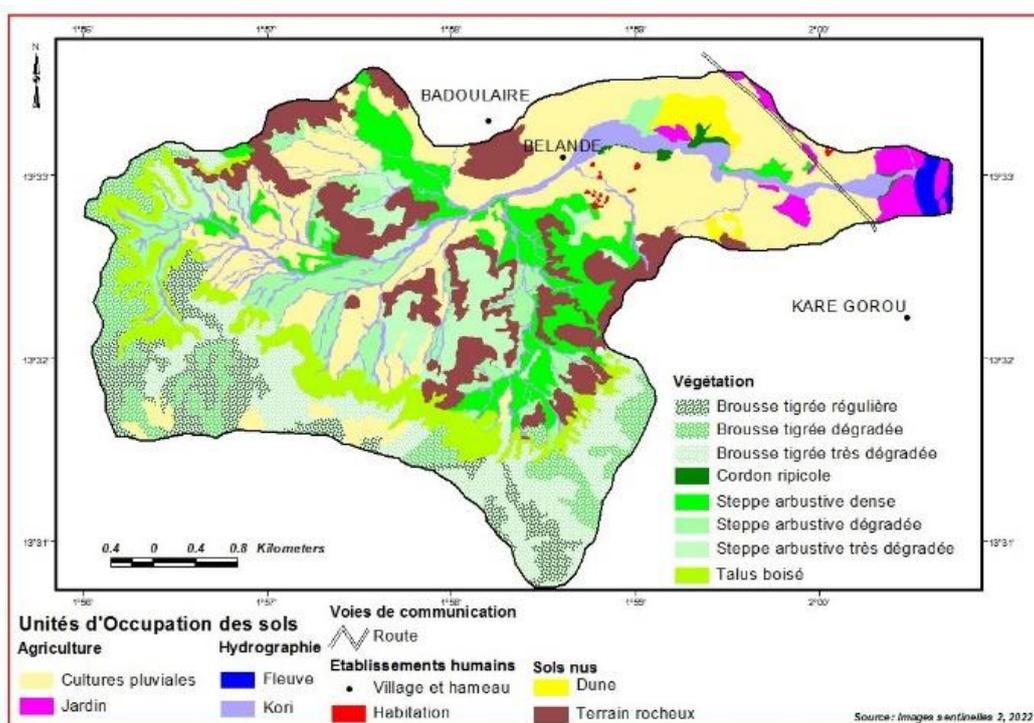
**Figure 4: Indice de Lamb de la pluviométrie**



**Figure 5: Carte d'occupation des sols en 1975**



**Figure 6: Carte d'occupation des sols en 2010**



**Figure 7: Carte d'occupation des sols en 2022**

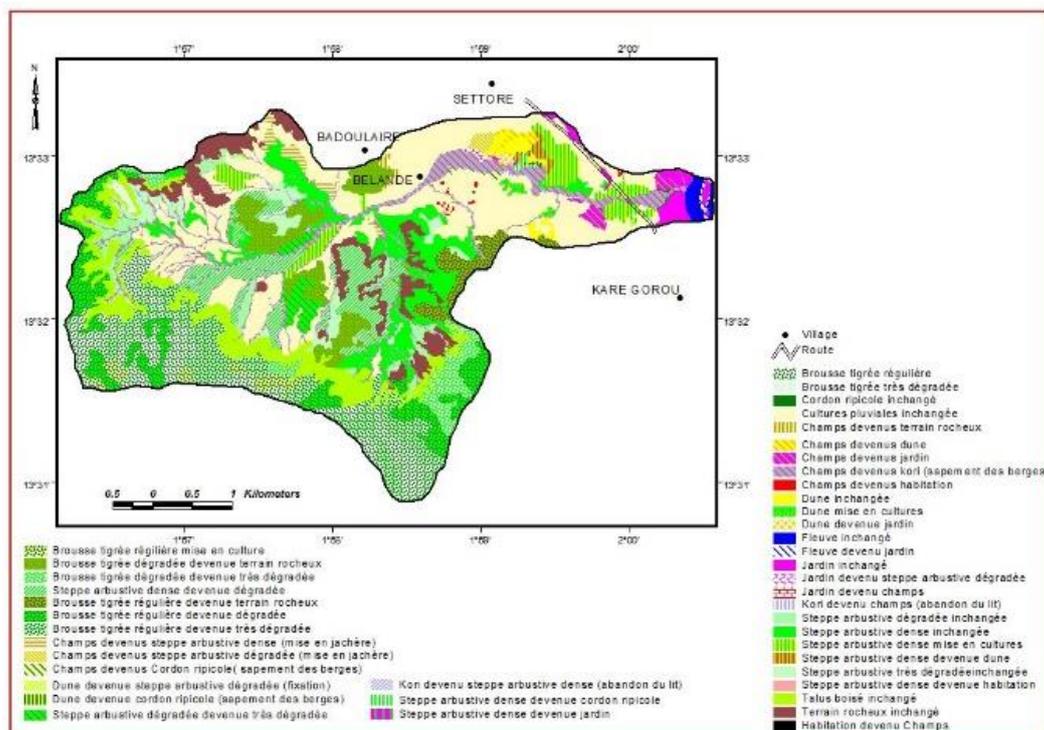


Figure 8: Dynamique des changements des superficies des unités d'occupation des sols de 1975 à 2022

Tableau IV: Situation et tendance évolutive des superficies des unités d'occupation des sols de 1975 à 2022

Classe	Superficie en ha en 1975	Superficie en ha en 2010	Superficie en ha en 2022	Evolution de 1975 à 2010 (%)	Evolution de 2010 à 2022 (%)	Evolution de 1975 à 2022 (%)
Brousse tigrée dégradée	137,58	344,26	130,28	150,23	-62,16	-5,31
Brousse tigrée régulière	471,21	135,63	135,63	-71,22	0,00	-71,22
Brousse tigrée très dégradée	4,73	31,10	194,55	557,51	525,56	4013,11
Cordon rupicole	10,03	5,03	6,59	-49,85	31,01	-34,30
Cultures pluviales	502,25	448,90	526,83	-10,62	17,36	4,89
Dune	25,73	59,52	27,70	131,33	-53,46	7,66
Fleuve	14,54	12,38	12,38	-14,86	0,00	-14,86
Jardin	28,03	28,38	41,93	1,25	47,74	49,59
Kori	95,65	127,60	134,96	33,40	5,77	41,10
Steppe arbustive dégradée	66,22	120,98	124,77	82,69	3,13	88,42
Steppe arbustive dense	333,49	229,07	164,71	-31,31	-28,10	-50,61
Steppe arbustive très dégradée	51,41	108,13	108,13	110,33	0,00	110,33
Talus boisé	152,42	152,42	152,42	0,00	0,00	0,00
Terrain rocheux	108,25	197,30	238,06	82,26	20,66	119,92
Habitation	0,08	0,92	2,65	1050,00	188,04	3212,50
<b>TOTAL</b>	<b>2001,62</b>	<b>2001,62</b>	<b>2001,62</b>			

**Tableau V: Matrice de transition 1975-2022**

		2022																	
	1975	Terrain rocheux	Brousse tigrée régulière	Brousse tigrée dégradée	Brousse tigrée très dégradée	Steppe arbustive dense	Steppe arbustive dégradée	Steppe arbustive très dégradée	Cultures pluviales	Cordon rupicole	Dune	Fleuve	Jardins	Koris	Talus boisé	Habitations	Jachère	TOTAL	
		Terrain rocheux		108,2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brousse tigrée régulière		37,688	135,6320	130,279	141,307	0	0	0	26,3080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	471,214
Brousse tigrée dégradée		89,0640	0	0	48,5180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137,582
Brousse tigrée très dégradée		0	0	0	4,7270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,727
Steppe arbustive dense		0	0	0	0	149,8440	109,537	0	61,369	2,265	6,403	0	0,4580	0	0	0,4410	0	0	330,317
Steppe arbustive très dégradée		0	0	0	0	0	40,3060	23,5250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63,831
Steppe arbustive très dégradée		0	0	0	0	0	0	51,3980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,398
Cultures pluviales		3,0660	0	0	0	0	0	0	432,5570	2,3830	4,9300	0	12,7060	134,966	0	2,2110	20,643	0	613,462
Cordon rupicole		0	0	0	0	0	0	0	0	1,0360	0	0	0	0	0	0	0	0	1,036
Dune		0	0	0	0	0	0,1070	0	4,9580	0,9180	16,3700	0	2,7550	0	0	0	0	0	25,108
Fleuve		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3790	2,1500	0	0	0	0	0	14,529
Jardins		0	0	0	0	0	2,2360	0	0,0050	0	0	0	23,8600	0	0	0	0	0	26,101
Koris		0	0	0	0	0,0290	0	0	1,5470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,576
Talus boisé		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152,3990	0	0	0	152,399
Habitations		0	0	0	0	0	0	0	0,0800	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0,080

**Tableau VI: Tendence évolutive des unités d'occupation des sols de 1975 à 2022**

Unités	Superficie 1975		Superficie 2010		Superficie 2022	
	en ha	% en 1975	en ha	% en 2010	en ha	% en 2022
<b>Végétation</b>	1227,09	61,305	1126,62	56,285	1017,11	50,814
<b>Zones de cultures</b>	530,28	26,493	477,28	23,845	568,76	28,415
<b>Sols nus</b>	133,98	6,694	256,82	12,831	265,76	13,277
<b>Réseau hydrographique</b>	110,19	5,505	139,98	6,993	147,34	7,361
<b>Habitation</b>	0,08	0,004	0,92	0,046	2,65	0,132
<b>Total</b>	2001,62		2001,62		2001,62	

#### **IV. Discussion**

A l'aide de la cartographie spatio-temporelle des unités d'occupation des sols au moyen des images Landsat de 1975, 2010 et 2022, nous avons pu mettre en évidence la dynamique des ressources naturelles du bassin. Plusieurs enseignements peuvent découler de l'utilisation de l'imagerie satellitaire pour la cartographie de l'occupation de sol sur un petit bassin versant comme celui de Karey Gorou dans le contexte de variabilité et de changements climatiques. Les principaux effets ayant marqué la dynamique d'occupation de l'espace sont d'ordre climatique et anthropique.

##### **Impacts climatiques**

Au Sahel, les sécheresses des années 70 ont remodelé les paysages, entraîné la dégradation de la végétation et l'encroûtement des sols. Elles ont eu des conséquences sociales sur les populations. L'épisode de sécheresse très marqué de 1968 à 1973 a été caractérisé par un déficit de 15 à 25% des pluies par rapport à la moyenne long terme, de 25 à 50% par rapport à la période humide antérieure et qui a affecté le Sahel [4]. Cette situation a été observée dans notre zone d'étude en ce qui concerne la diminution des précipitations. L'analyse de ces anomalies révèle 39 années déficitaires, dont le point le plus culminant a été enregistré en 1984 (indice de Lamb de -1,92). Les années 1952 et 2017 ont connu des excédents respectivement de 3,13 et 2,06 pour des hauteurs pluviométriques moyennes annuelles respectivement de 980 et 835 mm. Ces variations dans les valeurs de la pluviométrie ont eu des conséquences sur la végétation du bassin. En effet, entre 1975 et 2022, les formations végétales ont connu des diminutions dans leurs superficies et se sont dégradées. La brousse tigrée régulière a perdu 336 ha entre 1975-2022. Il en est de même, la steppe arbustive dense a diminué de 169 ha entre 1975-2022. Des travaux ont montré l'impact de la pluviométrie sur la végétation. Selon [12], le Sahel Ouest africain connaît une sécheresse importante, qui correspond à une discontinuité dans la série des précipitations avec un changement brusque de la série entre 1969 et 1970 et une non-stationnarité. Le retour à la normale de la pluviométrie n'a pas été suivi d'une restauration écologique [25]. Au Bénin [8], Ignace et al. (2022) ont noté que la variabilité climatique des années 70 et 80 a eu des répercussions sur la dégradation du couvert végétal du bassin versant de la rivière Agbado à travers une occupation accrue du sol où les populations procèdent aux emblavures pour faire face au déficit des rendements des cultures. Ils ont noté que les forêts galerie ont diminué tandis que les autres unités d'occupations des sols telles que les forêts claires et savanes boisées, savanes arborées et arbustives, champs et jachères sous palmier, les plantations, les champs et jachères, et les agglomérations ont connus une augmentation considérable.

##### **Impacts anthropiques**

L'analyse diachronique de la dynamique d'occupation des sols du bassin versant de Karey Gorou, a permis de mettre en évidence les changements environnementaux intervenus de 1975 à 2022. Les formations végétales exploitées de diverses façons par les populations, font place aux formations anthropisées notamment les champs de cultures, les sols nus, les koris. L'on assiste à une conversion des unités d'occupation des sols et à même une modification de la brousse tigrée régulière en brousse dégradée et très dégradée. L'analyse des unités d'occupation de sols montre que la végétation a diminué de 210 ha. Les cultures pluviales ont augmenté de 25 ha et les jardins ont augmenté de 14 ha empiétant sur les différentes unités d'occupation de sols notamment sur les terres marginales (mise en culture des dunes, des steppes, des brousses tigrées, des berges du kori). Les sols nus ont augmenté de 131,8 ha. Le fleuve a diminué de 2,16 ha. Cette dynamique d'évolution des unités des sols s'est faite par la conversion des unités d'occupation des sols notamment la brousse tigrée régulière en ses formes plus dégradées. Les changements ont été surtout importants entre 2010 et 2022. Toutes les unités d'occupation des sols sont exploitées par les populations qui en tirent l'essentiel de leurs revenus.

Des travaux d'aménagements antiérosifs ont été réalisés de 2006 à 2011 par le Programme de Lutte Contre l'Ensamblage dans le bassin du fleuve Niger (PLCE/BN). Ces travaux d'aménagement ont consisté à la réalisation des banquettes antiérosives, des demi-lunes pastorales et agricoles, des cordons pierreux et suivis de plantations biologiques d'arbres et d'ensemencements des graminées et d'herbacées. Ils ont permis de récupérer des terres dégradées comme les brousses tigrées très dégradées et les steppes très dégradées. La reprise de la végétation peut être due d'une part à ces travaux mais aussi au drainage des eaux de ruissellement vers les zones plus basses de la vallée sableuses [3].

On assiste à une remontée du front agricole. Les champs de cultures se sont étendus et sont présents dans la vallée du fleuve, le long du Kori, dans les steppes arbustives et dans certaines parties des brousses tigrées. Ce sont des cultures de mil, de sorgho, de niébé qui sont le plus pratiquées. Les résidus de cultures servent de pâturages aux animaux lors de la libération des champs. La brousse tigrée sert également de pâturages aux animaux, à l'approvisionnement en bois de la ville de Niamey et des villages environnants.

Les auteurs [2] ont mis en exergue les impacts anthropiques sur les formations végétales dans la Réserve Totale de la Faune de Tamou et corroborent les tendances à la dégradation des ressources naturelles. Les travaux des auteurs [24] dans la région des Lacs en Côte d'Ivoire ont mis également en évidence la tendance à la forte anthropisation et une dégradation des conditions pluviométriques qui ont fortement affecté le mode d'occupation du sol et qui se sont traduites par une progression des zones de cultures et des sols nus ou dégradés.

Les impacts climatiques combinés aux actions anthropiques conduisent à une fragilisation des ressources naturelles du bassin versant et leurs dégradations à long terme. Ces impacts affectent les cultures des céréales notamment. Ainsi les auteurs [18], soulignent que la plupart des impacts attendus des changements climatiques rapportés par la littérature concernent les précipitations et la température. Devant ces menaces, des actions d'aménagement doivent se poursuivre avec une implication des bénéficiaires et de la collectivité. Pour mieux réussir ces actions d'aménagement et de restauration des écosystèmes, des études complémentaires doivent se poursuivre. En effet, une meilleure compréhension de la perception des paysans de l'évolution environnementale et sociale doit permettre de contribuer au succès des actions de restauration du milieu.

## V. CONCLUSION

L'étude de la dynamique de l'occupation de sols à l'échelle d'un petit bassin versant comme celui de Karey Gorou au moyen des images Landsat de haute résolution (1975, 2010 et 2022), a permis de mettre en évidence les changements environnementaux intervenus de 1975 à 2022. Le milieu subit une forte anthropisation dont les principaux facteurs sont les modes d'exploitation des ressources pour la satisfaction des besoins des populations. Ainsi les formations végétales qui occupaient 61,3% en 1975 du bassin versant sont passées à 56,3% en 2010 et à 50, 81% en 2022. Quant aux zones de cultures, elles sont passées de 26,49% en 1975, à 2 3,84% en 2010 et 28, 41% en 2022. La progression des sols nus est passée de 6,7% en 1975 à 12,83% en 2010 et à 13,28% en 2022. La variabilité et les effets de changements climatiques accentuent le phénomène de dégradation des ressources naturelles. La mobilisation importante des matériaux solides que constituent les sols nus dont le transport vers le fleuve contribue à son ensablement et son expansion. Les principaux moteurs de cette anthropisation sont l'agriculture, l'élevage, l'exploitation des formations végétales pour alimenter Niamey, la capitale en bois. Ces activités exercent une forte pression sur les ressources et contribuent à fragiliser le milieu. Les travaux d'aménagements antiérosifs réalisés dans le cadre du Programme de Lutte Contre l'Ensablement pourraient avoir joué un rôle dans la dynamique érosive actuelle du Kori. Les futures actions d'aménagement et de planification doivent prendre en compte cette évolution des ressources naturelles pour concevoir des actions de développement durable.

Cette étude a été conduite à l'échelle du bassin versant et a visé à contribuer à une meilleure protection de l'ensablement du fleuve Niger et servir d'outil d'aide à la prise de décision. Ces résultats vont contribuer à actualiser les données environnementales qui permettent de mieux protéger, suivre et gérer les ressources à l'échelle du bassin versant et de lutter contre l'ensablement du fleuve Niger.

## REFERENCES

- [1]. Autorité du Bassin du Niger, 2003, Programme - Cadre de Protection contre l'érosion hydrique et de lutte contre l'ensablement du bassin du fleuve Niger. Rapport de préparation (Volume III et IV Volumes. Annexes 3. Composante Niger FAO/BAD 51 p
- [2]. Barage MAMANE, Garba AMADOU, Moussa BARAGE, Jacques COMBY et Jean-Marie AMBOUTA, (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.* V.12. N°4, pp: 1667-1687.
- [3]. Chaibou S. (2019). Impacts des ouvrages antiérosifs sur les propriétés hydrodynamiques des sols et des états de surface des plateaux latéritiques du sud-ouest Nigérien. Mémoire de Master 2. Faculté des Sciences et techniques. Université Abdou Moumouni, Niamey.35p
- [4]. Descroix, L., Mahé G., Lebel, T., G., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry J.C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I., Sighomnou D, 2009, Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa: A Synthesis. *Journal of Hydrology, AMMA, Vol.375, N°2*, pp: 90-102.
- [5]. FAO, 1997. *Africover Land Cover Classification*. Environment and natural resources service. Research, Extension and Training Division. FAO Sustainable Development Department. 84p
- [6]. Foody, G.M, 2002. "Status of land cover classification accuracy assessment", *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, pp :185-201. DOI : 10.1016/S0034-4257(01)00295-4
- [7]. Heymann, Y, 1978, Les inventaires des ressources naturelles par la télédétection satellite. In: *Économie rurale*. N°127, 1978. *Ecologie et société - Deuxième partie*. pp : 31-34
- [8]. Ignace, V.R., Ringo, F.A., Koudérin, A. L, Gilbert, D et Josapha, A, 2022. Evolution des variables climatiques et occupation du sol à l'échelle du bassin versant de la rivière AGBADO au Bénin. January 2023. *International Journal of Advanced Research*, Vol.11, N°1, pp : 805-816 DOI:10.21474/IJAR01/16086.
- [9]. Jobin, B., Latendresse, C., Maisonneuve, C. et Sebbane, A. G, 2007, Changements de l'occupation du sol dans le sud du Québec pour la période 1993- 2001. Série de rapports techniques n°483, Environnement Canada, Service canadien de la faune, Région du Québec, Sainte- Foy, Québec. 128 p.
- [10]. Kimba, G et Faustine, Z, 2020, Mécanisme pour la restauration des forêts et des paysages : Activités de restauration dans les communes de Kollo, Illéla et Soucououtane au Niger. FAO. Site : <https://www.fao.org/in-action/forest-landscape-restoration-mechanism/resources/detail/fr/c/1315993/> consulté le 23 octobre 2023.

- [11]. Kpedenou, K.D., Ahe, P., Boukpepsi, T, 2016), Dynamique spatio-temporelle de l'occupation/utilisation des terres dans le sud-est Togo: essai de cartographie à l'aide de la télédétection spatiale. Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés. REVUE DE GEOGRAPHIE DU LARDYMES. Faculté des Sciences de l'Homme et de la Société. Université de Lomé. 15 p.
- [12]. L'Hôte, Y., Mahé, G., Somé, B et Triboulet, J.P, 2002, Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, Vol. 47, N°4, pp: 563-572.
- [13]. Lamb, P.J. (1982) - Persistence of sub-Saharan drought. Nature, vol. 299, pp. 46-47.
- [14]. Landis J. R. et Koch G. G. (1977).The measurement of observer agreement for categorial data, biometrics. In revue Biometrics, volume 33, numéro 1, pages 159-174. 15 p.
- [15]. Landis, J. R. et Koch, G. G. (1977).The measurement of observer agreement for categorial data, biometrics. In revue Biometrics, Vol.33, N°1, pp : 159-174.)
- [16]. Mahamadou, S, 2007, Diagnostic des modes d'exploitation agricole dans le Bassin Versant de Karey Gorou pour une gestion durable des ressources naturelles. Mémoire de DEA en géographie. Option Aménagement et gestion des ressources naturelles. Milieux et sociétés des espaces arides, Aménagement Développement. Faculté des Lettres et Sciences humaines. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger. 70 pages.
- [17]. Mamane, B., Amadou, G., Barrage, M., Comby, J et Ambouta, J.K, 2018, Dynamique 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. Volume 12. N°4, pp : 1667-1687
- [18]. Mohamed, A. B., Duivenbooden, N. V., and Abdoussallam, S, 2002b, Impact of climate change on agricultural production in the Sahel-Part 2: Methodological approach and case study for millet in Niger, Clim. Change, Vol.54, 349–368
- [19]. Nicholson, S.E., Tucker, C.J et Ba, M.B, 1998, Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel, Bull Am Meteor Soc, Vol.79, pp. 815-829.
- [20]. Nomenclature d'occupation des sols, 2001. Nomenclature pour la construction de bases de données sur l'occupation des sols au Niger au sud du 16<sup>ème</sup> parallèle. Ministère de l'Environnement et de la lutte contre la désertification (ME/LCD). Direction de l'Environnement. République du Niger Version finale. 73p.
- [21]. PAN-LCD/GRN, 2000, Plan national de l'environnement pour un développement durable (PNEDD). Secrétariat Exécutif du CNEDD. Cabinet du Premier Ministre. République du Niger.113p.
- [22]. Pettitt, A.N, 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, Vol.28, N°2, pp 126-135
- [23]. Plan de Développement Communal, 2016, Comité d'élaboration du PDC de la Commune Rurale de Bitinkodji. Commune Rurale de Bitinkodji. Département de Kollo. Région de Tillabéri. République du Niger. 136 p.
- [24]. Soro, G., Ahoussi, E.K., Kouadjo, E.K., Soro, T.D., Oulare, S., Saley, M.B., Soro, N et Biemi, J, 2014, Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). Revue Afrique SCIENCE 10 volume N°3, pp.146-160
- [25]. Waziri, M. M, 2014, Perception et forme d'adaptation aux changements climatiques: l'exploitation agricole de la mare de Mountséka, pp. 235-253: In Boureima A. et Dambo L. Edition, Sahel entre crises et espoirs, Paris, Harmattan, 525 p.