UNIVERSITE DE N'DJAMENA
****
SECRETARIAT GENERAL
****
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
ET APPLIQUEES DE FARCHA
****
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE
****
MASTER HYDROSIG

جامعة انجمينا
****
الأمانة العامة
****
كلية العلوم التطبيقية والبحتة
****
قسم الجيولوجيا
****
ما جيستر هايدرو سيك

MEMOIRE

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE MATER EN HYDROGEOLOGIE ET SYSTEME D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES

THEME :

Influence du changement climatique sur le pastoralisme : productivité et disponibilité des puits pastoraux dans le département de Batha Ouest.

Présenté et soutenu le 18 Juin 2024
Par
DJOISSI NGARO Christophe
Matricule : 0188012218680

Sous l'encadrement
Dr. OUYA BONDORO
Chef de service de télédétection au CNRD

Devant un Jury composé de :

Président :	MC. NGINAMBAYE MBERDOUM M.	*Université de Ndjamena*
Examinateur :	Dr. YACOUB ABDALLAH NASSOUR	*Université de Ndjamena*
Rapporteur :	Dr. OUYA BONDORO, *chef de service de la télédétection au CNRD*	

Année Académique 2022-2023

DEDICACES

Je dédie ce mémoire

- A la grande famille Hinsidi pour son encouragement et la confiance placée en ma modeste personne.
- A mon épouse DJOUNDA Docksou et mes enfants qui ont supporté deux ans d'absence d'amour paternel.

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je voudrais remercier DIEU, le Créateur pour sa grâce et avoir rendu possible cet ouvrage.

Je réserve cette page pour exprimer toute ma reconnaissance à toutes celles et tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la mise en œuvre et à la réussite du présent travail. Personnes physiques ou morales, qu'elles soient toutes remerciées. Je voudrais cependant plus spécifiquement remercier :

- Dr. OUYA Bondoro, enseignant chercheur, chef de service de la télédétection au centre national de recherches et du développement et Pr. MAHAMAT Barka, qui ont bien voulu encadrer ce travail de recherche en dépit de leurs multiples occupations. Leurs conseils, suggestions et assistance scientifique m'ont donné confiance pour parachever cet ouvrage ;
- Aux membres de jury, merci d'avoir accepté de juger ce travail ;
- Aux responsables du Master HydroSIG en la personne de Dr. LOUKMAN Bichara, YACOUB Ousmane et KLATOLNA Christian, qu'ils reçoivent ici nos sincères remerciements ;
- A nos enseignants qui ont donné le meilleur d'eux-mêmes pendant notre formation ;
- Aux responsables du projet ACCEPT pour m'avoir accordé un stage pendant lequel, j'ai bénéficié de plusieurs missions de terrain ;
- A M. HAÏWANG Djaklessam de l'IRED, M. Constant AHMAT du projet PRAPS, M. DJIMADOUM Djialta du projet PASTOR, pour leurs contributions, encouragements et soutiens dans la réalisation de cet ouvrage ;
- A mon grand-frère DOUKSOUNA Ngaro ; DJODJORIA Basile et son épouse NAÏM Adeline pour leur soutien dans l'aboutissement de notre formation ;
- A mon père NGARO Nestor et ma mère NDOUMBA Denise pour avoir guidé mes premiers pas dans la vie et fait de moi l'homme que je suis ;
- A mes frères et sœurs, cousins et cousines pour leur soutien indéfectible ;
- A tous mes collègues de la 7^{e} promotion de Master HydroSIG pour ce temps de dur labeur passé ensemble ;

- A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce travail ;

Puisse le Seigneur Tout Puissant rendre à chacun au centuple.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES ..... **i**
REMERCIEMENT ..... **ii**
TABLE DES MATIERES ..... **iv**
LISTE DES FIGURES ..... **vii**
LISTE DE TABLEAUX ..... **ix**
LISTE DES PHOTOS ..... **x**
ABREVIATIONS ..... **xi**
RESUME ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
INTRODUCTION **1**
I. GENERALITES **3**
I.1 Contexte géographique et socio-économique 3
I.1.1 Situation géographique du Tchad 3
I.1.2 Localisation de la zone d'étude 3
I.1.3 Contexte socio-économique 4
I.1.3.1 Population 4
I.1.3.2 Activités économiques 4
I.1.4 Contexte climatique 5
I.1.4.1 Les précipitations 6
I.1.4.2 Température 7
I.1.4.3 Evaporation 8
I.1.4.4 Humidité relative 9
I.1.4.5 Ensoleillement 9
I.1.5 Pédologie 10
I.1.6 Végétation 11
I.1.7 Géologie 12
I.1.8 Hydrographie 13
I.1.9 Contexte hydrogéologique 14
I.1.9.1 Aquifère du quaternaire 14
I.1.9.2 Aquifère du pliocène 15
I.1.9.3 Aquifère du Continental terminal 15
I.2 Concept du changement climatique 16
I.2.1 Changement climatique 16
I.2.2 Causes du changement climatique 16

I.2.2.1 Causes naturelles 16
I.2.2.2 Causes anthropiques 16
I.2.3 Les prédictions sur l'évolution du climat 16
I.2.4 Impact du changement climatique sur le pastoralisme 17
I.2.5 Impact sur la ressource en eau et ressource fourragère 18
I.2.6 Perception du changement climatique par les pasteurs 19
I.2.7 Vulnérabilité des pasteurs face aux changement climatique 19
II. MATERIEL ET METHODES 21
II.1 Matériel 21
II.2 Méthodes 21
II.2.1 Localisation des puits pastoraux 21
II.2.2 Méthodologie 22
II.2.2.1 Exploitation documentaire 22
II.2.2.2 Travaux de terrain 22
II.2.2.3 Détermination de variation de niveau de la nappe d'eau souterraine 25
II.2.2.4 Traitement et analyse des données 26
II.2.2.5 Disponibilité des puits pastoraux 26
II.2.2.6 Acquisition des images satellitaires 27
II.2.2.7 Enquête sur la perception des éleveurs du changement climatique 30
III. RESULTATS 32
III.1 Analyse des éléments climatiques 32
III.1.1 Régime pluviométrique et évaporation 33
III.1.1.1 Anomalie pluviométrique 34
III.1.1.2 Variabilité et tendance thermométrique 34
III.2 Détermination de la variation de niveau de la nappe d'eau souterraine 35
III.2.1 Relation entre précipitation et niveau piézométrique 36
III.3 Disponibilité des puits pastoraux 37
III.3.1 Evaluation de besoin en puits pastoraux 37
III.4 Evolution de l'occupation de sol de 1990-2020 38
III.5 Opinion des pasteurs sur l'influence de changement climatique sur la ressource en eau 40
III.5.1 Stratégies locales d'adaptation aux changements et à la variabilité climatique 42
III.5.2 Diversification des espèces 42
III.5.3 La mobilité des bétails 43
IV. DISCUSSION 44
CONCLUSION 47

RECOMMANDATIONS 48
V. BIBLIOGRAPHIE 49
ANNEXES I I
ANNEXE II II
ANNEXE III VI
ANNEXE IV IX

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude 3

Figure 2: Carte climatique du Tchad (source P-SIDRAT.2013) 5

Figure 3: Variation de la moyenne mensuelle de précipitation (source ANAM.2020) 6

Figure 4: Variation interannuelle de la précipitation de 1990-2020(source ANAM.2020) 6

Figure 5: Variation de la moyenne mensuelle de la température 1990-2020(ANAM.2020) 7

Figure 6: Evolution interannuelle de la température 1990-2005 7

Figure 7: Moyenne mensuelle de l'évaporation (ANAM.2020) 8

Figure 8: Variation interannuelle de l'évaporation 1990-2002 (source ANAM.2020) 8

Figure 9: Variation inter mensuelle de l'humidité (source ANAM.2020) 9

Figure 10: Ensoleillement inter mensuel (source ANAM.2020) 10

Figure 11: carte pédologique la zone d'étude (source P-SIDRAT.2013) 11

Figure 12: Carte de couvert végétal (P-SIDRAT.2013) 12

Figure 13: Carte géologique (Kusnir.1995) 13

Figure 14: Carte hydrographique (source CNRD.2022) 13

Figure 15: Carte hydrogéologique (source Schneider.2001) 15

Figure 16: Carte de localisation des stations météorologiques et puits pastoraux (source PASTOR. 2013 et ANAM.2023) 21

Figure 17: Etape d'analyse et de traitement des images satellitaires 28

Figure 18: Carte de précipitation (source ANAM.2020) 32

Figure 19: Carte de précipitation : évolution décennale (source ANAM) 33

Figure 20: Régime pluviométrique et évaporation (source ANAM.2020) 33

Figure 21: Anomalie pluviométrique 34

Figure 22: Anomalie thermométrique 35

Figure 23: Comparaison de niveaux piézométriques entre 2004 et 2023 35

Figure 24: Variation du niveau piézométrique 2004 à 2023 36

Figure 25: Esquisse piézométrique de la zone d'étude 36

Figure 26: Relation précipitations et niveau piézométrique..... 37

Figure 27: Répartition spatiale des puits pastoraux 38

Figure 28: Carte d'occupation de sol 1990-2020 (CNRD/LC08_L1TP_181053_20231224_20240103)..... 39

Figure 29: Evolution de la surface des unités d'occupation de sol 1990-2020 41

Figure 30: Opinion des pasteurs sur l'évolution de la ressource en eau (source Djoissi, enquête. 11/2023)..... 42

Figure 31: Opinion des pasteurs sur l'évolution de la ressource fourragère (source Djoissi, enquête. 11/2023) 43

LISTE DE TABLEAUX

Tableau I: Effectif du bétail (source RGE.2015)..... 4

Tableau II: Evolution de culture (source MSP, annuaire statistique 2012) 4

Tableau III: Dates et caractéristiques des images Landsat choisies 29

Tableau IV: Récapitulatif des superficies en fonction des classes 39

Tableau V: Récapitulatif de pourcentage suivant chaque classe 39

Tableau VI: Récapitulatif suivant l'évolution de chaque classe 40

Tableau VII: Effectif de la population enquêtée (source Djoissi N. 2023) 42

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Images de la station météorologique d'Ati (source Djoissi N.2023) 22

Photo 2: Sonde piézométrique..... 25

Photo 3: puits pastoraux, Koulkoulaye à droit et à gauche Al mabrouk (source Djoissi. N, 2023) 27

Photo 4: Procédure d'acquisition des images satellitaires (https://earthexplorer.usgs.gov/) 27

Photo 5: Traitement d'image satellitaire dans ARCGIS 29

ABREVIATIONS

ACCEPT : Adapter l'Accès aux Ressources Agro-Pastorales dans le Contexte de Mobilité et de Changement Climatique pour l'Elevage au Tchad

AFD : Agence Française de Développement

AGRYMET : Centre Régional de formation d'Application Agro- Hydrométéorologique Opérationnelle

ANAM : Agence Nationale de la Météorologie

CCNUCC : La Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

DSP : Diagnostique Systématique du Pays

FAO : Food and Agriculture Organizations of the United Nations

GES : Gaz à Effet de serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GPS : Global Positioning System

INSEED : Institut Nationale de Statistique et des Etudes Economique et du développement

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie

ONU : Organisation des Nations Unies

PASTOR : Programme d'Appui Structurant le développement Pastoral

PIB : Produit Intérieur Brut

PNA : Plan National d'Adaptation

PNDE : Plan National pour le Développement de l'Elevage

QGIS : Quantum Geographic Information System

RePER : Projet de Renforcement de la Productivité des Exploitations Agropastorales familiales et Résilience

RGE : Recensement Général de l'Elevage

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

P-SIDRAT : Programme Système d'Information pour le Développement Rural et l'Aménagement du Territoire

SDEA : Schéma Directeur de l'Eau et Assainissement

SNLCCT : Stratégies Nationale de Lutte Contre les Changements Climatiques

USGS : United States Geological survey

RESUME

Le changement climatique désigne les variations des températures et des conditions météorologiques sur le long terme. Ces variations peuvent être un phénomène naturel, mais depuis le début du XIXe siècle, elles résultent principalement de l'activité humaine, notamment de l'utilisation des combustibles fossiles (tels que le charbon, le pétrole et le gaz) qui produisent des gaz à effet de serre. L'élevage pastoral se trouve en effet affecté par ce phénomène puisqu'il dépend des ressources naturelles qui sont tributaires des conditions climatiques. L'objectif de cette étude est de contribuer à la connaissance des effets du changement climatique sur la productivité et disponibilité des puits pastoraux et identifier les moyens d'adaptation. Cela vise à analyser les paramètres climatiques (précipitation, température) sur une période de 30 ans, les données piézométriques, les données socio-anthropologiques et l'analyse par télédétection des images Landsat de l'évolution des unités d'occupation (analyse diachronique). La variation inter annuelle de précipitation entre 1990-2020 oscillent en dent de scie, alternent entre période sèche et humide. Cette Période est marquée par une décennie relativement arrosée et concorde avec l'évolution de l'espace culturale d'environ 3,86% et une diminution de la végétation. Par contre, on observe une augmentation de la température, cause d'une évaporation croissante et cela entraine l'assèchement des eaux de surface, qui sont source de la recharge de la nappe. Les niveaux piézométriques mesurés au-delà de Djedaa prouvent que la nappe est de plus en plus profonde quand on évolue en latitude. Cependant, la dernière décennie considérée comme la plus sèche a entrainé une migration sur des grandes distance des pasteurs à la recherche de l'eau et pâturage. Plus de 85% des pasteurs remarque l'impact du changement climatique sur les activités pastorales et développent des mesures d'adaptation comme la grande et petite mobilité et l'élevage des petits ruminants.

Mots clés : Influence, Changement climatique, Pastoralisme, Disponibilité, Productivité, Puits, Batha ouest.

ABSTRACT

Climate change refers to changes in temperature and weather over the long term. These variations may be a natural phenomenon, but since the beginning of the 19th century, they have mainly resulted from human activity, including the use of fossil fuels (such as coal, oil and gas) that produce greenhouse gases. Pastoral livestock is affected by this phenomenon because it depends on natural resources that are dependent on climatic conditions. The objective of this study is to contribute to the knowledge of the effects of climate change on the productivity and availability of pastoral wells and to identify the means of adaptation. This aims to analyze climatic parameters (precipitation, temperature) over a period of 30 years, piezometric data, socio-anthropological data and remote sensing analysis of Landsat images of the evolution of occupancy units (diachronic analysis). The inter annual variation of precipitation between 1990-2020 oscillates in sawtooth, alternate between dry and wet period. This Period is marked by a relatively watered decade and is consistent with the evolution of the cultural space of about 3.86% and a decrease in vegetation. On the other hand, there is an increase in temperature, causing exponential evaporation and causing the drying up of surface water, which is the source of the recharge of the water table when moving away from the Batha River. The piezometric levels measured beyond Djedaa prove that the water table is deeper and deeper when one increases in latitude. However, the last decade considered the driest has led to long distance migration of pastoralists in search of water and grazing. More than 85% of pastoralists perceive the impact of climate change on pastoral activities and develop adaptation measures such as large and small mobility and small ruminant livestock.

Keywords : Influence, Climate change, Pastoralism, Availability, Productivity, Wells, Batha west

INTRODUCTION

Le changement climatique désigne les variations des températures et des conditions météorologiques sur le long terme. Ces variations peuvent être un phénomène naturel, mais depuis le début du XIXe siècle, elles résultent principalement de l'activité humaine, notamment de l'utilisation des combustibles fossiles (tels que le charbon, le pétrole et le gaz) qui produisent des gaz à effet de serre. Ce phénomène qui prend de l'ampleur depuis quelques décennies a beaucoup d'impacts sur le pastoralisme. Le pastoralisme se définie comme une relation symbiotique subtilement tissée entre l'écologie locale, le bétail domestiqué et les individus vivant dans un environnement à faible ressource et à climat marginal et extrêmement variable (Nori, et *al*., 2008).

Les évolutions des précipitations au Sahel laissent penser qu'après les forts déficits des années 70 et 80, on est entré dans les années 90 dans une phase de pluies moyennes plus proches des valeurs historiques, mais avec de grandes variabilités interannuelles (Brooks, 2006). Les prévisions d'augmentation de la fréquence des évènements extrêmes dans l'avenir permettent d'imaginer que les fortes précipitations, amenant à des inondations, risquent d'alterner avec des années plus sèches où les risques pour l'abreuvement des animaux seront grands au Sahel.

Les vagues de sécheresses dans le sahel ont entrainé une baisse de pluviométrie de 20% selon (Hulme, et *al*., 2001), causé des pertes en vies humaines et surtout en cheptel car les ressources pastorales sont devenues de plus en plus précaires. Parallèlement à cela, le front agricole n'a cessé d'avancer suite à la croissance démographique et les espaces pastoraux ont connu une réduction drastique. Avec des ressources de base à caractère fragmentaire et évoluant dans un contexte de compétition accrue, les pasteurs et agropasteurs éprouvent des difficultés à conduire leurs activités dans un climat de plus en plus variable. Les besoins en eau des animaux, mais aussi des plantes, augmenteront en fonction de l'augmentation des températures. L'évolution des ressources en eau, quant à elle, est très incertaine, notamment en fonction des difficultés à prévoir l'évolution des régimes pluviométriques.

Comme la plupart des pays sahéliens, le Tchad est confronté aux effets du changement climatique couplé à la croissance démographique galopante. Cette situation menace davantage les ressources en eau souterraine, de surface et fourragère. Le diagnostic systématique du pays (DSP) établi par la Banque mondiale en 2019, note que depuis 1975 le pays est devenu plus sec et plus chaud, avec une augmentation sans précédent de 0,8°C des températures moyennes, plus du double du rythme du réchauffement à l'échelle mondiale. Et le pays est susceptible de

connaître un déclin persistant de la pluviométrie. La mobilité du bétail est aujourd'hui entravée par le rétrécissement et la fragmentation historique des espaces pastoraux, induits par l'expansion des terres cultivées (+2 % par an en moyenne) (Hierneaux, et *al*., 2019). Ce phénomène répond à l'essor démographique continu des populations rurales, d'au moins 3 % par an et dont les modes de culture demeurent extensifs.

S'ajoutent à cela un étalement urbain non maîtrisé, l'expansion des voies de communication, mais aussi la privatisation croissante de l'usage des terres : des communautés sédentaires et des individus usent de leurs moyens et relations pour acquérir un titre de propriété, au détriment du droit coutumier qui gère l'accès aux terres rurales, propriété de l'État. L'accès aux points d'eau et aux parcours de pâturage est de plus en plus semé d'embûches : perte de bétail, agressions… C'est dans ce contexte que les éleveurs pasteurs de la province de Batha, confrontés à la rareté de la ressource en eau et au manque des infrastructures hydrauliques pour faire face aux effets du changement climatique.

Cette étude vise à déterminer l'évolution des paramètres climatiques, l'impact de cette évolution sur la productivité et la disponibilité des puits pastoraux puis chercher les moyens d'adaptation pour atténuer les effets du changement climatique.

L'objectif général :

Contribuer à la connaissance des effets du changement climatique sur les ressources en eau et activités pastorales dans le département de Batha ouest.

Objectifs spécifiques :

1. Déterminer l'évolution des paramètres climatiques de 1990 à 2020 ;
2. Evaluer la répartition spatio-temporelle des ressources pastorales par la télédétection de 1990 à 2020 ;
3. Réaliser une enquête sur la perception locale des éleveurs pasteurs du changement climatique.

Le présent document est structuré en trois parties qui présentent respectivement la généralité, les matériels et méthodes d'études, les résultats et discussion.

I. GENERALITES

I.1 Contexte géographique et socio-économique

I.1.1 Situation géographique du Tchad

Le territoire de la République du Tchad s'étend entre 8° et 23° de latitude Nord, 14° et 24° de longitude Est, avec une superficie de 1 284 000 Km². Ses frontières sont partagées au Nord par la Libye, à l'Est par le Soudan, au Sud par la République Centrafricaine, et à l'Ouest par le Niger, le Nigeria et le Cameroun. C'est un pays enclavé au cœur de l'Afrique dans le centre d'une gigantesque cuvette sédimentaire endoréique constituant le bassin du Lac Tchad. Avec près de 2,5 millions de km^2, le Bassin du Lac Tchad est le plus vaste bassin endoréique au monde (Zairi, 2008).

I.1.2 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au centre du pays, entre 17° et 20° de longitude Est puis entre le 12° et 16° de latitude nord (fig1). Distant d'environs 500km au nord-est de la Capitale Ndjamena, le département de Batha Ouest est limité au nord par la province de Borkou, au sud par la province Guéra, à l'est par le département d'Oum-hadjer et à l'ouest par la province Barh-El_gazal. Avec pour chef-lieu Ati, le Batha Ouest compte trois (3) sous-préfectures.

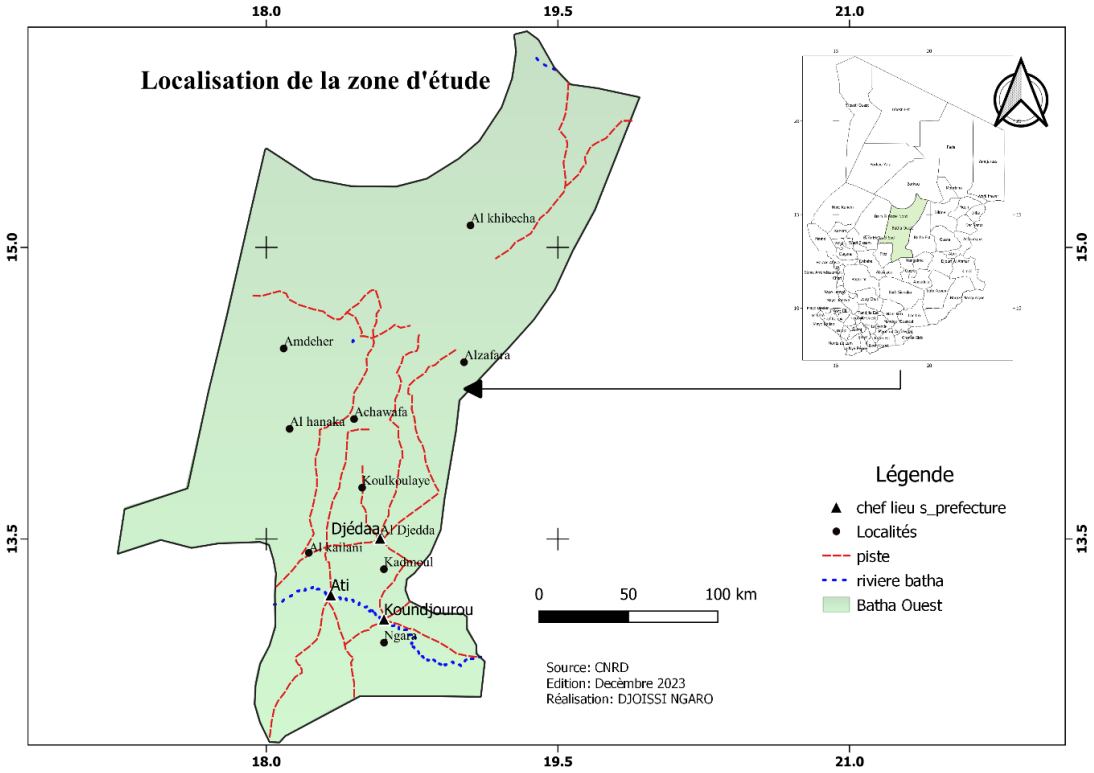


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

I.1.3 Contexte socio-économique

I.1.3.1 Population

Les communautés ethniques et culturelles du département de Batha Ouest sont majoritairement constituées d'éleveurs et agro-éleveurs. On distingue plusieurs groupes ethniques à savoir : les kouka, les mabas, les salamat, les haddad, etc. l'arabe est la principale langue de communication reliant les différents groupes ethniques.

Selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGHP, 2009), le département de Batha ouest compte 222 243 habitants dont 109 589 femmes et 112654 hommes soit une densité de 5.76 hbts/km2.

I.1.3.2 Activités économiques

L'économie de la zone est basée essentiellement sur les production pastorales et agricoles. L'élevage est la principale source de revenu puisque 80% de la population sont des éleveurs. Le cheptel est constitué de bovin, camelin et des petits bétails comme les ovins et caprins.

Tableau I: Effectif du bétail (source RGE.2015)

	Bovins	**Camelins**	**Ovins**	**Caprins**	**Asins**	**Equins**
Effectif 2009	1093185	220281	528200	1048595	49546	38808

Les conflits entre agriculteurs et éleveurs pour l'accès aux ressources sont souvent causés par l'augmentation du cheptel et l'évolution des surfaces cultivées. En période sèche, les pasteurs descendent au sud pour exploiter les pâturages abondants et les mares naturelles, tandis qu'en période de pluie, les troupeaux sont dirigés vers le nord pour exploiter les nouvelles verdures. L'agriculture est une autre activité importante du département après l'élevage. On trouve les terres cultivées dans les régions bordant le fleuve Batha, dans les bas-fonds, les plaines sablonneuses.

Tableau II: Evolution de culture (source MSP, annuaire statistique 2012)

Type	Production en tonne	Superficie en km^2
Céréales	14838	3674
Oléagineux	6296	2463
Protéagineux	1203	2498

De son côté, la pêche est pratiquée de façon artisanale par la population qui habite tout le long du fleuve Batha pendant la saison des pluies lorsque les cours d'eau sont remplis certains s'en vont jusqu'à Fitri où elle est pratiquée pratiquement toute la saison.

I.1.4 Contexte climatique

De façon générale, la pluviométrie varie fortement en fonction des régions et se caractérise par un gradient croissant du nord au sud. Dans le nord désertique, qui couvre 47 % du territoire, la pluviométrie annuelle moyenne ne dépasse pas 100 mm. Le Sahel, dont les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 100 mm et 600 mm, présente des contrastes importants entre la partie nord, aride, et la partie sud, dont les précipitations sont comprises entre 600 et 1200 mm/an (Gutiérrez, et *al.*, 2021). Les conditions climatiques de la zone sont de type sahélien (figure 2) et présentent deux saisons distinctes. La période pluviométrique s'étend de juillet à octobre, suivie de la période sèche de novembre à juin. Les précipitations atteignent leur pic en août. La pluviométrie, la température, l'évaporation, l'humidité relative et la vitesse du vent sont des paramètres climatiques utilisés dans le cadre de cette étude. Ces données sont fournies par l'Agence nationale de la météorologie (ANAM).

Compte tenu de manque des données disponibles sur l'étendue de la période d'étude, les histogrammes sont réalisés avec des séries de données discontinue.

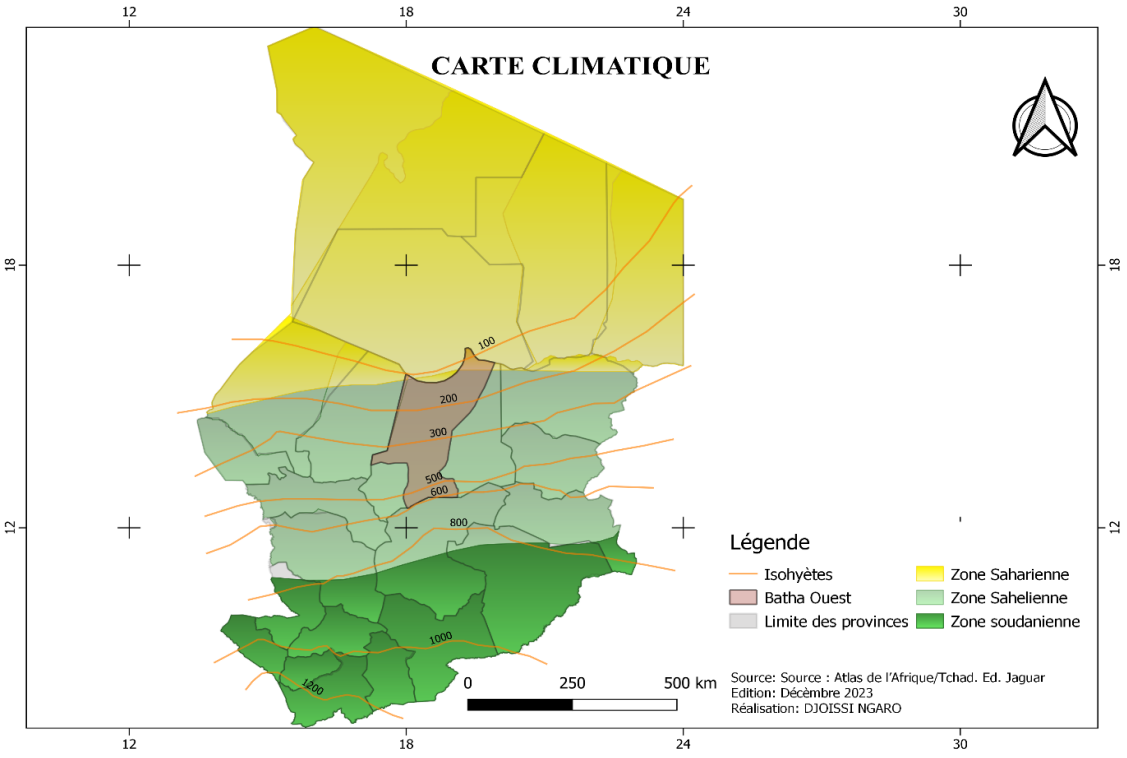


Figure 2: Carte climatique du Tchad (source P-SIDRAT.2013)

I.1.4.1 Les précipitations

La plupart d'entre elles débutent en juin pour atteindre le maximum en août, puis diminuent pour s'arrêter en octobre. Selon l'histogramme des précipitations enregistrées entre 1990 et 2020 à Ati (figure 3), on peut constater que le mois d'août représente le pic des précipitations, avec une moyenne mensuelle de 130mm/an.

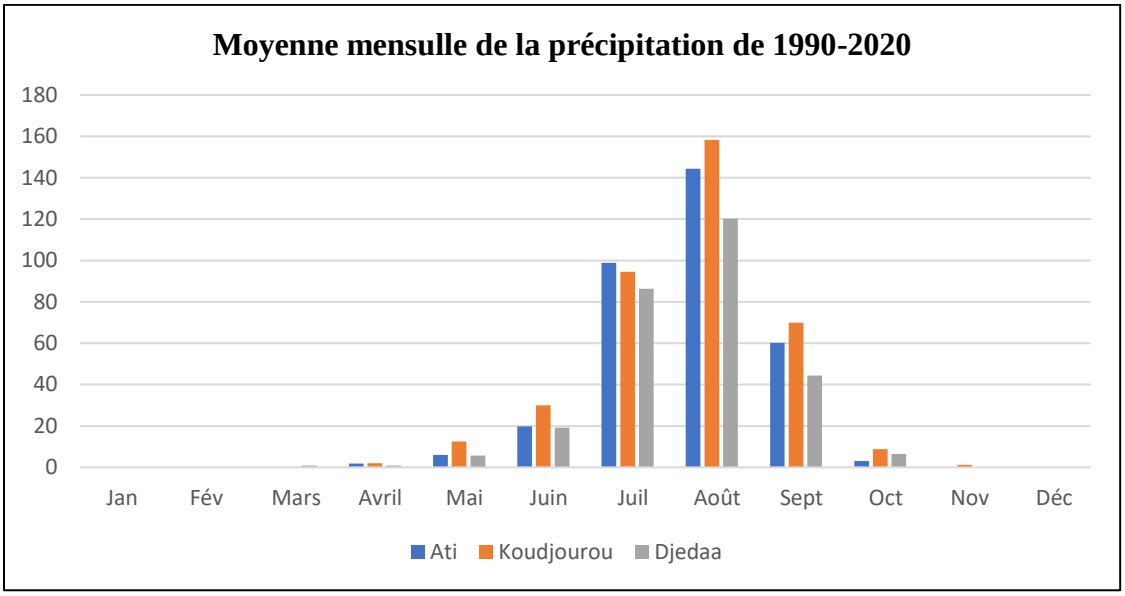


Figure 3: Variation de la moyenne mensuelle de précipitation (source ANAM.2020)

Il est intéressant de noter que les fluctuations interannuelles des précipitations sont variées et importantes, avec un minimum de 100 mm/an et un maximum de 550 mm/an, respectivement pour 2017 et 2008.

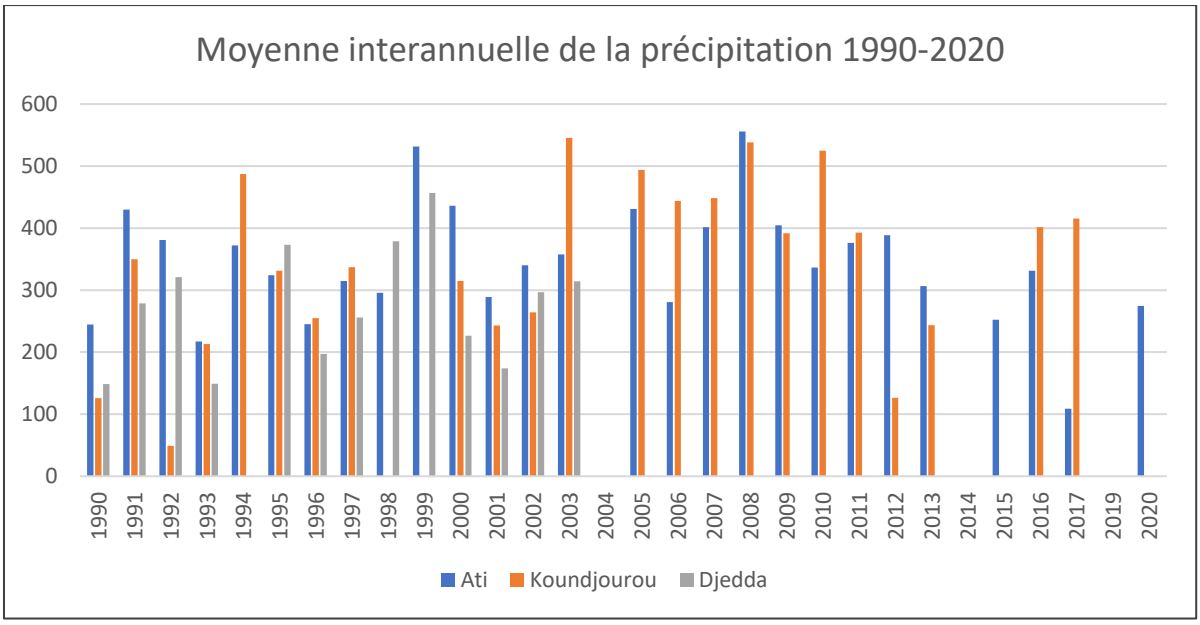


Figure 4: Variation interannuelle de la précipitation de 1990-2020(source ANAM.2020)

I.1.4.2 Température

La température varie selon les saisons. Avril, mai et juin sont les mois les plus chauds de l'année (moyenne 38,42°C) et décembre, janvier et août sont les mois les moins chauds ou froids de l'année (moyenne 31,27°C).

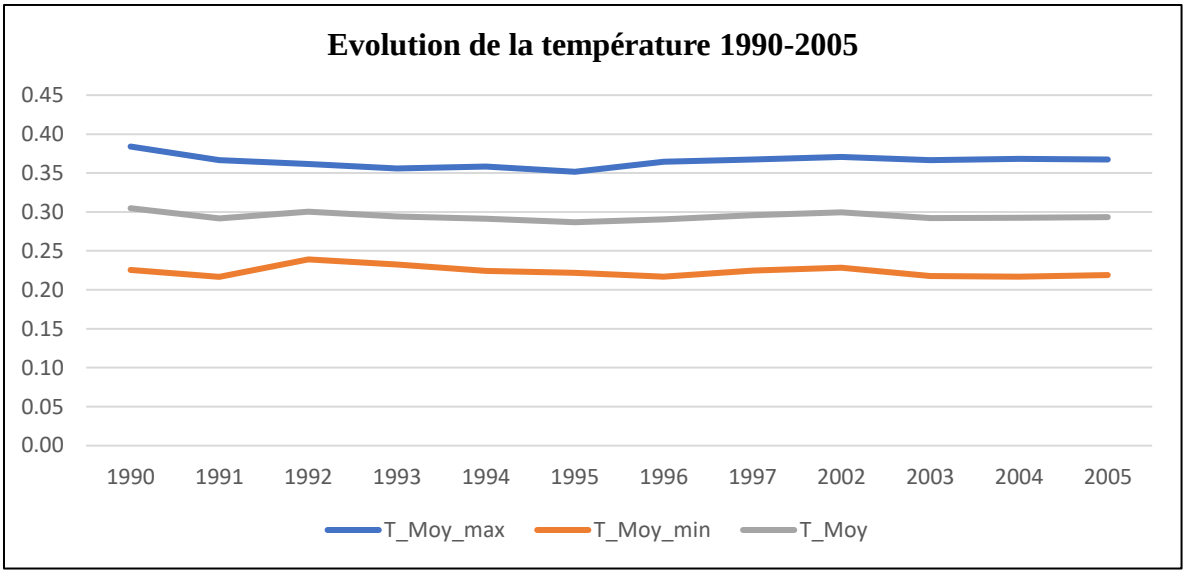


Figure 5: Variation de la moyenne mensuelle de la température 1990-2020(ANAM.2020)

Les graphiques illustrant la variation interannuelle indiquent que la majorité des valeurs annuelles dépassent la moyenne. 1990 est l'année la plus chaude et 1995 la moins chaude.

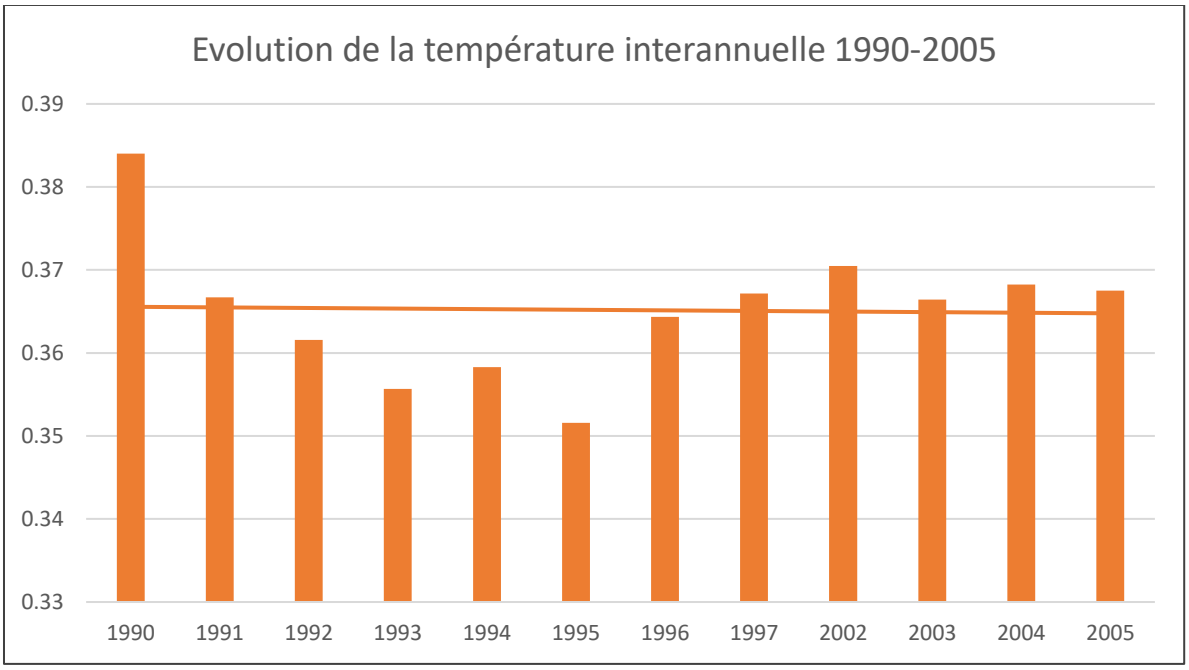


Figure 6: Evolution interannuelle de la température 1990-2005

I.1.4.3 Evaporation

L'évaporation correspond à la conversion de l'eau liquide en vapeur d'eau. L'insolation, la température, l'humidité de l'air et le vent ont un impact considérable sur ce paramètre. Elle fluctue selon les saisons comme la température de l'air. Selon l'analyse des données sur l'évaporation, on constate que le pic se trouve en mars et avril (avec une valeur d'au moins 500 mm), tandis qu'en août et septembre, elle est faible (avec une moyenne de 170 mm).

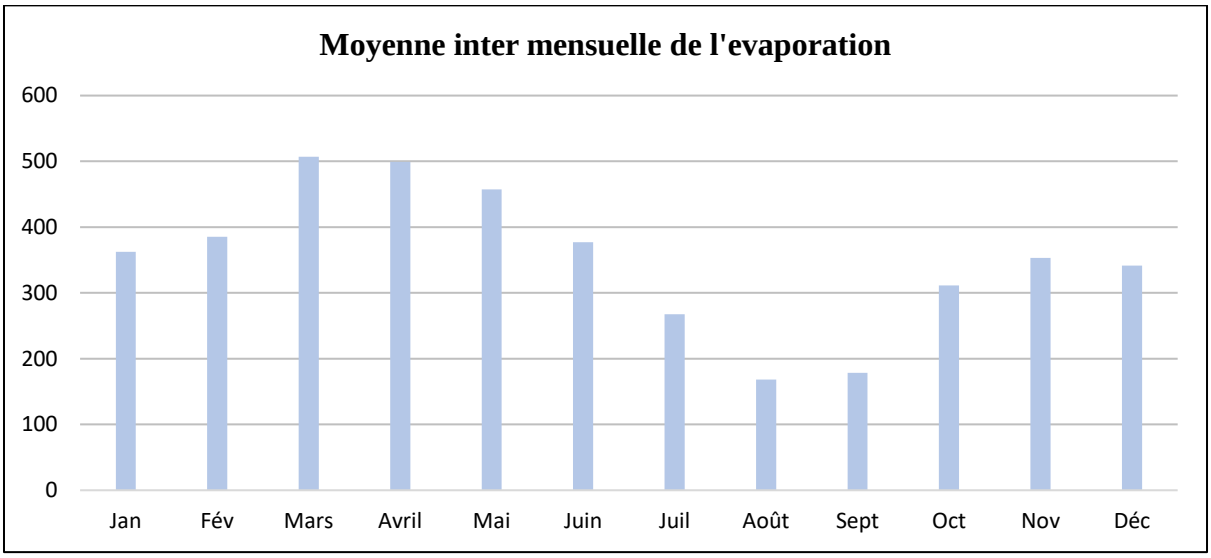


Figure 7: Moyenne mensuelle de l'évaporation (ANAM.2020)

Compte tenu de manque des données disponibles sur l'étendue de la période d'étude, les histogrammes sont réalisés avec des séries de données discontinue. L'histogramme de l'évaporation annuelle moyenne cumulée de 1990 à 2002 présente une valeur maximale en 1990 et un minimum en 2001.

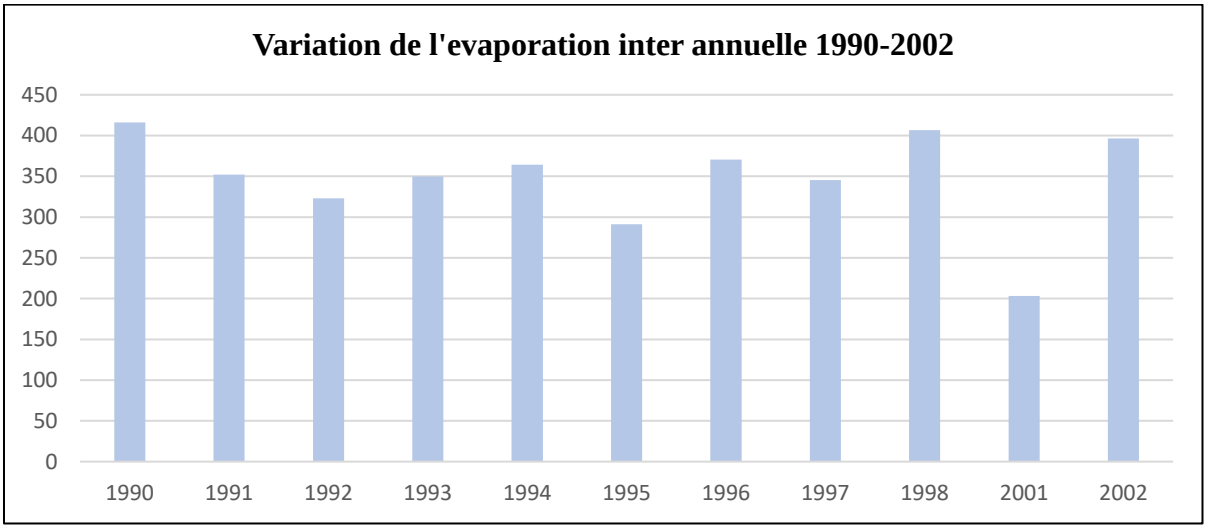


Figure 8: Variation interannuelle de l'évaporation 1990-2002 (source ANAM.2020)

I.1.4.4 Humidité relative

C'est l'état de ce qui contient l'eau ou de la vapeur. L'humidité relative est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans une masse d'air et la quantité maximale d'eau que peut contenir ce même volume d'air. On la mesure à l'aide d'un hygromètre et s'exprime en pourcentage. Les données collectées portent sur une série de moins de 15 ans (1991-2014) puisque les données récentes ne sont pas disponibles. L'analyse de ces données, montrent une humidité maximale en août et septembre (avec respectivement 90 et 87%) correspondent en fin de saison de pluie et l'humidité minimale est observée en février et mars (7,36 et 7,72%). La moyenne de l'humidité relative est de 49%.

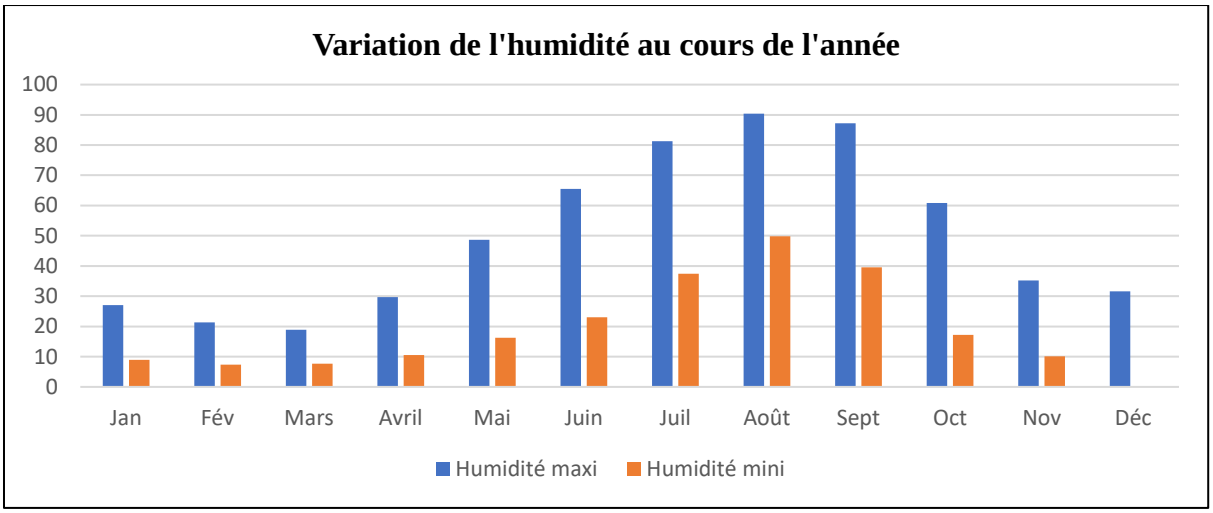


Figure 9: Variation inter mensuelle de l'humidité (source ANAM.2020)

I.1.4.5 Ensoleillement

Les données de l'ensoleillement représentées le graphique, suivant l'allure de la courbe montre une petite variabilité de janvier à juin puis devient parabolique entre juillet et décembre. Le maximum d'ensoleillement est observé en janvier, juin et novembre (10 heures/jour), alors que le minimum est observé en juillet et août (7 heures/jour). Les mois les moins ensoleillés correspondent à la saison pluvieuse.

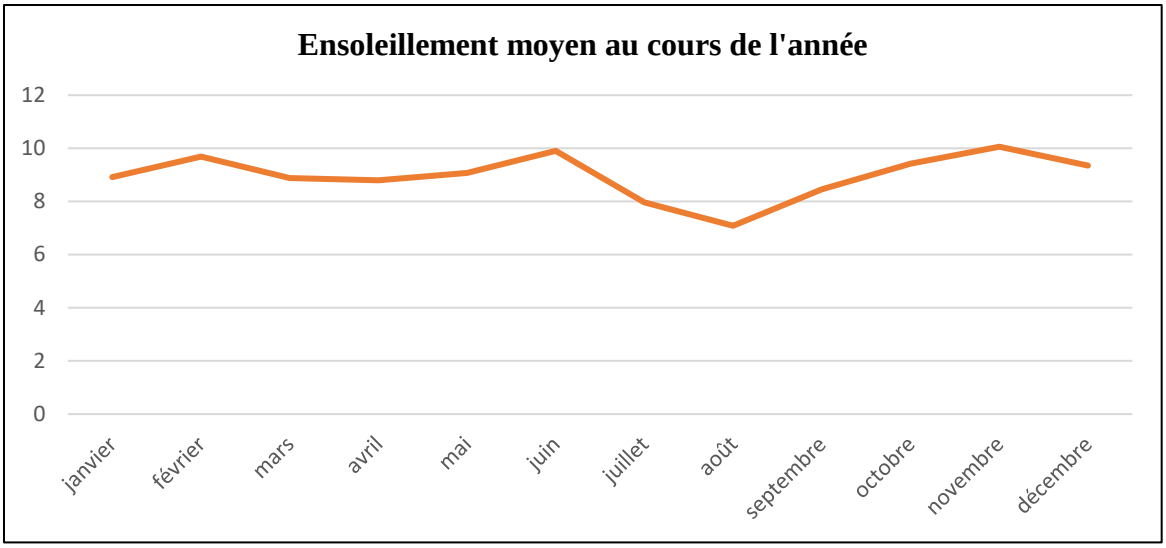


Figure 10: Ensoleillement inter mensuel (source ANAM.2020)

I.1.5 Pédologie

Le département de Batha ouest a une structure pédologique hétérogène sur toute son étendue. Les types de sol de la zone d'étude sont :

- Les sols hydro-halomorphes, pourvus d'eau en excès de manière temporaire ou permanente sont observables tout au long du fleuve Batha ;
- Les sols halomorphes (sols sableux, sablo-argileux, sols sur alluvions récents, etc.) n'occupent que des faibles proportions ;
- Les vertisols disposant d'une bonne fertilité et un taux de saturation de l'ordre de 78.23%, recèlent une importante quantité de calcium dans le complexe absorbant. Ces argiles sont reconnaissables à la présence des fentes de dessication ;
- Enfin les sols subarides sur sables, localement associés à des sols hydromorphes et halomorphes. (P-SIDRAT, 2013)

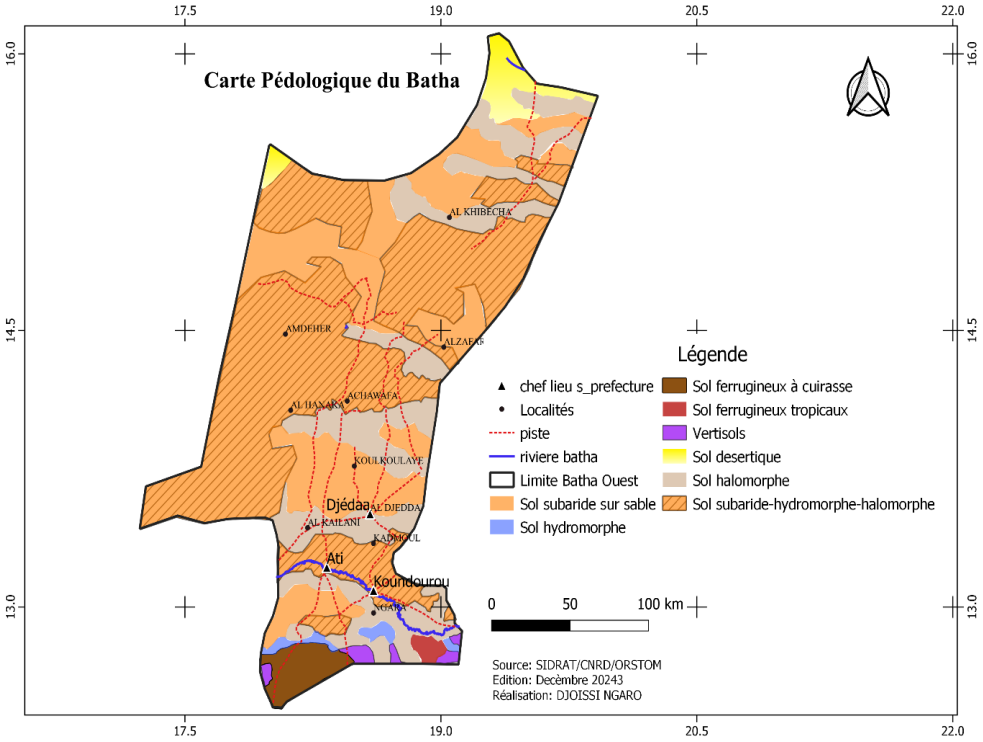


Figure 11: carte pédologique la zone d'étude (source P-SIDRAT.2013)

I.1.6 Végétation

Dans la zone d'étude, on y rencontre essentiellement trois (3) types de formations végétale

- La steppe arborée constituée principalement des *acacia nilotica, acacia senegalensis, balanites aegyptiaca, zizyphus mauritiana*. Cette formation est beaucoup plus visible au sud de la zone d'étude ;
- La steppe arbustive et herbacée, caractéristique du domaine sahélien, est la formation la plus répandue dans la zone. On y rencontre les espèces telles que : *acacia aristida, hyphanae tebaicca, guiera senegalensis, etc.*
- La forêt galerie situé au sud-ouest, un peu au nord-est. (P-SIDRAT, 2013)

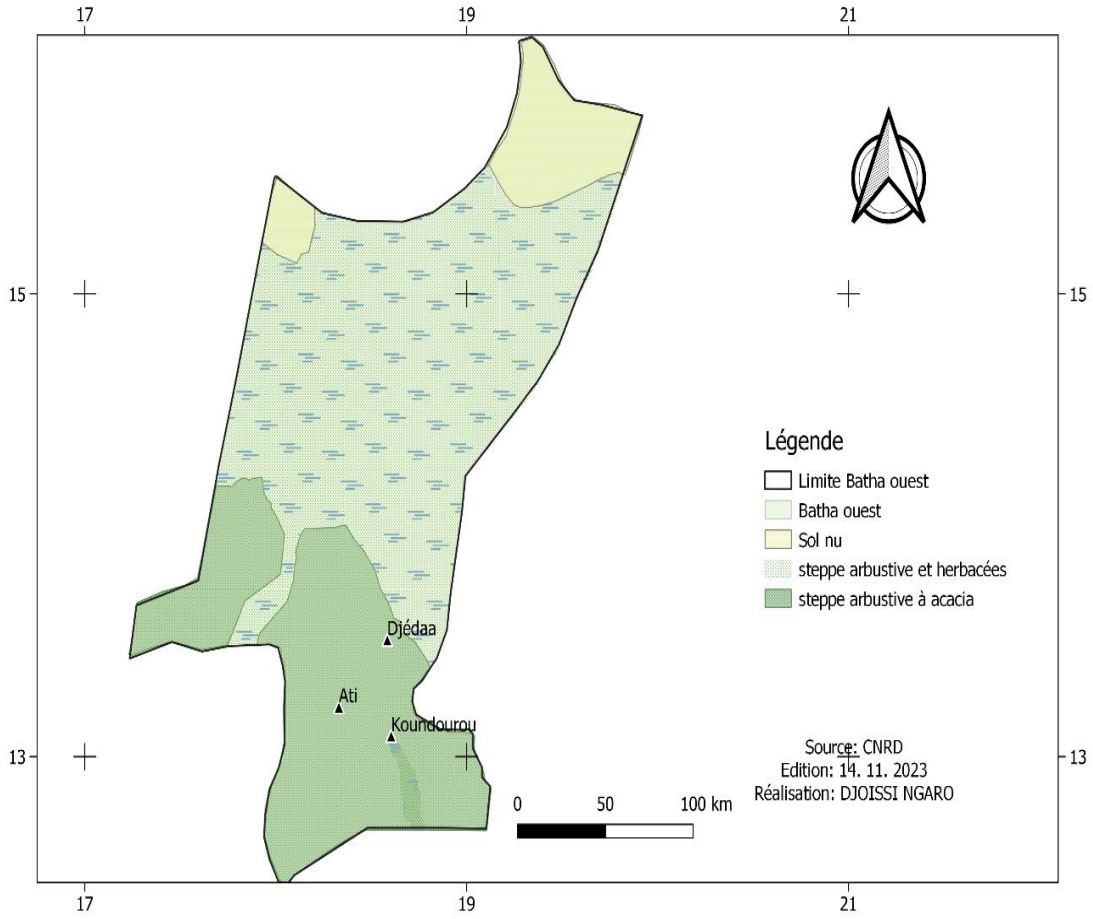


Figure 12: Carte de couvert végétal (P-SIDRAT.2013)

I.1.7 Géologie

La géologie de la zone se caractérise par la présence des formations précambriennes du socle, recouvertes par des séries sédimentaires récentes. Elles affleurent au sud, représentant l'extension du massif de Guéra (Kusnir, 1995). Les séries sédimentaires comprennent des formations du quaternaire, pliocène, et du continental terminal (Kusnir, et *al*., 1997). La profondeur du socle sous la couverture sédimentaire est variable, allant de l'affleurement jusqu'à 525m (Schneider, 1989). Une telle variabilité peut être associée à un dispositif structural en horst et grabens.

Les formations géologiques caractérisant la zone d'étude sont dans la plupart des sédiments récents et anciens :

- Dépôts éoliens, ce sont des récentes formations mises en place au quaternaire ;
- Alluvions argilo-sableux

- Alluvions fluviaux-lacustres, correspondent au quaternaire et sont rencontrés dans la majeure partie de la zone ;
- Les alluvions anciennes, s'étalent au sud et sud-est ;
- Les sédiments latéritiques, se trouvent au sud-est, le long de la frontière avec le Guéra.

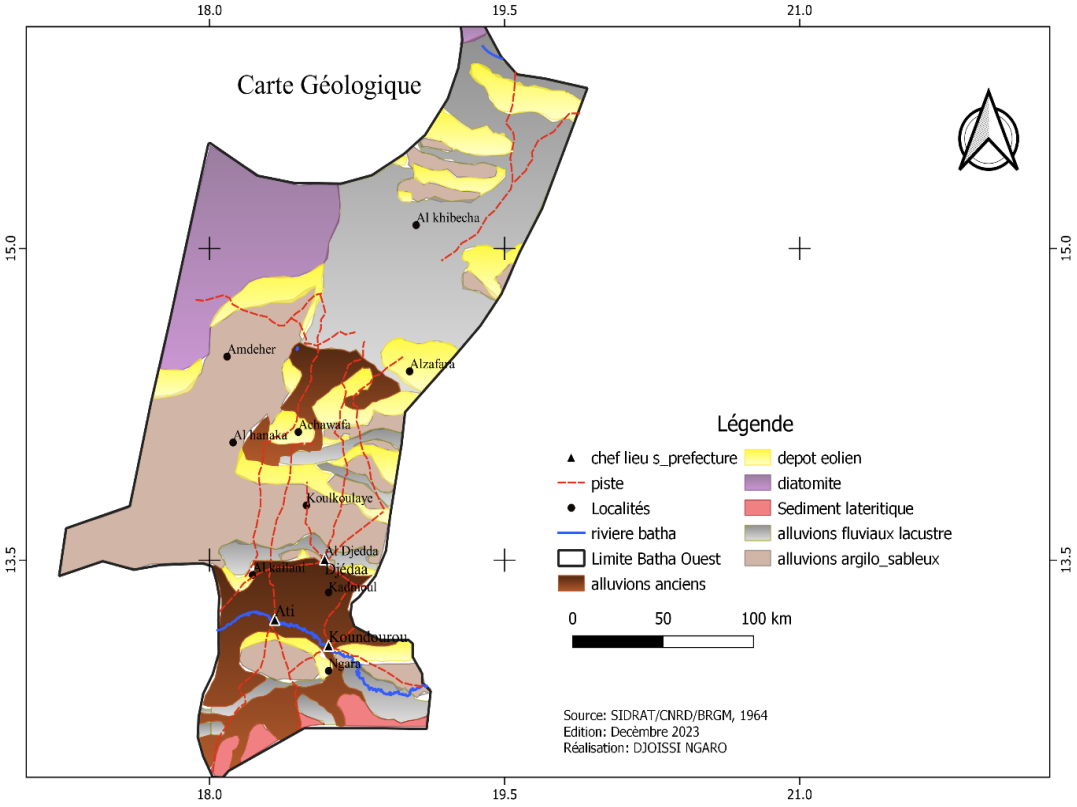


Figure 13: Carte géologique (Kusnir.1995)

I.1.8 Hydrographie

La province de Batha est drainée par le fleuve Batha et quelques cours d'eau temporaire, notamment dans sa partie sud. Ce fleuve traverse d'Ouest en Est la province en passant par Oum-hadjer et Ati pour déboucher à Yao et alimente le lac Fitri. Le nord plus aride est drainé par les ouadis orientés d'Est à l'Ouest et s'infiltrent dans les zones plates. Ces ouadis, pendant l'hiver, remplissent les mares et peuvent tenir 3 à 5 mois après la fin de la saison de pluie.

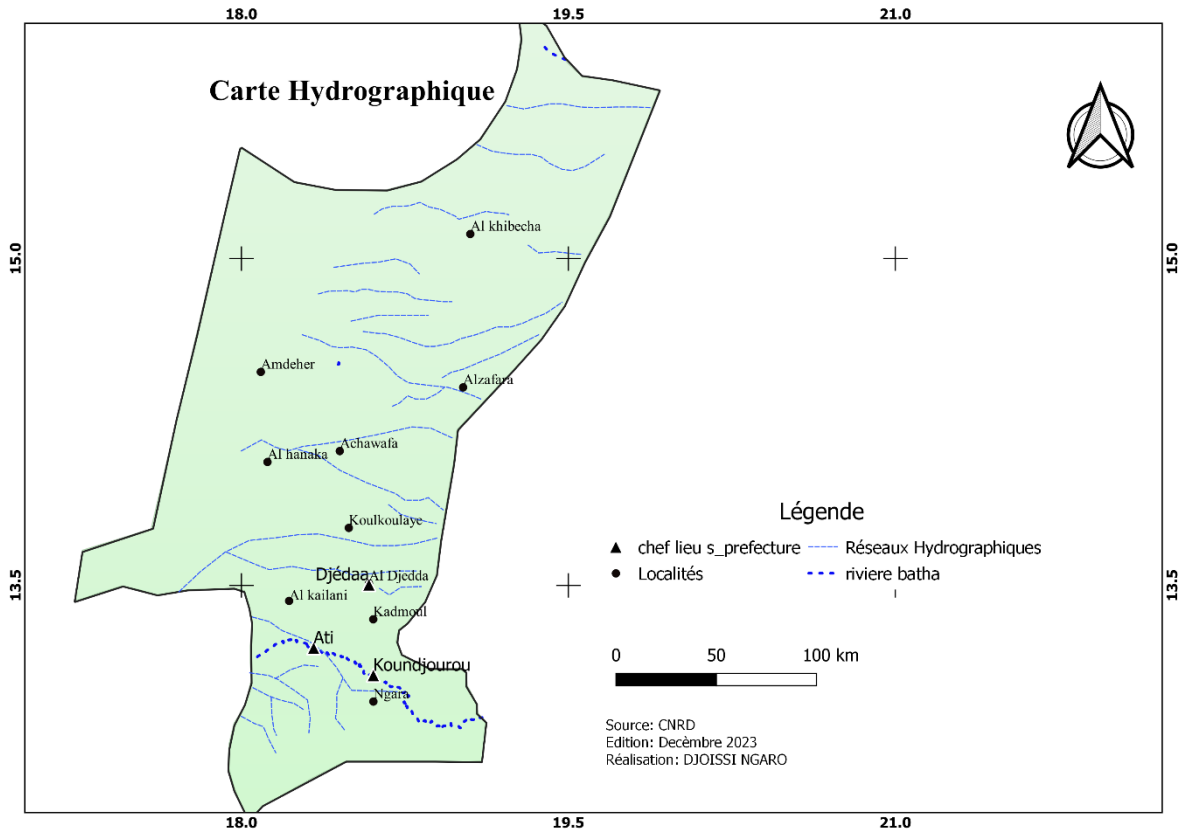


Figure 14: Carte hydrographique (source CNRD.2022)

I.1.9 Contexte hydrogéologique

La province de Batha se caractérise par deux types de formations aquifères d'importance inégales et distinctes par leur nature lithologique, leur profondeur et leur puissance (Schneider, 1989). Les aquifères continus constitués des réservoirs de formations sédimentaire, alluvions et altérites sont les plus abondants. Les aquifères discontinus constitués des réservoirs des roches fissurées ou fracturées sont plus réduits. Seuls les aquifères du premier type sont connus dans la zone d'étude. Ils sont décrits grâce aux données des forages ayant recoupés les dépôts quaternaire, pliocène (Abadie, et al., 1966) et ceux du continental terminal.

I.1.9.1 Aquifère du quaternaire

L'aquifère de la nappe phréatique est composé de formations argilo-sableuses d'âge pléistocène d'origine lacustre ou fluviatile, en situation de nappe libre ou semi-captive. En bordure immédiate du fleuve Batha, la profondeur de la surface de la nappe est très faible (10-15m à Ati). Au nord, elle s'élève rapidement pour atteindre 50m quand on se situe aux environs de 15-20 km. Selon (SDEA, 2001), la nappe se recharge progressivement à travers le fleuve Batha et aussi par infiltration des eaux de pluies dans les zones favorables (roches perméables, zones sableuses) et en débordant pendant les périodes de crue. Les eaux de surface ne sont présentes

que dans le sud de la province pendant la saison sèche. Mais l'évapotranspiration reste forte et laisse peu de possibilités pour la percolation vers les nappes. Les taux de recharge dépendent des particularités des sols ; ils peuvent varier entre 0,1 et 10% de la précipitation annuelle (P-SIDRAT.2012).

I.1.9.2 Aquifère du pliocène

L'aquifère de la nappe phréatique est constituée des formations du pliocènes sur la partie occidentale et nord-ouest du fleuve Batha, en raison d'approfondissement parce du toit du dépôt de continental terminal. La surface de la nappe est située à environ 60 mètres sous le sol. Les variations des débits spécifiques obtenus des puits (plus de 18 m3/h à moins de 0,7 m3/h) sont liées à la diversité des formations fluvio-lacustres. Les eaux sont généralement peu minéralisées, présentant un aspect bicarbonaté calcique à calco-sodique.

I.1.9.3 Aquifère du Continental terminal

La nappe phréatique est recouverte par les formations du continental terminal dans la partie centrale et orientale du fleuve Batha. La majorité des sédiments sont argileux et la productivité des puits est habituellement faible. En général, le débit de pompage est inférieur à 2m3/h, mais il peut être plus élevé localement à 10m3/h. En raison de l'absence d'inégalité topographique du sol et d'une analogie de gradient entre le sol et la surface piézométrique, la profondeur de la nappe est comprise entre 55 et 65. Au nord du 14e parallèle, elle dépasse les 80 mètres (SDEA, 2001).

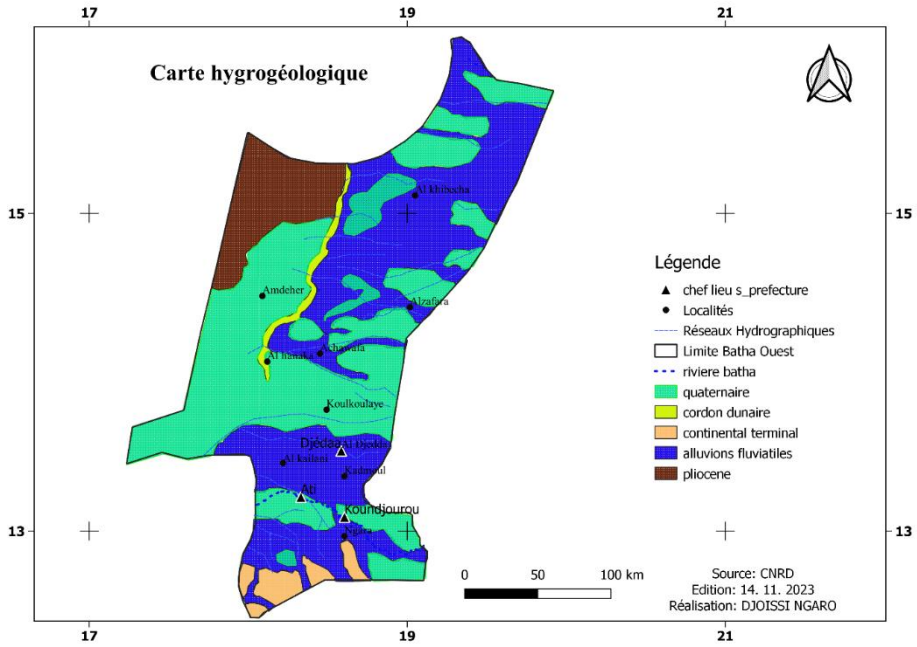


Figure 15: Carte hydrogéologique (source Schneider.2001)

I.2 Concept du changement climatique

I.2.1 Changement climatique

On entend par « changement climatique » des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observé au cours de périodes comparables (CCNUCC, 1992).

I.2.2 Causes du changement climatique

I.2.2.1 Causes naturelles

Les variations de la composition de l'atmosphère en gaz à effet de serre (GES) d'origine naturelle : les variations de l'activité solaire, modification des axes de pôles et l'influence accidentelle des rejets massifs des poussières de type volcanique.

I.2.2.2 Causes anthropiques

Le rejet massif des gaz à effet de serre dans l'atmosphère dû aux activités humaines (approvisionnement énergétique, industrie, transports, déforestation, agriculture…). (GIEC, 2007), conclu avec un degré de confiance très élevé (probabilité> 90%) que les activités humaines menées depuis 1750 ont pour effet net de réchauffer le climat mondial.

I.2.3 Les prédictions sur l'évolution du climat

Il convient de souligner que si la production de gaz à effet de serre reste inchangée, les températures en 2100 augmenteront d'environ 1,4 à 5,8°C (GIEC, 2007). Au cours des dernières années, des chercheurs ont démontré une tendance à un réchauffement mondial. Entre 1906 et 2005, les températures terrestres ont connu une augmentation globale de 0,74°C. Depuis de nombreuses années, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) met en garde contre l'ampleur et les conséquences du réchauffement climatique mondial.

Selon la convention cadre des nations unies sur le changement climatique (CCNUCC), il semble que l'action humaine soit responsable de l'évolution rapide des paramètres climatiques. Toutefois, il est difficile de prédire à l'échelle régionale ou à l'échelle d'un pays. La grande variabilité climatique à l'échelle mondiale demeure le seul point de repère pour les climatologues. Ces derniers sont d'accord avec l'augmentation des phénomènes climatiques extrêmes, bien que ces conséquences varient d'une région à l'autre et d'une population à l'autre au sein de la même région. Selon (Nori, et *al*., 2008), les effets majeurs du changement climatique à l'échelle mondiale sont résumés de la manière suivante :

- Changement des rythmes de précipitations, avec une grande fluctuation prévue et une diminution des équilibres hydriques ;
- La variation de la biodiversité évolue à la fois dans le temps et dans l'espace ;
- Les tendances du vent sont modifiées, ce qui entraîne des inondations et des sécheresses plus fréquentes ;
- Les phénomènes récurrents tels que El Nino, les vagues de chaleur et les cyclones tropicaux sont également modifiés.

La température annuelle moyenne au Tchad a augmenté d'environ 0,2-0,3 °C/décennie de 1961 à 2015 (Gutiérrez *et al.*, 2021). La fréquence et l'intensité des chaleurs extrêmes ont augmenté, tandis que les froids extrêmes ont diminué (Seneveratne, et *al*., 2021).
D'ici à 2050, la température moyenne dans la région devrait augmenter d'au moins 2,5-3,5 °C dans le cadre d'un scénario de concentration élevée de gaz à effet de serre (SSP5-8,5) et de 1,5-2,5 °C dans le cadre d'un scénario de faible concentration de gaz à effet de serre (SSP2-4,5) (Gutiérrez, et *al*., 2021).
Les températures minimales et maximales augmenteront. Les vagues de chaleur dureront plus longtemps, avec, pour chaque augmentation du niveau de réchauffement de la planète, des températures extrêmes qui dépasseront les valeurs préindustrielles. Parallèlement à la hausse des températures annuelles moyennes, le nombre annuel de jours de grande chaleur (où la température maximale quotidienne dépasse 35 °C) devrait augmenter, et ce avec un fort degré de certitude (Gutiérrez *et al.*, 2021 ; Ranasinghe *et al.*, 2021).

I.2.4 Impact du changement climatique sur le pastoralisme

L'une des caractéristiques de l'élevage pastoral est sa forte dépendance des ressources naturelles. Il subit de ce fait les conséquences directes du changement et de la variabilité du climat. Le changement climatique affecte la structure et le fonctionnement de l'écosystème et donc la production pastorale et agricole saisonnière (Galvin, et *al*., 2001). En effet, la production et la productivité des pâturages sont très variables quantitativement et qualitativement dans le temps et dans l'espace en raison de la variabilité de la pluviométrie. Au Tchad les évènements climatiques extrêmes induisent des risques notamment l'abandon des zones pastorales, la forte mortalité dans la strate fourragère avec des répercussions profondes sur les systèmes pastoraux, les modifications des circuits habituels de mouvements du bétail, l'allongement des mouvements de transhumance, etc. (SNLCCT. 2017). Les déficits fourragers et le manque d'eau récurrents conduisent à une plus grande vulnérabilité du secteur de l'élevage au Tchad.

I.2.5 Impact sur la ressource en eau et ressource fourragère

Pendant les dernières décennies, l'utilisation mondiale de l'eau a été multipliée par six et continue d'augmenter rapidement de près de 1% par an en raison de la croissance démographique, du développement économique et de l'évolution de la consommation (ONU. 2020). Le réchauffement observé pendant plusieurs décennie est sujet aux changements survenus dans le cycle hydrologique à grande échelle, notamment : l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère, la modification de la configuration de l'intensité de pluviométrie et des phénomènes extrêmes, la diminution de la couverture neigeuse et la fonte des glaces accrue, ainsi que la modification de l'humilité du sol et du ruissellement (Dugués, 2012). Pour certaines régions, l'augmentation des problèmes actuels de manque d'eau entraînera une détérioration de la qualité de l'eau disponible et une augmentation de la salinité.

La diminution de la disponibilité et de la qualité des ressources en eau en raison des changements et de la variabilité climatique entraîne souvent une compétition accrue pour l'accès aux ressources en eau (Niasse, et *al*., 2004). L'eau souterraine est principalement affectée par le changement climatique par la recharge, la décharge et le stockage.

Le changement climatique a un impact significatif sur les grands systèmes hydrologiques au Tchad, tels que les fleuves et les lacs, y compris le lac Tchad. Les impacts des changements climatiques durant les dernières décennies, sur les ressources en eau de surface sont bien illustrés par la réduction drastique du plan d'eau du Lac-Tchad entre 1966 et 1975, suite à la baisse des pluviosités jusqu'à concurrence de 95% et à la dérivation des eaux fluviales et de l'irrigation dont les besoins ont quadruplé par suite de l'accroissement démographique. Les autres Lacs du pays ont été également durement touchés par la sécheresse de 1970 et 1980 ; le Lac Fitri s'est complètement asséché en 1973 et 1984 (Premier PNA, 2021). Les deux grands fleuves du pays, le Chari et la Logone ont connu aussi une variabilité dans leurs régimes hydrologiques.

Les eaux de surface et les eaux souterraines sont des ressources accessibles à l'homme et au bétail. Selon le PNDE 2. (2017), les eaux de surface pérennes représentent 30% des ressources utilisées pour l'abreuvement des troupeaux, les eaux de surface temporaires 15%, les puisards et les puits traditionnels 35% et les puits modernes 20%. Actuellement, on peut observer les conséquences de la variabilité et des changements climatiques sur la ressource en eau, telles que la diminution du niveau des nappes phréatiques, les inondations intenses, la forte évaporation, la baisse du débit des principaux cours d'eau d'environ 30 à 60%, ainsi que l'assèchement progressif du Lac Tchad (SNLCCT. 2017).

Les pâturages naturels sont les constituant de la production de fourrage. Selon (Samandoulgou, et *al*., 2014) la couverture des besoins alimentaires repose sur l'offre de pâturages et l'accès des animaux à ces ressources primaires. En saison sèche et chaude s'installe, en général dans la région du Sahel, la période de soudure. La diminution de poids des animaux (bovins et ovins) à cette période est due à la faible fréquence des happes et des bouches-pleines (Dicko, et *al*., 1986) ainsi qu'à la faible teneur en nutriments des fourrages naturels de saison sèche (Samandoulgou, et *al*., 2014)

Ainsi, les périodes de sécheresse et les variations climatiques font que la productivité du fourrage animal varie d'une année à l'autre. Selon (Kiema, 2008), les pâturages ont diminué en raison de la pression de l'agriculture qui a colonisé les bas-fonds où le fourrage est présent en quantité et en qualité.

I.2.6 Perception du changement climatique par les pasteurs

Perception du changement climatique désigne la façon dont l'individu voit le processus d'évolution du climat dans le temps. La perception est le premier facteur qui conditionne les stratégies d'adaptation (Gbetbouo, 2009). L'histoire et l'évolution du pastoralisme indique que les pasteurs ont un savoir sur la dynamique des écosystèmes ; ce qui les rends aptes à déceler le moindre changement et d'adapter leurs pratiques. Ils ont une grande vision de l'évolution des paramètres climatiques dans le temps, ce qui leur permet d'anticiper.

I.2.7 Vulnérabilité des pasteurs face aux changement climatique

Les troisième et quatrième Rapport d'Évaluation du (GIEC, 2007), définissent la vulnérabilité en relation avec les changements climatiques de la manière suivante : *« degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des* changements climatiques*, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation ».*

L'élevage au Tchad est essentiellement extensif est basé sur des parcours naturels qui constituent, ainsi les principales ressources fourragères préconisées pour l'alimentation du bétail. La production de ces ressources est intimement liée à la pluviosité annuelle. Il a été relevé en outre, une nette régression des aires pastorales, due non seulement à la pression anthropique, mais aussi à la baisse des précipitations (Premier PNA, 2021).

La dépendance au climat n'est donc pas la seule explication de la vulnérabilité des éleveurs ; la marginalisation sociale, politique, et économique dont ils sont victimes en est une autre si non

la principale. Dans un système où la mobilité est la pierre angulaire, restreindre la capacité des acteurs à se déplacer pour accéder aux ressources critiques les expose naturellement aux conséquences de la variabilité climatique

II. MATERIEL ET METHODES

II.1 Matériel

Les matériels utilisés sont :

- GPS : système de positionnement global utilisé pour la prise des coordonnées géographiques ;
- Sonde piézométrique : pour la mesure des niveaux piézométriques ;
- Logiciels (QGIS 3.18 ; ARCGIS 10.5 ; EXCEL)
- Fiches d'enquête.

II.2 Méthodes

II.2.1 Localisation des puits pastoraux

Les puits pastoraux étudiés sont construits par le projet Almy Bahaïm (1995-1999). En 2004-2007, le projet Almy Al Afia a réalisé une réhabilitation de ces ouvrages sur financement de l'AFD (Agence française de développement). Les données des piézométries de 2004 de ces puits ont été fournies par DJIALTA Djimadoum, responsable de suivi et évaluation du projet PASTOR (Programme d'appui structurant le développement pastoral). Cette étude n'a fourni que les données de piézométrie de 2023.

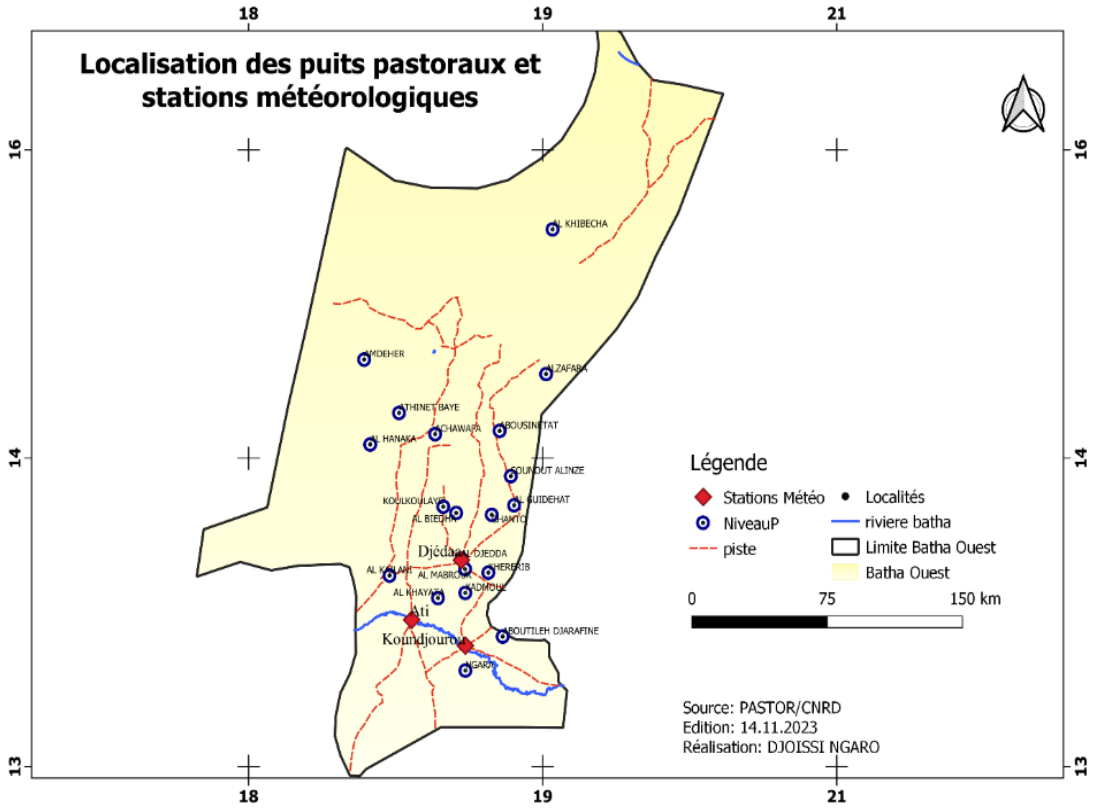


Figure 16: Carte de localisation des stations météorologiques et puits pastoraux (source PASTOR. 2013 et ANAM.2023)

Photo 1: Images de la station météorologique d'Ati (source Djoissi N.2023)

II.2.2 Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude, la méthodologie a pris en compte l'utilisation de documents (manuscrits et fichiers numériques) ainsi que la collecte de données et des enquêtes sur le terrain.

II.2.2.1 Exploitation documentaire

Cette tâche a été réalisée de manière transversale tout au long de l'étude documentaire. Cette exploitation a servi à définir le thème. Dans son ensemble, elle a impliqué la consultation de différents documents. Il s'agit de publications des revues, des travaux universitaires (mémoires, thèses), des rapports de recherche, des comptes rendus de colloques, des cartes topographiques, hydrogéologiques, etc.

II.2.2.2 Travaux de terrain

- **Collecte des données**

Afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur les puits pastoraux, des données ont été recueillies dans la zone d'étude. Les données concernent le climat, l'hydrogéologie, la démographie et la socio-anthropologie.

- **Données climatiques**

L'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Tchad a fourni les données météorologiques et climatologiques (pluviométrie, température, évaporation, humidité relative, ensoleillement) de trois (03) localités du département de Batha ouest, ainsi que des personnes de bonne volonté qui ont mené des recherches dans la région. La zone d'étude est équipée d'un réseau d'observation qui comprend trois (03) stations dans le Batha ouest :

- La station synoptique d'Ati ;
- La station de prévision des précipitations de Koundjourou ;
- Et la station de prévision des précipitations de Djedda.

La station d'Ati est une station complète qui comprend tous les paramètres nécessaires, ce qui en fait d'elle une station de référence pour cette étude.

- **Détermination de la variabilité interannuelle et tendance pluviométrique**

➢ **Calcul des indices, équation de tendance et coefficient de corrélation (anomalie des précipitation)**

Selon (Doukpolo, 2013), il est nécessaire de calculer les moyennes arithmétiques de la série chronologique, les totaux et les moyennes pluviométriques pour chaque année, l'écart-type de la série, ainsi que les indices qui permettront de créer le graphique des anomalies standardisées (pluies, températures).

On obtient le total des précipitations dans Excel en utilisant la formule suivante : =somme (b2 :m2).

➢ **La moyenne arithmétique**

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1} (xi)$$

La moyenne est le paramètre fondamental de tendance centrale, représentée par la normale. Elle est calculée sur une série chronologique trentenaire (Norme de l'OMM) et permet de caractériser l'état climatique moyen et de calculer les indices de dispersion les plus significatifs.

➢ **Le calcul de l'écart-type** : permet d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne normale. La formule est :

$$(\mathbf{x}) = \sqrt{\mathbf{v}}$$

L'écart-type est par excellence l'indicateur de la variabilité climatique.

- **Calcul des indices :** Le calcul des anomalies pluviométriques (indices) de chaque variable se fait par la formule de Nicholson, elle permet de mettre en évidence les fluctuations des régimes pluviométriques (Nicholson, et al., 1988), joue un rôle très important dans la détermination des variations saisonnières :

$$X_i = \frac{xi - \bar{x}}{\partial(x)}$$

- **Calcul des indices, équation de tendance et courbe à la moyenne mobile**

Pour arriver à avoir l'équation de tendance et la courbe de la moyenne mobile, il faut d'abord calculer les variables suivantes :

- Les totaux ;
- Les moyennes mobiles ou glissantes sur cinq (5) ans, la formule sur Excel : **=moyenne (N2 :N6)**
- Et les cumuls sont calculés à partir des totaux, dans un premier temps, les deux premiers totaux sont additionnés, et puis après il faut combiner le total de deux avec le troisième total et ainsi de suite.

- **Détermination des cumuls pluviométriques et homogénéité**

Les cumuls pluviométriques s'obtiennent par l'addition de deux premiers chiffres et en ajoutant chaque fois dans la ligne suivant le chiffre suivant à la somme obtenue est notée dans la ligne correspondante.

- **Analyse de températures**

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration (les pertes d'eau).

- **Diagramme ombro-thermique**

Elle est représentée graphiquement par la combinaison de deux facteurs, la température (°C) et la précipitation (mm) ; Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de GAUSSEN 1958. Une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieurs ou égales au double de la température ($P \leq 2T$).

II.2.2.3 Détermination de variation de niveau de la nappe d'eau souterraine

- **Collecte des données piézométriques**

Les données piézométriques utilisées pour cette étude proviennent en partie des archives du projet PASTOR. La rénovation des puits pastoraux a été réalisée entre 2004 et 2008. Nous avons examiné les récentes données de niveau piézométrique lors de notre visite sur le terrain au début du mois de novembre 2023.

- **Mesure de niveau piézométrique**

L'évaluation du niveau de l'eau a été réalisée en utilisant une sonde piézométrique. Son extrémité métallique est placée dans l'ouvrage et une fois qu'elle entre en contact avec la surface de l'eau, la sonde émet une signalisation sonore et lumineuse. Le ruban gradué de la sonde est utilisé pour lire la profondeur du niveau d'eau par rapport au sol.

Photo 2: Sonde piézométrique

- **Calcul de niveau piézométrique**

C'est le niveau de la surface libre de l'eau par rapport à ! un plan de référence. En pratique, c'est la différence entre l'altitude Z et le niveau de l'eau par rapport au sol. Il est obtenu à partir de l'équation suivante :

$$\boldsymbol{Np = Z - h + pf}$$

(Avec Z l'altitude (m) du terrain naturel à l'emplacement de l'ouvrage, h la profondeur (m) de la surface de l'eau mesurée avec la sonde et pf : la hauteur (m) du point de mesure par rapport au sol (Castany, 1982).

- **Détermination de relation entre précipitation et niveau piézométrique**

Pour étudier la relation précipitation-niveau piézométrique, il faut établir le graphique à deux (02) axes, comportant la courbe de la précipitation et l'histogramme de la variation de niveau statique des puits pastoraux entre 2004-2923.

II.2.2.4 Traitement et analyse des données

- **Données climatiques et piézométriques**

Dans le cadre de l'analyse de la variabilité climatique, plusieurs logiciels sont utilisés pour le traitement des différentes données acquises (ArcGIS, QGIS) et le tableur EXCEL. Dans la plupart des cas, les séries sont non chronologiques et avec beaucoup des données manquantes. Dans le cas où la série chronologique manque deux (02) à trois (03) ans, nous avons comblé les années manquantes en utilisant la moyenne mobile (type de moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées des données, des séries temporelles) ou moyenne glissante, combinaison linéaire finie des valeurs de la série correspondant à des dates entourant (t). Elle réalise donc un lissage de la série (Rubenthaler, 2021).

II.2.2.5 Disponibilité des puits pastoraux

- **Evaluation en point d'eau pastoraux**

Selon l'étude menée par le ministère de l'hydraulique dans le cadre de schémas directeur de l'eau et assainissement (SDEA. 2003) pour l'évaluation des points d'eau pastoraux, cela a consisté à définir un maillage hexagonal de référence centré sur le puit existant et géoréférencé. Ce réseau varie en fonction des régions agroécologiques du Tchad. Pour la zone sahélienne et la zone soudanienne chaque hexagone s'inscrit dans un cercle de 25 km de diamètre, ce qui, en supposant que tout le territoire soit équipé d'une telle densité de points d'eau pastoraux, placerait toute personne où qu'elle se trouve, à moins de 12,5 km d'un point d'eau. En revanche, dans la région saharienne, on opte pour un maillage légèrement plus large car les hexagones de ces latitudes ont été implantés dans des cercles de 100 km de diamètre. Cela permettrait à tout utilisateur potentiel de se trouver à moins de 50 km d'un PEP.

Dans le cadre de cette étude, cette approche est appliquée pour faire la projection afin d'avoir une approximation sur la couverture totale de la zone. Selon le PNDE2. 2017 la couverture actuelle en puits pastoraux moderne est de 20% et la plupart sont situés sur les parcours reliant les localités du nord Batha au lac Fitri ou au fleuve Batha, où les transhumants passent la plupart de la saison à la recherche de pâturages et également sur les grands axes reliant les marchés de bétails.

Photo 3: puits pastoraux, Koulkoulaye à droit et à gauche Al mabrouk (source Djoissi. N, 2023)

II.2.2.6 Acquisition des images satellitaires

LANDSAT a été sélectionné parmi les diverses catégories de capteurs disponibles dans le domaine du visible et du proche infra-rouge pour deux raisons principales :

- C'est le plus ancien des programmes d'observations de la terre, disposant ainsi d'une importante archive d'images sur des longues périodes (plus de 30 ans) ;
- Les informations LANDSAT sont accessibles en ligne gratuitement sur la plateforme web du USGS (Unites States Geological Survey), une institution américaine spécialisée dans les sciences de la terre.
- Pour parvenir au téléchargement, il faut accéder via son compte Earth Explorer et introduire les critères de recherches puis télécharger scène par scène si votre zone est vaste.

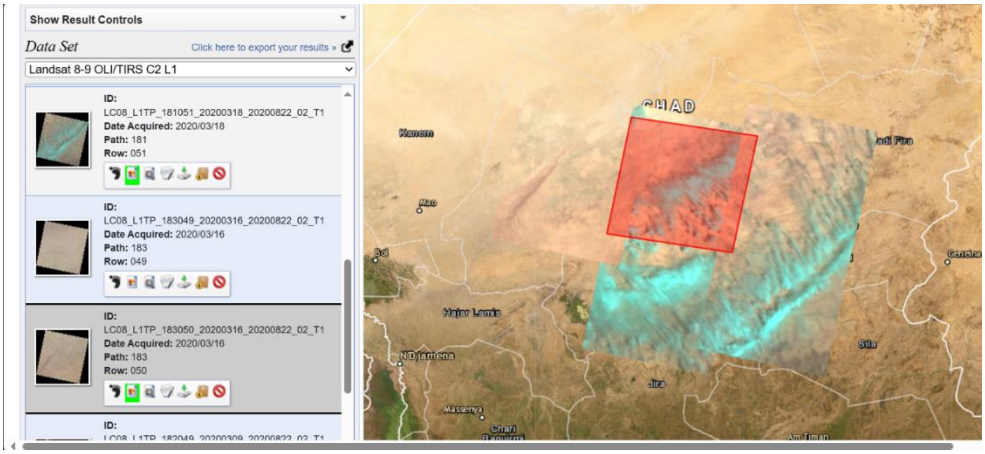


Photo 4: Procédure d'acquisition des images satellitaires (https://earthexplorer.usgs.gov/)

Pour cette étude, nous avons utilisés les images du satellites Landsat 7 pour télécharger les images antérieures à 2010 et Landsat 8 pour les images après 2010. Son capteur propose une représentation de neuf (9) bandes spectrales avec une résolution spatiale de 30 mètres. L'analyse spatiotemporelle et le traitement des images satellitaires par télédétection sont utilisés pour étudier l'évolution des unités d'occupation des sols. La procédure en question comporte plusieurs étapes qui sont résumées dans l'organigramme suivant.

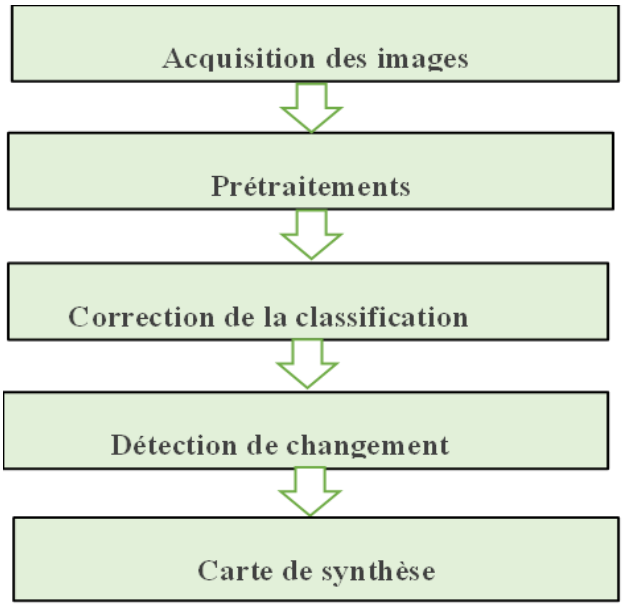


Figure 17: Etape d'analyse et de traitement des images satellitaires

Analyse spatio-temporelle :

Les images satellitaires sont traitées et analysées à l'aide des logiciels SIG (ArcGIS et QGIS). Il faut noter que ArcGIS est le logiciel de cartographie le plus fluide dans la manipulation.

L'utilisation des images dans cette étude prend en considération plusieurs contraintes, telles que la qualité des images à différentes dates et leur comparabilité. Afin d'alimenter une analyse diachronique comme celle envisagée ici, il est nécessaire que la série temporelle des images couvre les périodes, et que les variations de temps permettent de reconstituer les principales tendances de l'évolution de l'occupation du sol entre les années 1990 et 2020. Par ailleurs, dans le cadre des analyses diachroniques, il est préférable d'utiliser des images acquises à la même période de l'année (Tchavez, et *al*., 1994).

Tableau III: Dates et caractéristiques des images Landsat choisies

Capteurs	**Identifiants de la scène**	**Date**
Landsat 7	182-49 ; 183-50 ; 182-49 ; 182-50 ; 182-51	29 mars 2000
Landsat 7(TM)	182-49 ; 183-50 ; 182-49 ; 182-50 ; 182-51	12 mars 2010
Landsat 8(TIR-OLI)	182-49 ; 183-50 ; 182-49 ; 182-50 ; 182-51	19 mars 2020

Prétraitement :

Il permet de préparer les images pour l'analyse principale et l'extraction de l'information. Selon Tir (2016), il existe deux types d'opérations de prétraitement : une correction géométrique qui permet de corriger les distorsions de l'image causées par les variations de la géométrie terre-capteur, et une correction radiométrique qui permet de réduire les bruits d'images causés par les capteurs ou l'atmosphère (poussières atmosphériques, nuages, vent de sable, etc.). La conclusion de cette opération consiste à combiner les différentes scènes et à utiliser des compositions colorées tel que la composition vraie couleur (432) et la fausse couleur (543 ; 654) afin d'améliorer la photo-interprétation.

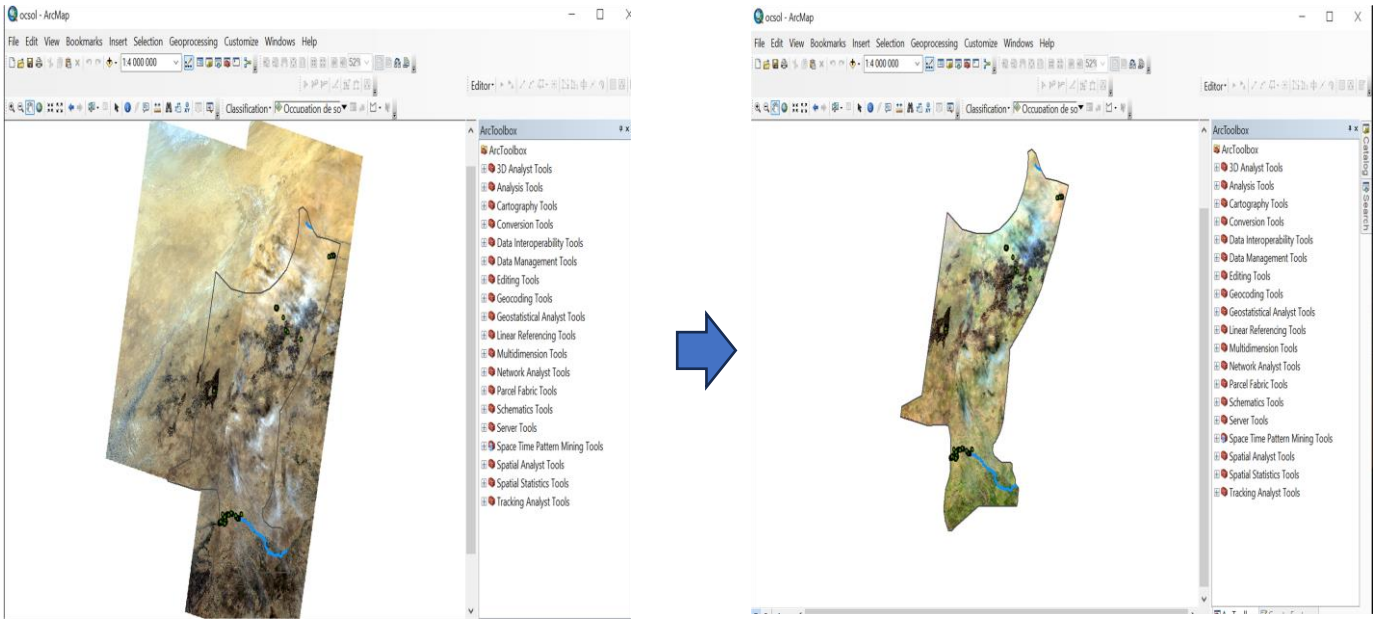


Photo 5: Traitement d'image satellitaire dans ARCGIS

La classification représente l'étape la plus importante et la plus difficile à effectuer, car elle implique de sélectionner correctement les données de test, qui sont des échantillons de chaque classe thématique, car elle est cruciale pour garantir la précision des résultats. La correction implique la distinction entre les diverses catégories d'unités d'occupation du sol. Néanmoins, la détection de modification permet de repérer les petites variations de classe, entre deux images classées à des dates différentes. Les images obtenues mettent en évidence, de manière spatiale et quantitative, les évolutions historiques de la zone d'étude.

Carte de synthèse :

Cette phase finale consiste à réaliser des cartes de synthèses des changements observés au cours du temps. Des tableaux viennent compléter les résultats en apportant des précisions sur les superficies (régression ou l'extension des différentes classes).

II.2.2.7 Enquête sur la perception des éleveurs du changement climatique

Les paramètres climatiques retenus pour l'étude de la perception sont la pluviométrie, la température et plus précisément leur évolution durant les trente (30) dernières années en comparaison avec la période précédente. Nous avons examiné la quantité d'eau tombée, la quantité de pluies par saison hivernale et la durée de la saison hivernale pour la pluviométrie. Les producteurs utilisent généralement ces éléments pour évaluer la nature de la saison (West et *al*, 2008). L'intensité, la durée des périodes chaudes et celle des périodes froides sont les paramètres choisis pour la température. La perception des éleveurs a été évaluée en comparant les données météorologiques de cette zone pour la même période.

La perception du changement de leur environnement par les communautés rurales se fait à travers des éléments tels que l'évolution du couvert végétal, la disponibilité des ressources hydriques, etc. Pour comprendre l'impact probable du changement et de la variabilité climatique, les pasteurs sont emmenés à se prononcer sur l'évolution des ressources pastorales (herbacés et ligneux) et celle de l'eau au cours des trente (30) dernières années. Cette évolution des ressources a également eu des conséquences sur les productions animales (naissance, production de viande, de lait et de fumier).

L'enquête s'est beaucoup focalisée sur les modifications qui ont eu lieu dans leurs pratiques au cours des trente dernières années. Ces évolutions sont liées aux nouvelles pratiques telles que la diversification des activités, la sélection (introduction de nouvelles races?), ainsi qu'aux changements intervenus dans les anciennes pratiques telles que la mobilité (transhumance) et l'alimentation. Afin de comprendre les stratégies d'anticipation des pasteurs, ils ont été testés à

l'aide d'un test de simulation : ils décident de ce qu'ils feront en cas d'aridification permanente ou d'humidification permanente du climat.

- **Traitement des données d'enquête**

La saison de pluies, débute dans le passé (il y a 20 ans) en mois de mai et finissait en octobre, mais actuellement elle débute au mois de juillet et finit également au mois d'octobre. La tendance actuelle de pluies irrégulières et le nombre des jours sans pluies sont réguliers que par le passé ; et les nombre des jours de pluies sont plus de 4 mois par le passé et moins de 4 mois actuellement. Avec un vent plus violent et des fortes pluies moins fréquentes. La température plus élevée dans la journée et également dans la nuit.

La saison sèche est par contre de plus en plus longue, avec une température très élevée dans la journée et plus froide dans la nuit.

III. RESULTATS

III.1 Analyse des éléments climatiques

La répartition spatiale de la quantité totale annuelle de pluie est globalement inégale. Elle diminue du Sud vers Nord dans toute la zone d'étude. On trouve la moyenne la plus élevée dans la sous-préfecture de Koundjourou et elle diminue progressivement quand la latitude augmente.

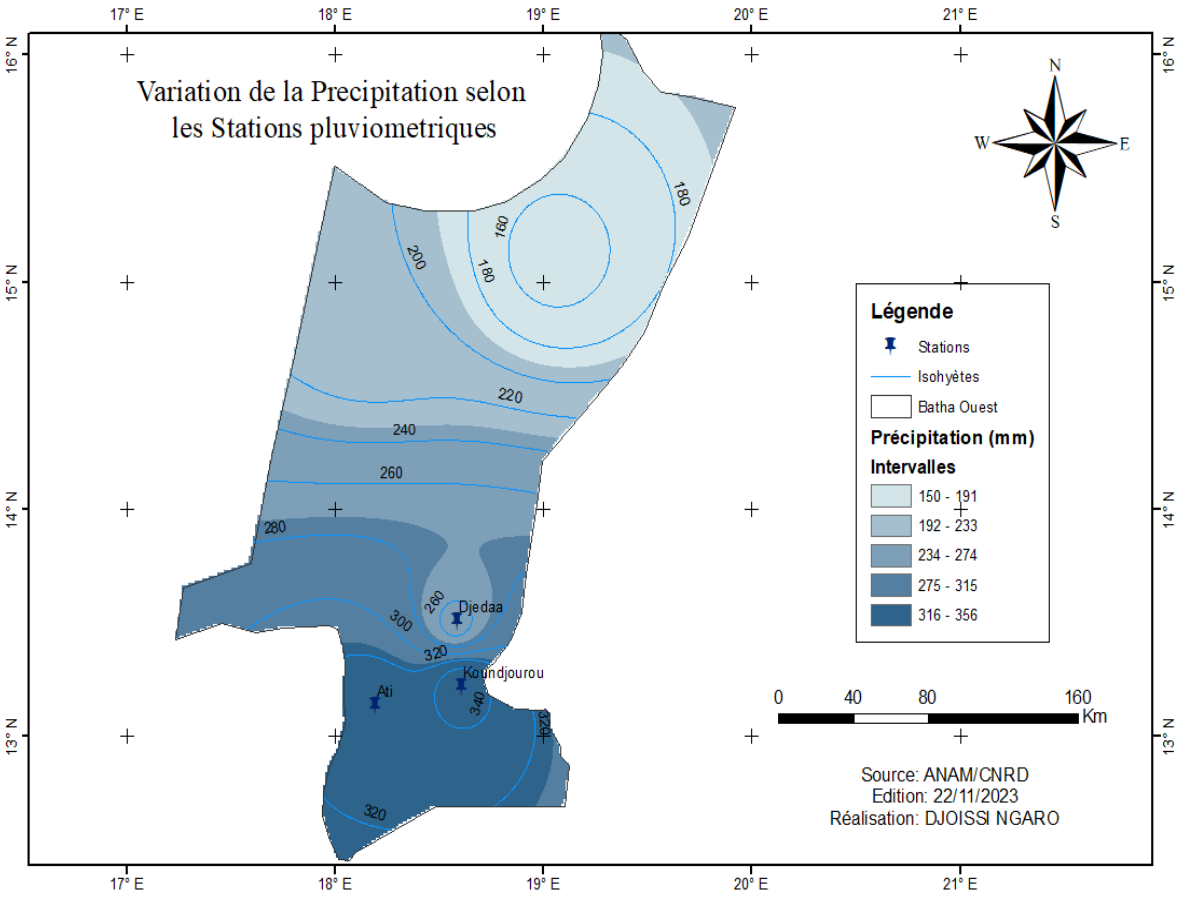


Figure 18: Carte de précipitation (source ANAM.2020)

Afin de mieux comprendre la variation de la précipitation entre 1990 et 2020, dans toute la zone d'étude, une analyse de données a été effectuée en prenant en compte un intervalle de dix (10) ans. La première décennie est mieux arrosée que les deux autres, comme le démontre cette analyse. Cependant, cette évolution possède une particularité commune : la régression lorsque l'on évolue en latitude (figure 18).

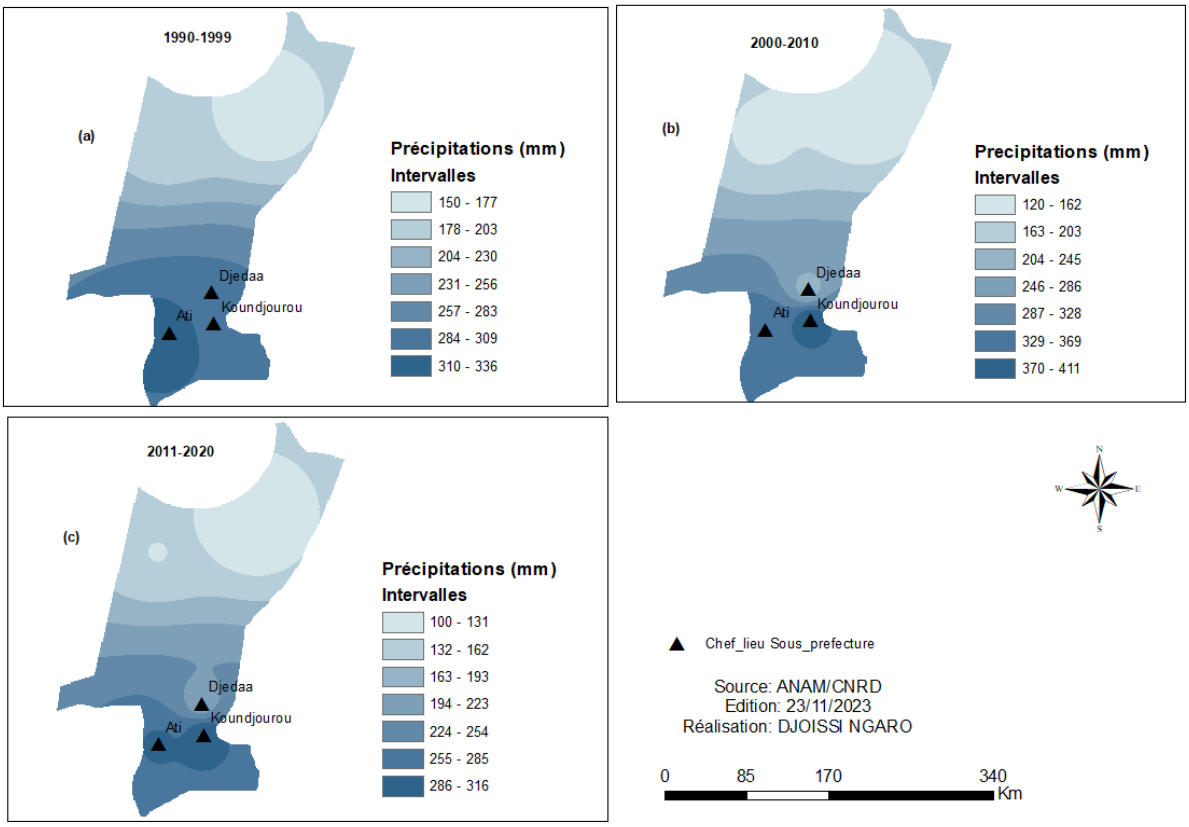


Figure 19: Carte de précipitation : évolution décennale (source ANAM)

III.1.1 Régime pluviométrique et évaporation

Le régime des précipitations et de l'évaporation présente une variation entre 1990 et 2020 à Ati (la zone de référence). La moyenne mensuelle de température présente une variation pendant la période 1990-2005. Elle est élevée au cours de l'année avec une moyenne de 36,52°C. Elle peut atteindre 40 °C en mois d'avril. Cela témoigne de la forte évaporation dans la région d'Ati (figure 20) illustre l'augmentation de l'évapotranspiration.

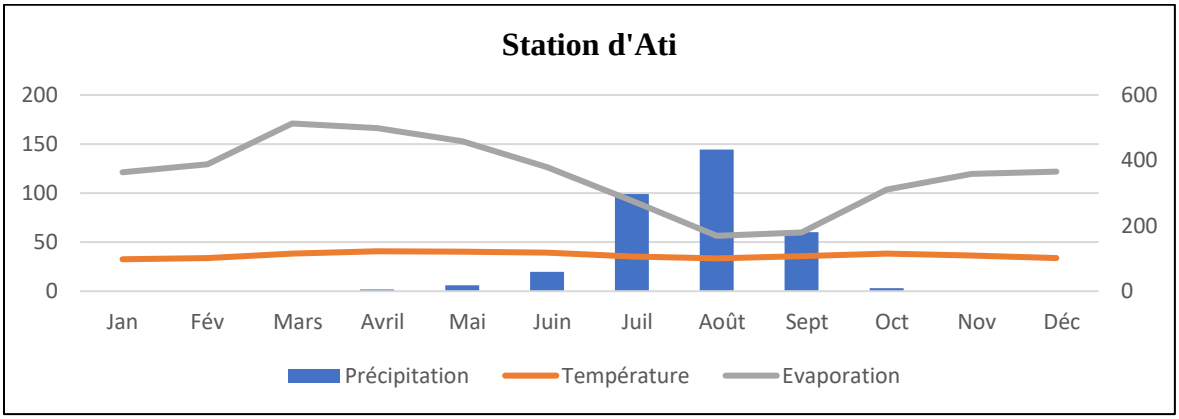


Figure 20: Régime pluviométrique et évaporation (source ANAM.2020)

III.1.1.1 Anomalie pluviométrique

Pendant la première décennie, on observe une alternance entre les années humides et sèches, par contre la décennie suivante parait beaucoup plus humide que la précédente et enfin la dernière décennie est sèche.

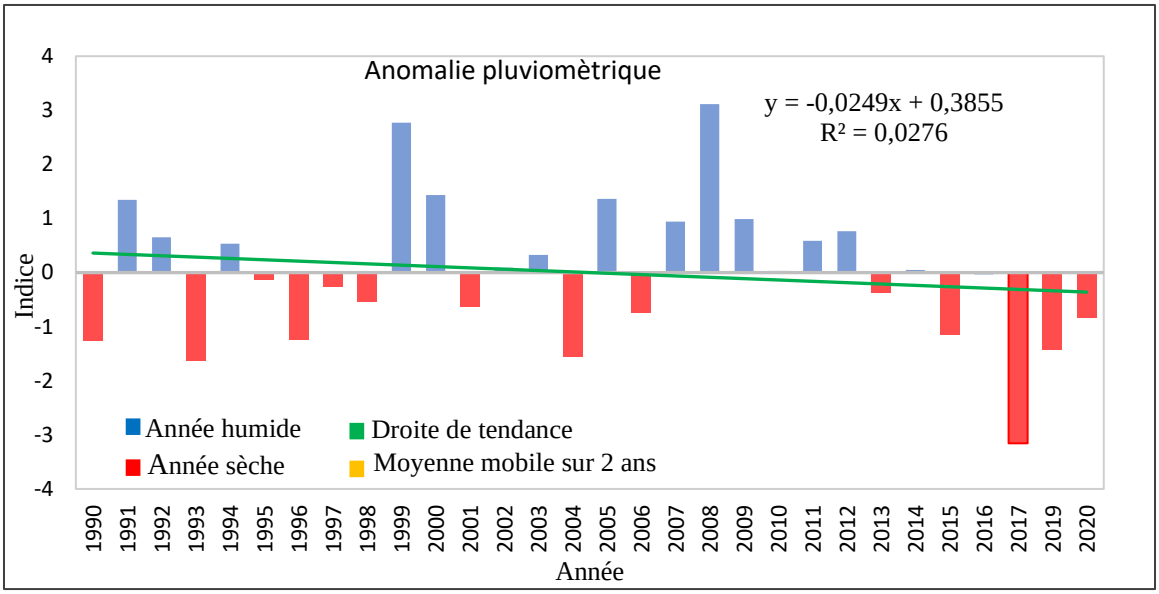


Figure 21: Anomalie pluviométrique

III.1.1.2 Variabilité et tendance thermométrique

La figure ci-dessous illustre la répartition de l'anomalie de thermométrique dans la zone d'étude.

L'analyse des données a montré que toutes les valeurs sont au-dessus de la normale caractérisant les décennies de chaude mais quelques exceptions observées 1997, 2007, 2008, 2009 et 2012 les qualifiant d'années froides.

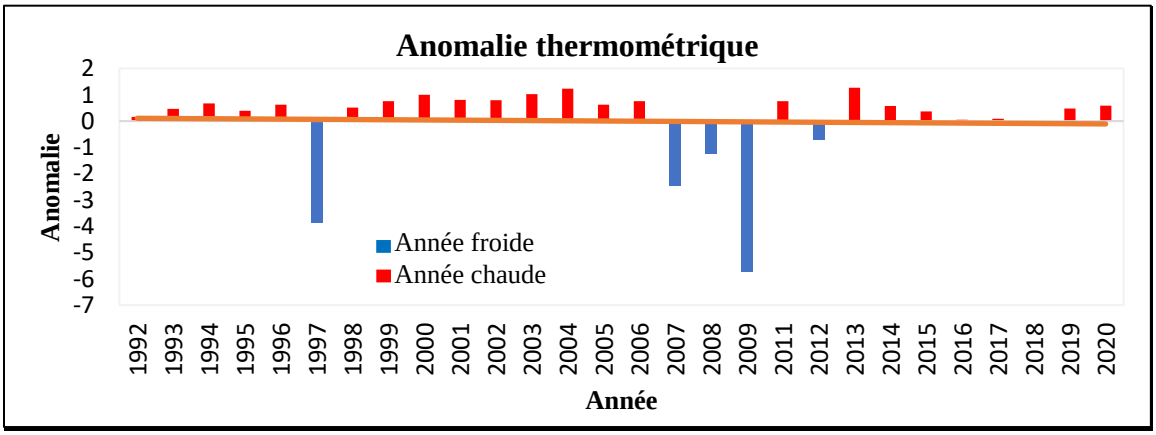


Figure 22: Anomalie thermométrique

III.2 Détermination de la variation de niveau de la nappe d'eau souterraine

La (figures 23) ci-dessous représente l'évolution de niveau de nappe d'eau souterraine de 2004-2023. Conformément au graphique, on constate que si l'on s'éloigne du fleuve Batha en progressant vers le nord, la surface de la nappe devient de plus en plus profonde et entraine une forte variation de niveau de la nappe.

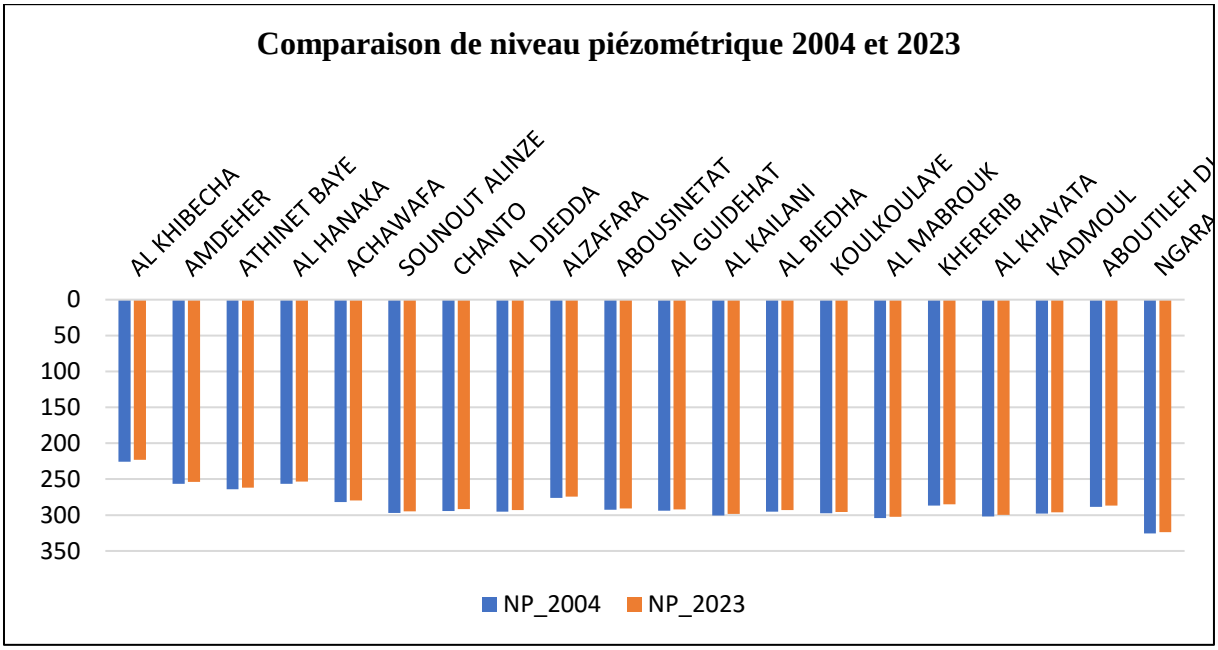


Figure 23: Comparaison de niveaux piézométriques entre 2004 et 2023

(Figure 24) obtenue de la différence entre le Niveau piézométrique 2004 et 2023 montre que là où le niveau piézométrique a plus varié se situe a Al Kibecha (Djedda) et moins de variation est observé à Ngara (Koundjourou).

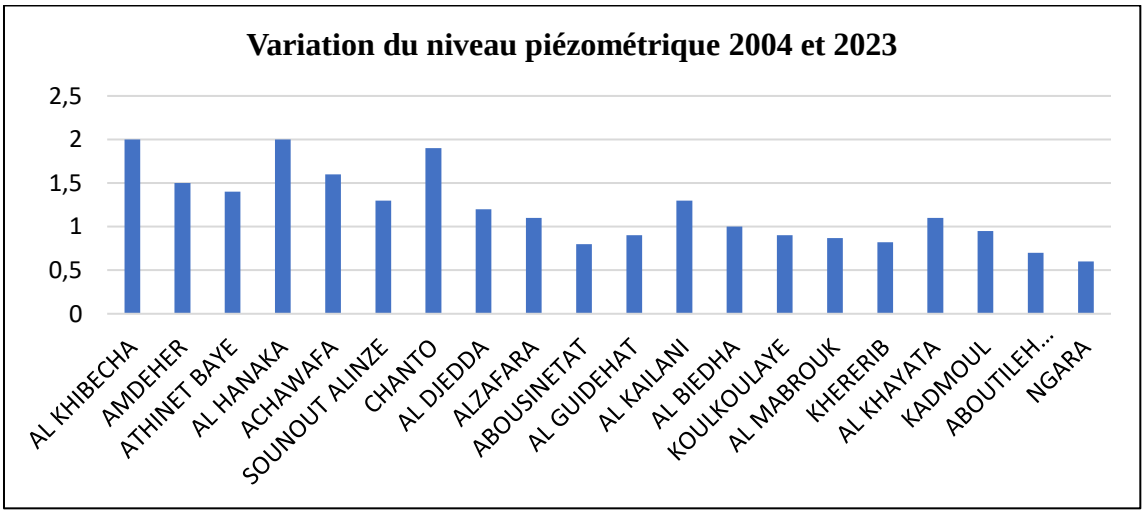


Figure 24: Variation du niveau piézométrique 2004 à 2023

La (figure 25) représentant l'esquisse piézométrique de la zone nous permet d'avoir une indication sur le sens d'écoulement de l'eau souterraine (S-N) et la localisation du dôme piézométrique situé au sud (Ngara avec NP=325,6m).

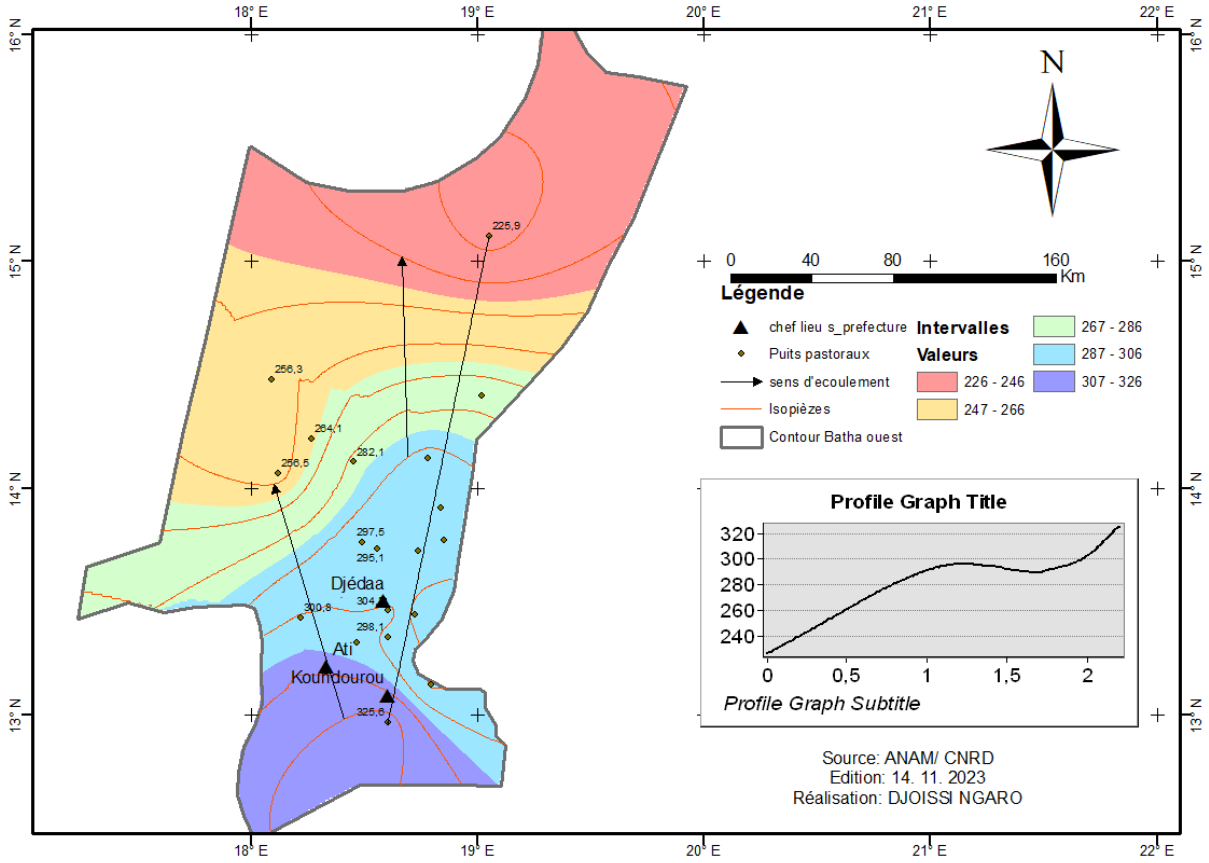


Figure 25: Esquisse piézométrique de la zone d'étude

III.2.1 Relation entre précipitation et niveau piézométrique

L'analyse des graphiques (figures 18 ; 19 ; 20 ; 21) montre la réaction de la nappe aux sollicitations de la pluviométrie. L'anomalie pluviométrique met en évidence cette relation puisque si nous observons la figure 26), les histogrammes décrivent parfaitement la variation de niveau piézométrique en fonction de l'apport en quantité de pluie.

La figure 18, carte de l'évolution de la précipitation indique que la station d'Ati et Koundjourou sur les 30 ans sont mieux arrosées que Djedaa et progressivement vers les hautes latitudes.

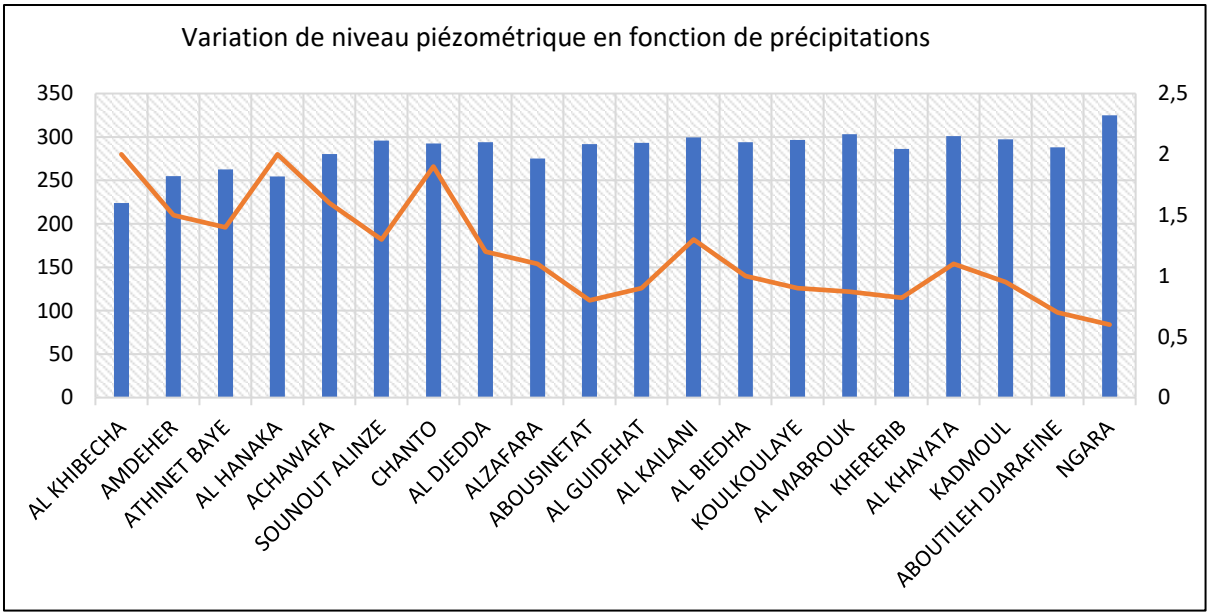


Figure 26: Relation précipitations et niveau piézométrique

III.3 Disponibilité des puits pastoraux

III.3.1 Evaluation de besoin en puits pastoraux

En appliquant la méthode de calcul basée sur une répartition régulière de 25 km la position de chaque puit pastoral organisés autour des couloirs de transhumances, il ressort de cette projection un nombre estimatif de 322 puits pour couvrir toute la zone tout autour des couloirs de transhumance.

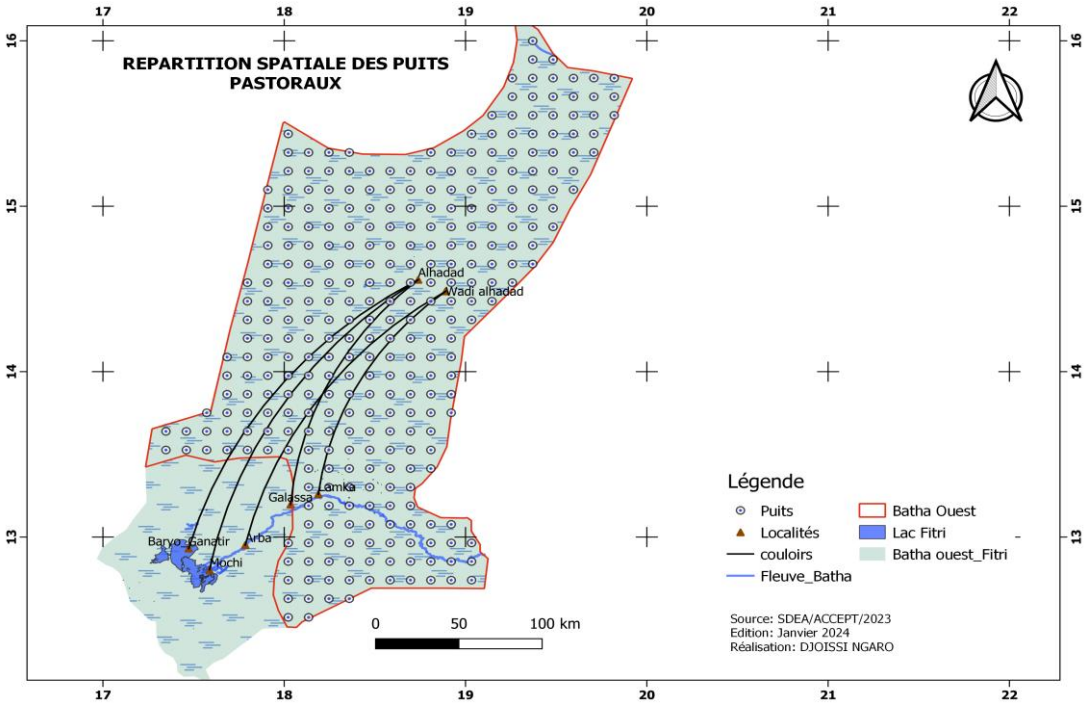


Figure 27: Répartition spatiale des puits pastoraux

III.4 Evolution de l'occupation de sol de 1990-2020

Les cartes ci-dessous obtenues après traitement des images Landsat 7 et 8 montrent une évolution spatio-temporelle des différentes unités d'occupation de sol. Cette étude diachronique montre qu'entre la carte (a) et (b), la surface occupée par la végétation a diminué de 2000 km^2 tandis que l'espace cultivable a augmenté de 1900 km^2. On constate également l'expansion de sols nus à environs 2050 km^2. Cela traduit une croissance fulgurante de la population et celle du cheptel de la zone d'étude.

Ente la 2^e et 3^e décennie, les images décrivent une légère augmentation de la végétation et une diminution de l'espace culturale. L'augmentation de la surface occupée par la végétation est due aux mesures prise par le gouvernement interdisant la coupe abusive des arbres selon les personnes consultées. Par contre, la diminution de l'espace culturale est liée à la baisse la pluviométrie pendant cette décennie.

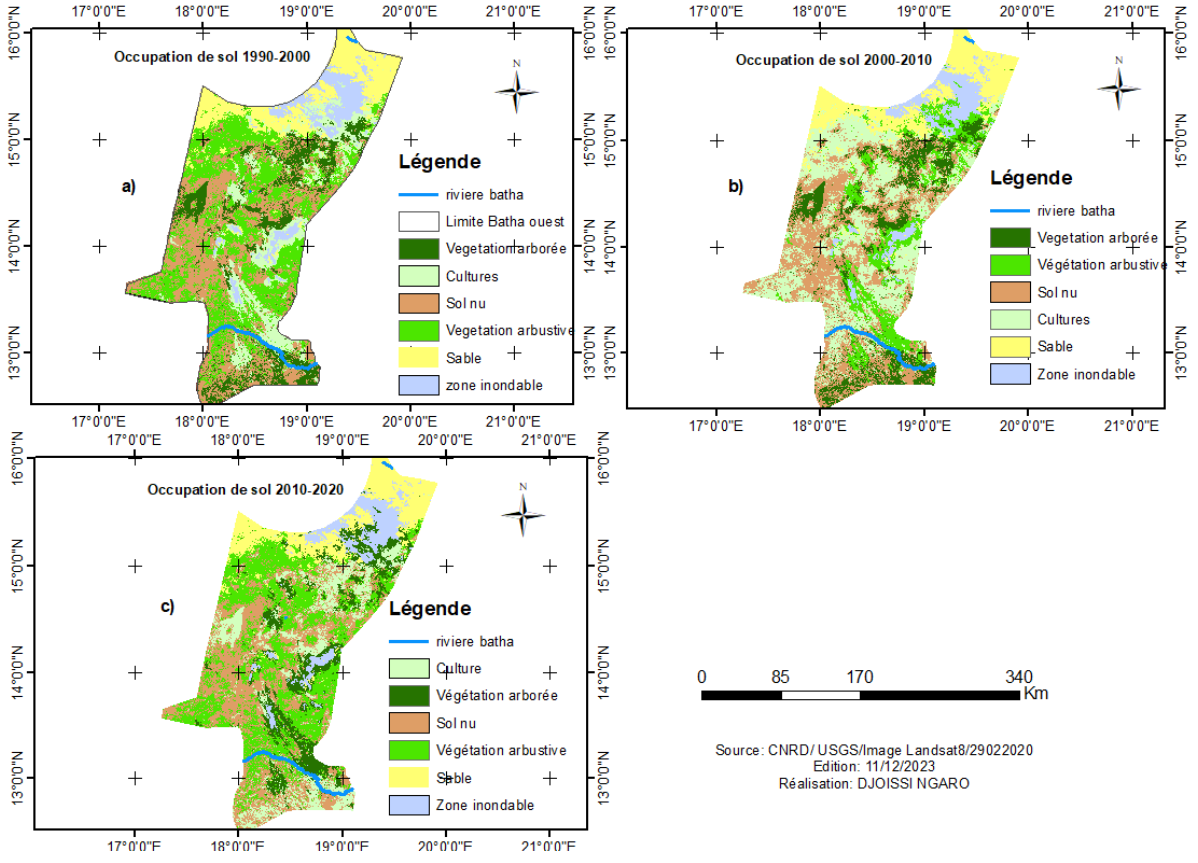


Figure 28: Carte d'occupation de sol 1990-2020 (CNRD/LC08_L1TP_181053_20231224_20240103)

L'évolution des unités d'occupation de sol en fonction des superficies est représentée et recapitulée dans le tableau et diagramme ci-dessous :

Tableau IV: Récapitulatif des superficies en fonction des classes

Unités occupation de sol		Végétation arborée	Végétation arbustive	Sol nu	Culture	Sable	Zone inondable	Total
1990-2000	Superficie (km^2)	6929	6413	13327	9065	6971	3570	46275
2000-2010		4020	4250	15400	11050	7835	4580	47135
2010-2020		5030	6050	14560	8215	9050	2590	45495

Tableau V: Récapitulatif de pourcentage suivant chaque classe

Unités d'occupation de sol	**1990-2000**		**2000-2010**		**2010-2020**	
	Km^2	%	Km^2	%	Km^2	%
Végétation arborée	6929	14,97	4020	8,52	5030	11,05
Végétation arbustive	6413	13,85	4250	9,01	6050	13,29
Cultures	9065	19,58	11050	23,44	8215	18,05
Zones d'inondation	3570	7,71	4580	9,71	2590	5,69
Sols nus	13327	28,79	15400	32,67	14560	32
Sable	6971	15,06	7835	16,62	9050	19,89

Tableau VI: Récapitulatif suivant l'évolution de chaque classe

Différence inter décennie	**D_1-D_2**		**Tendance**	**D_2-D_3**		**Tendance**
	Km^2	%		Km^2	%	
Végétation arborée	-2909	6,45	Régressive	+1010	2,53	Progressive
Végétation arbustive	-2163	3,91	Régressive	+1800	4,28	Progressive
Cultures	+1985	3,86	Progressive	-2835	5,39	Régressive
Zones d'inondation	+1010	2	Progressive	-1990	4,02	Régressive
Sols nus	+2073	3,88	Progressive	-84O	0,67	Régressive
Sable	+864	1,56	Progressive	+1215	3,27	Progressive

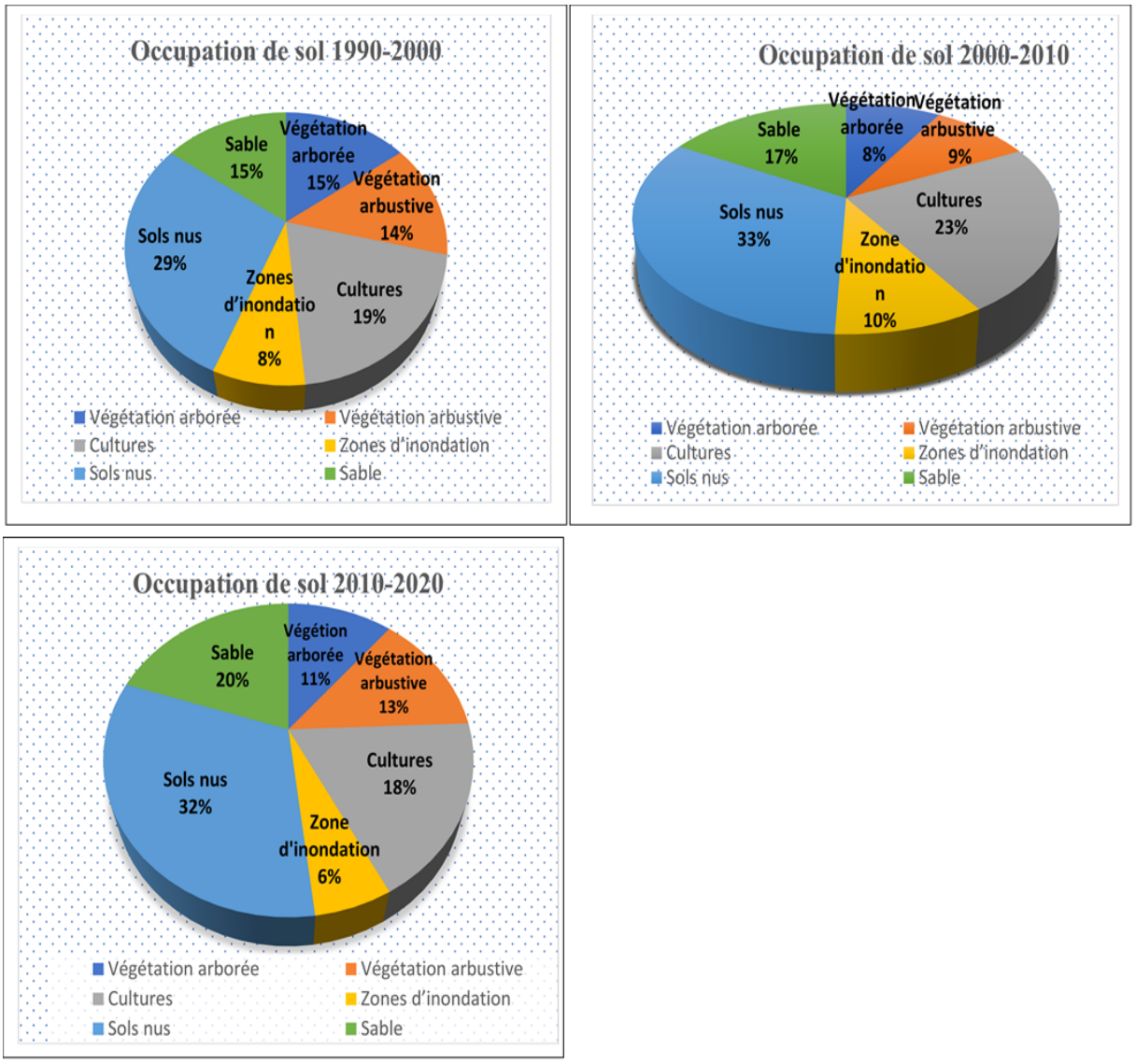


Figure 29: Evolution de la surface des unités d'occupation de sol 1990-2020

III.5 Opinion des pasteurs sur l'influence de changement climatique sur la ressource en eau

L'une des conséquences directes de la variabilité des précipitations et des températures que les populations locales notamment les pasteurs peuvent percevoir est sans conteste son impact sur la disponibilité des ressources pastorales. Dans nos trois zones d'étude, cette disponibilité est fortement affectée selon les pasteurs (Figure 6). La quasi-totalité de ces derniers constatent une baisse de la disponibilité des ressources en eau et fourragère. Respectivement 90% dans la zone de Djedaa et 80% dans la zone d'Ati et Koundjourou attestent cela. Les ligneux et les résidus culturaux qui constituent un fourrage d'appoint pendant la période de soudure sont de plus en plus insuffisant. Par ailleurs, la disponibilité en eau selon 95% dans la zone de Djedaa, 85% dans la zone d'Ati et Koundjourou est en baisse ; ce qui accentue les difficultés d'abreuvement en saison sèche.

Cependant, à Ati et Koundjourou 10% se sont exprimé en faveur d'une progression de la végétation autour du fleuve Batha et le lac Fitri. Ils argumentent que cette progression est due aux mesures prises par l'Etat Tchadien interdisant la coupe abusive des arbres pour lutter contre la désertification.

Les ressources naturelles essentielles pour l'élevage pastoral sont en nette régression. Même si d'autres facteurs comme la pression démographique peuvent également être la cause de cette situation, la fluctuation des paramètres climatiques y peut expliquer cela car il existe un lien étroit entre la productivité des ressources pastorales et les conditions climatiques.

Tableau VII: Effectif de la population enquêtée (source Djoissi N. 2023)

Département	Sous-préfecture	Hommes	Femmes	Jeunes	Total
Batha Ouest	Ati	15	7	5	27
	Koundjourou	10	5	8	23
	Djedaa	9	3	10	22

Les résultats d'enquête sont représentés sous forme de graphiques pour une bonne analyse des opinions des éleveur pasteurs sur le changement climatique.

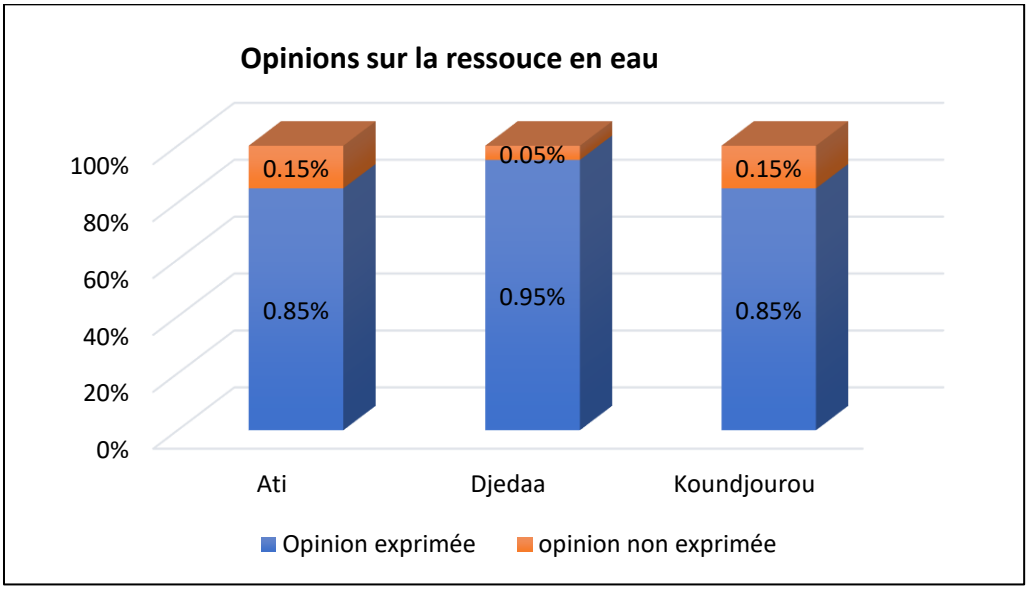


Figure 30: Opinion des pasteurs sur l'évolution de la ressource en eau (source Djoissi, enquête. 11/2023)

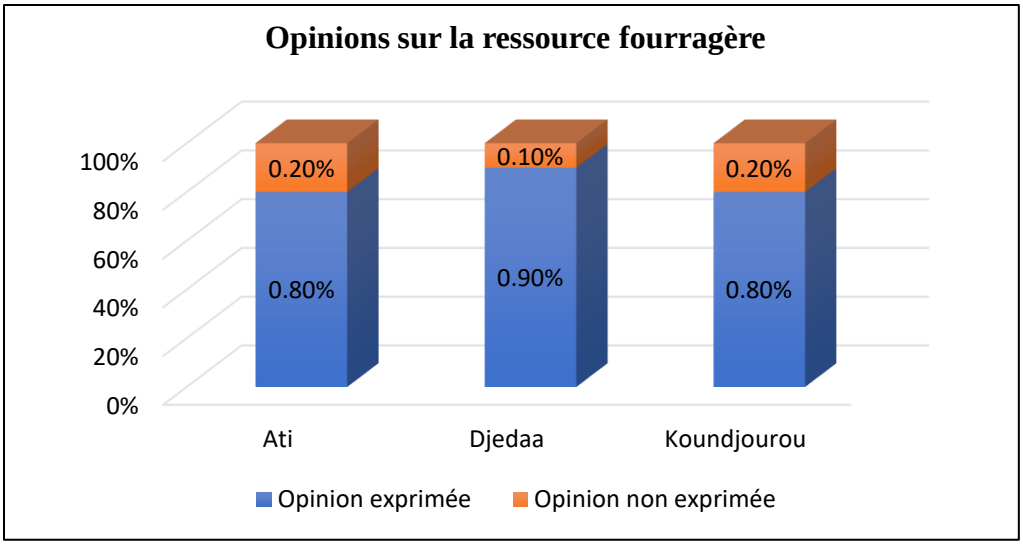


Figure 31: Opinion des pasteurs sur l'évolution de la ressource fourragère (source Djoissi, enquête. 11/2023)

III.5.1 Stratégies locales d'adaptation aux changements et à la variabilité climatique

Plusieurs techniques d'adaptation aux Changements climatiques sont actuellement utilisées en milieu rural au Tchad expérimentées avec l'accompagnement des partenaires des projets tel que ACCEPT qui accompagne les éleveurs dans la production de foin amélioré. Une douzaine a été qualifiée de techniques d'adaptation avérées aux changements climatiques. Elles concernent les secteurs de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. Ces techniques d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques sont destinées pour le renforcement des capacités aux communautés locales. Compostage, utilisation de semences améliorées, système d'exhaure solaire comme moyen de mobilisation de l'eau et de diversification agricole, gouvernance locale des ouadis pour accès à la terre et la sécurisation foncière pour les groupes les plus vulnérables, cordons pierreux, demi-lune, culture fourragère, et conservation de fourrage, délimitation des espaces pastoraux (zonage), construction de mares et d'un dispositif anti érosion autour des mares pour l'accès à l'eau, mise en défense de plan d'eau (UICN, 2020).

Les éleveurs pasteurs adoptent différentes pratiques plus généralement la diversification des espèces et la mobilité (transhumance et migration).

III.5.2 Diversification des espèces

Les bovins ne constituent pas la seule espèce élevée dans notre site d'étude. Dans tous les foyers, nous avons pu constater la présence de petits ruminants (ovins et caprins), de camélins, d'asins équins, etc. Les quantités de petits ruminants présents dans les foyers diffèrent d'une région à l'autre en fonction des conditions d'adaptation des espèces et de la facilité de vente.

III.5.3 La mobilité des bétails

Les éleveurs pasteurs se distinguent par leur capacité à se déplacer en fonction des contraintes et des opportunités que leur offre le climat. Grâce à cette compétence, ils peuvent maximiser l'utilisation de l'inégale répartition spatio-temporelle des ressources, une caractéristique également des régions du Sahel. Bien que cette pratique soit aussi ancienne que l'élevage sahélien, elle a néanmoins subi des changements au fil du temps. Les événements climatiques extrêmes au Sahel, tels que les sécheresses fréquentes et sévères, la prolongation de la saison sèche, l'arrivée tardive de la saison pluvieuse, etc., sont responsables de ces changements. Tous les pasteurs interrogés pratiquent la transhumance à 100 %.

Il est important de souligner que ces transhumants se déplacent en novembre vers les rives du fleuve Batha et les bourgoutières du lac Fitri, puis se retirent lorsque les premières pluies arrivent.

IV. DISCUSSION

Au sud de la zone d'étude, la pluviométrie moyenne annuelle est de 300 mm/an, puis elle diminue progressivement en remontant vers le nord. La valeur moyenne de la station de Djedaa est inférieure à 200 mm/an, tandis que les stations d'Ati et de Koundjourou enregistrent des valeurs moyennes presque égales. Ces résultats reflètent les spécificités de la bande sahélienne et sont comparés à ceux de (Ibra, et *al*., 2017). La figure 20 (indice de pluviométrie) montre que sur les trente (30) ans, réparti avec un pas de temps de dix (10) ans, la zone a connu pendant la première décennie (1990-2000) une alternance entre une tendance humide et sèche ;

La deuxième décennie (2000-2010) a plutôt une tendance humide. La dernière décennie est caractérisée par une faible pluviométrie. Cette étude repose sur l'observation de la différence avec la moyenne des précipitations par an. (Broudic, et *al*., 2019) ont obtenu les mêmes résultats ; selon ces auteurs à partir des années 1990, la pluviométrie s'est globalement améliorée mais caractérisée par de fortes irrégularités.

Certains auteurs se sont demandé si l'on a affaire à une véritable modification du climat ou à une anomalie inhabituellement longue d'une fluctuation naturelle en raison de la persistance de faibles précipitations. Les pluviométries moyennes annuelles spatialisées (Figure 18) ont montré une diminution progressive des pluies annuelles du Sud vers le Nord dans la zone d'étude, ceux-ci corroborent aux valeurs annuelles 1955-1992 (Vissin, 2001) et (Ardoin, 2004). L'évolution interannuelle de la pluviométrie moyenne annuelle de 1950-2015 au Tchad (Manna, et *al.,* 2021) montre une forte variabilité au cours des années 1970 à 1989 par rapport à la normale 1961-1990 de l'ordre de 20% de diminution (Hulme, et *al.,* 2001).

L'étude de la température interannuelle (1990-2020) dans les Départements d'Ati a révélé une tendance à une augmentation de, ce qui correspond à un réchauffement de 1,5°C. Selon la projection de GIEC, (2007) la température moyenne sur le continent africain par rapport à la normale de 1961-1990, de l'ordre de +4°C à +3,5°C dans le sahel. La température élevée entraîne également une augmentation de l'évapotranspiration, ce qui entraîne une diminution de la quantité d'eau dans les sources d'eau et un assèchement précoce de la nappe alluviale, qui est très sensible aux variations climatiques (Djohy, et *al*., 2018).

Les mesures de niveaux piézométriques ont été utilisées dans cette étude pour observer la fluctuation des niveaux piézométriques. On observe une augmentation de la surface de la nappe quand on écarte de la bordure du fleuve Batha vers le nord. Une variation de (0,6 à +2m) quand on se trouve dans le 14e parallèle. Ces résultats confirment ceux de (Djoret, 2000) qui suggèrent

que les nappes se rechargent de manière discontinue à travers le fleuve Batha et que les eaux de pluies s'infiltrent dans les zones favorables. La profondeur de la surface de la nappe est minimale en bordure immédiate du Batha (15 à 25m) et augmente vers le nord et atteint les 50m en 15 à 20km. Les illustrations piézométriques (figure 24) et le profil piézométrique indiquent un flux orienté Sud-Nord et la partie la moins profonde de la nappe se trouve autour du Batha. Selon l'analyse de l'évolution de niveau piézométrique de la nappe, les eaux du fleuve Batha alimente la nappe mais quand on s'éloigne de celui-ci, la profondeur de nappe augmente considérablement au-delàs de 15km. Cela démontre que le fleuve n'est capable d'alimenter que les nappes situées à proximité.

Le niveau de la nappe est fortement influencé par les variations climatiques, ce qui explique les variations observées dans les différentes stations piézométriques. Cependant, il convient de souligner que les années 2003 et 2008 ont été remarquables car elles ont enregistré des précipitations de plus de 550 mm par an, ce qui leur confère l'indice des années humides. La recharge des nappes est principalement alimentée par les précipitations, ce qui signifie que l'augmentation du niveau piézométrique est liée à la quantité de pluie enregistrée. Ce résultat est en accord avec les conclusions du rapport d'analyse approfondie de la vulnérabilité et de la résilience aux changements climatiques réalisé dans la zone du projet RePER (Man-na, et *al*., 2021). Dans notre situation, cela serait dû à une surexploitation causée par l'accroissement du nombre de cheptels.

Concernant les recherches réalisées par le ministère de l'hydraulique en 2003 pour l'élaboration du schéma directeur de l'eau et de l'assainissement (SDEA, 2003), cette étude, qui s'est concentrée sur les mêmes principes, a révélé une répartition spatiale des puits qui couvre quelques parcours des éleveurs (figure 26). Il convient de souligner que cet aspect est présenté à titre indicatif car il repose sur des études antérieures et n'a pas été actualisé.

L'analyse diachronique de la dynamique d'occupation sur les 30 ans dans la zone d'étude a montré qu'entre la première décennie et la deuxième décennie la surface occupée par la végétation arborée et arbustive à diminuer de 10,36% malgré pendant cette période, la tendance est à hausse de pluie et cela s'explique par le fait qu'avec l'accroissement de la population l'espace culturale a connu une expansion 1985 Km2 soit pourcentage de 3,83% tout comme le secteur d'élevage a connu une augmentation de son cheptel. Par contre entre 2e et 3e décennie, malgré une tendance vers une baisse notoire des pluviométries la végétation a plutôt connu une augmentation de 6,80 % pendant que les zones de culture ont diminué en termes de surface de l'ordre 2835 Km2 soit 5,39%. Cette croissance de l'espace occupée par la végétation est en fait

liée aux mesures prises par le gouvernement du Tchad contre la coupe abusive des arbres. Ces résultats sont liés aux opinions communes des éleveurs rencontrés.

La perception des pasteurs sur l'évolution de la pluviométrie ne se limite donc pas à la hauteur d'eau, d'autres paramètres comme la différence de pluviométrie entre les années influencent leur perception comme l'atteste les 85% de pasteurs qui perçoivent une baisse de la quantité de pluies et de la longueur de la saison hivernale. C'est pourquoi, en plus de la baisse des niveaux d'eau tombée, les pasteurs remarquent que la saison hivernale est de plus en plus courte, car elle s'installe tardivement et donc l'intervalle de soudure est prolongé. Cela confirme les observations du CEEPA (2006) selon lesquelles les agriculteurs africains ressentent une chaleur croissante et des précipitations moins prévisibles et de courte durée. Cette situation est typique de la région du Sahel. Dans les pays sahéliens, les précipitations ont augmenté depuis 1990 par rapport aux longues périodes de sécheresse de 1960 à 1990 (Hulme, et *al*., 2001). Cependant, cette hausse demeure fluctuante dans l'espace, comme le montre l'indice de la pluviométrie dans la zone d'étude. La région sahélienne n'est pas entièrement touchée par la sécheresse et sa forme diffère d'une zone à l'autre (Kandji, et *al*., 2006). La disponibilité des ressources pastorales est influencée par l'évolution des paramètres. D'après les pasteurs, les ressources fourragères et hydriques connaissent une forte diminution au fil du temps.

Les pasteurs tentent d'ajuster leurs méthodes à la variation des conditions météorologiques pour diminuer leur influence sur le bétail. La diversification et la mobilité sont les pratiques les plus courantes dans les élevages, en particulier la transhumance. Le rôle des petits ruminants dans les systèmes d'élevage est crucial, car ils permettent aux éleveurs de satisfaire leurs besoins sociaux et économiques naturels. Selon (Malonnine, 2006), ils offrent une disponibilité monétaire à tout moment et l'augmentation de leur production serait une réponse à la monétarisation progressive de l'élevage. Selon la littérature, la diversification a été mise en avant comme une stratégie pour s'adapter aux changements climatiques dans les systèmes pastoraux sahéliens (Nori, et *al*., 2008). La pratique de la mobilité est ancienne et spécifique aux zones arides. Selon (Kgosikoma, 2006), les pasteurs adoptent cette pratique afin de s'adapter à la variation du climat. Autrefois temporaire, elle s'est développée dans les systèmes pastoraux sahéliens en raison de l'instabilité climatique.

CONCLUSION

L'étude des données climatiques, piézométriques, socio-anthropologiques et satellitaires a révélé l'impact du changement climatique sur les ressources pastorales, en particulier les eaux souterraines, dont les puits sont les moyens d'exploitation. Les précipitations dans le Batha ouest présentent une variation interannuelle, avec deux décennies sèches (1990-2000 et 2010-2020) et une décennie humide (2000-2010). Il est évident que la zone d'étude n'est pas suffisamment arrosée, ce qui a un impact sur les eaux souterraines, en particulier en ce qui concerne la recharge. En plus de ces pénuries de précipitations, on observe une augmentation de la température qui se traduit par une augmentation de l'évapotranspiration, une diminution de la recharge de la nappe alluviale et une tarification précoce des eaux de surface, ce qui entraîne des pénuries d'eau significatives. Selon cette analyse, les pasteurs, dans la plupart des régions sahéliennes, constatent une augmentation des températures et une diminution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années. Ainsi, les pasteurs du Batha Ouest perçoivent l'évolution du climat en observant les changements de pluviométrie et de température. Les changements climatiques ont un impact sur la disponibilité des ressources pastorales. La faible pluviométrie entraîne une diminution de la productivité du pâturage naturel. De cette manière, les pasteurs en général expriment une diminution de la disponibilité des ressources fourragères (herbacées et ligneuses) ainsi que des ressources en eau. En réponse à cette situation, ils réagissent en adoptant de nouvelles pratiques (diversification de leurs activités) ou en adaptant leurs pratiques anciennes (mobilité importante). Cette étude s'est basée sur des paramètres météorologiques tels que la température, la pluviométrie et les mesures de piézométrie.

Pour mieux appréhender la perception des pasteurs, nous suggérons une poursuite de l'étude et surtout qu'elle prenne en compte des indicateurs pastoraux comme l'évolution des espèces fourragères, de la productivité des pâturages qui sont des paramètres permettant aux pasteurs de percevoir des changements quantitatifs et qualitatifs des ressources pastorales.

RECOMMANDATIONS

Pour un renforcement de la capacité dans la recherche et orientation des pasteurs pour mieux faire face aux effets de changement climatique, cette étude propose :

Aux ministères sectoriels :

- D'implanter des piézomètres à l'échelle nationale pour un suivi régulier et gestion optimale de la fluctuation de la nappe ;
- Renforcer le nombre des stations pluviométriques pour une bonne couverture du territoire national ;
- Rendre plus accessible les données de la météo aux étudiants dans le cadre de leur recherche
- Nous suggérons une étude ciblée de l'évolution des pratiques clés des systèmes pastoraux que sont l'alimentation et la mobilité pour mieux appréhender les stratégies d'adaptation des pasteurs au changement et à la variabilité du climat

V. BIBLIOGRAPHIE

Abadie, Jean et Gagnière, Gerard. 1966. *Carte hydrogéologique de reconnaissance 500000e* . s.l. : Rapport de synthèse BRGM, 1966.

Ardoin, Bardin Sandra. 2004. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau des grands bassinshydrographique s en zone soudano-saheliennes. 2004.

Brooks, Nick. 2006. Changement climatique, sécheresse et pastoralisme au sahel. *Note de discussion pour l'Initiave Mondiale sur le Pastoralisme Durable.* 2006.

Broudic, Caroline, Wai, N T et Abakar, M A. 2019. *Rapport de l'atelier de restitution et échange sur l'adaptation aux changement climatiques et le renforcement de la résilience au Tchad-Diagnostic et perspectives.* s.l. : IRAM, Braced, 2019.

Castany, G. 1982. *Principe et méthodes de l'hydrogéologie.* s.l. : Dunod éd Bordas, Paris. P.236, 1982.

CCNUCC. 1992. Convention cadre des nations unis sur le changement climatique. *Rapport.* 1992. P.4.

Dicko, M S et Sangaré, M. 1986. Feeding behaviour of ruminantsin shelian zone. *Rangelands, a ressource under siege.* 1986.

Djohy, Gildas Louis, Edja, Honorat Ange et Nouatin, Guy Sourou. 2018. Variation climatique et production vivrière : Culture de maïs dans le système péri-urbain de la commune de parakou au Nord Benin. *Afrique science.* 2018.

Djoret, Daira. 2000. Etude de la recharge de la nappe du Chari Baguirmi (Tchad) par les méthodes chimiques et isotopique. *Thèse de doctorat. Univ. D'Avignon*. 2000.

Doukpolo, Bertrand. 2013. Procédure de traitement des données d'observations, de simulation et de projection du climat. *Centre africain pour les applications de la météorologie au développent.* 2013.

Galvin, Kathleen A, Thornton, Philip K et Randall, Boone B. 2001. Variabilité climatique et impacts sur les éleveurs de bétails d'Afrique de l'est : les massais de la zone de conservation de Ngorongoro, Tanzanie. *Journal africain des sciences.* 2001.

Gbetbouo, A G. 2009. Comprendre la perception et les adaptations des agriculteurs au changement et à la variabilité climatique : cas des régions maritime, des plateaux et des savanes au Togo. *Article.* 2009.

GIEC. 2007. Changement climatique. *Rapport de synthèse.* 2007.

Gutiérrez, José M, Ranasinghe, roshanka et Ruane, Alex C. 2021. *Facteurs d'impact climatique et indices extêmes.* s.l. : Cambridge University Press, 2021.

Hierneaux, Pierre, Mamadou, oumar Diawara et Mohamed, Habibou Assouma. 2019. Au sahel, maintenir l'élevage pastoral pour s'adapter au changement climatique. *Conversation.* 2019.

Hulme, M, Doherty, R et New, M. 2001. African climate change: 1900-2100. *Climate research.* 2001, P145-168.

Ibra, Touré, Cessaro, Jean-Daniel et Duteurtre, Guillaume. 2017. *Analyse de la vulnérabilité climatique et environnementale agro-pastoraux dans le Centre Ouest du Tchad.* s.l. : Rapport Final du CIRAD. 2017, 2017.

Kandji, Serigne Tacko, Verchot, Louis et Mackensen, Jens. 2006. Climate change and variability in Southern Africa: Impacts and Adaptation in the Agricultural Sector. 2006.

Kgosikoma, Olaotswe E. 2006. Effects of climate variability on livestock population dynamics and comminity drought management inKgalagadi, Btswana. *Mémoire de Master.* 2006.

Kiema, André. 2008. Effets des techniques de restauration et d'exploitation des pâturages naturels sahéliens sur la dynamique de la production fourragère. *Thèse de dotorat/ Univ. Plytechnique de Bobo dioulasso.* 2008. P.187.

Kusnir, Imrich et Moutaye, Ali M. 1997. Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad. *Journal of African Earth Science.* 1997, P.24.

Kusnir, Imrich. 1995. *Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad.* s.l. : 2e édition CNRD, 1995.

Malonnine, C. 2006. Liens famille-troupeaux du Ferlo (Senegal): témoins de la dynamique des systèmes d'élevage pastoraux. *Thèse de doctorat, Univ. Claude bernard de Lyon.* 2006. P.101.

Man-na, Djangrang, Tellro, Nadji Wai et Yamingué, Betingar. 2021. Analyse approfondie de la vulnérabilité et de résilience des exploitants agropastoraux familiaux aux changements climatiques dans la zone du projet RePER. *Rapport d'étude final.* 2021. P.135.

Niasse, M, Afouda, A et Amani, A. 2004. Reduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impqcts du changement climatiques sur le ressources en eau, les zones humides et la dessertification: Element de stratégie régionale de préparationet d'adaptation. *UICN, Gland (Suisse) et Cambridge.* 2004.

Nicholson, S E, Kim, J et Hoopingarner, J. 1988. Atlas of Africa rainfall and its interannual variability. *Florida state Universty/Tallahasee.* 1988.

Nori , Michele, Taylor, Michael et Sensi, Alessandra. 2008. Droit pastoraux, modes de vie et adaptation au changement climatique. *Article.* 2008, P.3.

P-SIDRAT. 2013. *Atlas du Tchad.* 2013.

RGHP, INSEED. 2009. Recensement général de l'habitat et de la population. *République du Tchad.* 2009.

Samandoulgou, Yahaya, Zoundi, Sibiri Jean et Compaoré, Halidou. 2014. Evaluation de fourrage herbacé des forêts sacrées de Koupela dans le Centre Ouest du Burkina Faso. *Revue science et technique.* 2014.

Schneider, Jean-Luc. 1989. Géologie et hydrogéologie du Tchad. *Thèse de doctorat ès sc. Univ. D'Avignon.* 1989. Vol. 3.

SDEA. 2001. Schema Directeur de l'Eau et Assainissement. *Ressource en eau et environnement, ONU. DAES. PNUD.* 2001. P.86-87.

SDEA. 2003. Schéma directeur de l'eau et assainissement du Tchad, Thématique IV. Hydraulique pastorale. 2003.

Seneveratne, S, Zhang, Xi et Adam, M. 2021. Weather and Climate Extreme in a Changing Climate. *Report of the IPCC.* 2021.

Tchavez, P S et Mackinnon, D J. 1994. Détectuion automatique des changements de végétation dans le Sud-Ouest des Etats Unis à l'aide d'image de télédeétection. *Photogrammetric Engeering and remote sensing.* 1994.

Vissin, E W. 2001. Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin Beninois du fleuve Niger. *Mémoire de DEA, Univ. de Bourgogne.* 2001.

Zairi, Rim. 2008. Etude géochimique du bassin du Lac Tchad : la nappe phréatique dans les régions du Kadzell(Nieger oriental) et du Bornou(Nord-Est du Nigeria). *Thèse -Université de Monpellier.* 2008.

ANNEXES I

Annexe I.1 : Puits pastoraux

Puits pastoraux							
Nom du puits	Canton	Sous-préfec-ture	Départe-ment	Xcoord	Y-coord	NP 2023	NP 2004
AL KHIBECHA	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	19,05	15,11	222,9	225,9
AMDEHER	Ouled Hi-met	Djedda	Batha O	18,09	14,48	253,8	256,3
ATHINET BAYE	Djaatné	Djedda	Batha O	18,27	14,22	261,7	264,1
AL HANAKA	Ouled Hi-met	Djedda	Batha O	18,12	14,07	253,5	256,5
ACHAWAFA	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,45	14,12	279,5	282,1
SOUNOUT ALINZE	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,84	13,91	294,9	297,2
CHANTO	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,74	13,72	291,6	294,5
AL DJEDDA	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,59	13,51	293,1	295,3
ALZAFARA	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	19,02	14,41	274,1	276,2
ABOUSINE-TAT	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,78	14,13	290,87	292,67
AL GUIDEHAT	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,85	13,77	292,2	294,1
AL KAILANI	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,22	13,43	298,5	300,8
AL BIEDHA	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,56	13,73	293,1	295,1
KOUL-KOULAYE	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,49	13,76	295,6	297,5
AL MABROUK	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,60	13,46	302,33	304,2
KHERERIB	Ouled Ra-chid	Djedda	Batha O	18,72	13,44	285,18	287
AL KHAYATA	Djaatné	Ati	Batha O	18,47	13,32	299,83	301,93
KADMOUL	Mixte	Ati	Batha O	18,61	13,34	296,15	298,1
ABOUTILEH DJARAFINE	Missérié Rouge	Assinet	Batha O	18,80	13,13	287	288,7
NGARA	Kouka	Koundjourou	Batha O	18,61	12,97	324	325,6

ANNEXE II

Annexe II.1 : Pluviométrie d'ATI

Pluviométrie (mm)												
Année/Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1990	0	0	0	0	0	40,1	84,1	57,3	58,4	4,6	0	0
1991	0	0	0	24,7	44	1,8	126	148,5	84,7	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	21,5	131,8	116,2	111,1	0	0	0
1993	0	0	0	0	4	6,6	50,3	86,5	69,6	0	0	0
1994	0	0	0	0	6,9	1,1	102,7	117,1	144,4	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	7	85,6	128,5	73,4	29,5	0	0
1996	0	0	0	5	8,2	40,2	25,7	141,3	24,5	0,4	0	0
1997	0	0	0	13,4	12,8	18,3	97,8	87,8	84,6	0	0	0
1998	0	0	0	0	5,3	15,8	82,4	112,9	79,3	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	16,5	161,8	269,4	83,8	0	0	0
2000	0	0	0	0	16	14,3	219,7	142,8	29,2	14	0	0
2001	0	0	0	0	0	16,6	106,2	165,5	0,5	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	14,5	108,8	138,2	78,7	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	15,9	129,4	152,8	59,3	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	60,1	119,1	160,2	91,6	0	0	0
2006	0	0	0	0	5	3,6	39,3	177,1	55,9	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	34,5	94,8	230,7	41,3	0	0	0
2008	0	0	0	0	6,7	49,7	112,8	236,1	140,4	10,3	0	0
2009	0	0	0	0	22,5	4	92,5	234,5	36	15	0	0
2010	0	0	0	0	9,5	17,5	140,9	127,8	35,6	5	0	0
2011	0	0	0	0	1,1	4,6	115,4	168,3	86,6	0	0	0
2012	0	0	0	0	21,7	23,3	102,6	177,6	63,2	0	0	0
2013	0	0	0	0	2	17	20,5	242,1	25,1	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	1,5	127,8	107,8	15,1	0	0	0
2016	0	0	0	10	0	26	78,7	170,2	46,5	0	0	0
2017	0	0	0	0	6	41,3	33,2	20	8,5	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	17,2	92,2	61	52,1	10	0	0
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	1,77	5,723	17,68	89,403	132,61	55,98	2,96	0	0

Annexe II.2 : Pluviométrie de Koundjourou

Pluviométrie (mm)												
Année/Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1990	0	0	0	0	4,9	10	86,6	24,5	**	**	0	0
1991	0	0	0	30	33,4	21,8	44,5	220	**	**	0	0
1992	0	0	0	0	17,5	7,6	29,3	111,6	37,5	9,5	0	0
1993	0	0	0	0	5	3,6	100,8	197,7	136,9	43	0	0
1994	0	0	0	4,2	4,2	8,4	73,1	110,5	128,6	2,5	0	0

1995	0	0	0	0	34,8	24,6	25,4	128,7	41,5	0	0	0
1996	0	0	0	4,8	9,5	27,6	133	139,1	22,8	**	0	0
1997	0	0	0	0	0	35,4	152,6	91,9	34,2	0,5	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	79	93,7	70	0,5	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	49,8	143,5	68,9	1,9	0	0
2000	0	0	0	0	12,5	62,1	82,6	138	141,2	78,5	30,5	0
2001	0	0	0	0	45,7	47,4	61	125,1	33,2	**	0	0
2002	0	0	0	0	14,1	31,8	193	176,8	74,2	3,7	0	0
2003	0	0	0	0	0	14,7	105,3	226,1	92,4	5,4	0	0
2004	0	0	0	5,8	7	12,4	173,6	192,5	57,3	0	0	0
2005	0	0	0	2,4	18,4	53,5	130,4	200,6	129,8	2,9	0	0
2006	0	0	0	0	16,3	9,8	113,7	233,7	17,2	0,8	0	0
2007	0	0	0	0	5	31,5	153,3	264	71,2	0	0	0
2008	0	0	0	0	30,5	41,9	36,4	184,8	99,3	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	33,3	93	**	**	**	0	0
2010	0	0	0	0	**	**	30	188,5	25	**	0	0
2011	0	0	0	0	15	92	118,5	76,5	99,5	0	0	0
2012	0	0	0	0	1	71,5	110,1	213,5	18	1,5	0	0
2013	0	0	0	2,05	12,49	29,13	94,565	158,24	69,94	8,865	1,33	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	10,3	33	89,2	112	75	9,2	0	0
2017	0	0	0	0	12,8	45,6	95	142	63	11	0	0

Annexe II.3 : Pluviométrie de Djedda

Pluviométrie (mm)												
Années/Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1990	0	0	0	0	0	6,6	102,3	11,9	25,1	2,5	0	0
1991	0	0	0	0,3	50,9	7	75	145,2	0,2	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	2,3	172,7	118,3	27,5	0	0	0
1993	0	0	0	0	0,6	3,1	35,6	103,2	6,5	0	0	0
1995	0	0	11	0	0	47	38	98	179	0	0	0
1996	0	0	0	0,5	5,5	34	42,5	73,2	37	4,5	0	0
1997	0	0	0	12	7	79,5	92,2	53,5	12	**	0	0
1998	0	0	0	0	**	**	105	243	**	31	0	0
1999	0	0	0	0	0,5	0	110,8	308,7	14,3	22,6	0	0
2000	0	0	0	0	0	5	82,5	105,2	18,2	15,5	0	0
2001	0	0	0	0	1,5	15,5	122	35,1	**	0	0	0
2002	0	0	0	0	1,2	4,4	77,1	115	98,7	0,2	0	0
2003	0	0	0	0	1,2	25,8	65,7	151,9	69,1	0,7	0	0

Annexe II.4 : Température maximale d'Ati

Température Maxi (°C) pour Ati												
Année/Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1990	35,4	33,3	36,4	43,2	42,7	41,3	35,6	36,8	38,6	39,7	39,4	**
1991	**	38	39,7	**	38,1	39,4	34,7	32,9	36,8	38,5	36,6	32
1992	31	32,5	39,8	41,7	40,8	40,1	34,1	32,3	35,2	38,8	34,2	33,4
1993	29,3	30,8	37,5	39,5	40,1	38,1	35,2	34	34,7	37,7	37,1	32,8
1994	32,1	33,8	37,5	40,5	40,3	39,5	35,1	30,3	32,6	36,6	**	**
1995	31,4	32,9	37,9	**	42,1	**	35,6	33	35	36,5	34,4	32,8
1996	33,8	34,9	40,4	40,9	**	38,3	37,1	33,5	34,4	37,8	34,9	34,8
1997	33,3	31,3	38,5	39,8	40,7	39	35,7	33,7	37,1	39,3	37,7	34,5
2002	**	35,6	36,9	39,5	40,686	40,8	**	33,5	35,7	**	**	33,7
2003	34,3	36	39,8	40,9	38,7	37,6	35,5	33,3	35,6	38,2	36,5	33,3
2004	32,4	33,6	38,3	40,2	40,1	38,9	35,7	33	**	39,2	**	**
2005	32,6	33,9	37,9	40,7	40,3	39,3	35,4	33,3	35,57	38,23	37	36,8

Annexe II.5 : Température minimale d'Ati

Température Mini (°C) pour Ati												
Année/Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1989	11	13,3	19,2	**	24,8	24,4	24,4	23,1	23,7	21,9	18,5	14,6
1990	15,6	15,5	18,3	25,7	26,2	25,9	24,6	24,1	24,2	23,5	21,6	**
1991	**	19	23,1	**	27	27,3	25,3	22,9	24,8	22,3	18,9	15
1992	14	14,3	23,2	27	27,5	27,4	24,5	23,9	23,7	22	18,3	14,2
1993	13,1	18,2	24,2	27,7	30,4	25,8	24	25,7	26,1	27	24,3	20,4
1994	19,9	19,9	23,2	28,9	29,2	26	**	24,2	24,9	24,8	19,4	15,5
1995	16,8	18,5	24,4	**	26,4	**	25,9	24	24,1	25,1	20,1	19,1
1996	18,9	20,3	22,7	25,9	**	25,1	25,6	24,2	23,6	22,5	19,5	15,9
1997	15,5	14,7	21,9	25	25,6	25,9	24,9	23,4	24,1	24,4	19,7	15,3
1998	14,5	**	18,6	25,7	28,4	27,5	24,7	23,9	24,2	23,6	19,8	16,3
2002	**	17,4	22,2	26,6	27,6	27,1	25,5	22,8	21,6	23,9	**	13,8
2003	12,8	17,5	21,3	26,5	27,2	26,4	**	23,9	24,1	23,5	20,2	16,1
2004	15,2	16,8	21,9	**	26,8	26,2	24,9	23,8	23,2	23,7	20,1	15,8
2005	14,9	17,1	20,7	26,6	27,1	25,9	23,8	22,9	23,9	23,6	19,9	16,5

Annexe II.6 : Humidité relative maximale d'Ati

Humidité Relative Maximale (%) pour Ati												
Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1991	**	22	18	**	74	71	85	95	85	59	31	37
1992	34	25	23	25	51	60	85	94	92	62	45	37
1993	35	20	16	34	50	**	**	85	85	47	23	28
1994	23	16	15	23	37	**	**	95	96	84	**	**
1995	24	20	21	**	42	**	84	93	95	64	28	**
1996	20	18	16	32	59	76	76	85	86	55	30	**

1997	23	24	18	39	42	62	82	92	86	64	31	25
1998	23	**	**	23	42	**	81	90	90	63	31	30
2001	25	20	17	30	45	69	**	87	80	56	**	**
2002	**	25	18	31	51	56	**	89	77	62	29	35
2003	37	24	26	29	46	64	82	90	87	61	74	31
2004	27	21	19	30	47	65	83	90	**	53	**	**
2005	**	**	20	31	46	66	82	90	87,4	**	31	30
2014	**	**	**	**	**	**	73	**	**	**	34	

Annexe II.7 : Humidité relative minimale d'Ati

Humidité Relative Minimale (%) pour Ati												
Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1991	**	6	9	11	21	19	39	51	30	14	10	13
1992	12	9	9	9	16	19	40	52	37	15	16	11
1993	10	6	4	11	18	**	**	41	37	14	7	9
1994	8	5	4	7	9	29	**	57	48	21	7	8
1995	7	6	6	**	11	**	38	52	44	18	8	9
1996	5	5	5	8	14	24	27	41	42	14	7	7
1997	6	8	6	13	14	22	39	50	35	20	10	8
1998	8	**	**	8	15	20	40	49	41	17	9	9
2001	7	6	5	9	14	23	**	56	39	21	**	**
2002	**	11	**	10	13	26	**	**	42	**	9	8
2003	17	12	14	9	15	23	37	50	40	17	9	7
2004	9	7	15	21	36	25	36	49	**	18	**	**
2005	**	**	8	10	16	23	37	50	**	**	10	10
2014	**	**	**	**	**	**	41	**	**	**	20	**

Annexe II.8 : Vitesse moyenne de vent d'Ati

Vitesse Moyenne du vent (m/s) à 10 m au-dessus du sol pour Ati												
Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1967	1,7	1,8	2,1	2,2	1,7	1,7	2	1,5	0,9	1,1	1,5	1,5
1968	1,6	1,9	2	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,6	1,2	1,3
1969	1,5	1,7	1,6	1,7	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	0,8	1,4	1
1970	1	1,5	1,5	1,3	1,4	1,5	1,7	0,9	1,3	1,5	1,4	1,5
1971	1,6	1,5	1,6	1,6	1,9	1,8	1,8	1,3	1,1	1,5	1,8	2,3
1972	1,5	2,1	1,9	1,6	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,4	1,2
1973	1,4	1,5	1,6	1,3	1,2	1,4	1,8	0,9	1,1	1,5	1,4	1,6
1974	1,5	1,4	1,9	1,3	1,5	1,4	1,5	1,1	1,1	1,4	1,7	1,5
1975	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	1,5	1,1	0,9	0,7	1	1,3	1,5
1976	1,3	1,6	1,4	1,7	1,3	1,4	1,6	1,1	1,2	1	1,1	1,1
1977	1,4	1,7	2,2	1,8	1,2	1,4	1,8	1,3	0,9	1,3	1,3	1,7
1978	1,5	1,3	1,7	1,3	1,6	1,7	1,6	1	1	1,1	1,3	1,1
2014							3	2,3	1,3			

ANNEXE III

Annexe III.1 : Perception de la variabilité climatique

1. Pluviométrie	**Augmenté** Oui=1, Non=0	**Stable** Oui=1, Non=0	**Diminué** Oui=1, Non=0	**Ne sais pas** Oui=1, Non=0	**Commentaires**
Quantité de pluies de l'hivernage	0	0	1		
Durée de l'hivernage	0	0	1		
L'intensité des pluies (la quantité d'eau par pluie)	1	0	0		Par endroit
Inondations de champs et villages pendant l'hivernage	1	0	0		Par endroit
Température					
Intensité pendant la saison sèche	1	0	0		
Intensité pendant l'hivernage	1	0	0		
Durée des périodes froide	0	0	1		
Durée des périodes chaudes	1	0	0		
Le vent					
Fréquence et durée de vents forts pendant la saison sèche	1	0	0		
Fréquence et durée de vents forts pendant l'hivernage	0	1	1		

Commentaires : La plupart des éleveurs enquêtés ont affirmé que les phénomènes climatiques ont changé, surtout la rareté de la pluie.

Annexe III.2 : Impacts et adaptation au changement climatique

Catégorie	Impacts positifs de la Variabilité climatique	Impacts négatifs de la variabilité climatique	Solutions des populations aux impacts négatifs
Agriculture			
Rendements		Diminue la production	Cultures maraichères
Ravageurs		Présence plus fréquent	Produit de protection
Autres			
Elevage			
Cheptel (nombre)		Diminue	

Reproduction		Diminue la reproduction	Diversification des espèces
Alimentation		Réduit la qualité	Cultiver le fourrages
Maladies		Mort	Améliorer les conditions
Autres			
Sols			
Disponibilité		Grand espace	
Fertilité		Réduit la fertilité	Produire le compost
Ressources en eau		Diminue la recharge	Gestion
Végétation naturelle			
Autre			

Commentaires :

Annexe III.3 : Disponibilité de la ressources pastorales

Ressources	**2. Disponibilité (Abdt= 1, Rare= 2, Peu abdt= 3)**			**Changements (30 ans)**	**Causes des changements**
Fourrage herbacé		3		10	Rareté pluie
Fourrage ligneux		3		20	Anthropiques
Résidus de cultures			2	10	CC
Ressources hydriques		3		10	Diminution de pluie
Autres					

Que feriez-vous en cas d'une aridification permanente du climat ?

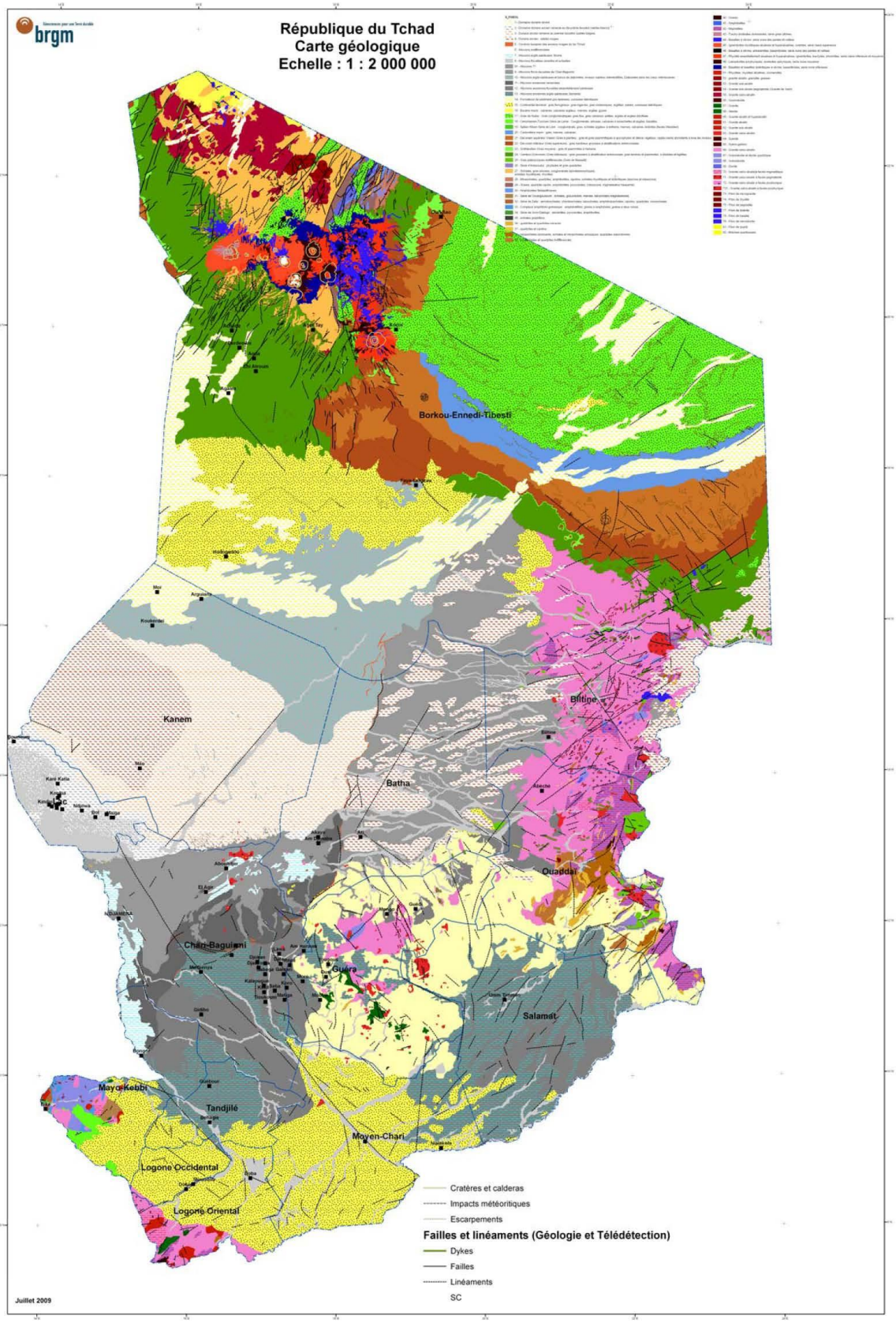
- Chercher des nouvelles cultures (si oui, lesquelles ?) ……..……
……...
- Diversifier vos productions agricoles (si oui comment ?) ……..……...
…….
- Diversifier vos sources de revenus ?.....
……..
- Changer la composition du troupeau d'animaux (si oui comment ?) …….
…….……..
- Changer de races d'animaux (si oui lesquelles ?) ……..
……..……..
- Changer de critères de sélection pour les animaux (si oui comment ?) ……..……..
……...
- Migration permanente (si oui, où ?) ……..……...
…….……...
- Transhumance…….
- Vente d'animaux…….
- Autre (préciser)……...
……...

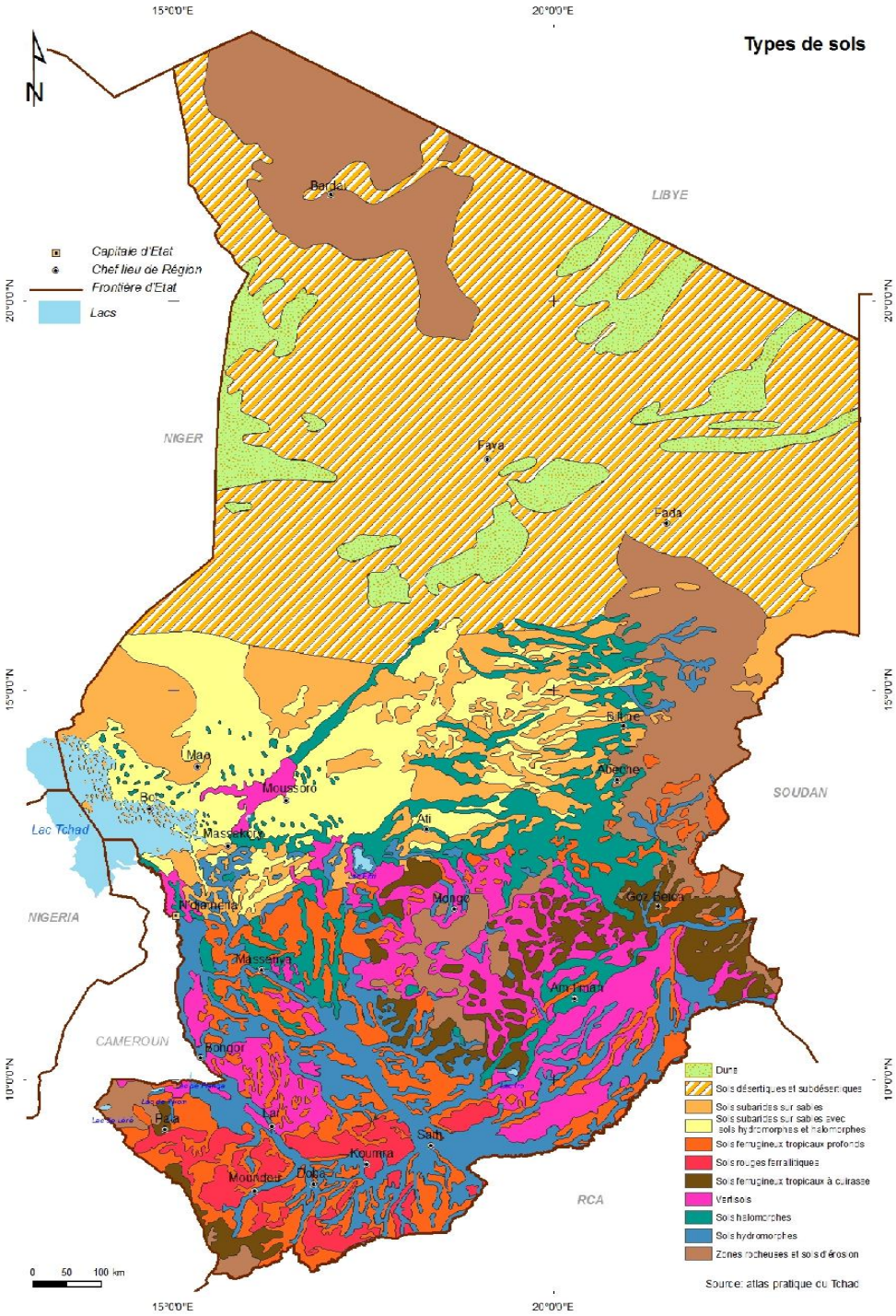
Que feriez-vous en cas d'une humidification permanente du climat ?

- Changer la composition du troupeau d'animaux (si oui comment ?) …….……
…….……...

- Changer de races d'animaux (si oui lesquelles ?) ……...
- Changer de critères de sélection pour les animaux (si oui comment ?) ……..
……...
- Changements des pratiques agricoles ((si oui, lesquelles ?) ……...
……...
- Changements des techniques culturales…….
……...
- Migration permanente (si oui, ou ?) ……..……...
……..……...
- Transhumance…….
- Vente d'animaux…….
- Autre (préciser)…… ……..…..

ANNEXE IV


brgm
République du Tchad
Carte géologique
Echelle : 1 : 2 000 000
Borkou-Ennedi-Tibesti
Kanem
Batha
Biltine
Ouaddai
Chari-Baguirmi
Guéra
Salamat
Mayo-Kebbi
Tandjilé
Moyen-Chari
Logone Occidental
Logone Oriental
Cratères et calderas
Impacts météoritiques
Escarpements
Failles et linéaments (Géologie et Télédétection)
Dykes
Failles
Linéaments
SC
Juillet 2009


Types de sols
15°0'0"E
20°0'0"E
N
Capitale d'Etat
Chef lieu de Région
Frontière d'Etat
Lacs
Bardai
LIBYE
NIGER
Faya
Fada
Biltine
Abeche
Mao
Moussoro
Bol
Lac Tchad
Massakory
Ati
SOUDAN
NIGERIA
Ndjamena
Mongo
Goz Beida
Massenya
Am Timan
CAMEROUN
Bongor
Pala
Lai
Sarh
Koumra
Moundou
Doba
RCA
Dunes
Sols désertiques et subdésertiques
Sols subarides sur sables
Sols subarides sur sables avec sols hydromorphes et halomorphes
Sols ferrugineux tropicaux profonds
Sols rouges ferrallitiques
Sols ferrugineux tropicaux à cuirasse
Vertisols
Sols halomorphes
Sols hydromorphes
Zones rocheuses et sols d'érosion
0 50 100 km
Source: atlas pratique du Tchad