
VARIABILITE CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE D'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN DU MANDOUL AU SUD-OUEST DU TCHAD

***DJANAN NDONANE¹, DJANGRANG MAN-NA² et MBATBRAL
NASKIDA¹**

¹*Université des Sciences et de Technologie d'Ati/Tchad,*

²*Centre National de Recherche pour le Développement, N'Djamena, Tchad*

** Auteur correspondant : Email : djananndonane@gmail.com*

Résumé

Le bassin du Mandoul connaît des transformations significatives de ses sols, résultant des activités humaines et de la variabilité climatique. Cette étude vise à évaluer la dynamique spatiale de l'occupation et de l'utilisation du sol. Pour ce faire, des données météorologiques de la NASA (1981-2022) ont été analysées grâce aux indices de Nicholson et de Bagnous et Gaussen pour caractériser la variabilité climatique temporelle. Parallèlement, des données d'observation spatiale (Landsat 5 de 1998 et Landsat 8 de 2020) ont été soumises à une classification supervisée par maximum de vraisemblance via ArcGIS 10.8 pour apprécier la dynamique d'occupation du sol. Les analyses climatiques révèlent que les périodes humides mensuelles s'étendent de mai à octobre sur toute la période, mais la variabilité interannuelle des précipitations a permis de distinguer trois sous-périodes : une phase relativement humide de 1981 à 1991, suivie d'une période complètement sèche de 1992 à 2011, et enfin une dernière phase (2012-2022) marquée par une tendance pluviométrique à la hausse. Les résultats de la dynamique de l'occupation du sol entre 1998 et 2020 révèlent que la savane a régressé de 4417,05 km² à 4327,03 km² et le plan d'eau de 186,36 km² à 162,59 km². En revanche, les zones bâties ont nettement augmenté de 16,76 km² et les sols nus ont connu une augmentation considérable de 2921 km². Au regard de ces résultats, il est crucial que tous les acteurs du développement rural s'impliquent pour élaborer et mettre en œuvre une stratégie d'actions visant à promouvoir une gestion durable.

Mot-clé : *Mandoul, Dynamique, Occupation, Sol, variabilité climatique*

CLIMATE VARIABILITY AND LAND COVER DYNAMICS IN THE MANDOUL BASIN, SOUTHWEST CHAD

Abstract

The Mandoul basin is undergoing significant soil transformations, stemming from human activities and climate variability. This study aims to evaluate the spatial dynamics of land cover and land use within this context. To achieve this, meteorological data from NASA (1981-2022) were analyzed using Nicholson, and Bagnous and Gaussen indices to characterize temporal climate variability. Concurrently, spatial observation data (Landsat 5 from 1998 and Landsat 8 from

2020) were subjected to supervised classification by maximum likelihood via ArcGIS 10.8 to assess land cover dynamics. Climate analyses reveal that monthly wet periods extend from May to October throughout the entire period, but interannual rainfall variability allowed for the distinction of three sub-periods : a relatively wet phase from 1981 to 1991, followed by a completely dry period from 1992 to 2011, and finally a last phase (2012-2022) marked by an upward rainfall trend. The results of land cover dynamics between 1998 and 2020 shows that savanna regressed from 4417.05 km² to 4327.03 km² and water bodies from 186.36 km² to 162.59 km². Conversely, built-up areas significantly increased by 16.76 km², and bare soils experienced a considerable increase of 2921 km². In light of these findings, it is crucial for rural development stakeholders to engage in developing and implementing an actions strategy aimed at promoting sustainable management.

Keywords: *Mandoul, Dynamics, Land Cover, Soil, variability of rainfall.*

Introduction

Les perturbations climatiques observées ces dernières décennies au Sahel couplées au développement des activités humaines induisent la destruction du couvert végétal et la dégradation des terres. En effet, la variabilité du climat, à travers ses principaux paramètres, notamment les précipitations et les températures, constitue une menace potentiellement majeure pour l'environnement (S. V. Totin et al, 2016, cité par Etene Cyr Gervais, 2021, p. 2). Les incidences de phénomènes climatiques extrêmes mettent en évidence la grande vulnérabilité et le degré élevé d'exposition de certains écosystèmes et de nombreux systèmes humains à la variabilité actuelle du climat (GIEC, 2014, p.8). Ces aléas, aux conséquences diverses, se produisent tant à l'échelle planétaire qu'en Afrique.

A l'instar de la plupart des pays de l'espace sahélien, au Tchad la variabilité climatique est une réalité. Ce phénomène se manifeste sous diverses formes et touche de nombreux secteurs dont les plus affectés sont les ressources hydriques, la végétation et les sols. Les sécheresses récurrentes ont causé des situations de déficit en eau, de dégradation de la couverture végétale ainsi que de perte de la biodiversité donnant lieu à des changements sévères des paramètres environnementaux sur toute l'étendue du territoire. (AMCC, 2017, p. 13). Aussi, « d'un milieu écologique riche avec une végétation naturelle de forêt claire, bien pourvue en faune sauvage, on est passé à un milieu "sahélisé" avec des problèmes de disponibilité de terres fertiles, de rareté de fourrage... » (F. Réounodji, 2003, cité par A. Boutna, 2012, p.5). Outre le climat, la dégradation de ces ressources est aggravée par les activités humaines comme l'agriculture, l'élevage, l'exploitation minière, la construction des bâtis. Le surpâturage, le déboisement et l'exploitation pétrolière sont des facteurs anthropiques clés qui mettent à mal la végétation dénudant de nombreuses superficies à travers le pays

(UNCCD, 2002, p.5). L'ampleur de la pratique de ces activités résulte des besoins d'une population en perpétuelle croissance.

En effet, comme à l'échelle nationale, l'analyse des données démographiques issues des différents recensements révèle une importante augmentation de la population du bassin du Mandoul. De 261477 habitants en 1968 (ED, 1968) à 471877 habitants en 1993 (RGHP, 1993), le nombre de la population est passé à 760026 habitants en 2009 (RGHP, 2009) pour atteindre, sur la base de l'estimation à partir du taux d'accroissement, 1121467 habitants en 2020. Ces différentes données mettent en évidence que la population du bassin a connu une augmentation de 495549 habitants soit un taux d'environ 191% en moins d'un demi-siècle.

Les retombées spatiales consécutives à cette dynamique démographique entraînent des changements de l'occupation de l'espace et ont fait l'objet de nombreux travaux d'étude à l'échelle tant nationale que provinciale (F. Réounodji, 2002, p.2, ONDR et ITRAD, 2009, cités par S. Allaïssem, 2016, p.79).

La présente étude vise à analyser, à travers le traitement des données d'observation spatiale, l'impact de la variabilité climatique sur la dynamique de l'occupation des terres dans le bassin du Mandoul.

1. Matériels et Méthodes

1.1. Présentation du cadre spatial d'étude

Situé au sud-ouest du Tchad, le bassin du Mandoul est compris entre les latitudes 07°51' et 09°13' Nord et les longitudes 16°53' et 18°00' Est. Couvrant une superficie de 11300 km², il est sous l'influence d'un climat soudano-guinéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche de novembre à avril et d'une saison pluvieuse de mai à octobre avec une hauteur moyenne de 1034,74 mm de précipitation annuelle. Les valeurs moyennes mensuelles thermiques varient entre 31,2°C au mois de janvier et 41,5°C au mois d'avril. Ce bassin, unité naturelle, s'étend à cheval sur deux provinces, celle du Mandoul où se localise 75,41% de la superficie du bassin d'une part et d'autre part celle du Logone oriental où l'assise spatiale du bassin est évaluée à 24, 58% de son étendue (Figure 1).

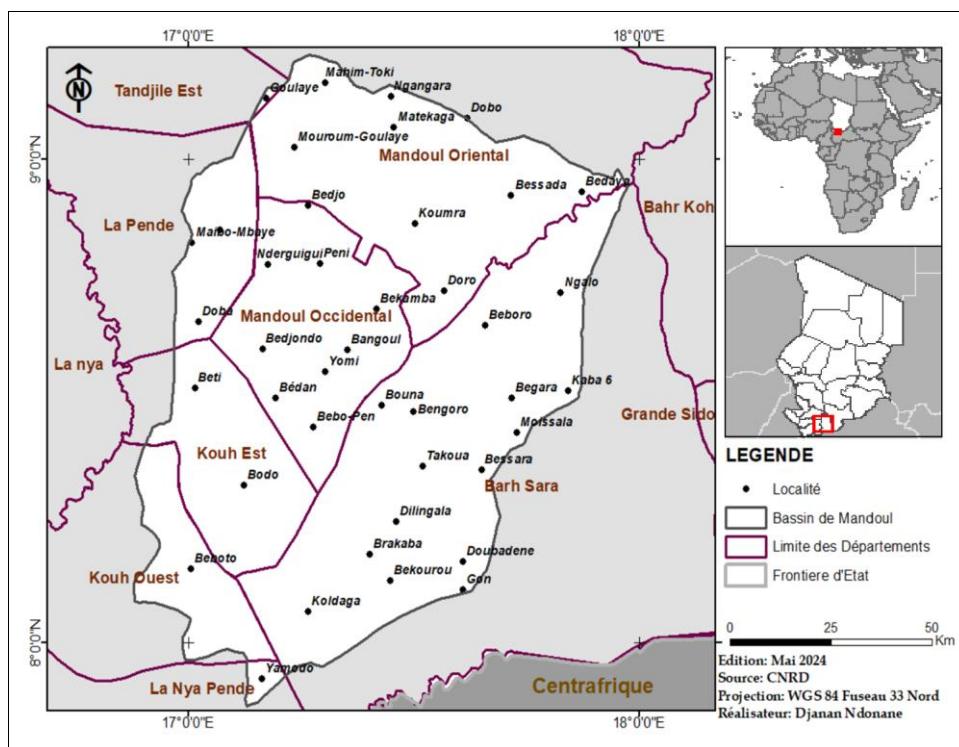


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Cette figure présente le Bassin du Mandoul composé de six départements dont le Barh Sara au sud-Est, le Kouh-Ouest et Kouh-Est au sud et sud-ouest, le Mandoul occidental au centre, la Pendé à l'Est et le Mandoul Oriental au Nord. Sur le plan administratif, ce bassin compte 31 cantons dont 6 appartiennent à la Province du Logone Oriental et les 25 autres se logent dans la Province du Mandoul. Du point de vue pédologique, le bassin du Mandoul offre d'importantes unités agro écologiques. Celles-ci sont constituées de sols allant de faciès ferralitiques des sommets des koros, ferrugineux des pentes des glacis aux sols hydromorphes des fonds des vallées, aptes à la pratique de plusieurs activités agricoles que sont l'agriculture sous pluie, de contre saison et l'élevage. Aussi, sur ces unités pédologiques, tapisse une végétation de type savanique composée de savane arborée, arbustive et herbeuse.

Selon les résultats du dernier recensement général de la population et de l'habitat, la zone d'étude compte 760026 habitants (RGPH, 2009). Sur la base du taux d'accroissement de 2009, cette population est estimée à 1121467 âmes qui s'adonnent principalement à la pratique des activités de production agricole. Les effets de la variabilité des paramètres climatiques, de concert avec ceux de ces activités ne sont pas sans conséquences sur la dynamique de l'occupation des terres du secteur d'étude.

1.2. Données climatiques

L'étude des dynamiques climatiques s'est appuyée sur des données d'observation issues de la NASA, couvrant les précipitations et les températures moyennes mensuelles sur la période 1981-2022. Ces données ont été exploitées pour analyser les variations interannuelles des précipitations, établir des relations pluvio-thermiques via l'indice de Bagnouls et Gausson, et calculer les indices de Nicholson pour les précipitations et les températures, permettant ainsi d'identifier les épisodes de sécheresse/humidité et de chaleur/fraîcheur. Ces indices climatiques ont traité sous le tableur Microsoft office Excel 2013.

1.2.1. L'indice de Bagnouls et Gausson

Cet indice établi la corrélation entre les précipitations et les températures selon les différents mois de l'année. Grâce à cet indice, les mois secs et humides ont été identifiés. Car selon cet indice, un mois est considéré comme sec lorsque sa quantité de précipitations mensuelles (P, en mm) est inférieure ou égale au double de sa température moyenne mensuelle (T, en °C). Cet indice s'exprime par la formule ci-après :

P≤2T

P= Precipitation

T= Température

1.2.2. L'indice de Nicholson

L'Indice de Nicholson est un outil statistique couramment utilisé en climatologie et hydrologie, principalement pour caractériser la variabilité interannuelle des variables climatiques telles que les précipitations ou les températures. Il permet de visualiser rapidement les périodes d'excédent (plus humide ou plus chaud que la normale) et de déficit (plus sec ou plus froid que la normale).

La formule générale est : **ISP= (Xi-X̄) /σ** Où :

- **ISP** est l'Indice de Nicholson pour l'année i.
- **Xi** est la valeur de la variable (précipitation ou température) pour l'année i.
- **X̄** est la moyenne de la variable sur la période d'étude.
- **σ** est l'écart-type de la variable sur la période d'étude.

Cet indice a permis de comprendre les facteurs climatiques (Humidité, sécheresse, chaleur et fraîcheur) sous-jacents aux évolutions de l'occupation du sol et d'évaluer la vulnérabilité des paysages et des activités humaines dans le bassin du Mandoul.

1.3. Données et Traitement de l'Observation Spatiale

Pour analyser l'occupation du sol, les données d'observation spatiale ont été obtenues auprès du gouvernement américain, spécifiquement des images Landsat 5 d'octobre 1998 et Landsat 8 d'octobre 2020. Ces données brutes ont ensuite fait l'objet d'un processus rigoureux de prétraitement et de traitement avant d'être soumises à une classification supervisée.

Le prétraitement a commencé par la composition colorée, réalisée sous le logiciel QGIS 3.18. Cette étape a consisté à assembler différentes bandes spectrales des deux satellites Landsat pour afficher les images en mode RVB (Rouge, Vert, Bleu), permettant une visualisation optimale des paysages. Une fois composées, les images ont été exportées au format GéoTIFF pour les étapes de traitement ultérieures sous ArcGIS 10.8.

La phase clé de l'analyse a été la définition des zones d'intérêt et la classification. Grâce à des relevés GPS effectués lors des travaux de terrain, des points de contrôle précis ont été obtenus. Ces coordonnées GPS ont été ensuite projetées sur les images en composition colorée. L'intégration de ces informations terrain avec la composition colorée a permis de créer une signature spectrale pour chaque type d'occupation du sol. La classification supervisée, utilisant la méthode par maximum de vraisemblance, a ensuite été appliquée. Ce processus, réalisé avec le logiciel ArcGIS 10.8, a permis de distinguer et de cartographier les différentes unités d'occupation du sol pour les deux périodes, 1998 et 2020.

2. Résultats et discussion

La méthodologie utilisée a permis d'obtenir des résultats qui sont entre autres : une forte variabilité interannuelle des précipitations induisant l'alternance des séquences sèches et humides. Le constat montre une dynamique thermique caractérisée par une tendance à la hausse vers la fin de la série. Cette augmentation légère de la température est en cohérence avec les observations du changement climatique à l'échelle régionale et planétaire. Globalement, la variabilité de ces paramètres n'est pas sans conséquences sur la dynamique d'occupation de sols du bassin marquée par l'accroissement des formations anthropiques au détriment de celles naturelles.

2.1. Bassin du Mandoul, unité spatiale s'étendant sur deux zones agroécologiques

Etiré en latitude, le Tchad compte six zones agroécologiques allant de la zone saharienne à la zone guinéenne. Ces différentes zones ont chacune une caractéristique climatique et hydrologique spécifique. La figure 2 présente les zones agroécologiques du Tchad parmi lesquelles deux servent de cadre spatial où se localise le bassin du Mandoul.

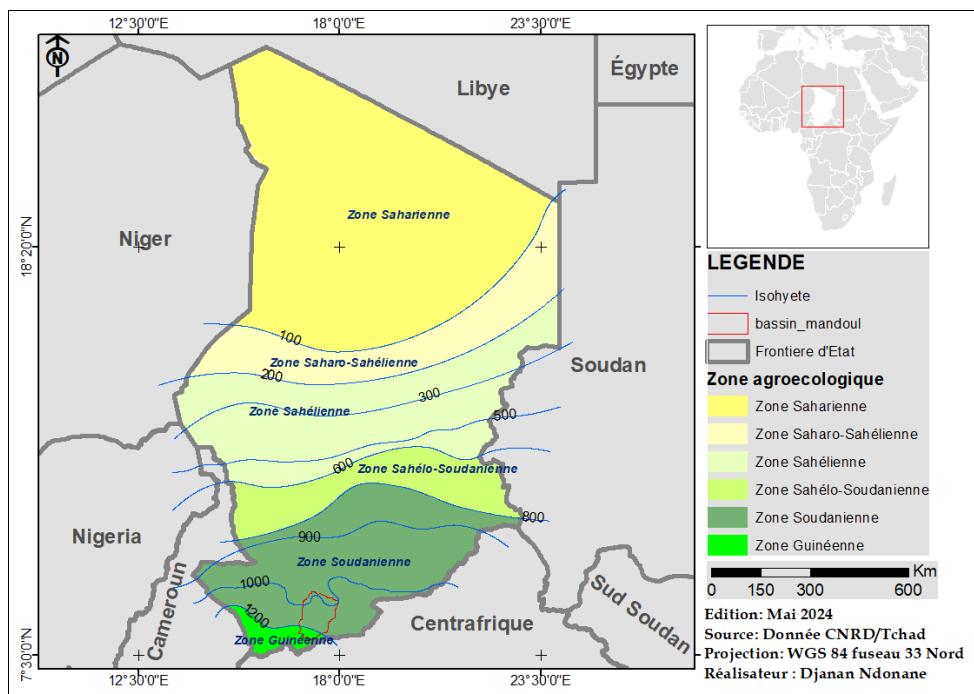


Figure 2: Répartition des zones agroécologiques du Tchad

Il ressort de la figure 2 que le bassin du Mandoul est positionné dans la partie sud du Tchad, chevauchant deux zones agroécologiques distinctes dont l'une est la zone Guinéenne et l'autre la zone Soudanienne. La majorité du bassin se trouve dans la zone soudanienne, caractérisée par les isohyètes de 1000 et 1200 mm, indiquant des précipitations annuelles abondantes, propices à des systèmes agricoles diversifiés et des forêts claires. Sa partie sud-est s'étend sur la zone guinéenne, où les précipitations annuelles sont au-delà de 1200 mm. Cette double appartenance climatique confère au bassin du Mandoul des paramètres favorables à la transformation des unités d'occupation du sol.

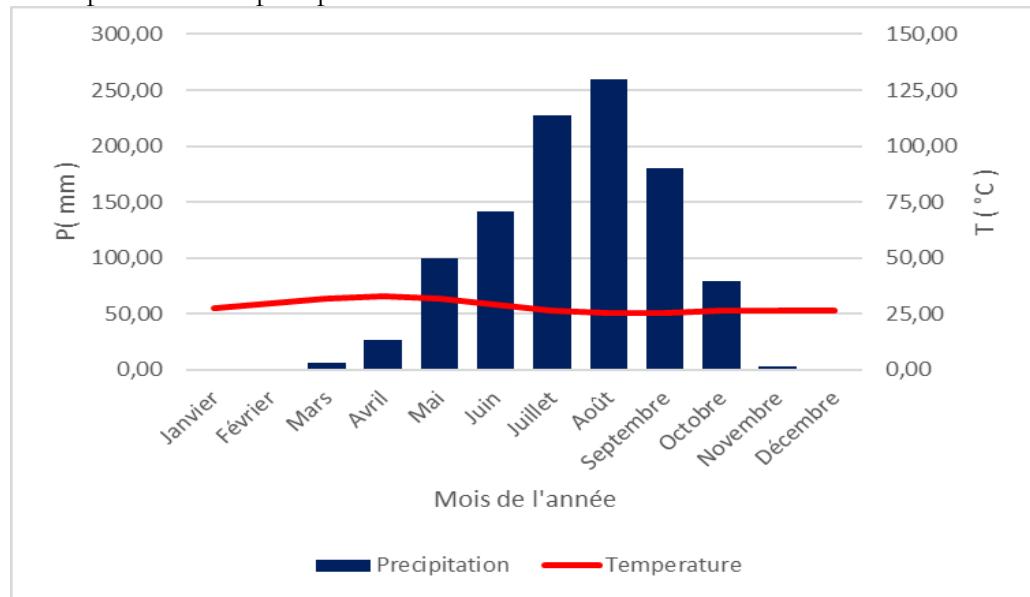
2.2. Caractérisation de la dynamique climatique

Les précipitations constituent l'un des éléments climatiques dont la variabilité permet d'apprécier les notions d'humidité et de sécheresse. L'une des particularités du climat de la zone soudano-guinéenne est la variabilité spatiotemporelle. Les alternances saisonnières dans cette bande climatique sont caractérisées par des périodes humides et sèches.

2.2.1. Un climat à deux saisons dans le Bassin du Mandoul

A l'instar des autres localités du Tchad, le bassin du Mandoul est sous l'influence du mécanisme de la Mousson. Ce phénomène détermine deux saisons dont l'une est humide et l'autre sèche. Cette variation saisonnière impacte les activités anthropiques ayant comme conséquences la transformation des variables

d'occupation des terres. La figure 3 montre cette situation en mettant en relation la température et la précipitation de 1981 à 2022 dans ledit bassin.



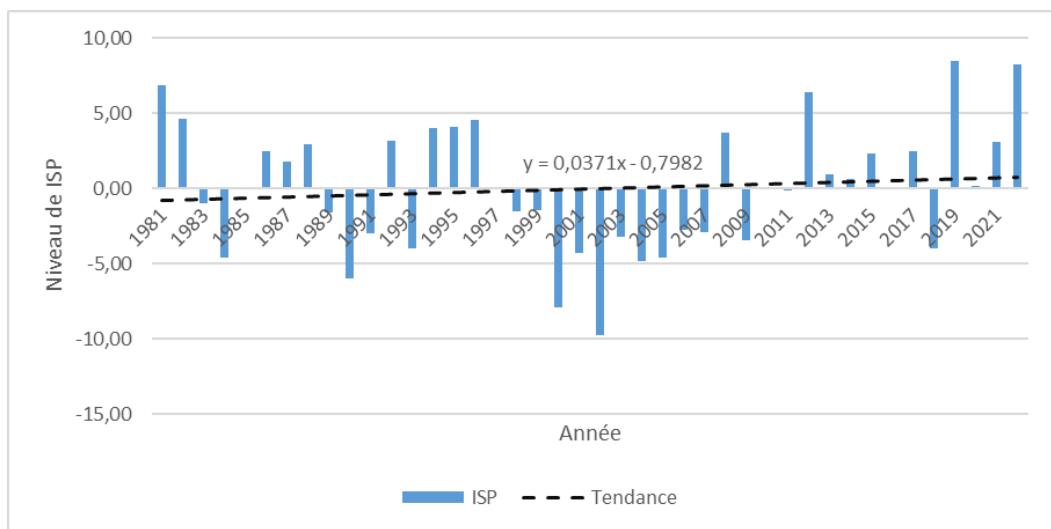
Source : Données de la NASA, 2022

Figure 3: Courbe ombrothermique du bassin de la période allant 1981 à 2022

La figure 3 présente le diagramme ombrothermique du bassin du Mandoul pour la période 1981-2022. Elle révèle que le secteur d'étude est sous un climat de type soudanien caractérisé par des températures annuelles élevées et relativement stables (autour de 25-30°C), avec une faible amplitude thermique. Aussi, il ressort de la lecture de la figure que la saison sèche, s'étendant d'octobre à avril, est celle durant laquelle les précipitations sont quasi nulles. Inversement, la saison des pluies est clairement définie et concentrée sur cinq mois, de mai à septembre, avec un pic de précipitations dépassant 250 mm en août. Cette répartition des précipitations est cruciale dans le bassin du Mandoul où les activités économiques sont dominées par les pratiques agricoles extensives, sources de transformation du paysage.

2.2.2. Des périodes d'humidité et de sécheresse identiques dans le bassin du Mandoul

La figure 4 issue du traitement des données pluviométriques met en évidence non simplement l'alternance des périodes humides et des périodes sèches, mais aussi la variabilité des précipitations d'une année à l'autre dans le bassin du Mandoul.



Source : Données de la NASA, 2022

Figure 4: Variation interannuelle de ISP entre 1981 à 2022

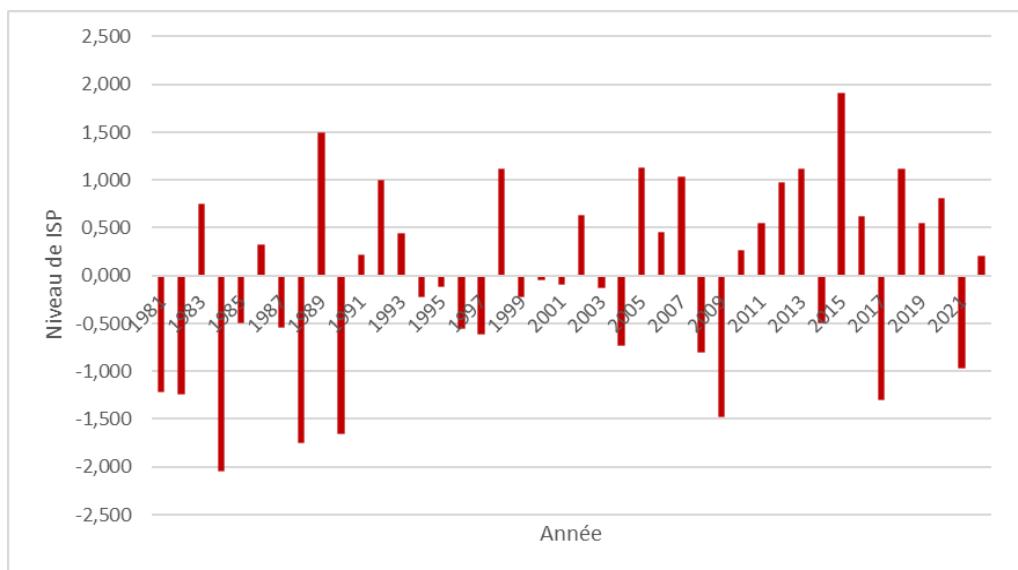
L'Indice Standardisé de Précipitations (ISP) de Nicholson pour le bassin du Mandoul met en lumière une forte variabilité pluviométrique. Les années 1980 et le début des années 2000 ont été caractérisés par des sécheresses sévères, avec des pics critiques en 1983-1984, 1989 et surtout en 2004 (ISP proche de -10), reflétant les grandes sécheresses sahéliennes.

Toutefois, une amélioration temporaire a été observée au milieu des années 1990, avec des ISP positifs. A partir de 2009, la tendance s'est inversée, marquant une prédominance d'années humides. Les années 2012, 2019, 2021 et 2022 ont enregistré des ISP très élevés (proches ou dépassant +5), synonymes de précipitations exceptionnellement abondantes, voire d'inondations.

Cette succession d'épisodes de sécheresses et d'extrêmes humides accentue la vulnérabilité du bassin du Mandoul, traduisant une intensification des phénomènes climatiques extrêmes en accord avec les observations du changement climatique au Sahel. Cette vulnérabilité s'appréhende à travers la dégradation de la couverture végétale et des sols induisant une évolution dans l'occupation de l'espace marquée par la mise en valeur agricole des terroirs dépressionnaires.

2.2.3. Des variations thermiques de plus en plus évolutives dans le bassin du Mandoul

La figure 5 met en relief la variabilité interannuelle des précipitations dans le bassin du Mandoul de 1981 à 2022. Les valeurs de l'ISP, qu'elles soient positives ou négatives, traduisent respectivement des périodes humides ou sèches. Celles-ci permettent de visualiser les fluctuations thermiques et leurs impacts potentiels sur les ressources en eau et les écosystèmes du bassin.



Source : Données de la NASA, 2022

Figure 5: Indice de température de 1981 et 2022

La figure 5 présente l'évolution des anomalies thermiques dans le bassin du Mandoul entre 1981 et 2022, à travers l'Indice de Nicholson. Les premières décennies (1981-2010) ont montré une alternance d'années froides et chaudes, avec des épisodes particulièrement froids comme en 1984 (au-delà de -2). Des déficits thermiques notables ont également été observés au début des années 2000.

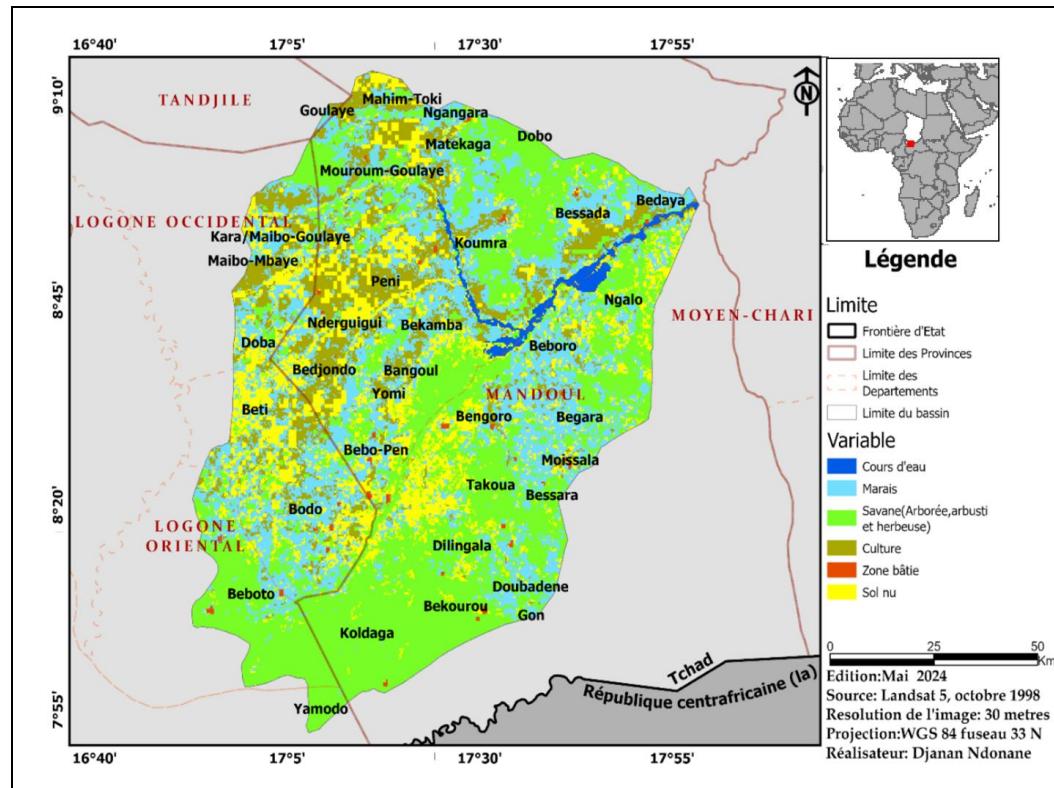
Cependant, une rupture s'opère après 2010, marquant une tendance nette vers le réchauffement. À partir de 2011, la majorité des années affichent des températures supérieures à la moyenne, avec des pics de chaleur intense en 2015 et 2019-2020. Cette tendance générale au réchauffement sur la dernière décennie est cohérente avec les observations climatiques régionales et globales. Cette hausse a des implications directes sur l'évapotranspiration, les ressources en eau et les conditions de vie dans le bassin. Cette tendance au réchauffement, couplée à la variation des précipitations est à l'origine de l'engouement manifesté par les exploitants agricoles de la zone d'étude pour les terroirs de bas-fond (M. Djangrang et al, 2024, p. 273).

2.3. Variable spatiale d'unité d'occupation du sol dans le bassin du Mandoul

A l'instar des terroirs des zones de savane du Tchad, celui du bassin du Mandoul a subi des transformations liées non seulement l'accroissement démographique mais également à la variabilité du climat. L'analyse comparée de l'occupation de l'espace entre deux périodes (1998 et 2020), à partir des données de l'observation spatiale, a mis en évidence les changements subis par le secteur d'investigation au cours des deux dernières décennies.

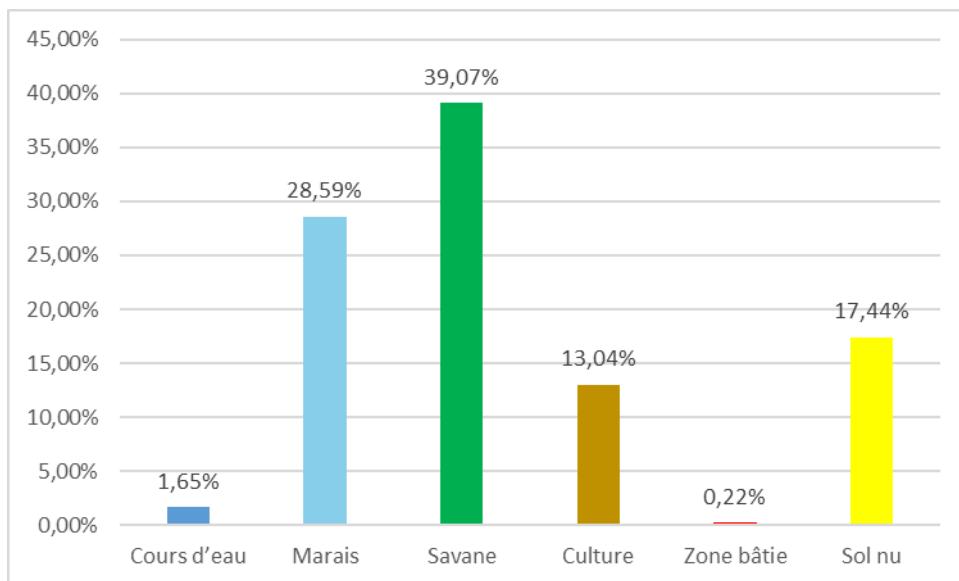
2.3.1. Une végétation dominante au Sud et Sud-Est du bassin en 1998

Dans le bassin de Mandoul, en 1998, la carte d'occupation du sol révèle une végétation majoritairement dominée par la savane (arborée, arbustive et herbeuse), particulièrement dans les régions sud et sud-est. Cette couverture végétale extensive est représentée en vert clair, suggérant des écosystèmes naturels relativement préservés à cette époque. Cette prédominance de la savane indique un environnement abritant une biodiversité significative. Bien que des zones de culture (en jaune) soient également présentes, notamment autour des zones d'habitation et des cours d'eau, leur étendue semble moindre par rapport aux vastes étendues de savane dans ces parties du bassin, ce qui met en lumière l'importance des ressources naturelles à la fin des années 1990 dans le bassin du Mandoul. La figure 6 met en exergue les unités d'occupation du sol en 1998 dans le bassin du Mandoul.



Cette figure présente les différentes unités d'occupation du sol. Il ressort de celle-ci que les variables d'occupation du sol sont dominées par la savane (arborée, arbustive et herbeuse), s'étendant largement autour de la plupart des localités comme Koumra, Bédjondo, et Moïssala, ce qui indique une végétation naturelle prépondérante. Les zones de culture sont également très présentes et dispersées, notamment autour de localités comme Békamba, Maïbo-Mbaya,

Peni, et Doba, témoignant d'une activité agricole significative mais fragmentée. Les cours d'eau et marais sont concentrés le long des axes fluviaux, particulièrement visibles au nord-est du bassin et autour de localités telles que Bessada et Beboro. En revanche, les sols nus et les zones bâties sont très peu représentés, apparaissant de manière ponctuelle et limitée, suggérant une faible urbanisation et une occupation du sol majoritairement naturelle ou agricole diffuse. La figure 7 met en évidence les différentes unités d'occupations du sol en 1998 dans le bassin du Mandoul.



Source : traitement des données de Landsat 5 d'octobre 1998

Figure 7 : Répartition statistique des unités d'occupation du sol en 1998

La figure 7 met en exergue la répartition des différents types d'occupation du sol dans le bassin de Mandoul en 1998. Exprimée en pourcentage, cette répartition offre une vision claire de la prédominance des écosystèmes naturels à cette époque, tout en soulignant la présence des activités humaines.

Le bassin du Mandoul était largement dominé par les formations végétales naturelles en 1998. Ainsi figure la savane qui constitue le type d'occupation du sol le plus étendu, couvrant près de 39,07% de la superficie totale. Cette proportion significative de savane (arborée, arbustive ou herbeuse) met effectivement en évidence l'importance des écosystèmes naturels dans le bassin. Les marais représentaient également une part substantielle de l'occupation du sol, avec 28,59%, attestant la présence de zones humides et potentiellement inondables, vitales pour la biodiversité et certaines activités agro-pastorales spécifiques.

Les activités humaines, bien que présentes, occupaient une proportion moindre. Les zones de culture représentaient 13,04% du bassin, indiquant une activité agricole relativement modérée par rapport à l'étendue des espaces naturels, mais

concentrée sur des terres fertiles. Les sols nus, avec 17,44%, suggèrent des zones dégradées, érodées ou non végétalisées, pouvant être le résultat de processus naturels ou d'une pression anthropique localisée. Enfin, les cours d'eau ne couvraient qu'une faible proportion de 1,65%, tandis que les zones bâties étaient marginales avec seulement 0,22%, prouvant un faible niveau d'urbanisation à cette date.

En somme, le bassin du Mandoul en 1998 se caractérisait par un paysage dominé par les écosystèmes naturels de savanes et de zones humides, avec des activités agricoles et des sols nus occupant des parts significatives mais moindres. La très faible proportion des zones bâties reflète une population majoritairement rurale et dispersée. Cette composition de l'occupation du sol en 1998 met en évidence un écosystème relativement intact mais potentiellement vulnérable aux dynamiques futures de croissance démographique et de changement climatique, facteurs de transformation du milieu.

2.3.2. Des unités d'occupation spatiale dominées par les sols-nus

Contrairement aux unités d'occupation de sols de 1998, celles de 2020 sont prédominées par les sols nus dont l'emprise spatiale couvre 43,28% de l'aire du bassin.

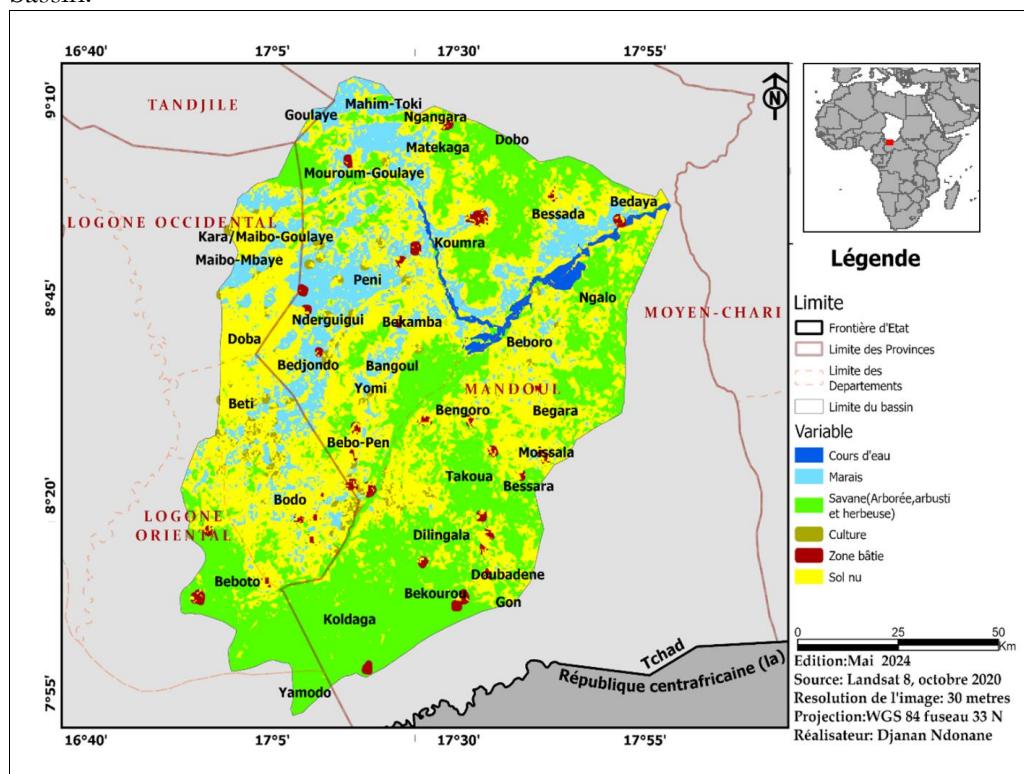
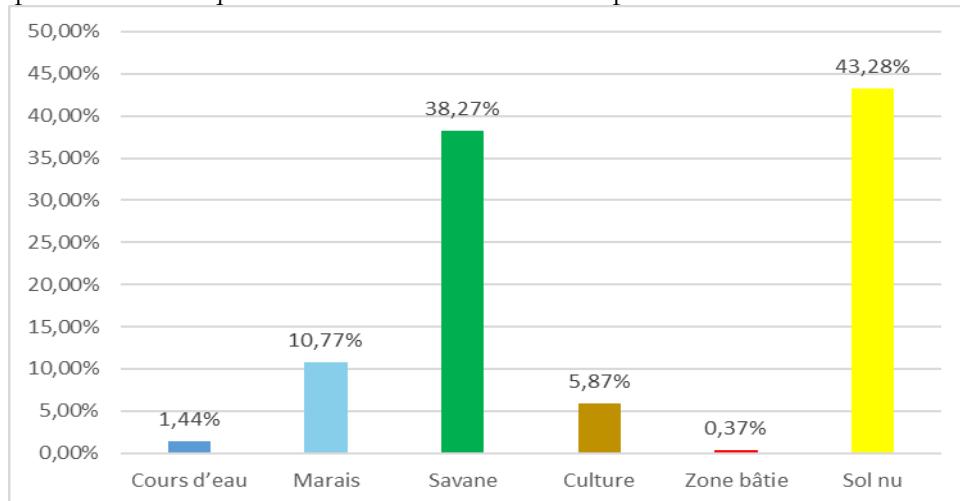


Figure 8 : Occupation du sol dans le bassin du Mandoul en 2020

La figure 8 met en évidence une occupation du sol où la savane est la formation dominante, encerclant la majorité des localités et indiquant un environnement

largement naturel. Il en est de même pour les sols nus. Les zones de culture sont omniprésentes et fragmentées autour des villages et villes comme Koumra ou Doba, révélant une agriculture étendue. Les plans et cours d'eau sont concentrés le long des réseaux hydrographiques. En revanche, les zones bâties sont marginales et très localisées, reflétant une faible urbanisation et une prépondérance des espaces naturels ou agricoles. La figure 9 présente la répartition statistique des différentes unités d'occupation du sol de ladite année.



Source : traitement des données de Landsat 8 ETM+ d'octobre 2020

Figure 9 : Répartition des unités d'occupation du sol en 2020

La figure 9 présente la répartition de l'occupation du sol dans le bassin du Mandoul en 2020, offrant une image des transformations intervenues depuis les observations antérieures. On observe une reconfiguration significative du paysage, marquée par un déclin des éléments naturels et une augmentation des zones non végétalisées.

En 2020, la savane demeure la couverture la plus étendue avec 38,27%, mais cette part est légèrement inférieure à celle observée en 1998, suggérant une pression continue sur ces écosystèmes naturels. Le déclin le plus frappant concerne les marais, dont la proportion a considérablement chuté à 10,77%. Cette diminution drastique des zones humides est préoccupante, indiquant potentiellement un assèchement ou une conversion de ces espaces. Parallèlement, la part des cours d'eau reste relativement stable à 1,44%, tandis que les zones bâties, bien que toujours marginales, ont très légèrement augmenté pour atteindre 0,37%.

L'aspect le plus saillant de l'occupation du sol en 2020 est l'explosion de la surface des sols nus, qui représentent désormais 43,28% du bassin. Cette augmentation massive par rapport aux années précédentes (17,44% en 1998) est alarmante et indique une dégradation environnementale significative, potentiellement liée à la désertification, à l'érosion accrue ou à l'abandon de terres agricoles. Contrairement à cette expansion des sols nus, la proportion de cultures a diminué à

5,87%. Cette réduction des terres cultivées, combinée à l'augmentation des sols nus, suggère des défis pour l'agriculture locale, à cause de l'infertilité croissante des sols, de l'abandon de terres face aux aléas climatiques et à la pression foncière. Cette dynamique d'occupation du sol en 2020 met en évidence une forte dégradation des ressources naturelles et des défis croissants pour la résilience agro-environnementale du bassin du Mandoul.

2.3.3. Des variations des unités d'occupation dynamique entre 1998 et 2020 dans le bassin du Mandoul

Au cours des deux périodes (1998 et 2020), les unités d'occupation dans le bassin du Mandoul ont subi de fortes transformations caractérisées par des progressions et des régressions présentées à travers le tableau 1.

Tableau I : Répartition statistique de la dynamique d'occupation du sol entre 1998 et 2020

Variable	Superficie 1998	Proportion 1998	Superficie 2020	Proportion2020	Variation surfacique 1998-2020
Cours d'eau	186,36	1,65%	162,593	1,44%	-23,767
Marais	3232,218965	28,59%	1218,111	10,77%	-2014,107965
Savane	4417,053618	39,07%	4327,032	38,27%	-90,021618
Culture	1474,110122	13,04%	663,16	5,87%	-810,950122
Zone bâtie	24,5678	0,22%	41,336	0,37%	16,7682
Sol nu	1971,635967	17,44%	4893,386	43,28%	2921,750033
Total	11305,94647	100,00%	11305,618	100,00%	

Source : Traitement des données de Landsat 5 de 1998 et Landsat 8 de 2020

Le tableau 1 synthétise l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin du Mandoul sur une période de 22 ans (1998-2020), en présentant les superficies et les proportions de chaque catégorie. La constance de la superficie totale du bassin (environ 11305 km²) sur les deux dates permet une comparaison directe et pertinente des dynamiques. La dernière colonne, "Variation surfacique entre 1998-2020 en Km²", est particulièrement éclairante, car elle quantifie précisément les changements absolus pour chaque type d'occupation du sol.

La période étudiée révèle une régression majeure des écosystèmes naturels et des terres cultivées. Les marais ont subi la perte la plus spectaculaire, diminuant de plus de 2014 km², soit une réduction de 62,3% de leur surface initiale. Cette dégradation massive des zones humides est alarmante et suggère un assèchement important ou une conversion des terres. Les cultures ont également connu une chute de 810,95 km², représentant une perte d'environ 55% de leurs surfaces cultivées, ce qui indique de sérieux défis pour l'agriculture locale. La savane, bien que restant la catégorie la plus étendue en 2020, a également régressé de 90 km², et les cours d'eau ont légèrement diminué. Cette réduction trouve ses explications dans la pression exercée sur les ressources naturelles par une population en perpétuelle croissance.

Contrairement à ces régressions, le tableau met en évidence une progression alarmante des sols nus. Leur superficie a explosé, augmentant de 2921,75 km², soit une hausse de 148%, les plaçant comme la catégorie dominante en 2020. Cette expansion massive des sols nus est un indicateur critique de dégradation

des terres, de désertification et/ou d'érosion accélérée. Enfin, les zones bâties, bien que ne représentant qu'une petite proportion du bassin, ont augmenté de près de 17 km², soit une hausse de 68%, reflétant une urbanisation progressive. En conclusion, l'évolution de l'occupation du sol entre 1998 et 2020 dans le bassin du Mandoul dessine un tableau préoccupant de dégradation environnementale sévère, où la perte d'écosystèmes clés et de terres productives est largement compensée par une vaste étendue de sols nus, ce qui pose des défis majeurs pour la résilience écologique et le développement durable du bassin. Ces résultats ne peuvent être scientifiquement pertinents que s'ils sont confrontés à ceux des autres auteurs.

2.4. Discussion

Le climat soudanien présente deux saisons dont l'une est sèche et l'autre humide. Ces différentes saisons jouent un rôle déterminant sur la transformation des unités d'occupation du sol dans la zone soudanienne en général et plus particulièrement dans le bassin du Mandoul. Cette zone, selon la répartition des zones climatiques du Tchad, appartient au domaine soudano-guinéen avec deux saisons nettement différenciées dans l'année à savoir la saison sèche et la saison des pluies suivant les variations climatiques du pays (M. Ndoutorlengar, 2011, p.54, A). Ce résultat relatif à la division de l'année en deux saisons distinctes est similaire aux travaux de A. Bedoum et *al*, 2014, p.16, selon lesquels « le Sud du Tchad forme une zone très vaste aux reliefs très variés, marqué par une saison sèche qui débute d'octobre à avril et une saison de pluie de mai à septembre.

Cette alternance saisonnière n'est pas sans effets sur la transformation de l'occupation du sol dans le bassin du Mandoul. Les variations interannuelles prononcées des précipitations, incluant des périodes de sécheresse comme celles observées au début des années 2000, et la tendance générale au réchauffement, se traduisent par une pression accrue sur les ressources naturelles. De ce fait, le résultat de cette recherche montrant que les variations climatiques influent sur le cadre environnemental avec le recul des zones cultivables, des cours d'eau ainsi qu'une croissance rapide des sols-nus et des zones humanisées est en phase avec les travaux des ONG OSS et GTZ (2007), cités par A. Denenodji (2018, p.6). En effet, le résultat de ces organisations révèle que le changement climatique se traduit par une réduction de la pluviométrie qui accélère la dégradation du couvert végétal et favorise l'érosion, accélérant ainsi les mécanismes de désertification. Ce constat a été observé par Djangrang M. (2011, p.169) démontrant que les terres des plaines qui étaient destinées au pâturage des bétails de quelques rares nomades, sont prises d'assaut par les agriculteurs en quête des terres humides.

En plus de ce constat, nos résultats montrent que les années de sécheresses s'étalent à la décennie 1997 avec des précipitations oscillant entre 580 à 800 mm menaçant ainsi les activités culturelles. Abordant dans la même logique, S. Allaïssem (2016, p.6) montre qu'au cours de ces cinquante dernières années, les

sécheresses sont devenues plus récurrentes et la sécurité alimentaire est menacée, ce qui oblige les populations à cultiver des terres peu productives. Outre son influence significative sur les activités culturelles, le climat joue un rôle important dans la transformation de l'occupation du sol dans le bassin du Mandoul. En effet, les résultats de cette recherche attestent qu'au cours des deux dernières décennies, l'environnement dudit bassin a subi plusieurs modifications dont la progression rapide des sols-nus et des zones humanisées. Ces conclusions sont partagées par S. Allaïssem (2016, p.6) qui souligne que la réduction de la couverture végétale s'observe d'une manière générale à proximité des villages et des villes, près des forages, des mares et dans les vallées, exposant ainsi les sols et aggravant les effets de la sécheresse. Dans le même ordre d'idée, Abdoulaye (2012) cité par A. Dénénodji (2018, p.333) affirme que les formations végétales naturelles composées de forêts galeries, de forêts denses semi-décidues, de forêts claires et de savanes boisées, de savanes arborées et arbustives ont régressé, passant de 1.329.133 à 1.104.400 ha. En outre, les variations temporelles du climat induisent les changements des cultures et à la conquête des terres productives. Cette situation est constatée par R. Gouataine Seingue (2018, p.259) qui souligne que les effets des variabilités pluviométriques sur les systèmes végétatifs sont aussi confirmés lorsqu'on s'en tient aux mauvaises productions agricoles obtenues pendant les années déficitaires et aussi pendant les années dont les pluies sont extrêmes. Cependant les résultats de cette investigation selon lesquels les unités de cultures ont connu une régression significative sont contraires à ceux menés par B. Guibert & L. Kakiang, 2011, p.38 puis ONDR et ITRAD, 2009, cités par S. Allaïssem, 2016, p.79). Selon ces auteurs, la mise en valeur agricole du bassin de Mandoul, facilitée par le développement de la culture attelée, a connu une progression constante.

Conclusion

La présente étude a permis d'évaluer la variabilité climatique et la dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans le bassin du Mandoul. Elle a été effectuée grâce aux données météorologiques d'une part et d'autres part aux données d'observation spatiale. Ainsi, les précipitations annuelles montrent une remontée progressive, bien que ponctuée par des années encore très déficitaires, comme celle de 2002 où la hauteur annuelle a chuté en dessous de 600 mm, indiquant une période de sécheresse marquée. La dernière décennie de la série présente une tendance générale vers des hauteurs de précipitations plus élevées, avec des pics importants, dépassant les 1300 mm en 2012 et avoisinant les 1400 mm en 2020. Il résulte de cette variation climatique une dégradation de l'environnement qui induit des mutations dans l'occupation du sol. L'analyse révèle que les marais ont subi la perte la plus spectaculaire, diminuant de plus de 2014 km², soit une réduction de 62,3% de leur surface initiale. La savane, bien

qu'elle reste l'unité la plus étendue en 2020, a subi une régression de 90 km², et les cours d'eau ont connu une diminution légère de leur lit liée à l'exploitation agricole, soulignant une pression sur les ressources naturelles. Ces résultats suggèrent la mise en place d'une stratégie d'actions concertées pour promouvoir un développement durable dans le bassin du Mandoul.

Références bibliographiques

- ALLAÏSSEM Siadmadji, 2016, *Vulnérabilité et adaptation des activités agropastorales à la variabilité climatique dans la région du Mandoul au Tchad*. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé/Cameroun, 334 p.
- AMCC, 2017, *Stratégie nationale de lutte contre les changements climatiques au Tchad*, Rapport, 55 p.
- BEDOUM Abdoulaye, BOUKA BIONA Clobite, ALLADOUM Mbanghogninan, ADOUM Issak et BAOHOUTOU Laohoté, 2014, « Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au sud du Tchad : Effets du changement climatique », *Rev. Sci. Technol.*, 23 (2014), pp.13-30.
- BOUTNA André, 2012, *Dynamique des systèmes agraires et des modes de gestion de l'espace dans le bassin du Mayo-Kebbi (Sud-ouest du Tchad)*. Thèse de Doctorat, Université de Lomé, 394 p.
- DENENODJI Antoinette, 2018, *Variabilité des crues et évolution des agricultures dans la vallée inférieure du fleuve Logone au sud-ouest du Tchad*. Thèse de Doctorat, Université de Maroua/Cameroun, 425 p.
- ETENE CYR Gervais, 2021, « Changement climatique et dégradation des terres agricoles autour des petits lacs du plateau de Zagnanado au Bénin », *Annales de l'Université de Moundou*, Série A-FLASH Vol.8(4), pp. 221-251.
- GIEC, 2014, Changements climatique, rapport de synthèse, 180 p.
- GOUATAINE SEINGUE Romain, 2018, *Effets des variabilités pluviométriques sur les systèmes de culture et adaptations des Agriculteurs dans la plaine du Mayo Kebbi (Sud-Ouest du Tchad)*. Thèse de doctorat, Université de Maroua/Cameroun, 308 p.
- GUIBERT Bertrand et KAKIANG Lagnaba, 2011, *Potentialités et contraintes du développement rural dans les régions du Tchad Central, Oriental et Méridional (Guéra, Wadi Fira, Ouaddaï, Dar Sila, Salamat, Moyen-Char et Mandoul)*, (IRAM), rapport, version définitive, 66 p.
- NDOUTORLENGAR Médard, 2011, *Coton face à l'arachide dans le Mandoul au Tchad*. Thèse de doctorat, Université de Ngaoundéré/Cameroun, 274 p.
- REOUNODJI Frédéric 2002, « Pratiques agro-sylvo-pastorales et stratégies de gestion des ressources naturelles dans les savanes du Tchad : une étude de cas réalisée dans le terroir de Ngoko ». *Actes du colloque, Garoua*, Cameroun, 9p. hal-00135801
- REOUNODJI Frédéric 2003. *Espaces, sociétés rurales et pratiques de gestion des ressources naturelles dans le sud-ouest du Tchad. Vers une intégration agriculture-élevage*. Thèse de doctorat, Université de Paris I/Panthéon-Sorbonne, 468p.

RGPH₂, 2009. *Recensement General de la population et de l'Habitat : Rapport*, INSEED, 121 p.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION, 2002, *Rapport pays sur la neutralité de la dégradation des Terres*, 61p.