

Changement climatique : recherche des signaux au Tchad à travers l'étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyane, Amérique du Sud

Franklin Bouba Djourdebbe

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique Centrale

(CAPC-AC), Douala, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p82](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p82)

Submitted: 24 April 2024

Accepted: 12 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ngaryamngaye, S., Djourdebbe, F. B., & Miambaye, M. (2024). *Changement climatique : recherche des signaux au Tchad à travers l'étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 82.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p82>

Résumé

Le changement climatique, caractérisé par des événements météorologiques extrêmes, est considéré comme l'une des menaces les plus sérieuses pour le développement durable, avec des effets néfastes attendus sur la santé humaine et la sécurité alimentaire. Le Tchad à moitié aride est plus que menacé par ces événements hydrométéorologiques extrêmes de plus en plus fréquents, ayant comme conséquences, l'affaiblissement de son économie et un impact négatif sur la santé publique. L'objectif de cette étude est d'identifier les tendances pluviométrique et thermique dans le contexte de changement climatique à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou au Tchad. Ces quatre localités sont réparties selon les zones bioclimatiques, soit deux en zones urbaines et deux zones rurales. Le critère de sélection est basé sur les situations épidémiologiques antérieures du paludisme et du choléra. Sur les quatre villes, deux sont considérées comme des zones endémiques et à risque et les deux autres sont celles qui connaissent rarement des épidémies. Une analyse de l'évolution des précipitations et températures annuelles de quatre

(4) dernières décennies (1980-2023) ont été menées avant et après la rupture détectée en utilisant des tests statistiques, ainsi qu'une analyse de tendance et de variabilité des indices de précipitations et de températures extrêmes. Les résultats obtenus montrent qu'au cours des dernières décennies, il y a eu une modification du régime des précipitations en termes de fréquence et d'intensité à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou. La tendance générale à la baisse sur la série 1981-2020 est liée à des épisodes de sécheresse extrêmement sévères des décennies 1980-1990 et 1990-2000, marquées par le phénomène *El Niño* de 1982/1983 et une augmentation statistiquement significative des températures. Aussi, l'étude contribue ainsi aux efforts de modélisation pour mieux prédire la recrudescence des maladies climato-sensibles.

Mots-clés: Tendance, pluie, température, événements hydrométéorologiques extrêmes, Tchad

Climate Change: Investigating Signals in Chad through the Study of the Cities of Bol, Fianga, Moundou, and N'Djamena

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyane, Amérique du Sud

Franklin Bouba Djourdebbe

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique Centrale (CAPC-AC), Douala, Cameroun

Abstract

Climate change, characterized by extreme weather events, is one of the most serious threats to sustainable development, with expected adverse effects on human health and food security. Chad, which is half arid, is more than threatened by these increasingly frequent extreme hydrometeorological events, which will weaken its economy and have a negative impact on public health. The aim of this study is to identify rainfall and temperature trends in the context of climate change in N'Djamena, Bol, Fianga and Moundou in Chad. These four localities are divided according to bioclimatic zones, i.e. two in urban areas and two in rural areas. The selection criteria were based on previous malaria and cholera epidemiological situations. Of the four towns, two are endemic and at risk, while the other two are those that rarely experience epidemics. An analysis of changes in annual rainfall and temperature over the last four (4) decades (1980-2023) was carried out before

and after the detected break using statistical tests, as well as a trend and variability analysis of rainfall and extreme temperature indices. The results show that in recent decades there has been a change in the rainfall pattern in terms of frequency and intensity in N'Djamena, Bol, Fianga and Moundou. The general downward trend over the 1981-2020 series is linked to extremely severe droughts in the 1980-1990 and 1990-2000 decades, marked by the 1982/1983 *El Niño* phenomenon and a statistically significant increase in temperatures. The study thus contributes to modelling efforts to better predict the resurgence of climate-sensitive diseases.

Keywords: Trend, rainfall, temperature, extreme hydrometeorological events, Chad

Introduction

Le changement climatique est considéré comme l'une des plus grandes menaces pour le développement durable et les moyens de subsistance des populations dans les pays en développement, avec des effets néfastes attendus sur la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'activité économique, les ressources naturelles et les infrastructures (GIEC, 2018). Le sixième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit un réchauffement accéléré de plus de 1,5°C au cours des prochaines décennies.

L'Afrique subsaharienne est la région la plus vulnérable au monde face au changement climatique. L'augmentation des températures, la montée du niveau de la mer, les variabilités et les tendances pluviométriques augmentent la fréquence et l'intensité des catastrophes naturelles telles que les cyclones dévastateurs, l'invasion de criquets en Afrique de l'Est et la désertification au Sahel (Rigaud et al., 2019).

Pays enclavé de l'Afrique subsaharienne, le Tchad couvre une superficie de 1 284 000 km² dont plus de la moitié est aride. Il est plus menacé que jamais par les effets négatifs de la variabilité et du changement climatique, caractérisés par une augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, y compris les inondations, les sécheresses et les vagues de chaleur.

Les graves inondations des dernières années ayant causé des dommages matériels et des pertes en vies humaines en est une parfaite illustration (MEEP, 2019; OCHA, 2022).

La mise en évidence des changements climatiques ne peut être réalisée qu'à travers l'analyse des données climatiques à l'échelle locale ou à haute résolution. Malheureusement les études du GIEC sont le plus souvent menées à grande échelle de 2,5° par 2,5°, équivalent à environ 250 km par 250 km (Flato et al., 2013) et ne permet pas d'apprécier l'évolution des paramètres climatiques à l'échelle locale. En dépit des échelles plus fines, avec une grille

de 0,5° par 0,5° (ou 50 km par 50 km) utilisées dans des études récentes, elles restent cependant trop grandes pour nos analyses. Mearns et al. (1997) et Osborn et Hulme (1997) ont révélé que l'utilisation des données à grande échelle entraîne certaines incohérences dans les statistiques de fréquence et/ou d'intensité des événements pluvieux, notamment dans la région sahélienne (Gachon et al., 2007) ce qui pourra biaiser les résultats des études de vulnérabilités à l'échelle locale des zones d'études, d'où la nécessité d'utiliser des données observées pour des résultats optimaux. De plus, la variabilité et les tendances des précipitations et des températures à l'échelle locale sont d'une grande importance pour évaluer leurs impacts sur l'évolution des maladies sensibles au climat telles que le paludisme, le choléra et la vulnérabilité de la population (Dazé et al., 2010; OMS, 2015). Cette situation justifie donc la nécessité de mettre en évidence l'évolution des températures et des précipitations, principaux paramètres météorologiques caractéristiques du changement climatique.

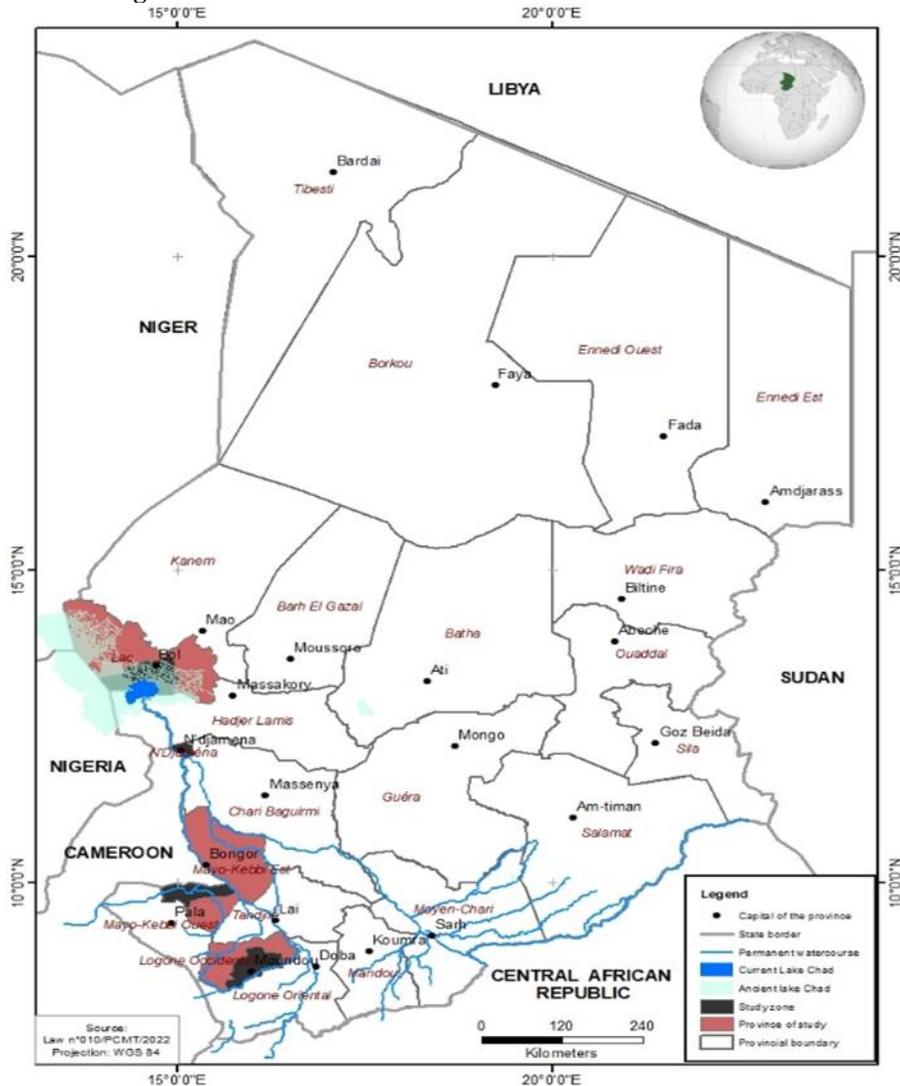
L'objectif de cet article est d'identifier les tendances pluviométrique et thermique dans le contexte de changement climatique à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou au Tchad. Il permettra de poursuivre le travail d'analyse d'Aguilar et al. (2009) et de Bedoum et al. (2016) sur les indices climatiques extrêmes au Tchad. Pour ce faire, quatre indicateurs majeurs ont été sélectionnés pour l'analyse.

II. Données et Méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude comprend quatre (4) villes réparties à travers les zones bioclimatiques du Tchad, incluant deux zones rurales. Ces villes sont Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména. Le critère de sélection est basé sur les situations épidémiologiques antérieures de paludisme et de choléra (DSIS MSP 2022). Parmi les quatre villes cibles, Moundou et Fianga sont considérées comme endémiques et à haut risque, tandis que les deux autres connaissent rarement des épidémies (Yandaï et al., 2017). Moundou et Fianga sont deux villes situées dans la zone soudanaise. Moundou est reconnue comme une zone où le paludisme est endémique, tandis que Fianga est reconnue comme ville de forte occurrence de l'épidémie de choléra. Pour la zone sahélienne, le choix se porte sur N'Djaména, une ville où sévit une épidémie de paludisme, tandis que Bol est reconnue comme une ville à risque d'épidémies de choléra. Le choix prend également en compte les différences de conditions socio-économiques entre les zones urbaines et rurales. Une autre raison qui justifie le choix de la zone d'étude est la disponibilité des données climatiques.

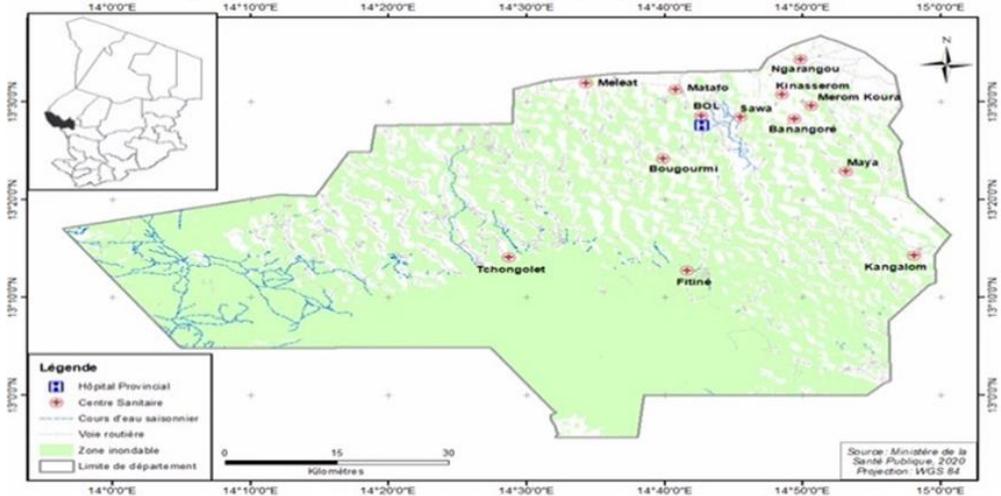
Figure 1 : Carte du Tchad incluant les 4 villes de la zone d'étude



2.1.1. Caractéristiques géographiques de la localité de Bol

La ville de Bol est située sur les rives du Lac Tchad, à 153 km au nord de la capitale N'Djaména, dans la zone sahélienne du Tchad, entre 13° 27' 31" de latitude Nord et 14° 42' 53" de longitude Est. Son climat désertique est sec et chaud. La ville de Bol est la capitale de la province du Lac et du département de Mamdi. Elle compte environ 15 000 habitants (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

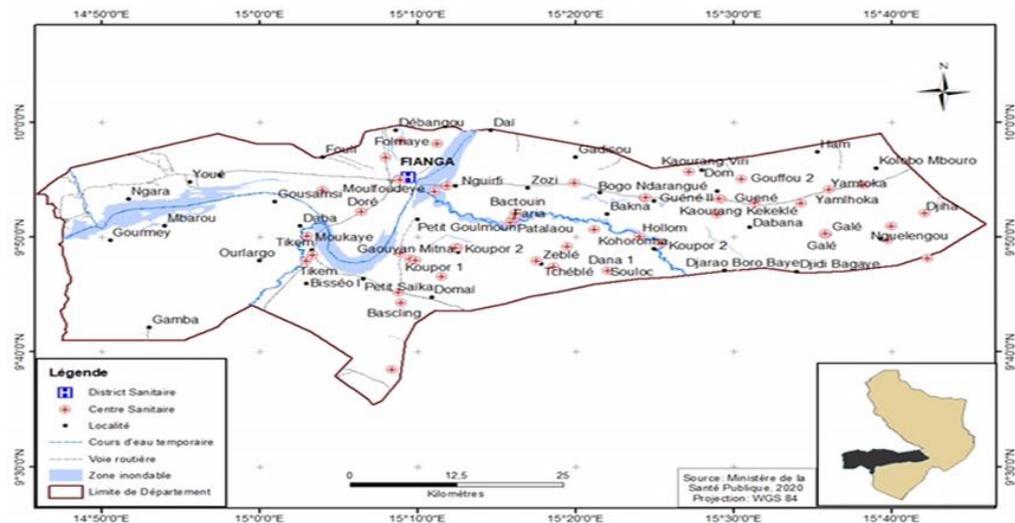
Figure 2 : Carte de localisation géographique de la ville de Bol



2.1.2. Caractéristiques géographiques de la localité de Fianga

La ville de Fianga est située au sud-est du pays à environ 8 km du Lac Fianga, à une latitude de 9° 54' 55" Nord, une longitude de 15° 8' 15" Est, et une altitude de 339 mètres. Fianga bénéficie d'un climat chaud et légèrement humide. La température moyenne annuelle à Fianga est de 28,9°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 606,9 mm. En tant que capitale du département de Mont Illi dans la province de Mayo-Kebbi Est, Fianga a une population d'environ 17 000 habitants en 2020 (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

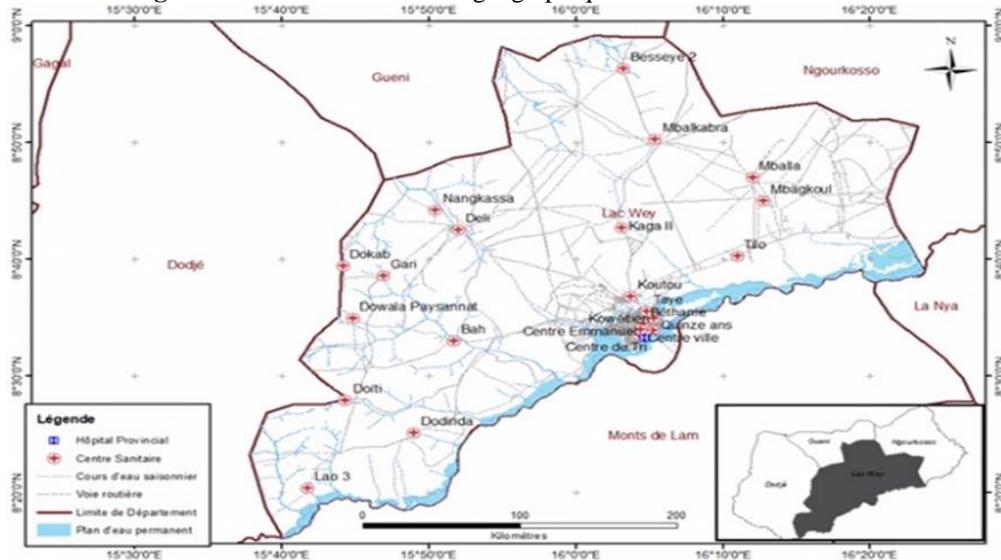
Figure 3 : Carte de localisation géographique de la ville de Fianga et le nombre des habitants



2.1.3. Caractéristiques géographiques de la localité de Moundou

Située à une latitude de $8^{\circ}34'00''$ Nord, une longitude de $16^{\circ}04'59''$ Est, et une altitude de 401 mètres, Moundou est la deuxième ville et la capitale économique du Tchad. La ville est construite sur la rive gauche du fleuve Logone, près du Lac Wey, ce qui représente une menace d'inondation pour la ville. En tant que capitale de la région du Logone et du département du Lac Wey, Moundou a une population d'environ 200 000 habitants en 2020 (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

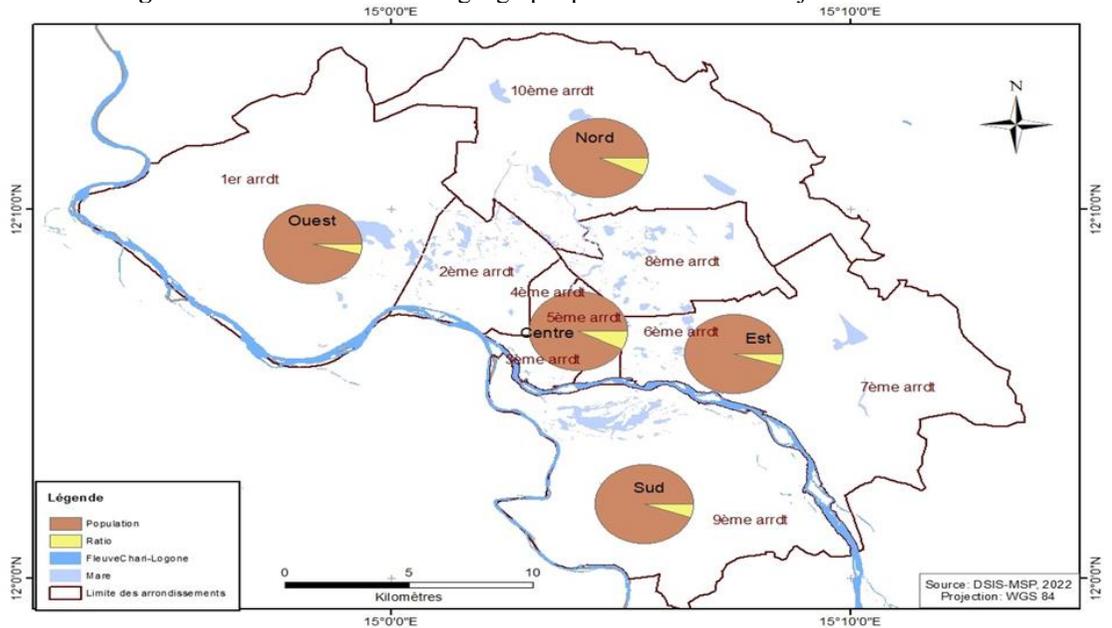
Figure 4 : Carte de localisation géographique de la ville de Moundou



2.1.4. Caractéristiques géographiques de la localité de N'Djaména

La ville de N'Djaména est située à une latitude de $12^{\circ} 07'$ Nord, une longitude de $15^{\circ} 03'$ Est, et une altitude de 295 mètres dans la zone sahélienne. C'est la capitale politique du Tchad, située au confluent des rivières Chari et Logone. N'Djaména est la seule grande ville dans un pays peu urbanisé. Elle connaît un climat aride avec une saison sèche de 9 mois, tandis que la saison humide dure 3 mois (de juillet à septembre). Les précipitations annuelles cumulées sont inférieures à 500 mm par an (ANAM, 2010).

Figure 5 : Carte de localisation géographique de la ville de N’Djaména



2.2 Caractéristiques climatiques de la zone d’étude

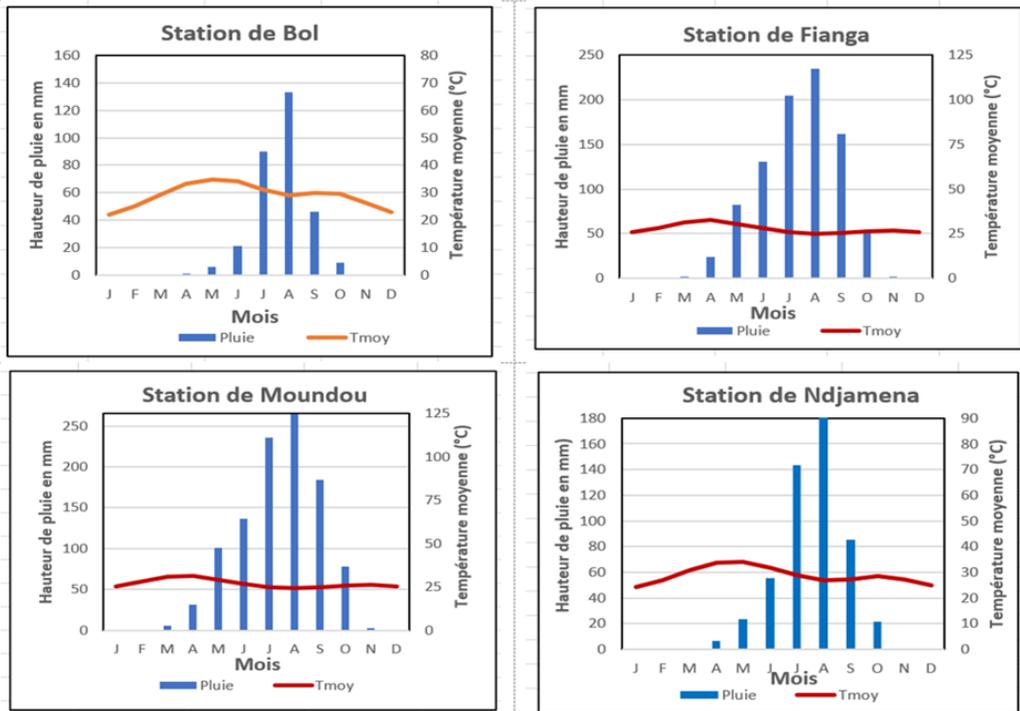
Les localités de la zone d’étude sont situées dans deux zones bioclimatiques à savoir la zone sahélienne et soudanienne. Bol et Ndjamenasituée dans la zone sahélienne qui reçoit une pluviosité annuelle de 200 à 600 mm et une température moyenne annuelle de l’ordre de plus 27°C tandis que Fianga et Moundou situés dans la zone soudanienne caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm/an (et atteignant parfois 1 200 mm vers la pointe sud) avec une température moyenne annuelle comprise entre 24°et 26°C (MEEP, 2017). Il faut annoncer le Tableau 1 et Figure 6

Tableau 1: Présentation de la situation climatique de la zone d’étude (Bol, Fianga, Moundou et N’Djaména) : des valeurs des moyennes et d’écartstypes des températures minimale, maximale et moyenne, de la pluviométrie et d’humidité relative (ANAM, 2022).

Station	Température maximale (°C)		Température manimale (°C)		Température moyenne (°C)		Pluie moyenne annuelle (mm)		Humidité relative (%)	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
Bol	42	2.3	22.4	1.8	29.5	2	231	1.9	31	7
Fianga	36.5	4.3	13.1	3.2	30.6	5.6	890.6	92	49.5	28.3
Moundou	36	4.3	12.6	3	27.5	1.1	1040	104	58	23
N’Djamena	44	3.6	22	4	29	3.8	548	6	39	25

NB : ET : Ecart-Type Source ; Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Tchad

Figure 6: Cycle annuel des régimes des précipitations et des températures moyennes (1981-2020) des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména (ANAM, 2022)



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2022

2.2 Données

Les données de cette étude proviennent de la base de données climatologiques de l'Agence Nationale de Météorologie du Tchad. Il s'agit de données de précipitations et de températures quotidiennes et mensuelles issues des stations de Bol, Fianga, Moundou et Ndjamen de 1981 à 2020 (40 ans). Cependant, le recours aux données de réanalyse a été nécessaire pour combler les données manquantes. Les réanalyses ont fourni des ensembles de données combinant des données simulées et observées dans les stations, particulièrement utiles pour les études climatiques (Schubert et al., 1993).

Les données de réanalyse utilisées sont celles du modèle ARC2 avec une résolution spatiale de 10 km (0,1°x 0,1°) produites par le Centre de Prévision Climatique (CPC) de l'Administration Nationale Océanique et Atmosphérique (NOAA) (Novella et Thiaw, 2012). L'utilisation de ces données a été validée en les comparant avec des données observées pour conserver des ensembles de données proches des données réelles. Un contrôle qualité des données a permis d'identifier et combler les données manquantes des années l'aide du logiciel Rclimdex.

2.3 Méthode d'analyse

Pour déterminer l'influence des activités humaines du système climatique, les climatologues ont développé des processus de détection et d'attribution du changement climatique. La détection consiste à démontrer que le climat a changé de manière statistiquement significative, sans en donner la raison (Ribes et Planton, 2011). Il s'agit donc de justifier statistiquement l'existence d'un changement réel, par opposition à une fluctuation climatique "normale". De plus, nous avons d'une part étudiée l'évolution (variabilité et tendance) des précipitations annuelles et des températures avant et après la rupture détectée par des tests statistiques. D'autre part les années de ruptures ont été automatiquement générées par le logiciel Khronostat. Nous avons analysé les tendances et la variabilité des indices de précipitations et de températures extrêmes.

Pour l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations et des températures, nous avons utilisé la méthode de Nicholson (1988), qui a permis d'identifier les périodes d'années sèches et humides dans chaque station. Elle est définie comme une variable centrée et réduite exprimée par l'équation (Servat et al., 1998) :
$$I = \frac{Xi - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec Xi : variable de l'année i , \bar{X} : moyenne de la variable sur la période étudiée et σ : écart-type de la variable sur la période étudiée. La moyenne mobile centrée et réduite sur 5 ans a été appliquée car elle réduit les petites fluctuations internes et met en évidence les tendances majeures des indices de précipitations.

Pour mettre en évidence la variabilité chronologique des précipitations, des températures maximales et minimales à chaque station, nous avons procédé à la détection de ruptures dans les séries puis analysé leur évolution, leur tendance générale et leur signification. Les ruptures dans les séries de données ont été détectées à l'aide des tests statistiques de Pettitt (1979), Lee Heghinian (1977), U de Buishand (1984) et la méthode de segmentation de Hubert (1989), qui ont permis de détecter des changements potentiels dans les données de précipitations et de températures. Ces tests sont regroupés dans le logiciel Khronostat développé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'Université de Montpellier (Boyer, 1998).

L'approche adoptée dans cette étude pour analyser les événements extrêmes de précipitations et de températures est celle des indices climatiques. Elle a été proposée par l'équipe d'experts sur la détection du changement climatique et les indices (ETCCDI) en utilisant le programme principal ClimPACT 2 généré avec le logiciel RCLIMDEX (Aguilar et al., 2009 ; Hountondji et al., 2011 ; N'Guessan Bi et al., 2018).

Dans cette étude, sept indices ont été retenus, dont cinq caractérisant les précipitations extrêmes. Ceux-ci incluent la quantité totale de précipitations annuelles (PRCPTOT), l'intensité des précipitations quotidiennes (SDII), le nombre de jours de pluie intense (R20), la quantité totale annuelle de jours très humides (R95p) et le pourcentage de précipitations annuelles totales sur des jours très humides (R95pTOT).

Pour les extrêmes de température, deux indices à savoir TX90p et TN90p ont été retenus, représentant respectivement le pourcentage de jours et de nuits climatologiquement chauds.

Le choix de ces indices est justifié par le fait qu'ils sont les plus pertinents pour mettre en évidence l'étendue de la variabilité et du changement climatiques et l'évolution des inondations en termes de fréquence et d'intensité des inondations en tant que facteurs de prolifération des agents vecteurs du paludisme et du choléra.

Tableau 2: Description des indices des extrêmes pluviométriques et thermiques

Indices	Description	Définition	Unité
PRCPTOT	Total annuel des précipitations des jours pluvieux	PRCP total annuel en jours humides ($RR \geq 1\text{mm}$). PRCPTOT est exprimé en changements en pourcentage par rapport à la période de référence préindustrielle 1861–1880. j.	mm
SDII	Indice simple de l'intensité des précipitations	Soit RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré les jours de pluie, w ($RR \geq 1\text{mm}$) de la période j . Si W représente le nombre de jours de pluie de j	Jour
R20mm	Nombre annuel de jours où précipitations $\geq 20\text{mm}$	Soit RR_{ij} le volume journalier de précipitations enregistré le jour i de la période j . Compter le nombre de jours où : $RR_{ij} \geq 20\text{mm}$	Jour
R95p	Total annuel de PRCP lorsque $RR > 95\text{e}$ percentile	RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré un jour pluvieux, 'w', ($RR \geq 1.0\text{mm}$) de la période i , et RR_{wn95} le 95e percentile pour les précipitations enregistrées lors de journées pluvieuses pendant la période de référence 1981-2010.	Jour
R95PTOT	Pourcentage des hauteurs totales annuelles de pluies des jours très humides	Soit RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré un jour pluvieux, 'w', ($RR \geq 1.0\text{mm}$) de la période (1981-2010), et RR_{wn95} le 95e percentile. $R95pTOT = 100 \times R95p / PRCPTOT$	%
TN90P	Pourcentage de jours où la TN > 90e percentile	Pourcentage de nuits climatologiquement chaudes (Températures minimales supérieure au dernier décile (décile quotidien calculé sur de 5 jours consécutifs).	%
TX90P	Pourcentage de jours où la TX > 90e percentile	Pourcentage de jours climatologiquement chauds (journées où la température maximale est supérieure au dernier décile (décile quotidien calculé sur 5 jours consécutifs).	%

Source : Expert Team on Climate Change Detection Indices (ETCCDI)

Les tests aboutissent au même résultat. Donc il faut utiliser un seul test. La tendance annuelle a été identifiée à l'aide de la méthode de régression linéaire (Brunetti et al., 2000). L'évolution de la signification statistique a été réalisée en utilisant le critère de Mann-Kendall (Sneyers, 1990).

Ce test non paramétrique recherche la présence d'une tendance à long terme dans les données. Pour valider cette tendance, la probabilité, valeur-p, a ensuite été évaluée, ce qui exprime la force de l'évidence pour ou contre cette hypothèse (la tendance est acceptée avec une valeur-p < 0,05 considérant un niveau de confiance de 95 %).

III Résultats

3.1 Evolution des indices normalisés des précipitations

La figure 6 de l'évolution des valeurs normalisées (indices) de la série de données de 1981 à 2020 des stations de N'Djaména, Moundou, Fianga et Bol illustre la variabilité interannuelle des précipitations.

À l'exception de Fianga, qui présentait une tendance de précipitations à la baisse, tous les autres lieux ont connu une tendance à la hausse des conditions de précipitations pendant la décennie 2010-2020, en particulier au cours des 5 dernières années (2015-2020). Globalement, il y a eu une alternance d'années sèches et humides après les années 1980, marquée par un épisode de sécheresse extrêmement sévère d'environ 5 années consécutives.

Le site de Bol a connu trois périodes (1981-1995, 1996-2010, 2011-2020). La période 1981 à 1995 est marquée par une forte variabilité, suivies d'une période de sécheresse persistante de 1996 à 2010 (figure 6d) avec une diminution de 17% (voir tableau 3) des précipitations par rapport à la moyenne. De 2011 à 2020, un retour à des conditions de précipitations excédentaires a été observé. N'Djaména, Moundou et Fianga ont connu une forte variabilité avec une tendance générale à la hausse, même si elles ne sont pas statistiquement significatives sauf à N'Djaména où la tendance est significative au seuil de 5%. Les localités de N'Djaména, Moundou et Fianga ont enregistré des excédents de précipitations respectivement d'environ 31,5% ; 8% et 23,8% (tableau 3) pendant la période 2010-2020, avec des épisodes de fortes pluies au cours des 5 dernières années (2015-2020) à N'Djaména et Moundou. Cette situation pourrait expliquer les graves inondations de 2020, qui ont affecté 87% du territoire national.

Cette étude constitue une étape vers l'intégration de la dimension changement climatique dans la politique nationale de santé publique sur les épidémies de paludisme et de choléra. L'objectif est de contribuer à la mise en place d'un modèle climat-santé de suivi de ces épidémies, basé sur des paramètres météorologiques. À la fin de l'étude, les opportunités de recherche climat-santé sur la méningite seront également explorées.

Figure 7 : Évolution interannuelle de l'indice pluviométrique standardisé (couleur bleu et rouge) et moyenne mobile (courbe en couleur noire dans les localités de Bol (a), Fianga (b), Moundou(c) et N'Djaména (d)

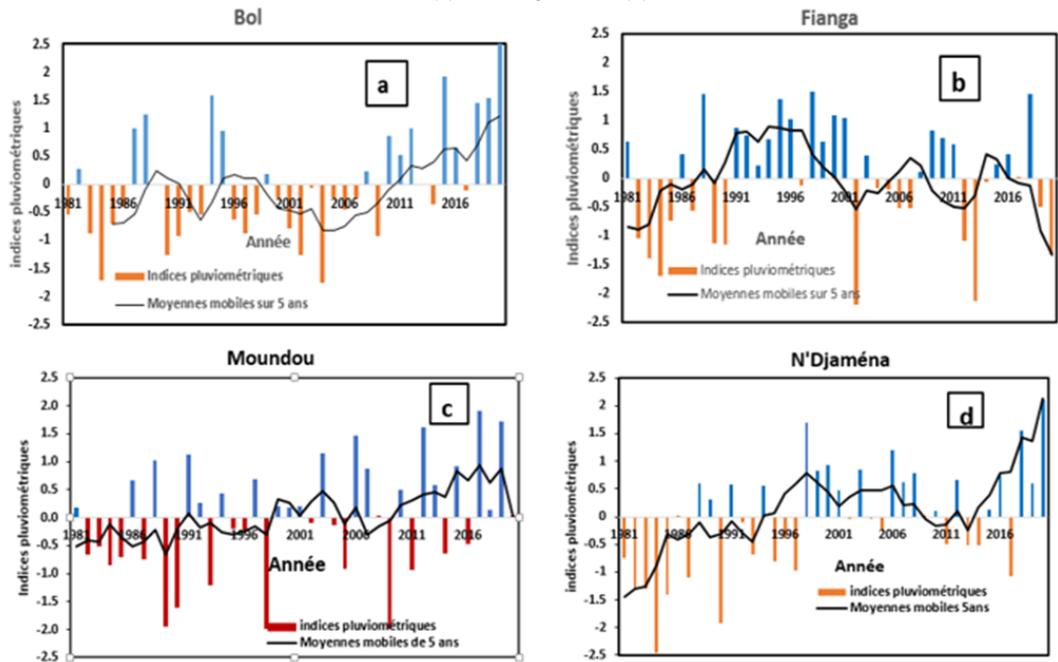


Tableau 3: Évolution de la pluviométrie avant et après les années de rupture obtenues par le test de Pettitt et taux de variation des localités (Bol, Fianga, Moundou et températures minimales N'Djaména)

Localité	Période avant rupture	Période après rupture	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture	Taux de variation
Bol	1981-1995	1996-2020	211,7	174,9	-17,4%
Fianga	1981-1984	1985-2020	683,6	846,1	23,8%
Moundou	1981-2010	2011-2020	1014,2	1100,9	8,0%
N'Djaména	1981-1996	1997-2020	464,9	611,4	31,5%

3.2 Evolution des températures extrêmes

Les moyennes annuelles des températures maximales et minimales pour la zone d'étude ont été calculées en utilisant la série de données de 1981 à 2020. Ces moyennes sont représentées dans les des figures 12 et 13. Les deux variables, les températures minimales (Tmin) et les températures maximales (Tmax), ont augmenté pendant la période examinée. Cette augmentation est significative au niveau de 5% en utilisant le test de Mann-Kendall (voir Figures 12 et 13). En général, on peut constater que les températures minimales ont augmenté plus que les températures maximales

dans tous les lieux étudiés et de manière linéaire, tandis que les températures maximales ont connu une variabilité d'une décennie à l'autre (voir les cartes de température de N'Djaména et Moundou). Une augmentation particulière des températures minimales et maximales est notée pendant la période 1997-2007.

3.2.1 Analyse des températures minimales et des températures maximales des stations de Bol et N'Djaména (zone sahélienne du Tchad)

D'après le test de Pettitt réalisé sur les séries de données des températures minimales et maximales aux stations de Bol et N'Djaména de 1982 à 2020, deux années de rupture (1995 et 1996) ont été identifiées pour les températures minimales et maximales respectivement, à la station de Bol, avec deux sous-périodes (sous-séries) pour les températures minimales de 1982 à 1989 et de 1990 à 2020, et pour les températures maximales de 1981 à 1996 et de 1997 à 2020. Les valeurs des températures minimales ont varié de 18,2 à 19°C (une augmentation de 1,2°C), et les valeurs des températures maximales ont varié de 39,9 à 40,7°C (une augmentation de 0,8°C). Ces tendances ont été confirmées par le résultat du test de Mann-Kendall, qui a mis en évidence la signification de la tendance au niveau de 5%. Les températures minimales à N'Djaména ont varié de 21,4 à 22,2°C (une augmentation de 0,7°C) pendant les périodes 1982-1996 et 1997-2020. Pendant ce temps, les températures maximales ont connu une augmentation de 1,7°C entre 1981 et 2007, suivie d'une diminution de 1°C pendant la période 2008-2020. Cependant, la tendance des températures maximales sur toute la série de 1981 à 2020 est à la hausse, avec une augmentation de 0,7°C, et est significative au niveau de 5% en utilisant le test de Mann-Kendall (Figure 7 et 8).

Figure 8 : Évolution des moyennes des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 et les moyennes par périodes et les tendances des stations de N'Djamena et Bol de 1981 à 2020 (zone sahélienne)

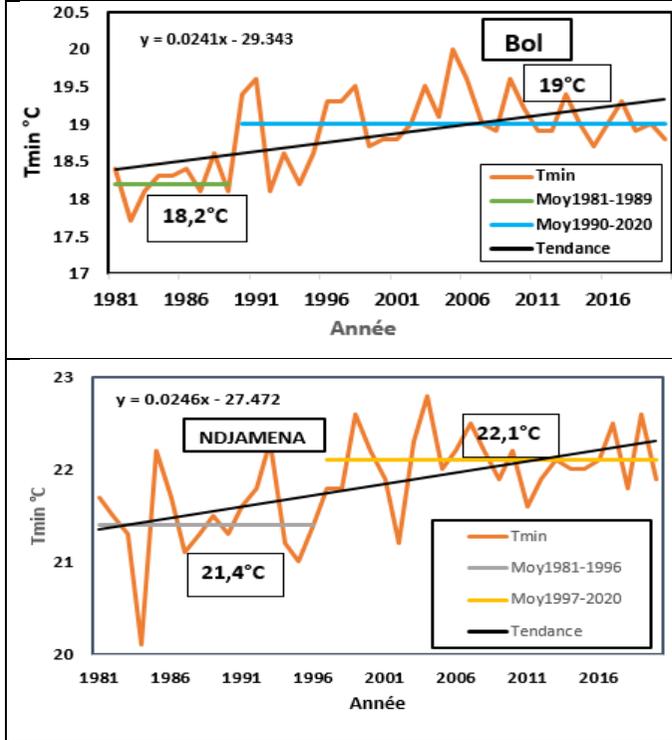
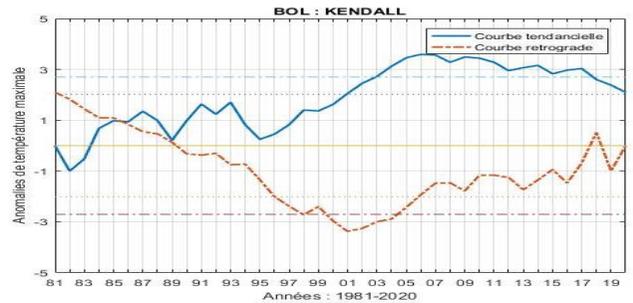
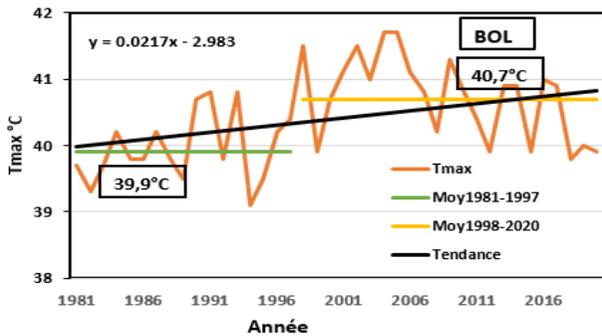
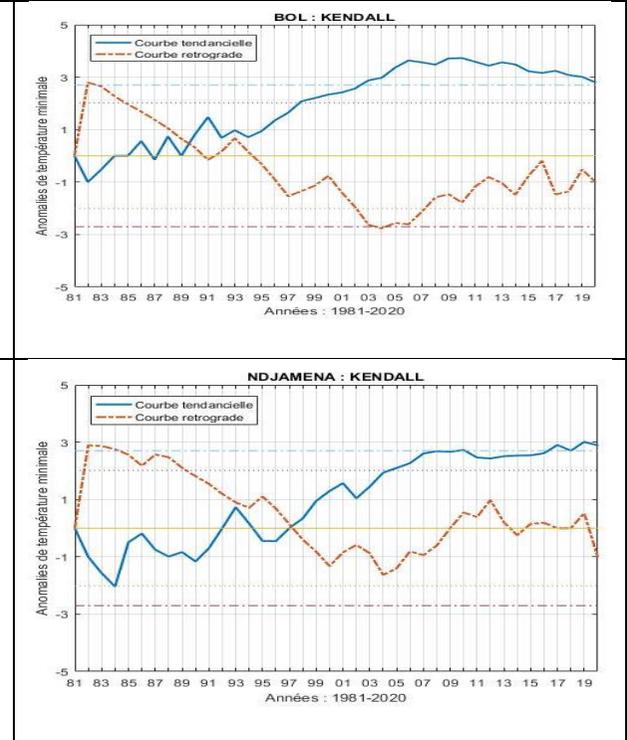
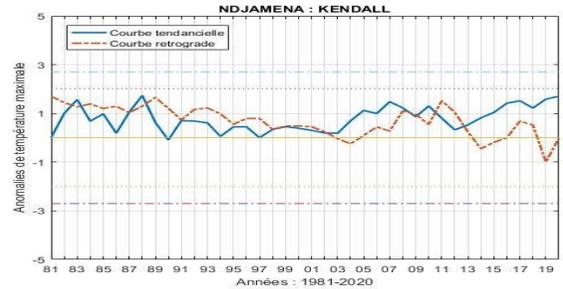
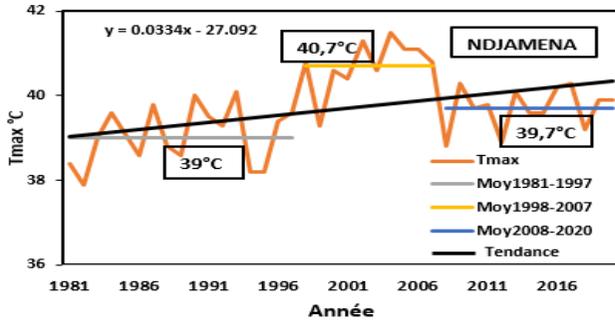


Figure 9 : Courbes de test statistique de tendance des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 des stations de Bol et N'Djamena. Courbe en couleur tendancielle et courbe rétrograde en rouge.





3.2.2 Analyse des températures minimales et températures maximales des stations de Fianga et Moundou (zone soudanienne du Tchad)

Les stations de Moundou et Fianga, situées dans la zone soudanienne, ont connu une tendance générale de l'augmentation significative des températures minimales et maximales, comme confirmé par le test de Mann-Kendall au niveau de 5% (Figure 10). Cependant plusieurs sous-séries ont été observées.

Les températures minimales à Moundou sont passées de 20,7 à 21,5°C, soit une hausse de 0,8°C, respectivement pendant les sous-périodes 1981-1997 et 1998-2020, avec une température minimale normale (1981-2010) de 21,1°C. Les températures maximales, malgré une tendance générale à la hausse, ont connu une alternance de valeurs basses et élevées, avec une température maximale moyenne de 32,9°C entre 1981-1997, 34,9°C entre 1998-2007 (Figure 9). Cette variation est ensuite retombée à 33,5°C entre 2008-2020. Cependant, il y a eu une augmentation globale de 0,6°C de 1981 à 2020. La température maximale normale (1981-2010) est de 33,5°C. À Fianga, les températures maximales ont varié de 34,2°C à 35,5°C, respectivement pendant les périodes 1981-1997 et 1998-2007, soit une augmentation de 1,3°C. Elles ont ensuite connu une diminution de 0,6°C entre 2008 et 2020. La tendance générale sur l'ensemble de la série de 40 ans est une augmentation de 0,8°C, pendant les années entre 1981-1989 et 1990-2020.

Figure 10 : Évolution des moyennes des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 et les moyennes par périodes et les tendances des stations de Fianga et Moundou de 1981 à 2020 (zone soudanienne)

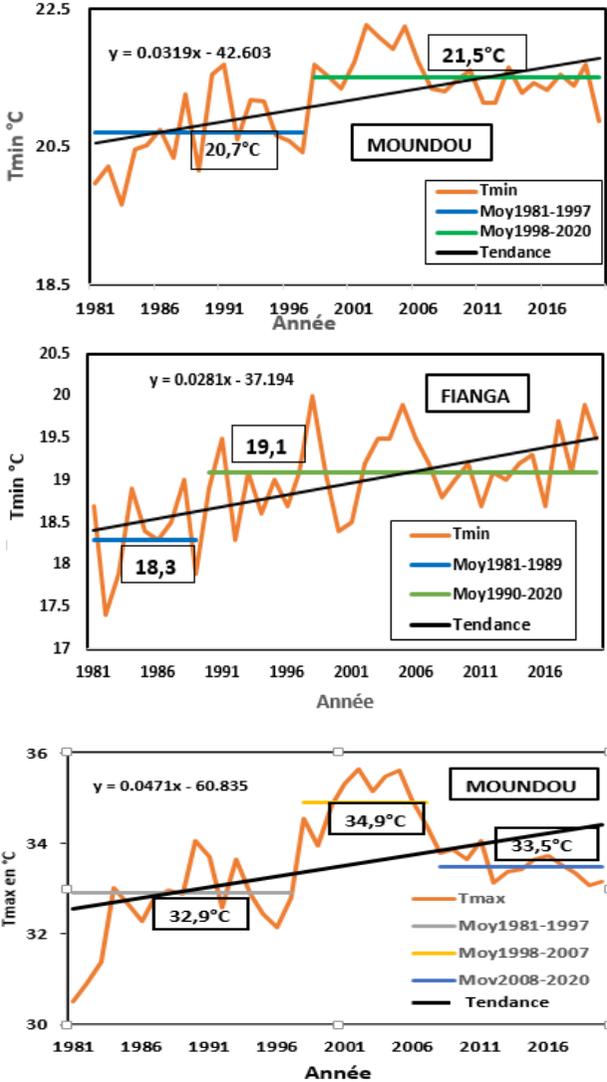
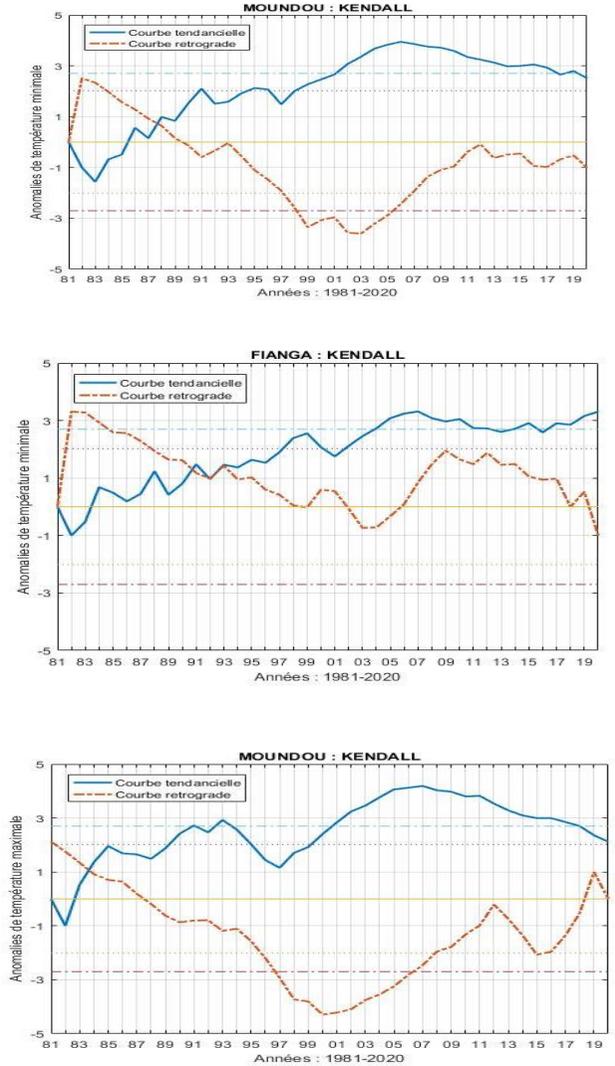
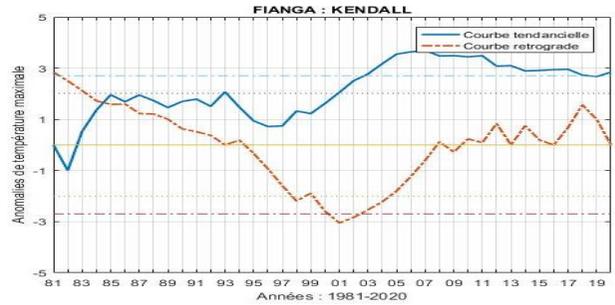
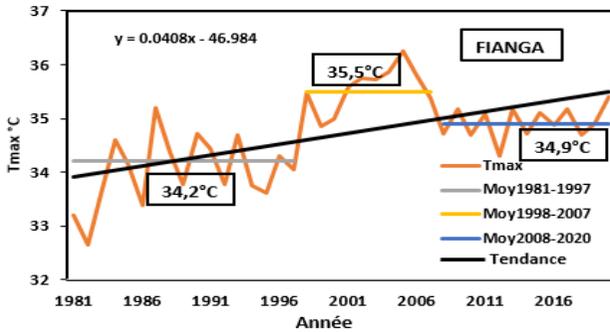


Figure 11 : Courbes de test statistique de tendance des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 des stations de Fianga et Moundou (zone soudanienne) Courbe en couleur bleue tendancielle et courbe rétrograde en rouge.





3.3 Analyse des indices des extrêmes climatiques

3.3.1 Tendence à l'aide de test de Mann-Kendall

Les résultats obtenus par l'application du test de Mann-Kendall à un risque de $\alpha = 5\%$ ($P\text{-value} = 0,05$), sur les indices des extrêmes climatiques (PRCPTOT, R95p, R95pTOT, SDII, R20, TN95p et TX95p) retenus pour les 4 stations étudiées sont consignés dans le tableau 4. Pour le test appliqué, un seuil de signification de 5% a été utilisé, indiquant s'il y a ou non des tendances monotones (uniquement croissante ou décroissante). L'analyse du Tableau 4 une tendance générale significative à la hausse de tous indices (PRCPTOT, R95p, R95pTOT, SDII, R20, TN95p et TX95p). Les tendances sont plus marquées dans la station de Moundou.

Tableau 2 : Résultats des tests de Mann-Kendall au seuil 5% exprimés par les P-value inférieures à 0,05

Indices	BOL		FIANGA		MOUNDOU		N'Djamena	
	P-Value	Slope	P-Value	Slope	P-Value	Slope	P-Value	Slope
TN90p	0,138	0,153	0,055	0,221	0,293	0,160	0,123	0,153
TX90p	0,683	0,040	0,000	0,295	0,016	0,226	0,149	0,040
SDII	0,039	0,037	0,525	0,009	0,039	0,027	0,278	0,037
R20mm	0,023	0,059	0,324	0,045	0,046	0,107	0,124	0,059
R95p	0,029	2,255	0,479	1,206	0,009	4,093	0,546	2,255
R95pTOT	0,294	0,878	0,174	1,443	0,004	2,881	0,780	0,878
PRCPTOT	0,054	2,809	0,177	-2,682	0,488	-1,902	0,382	-1,700

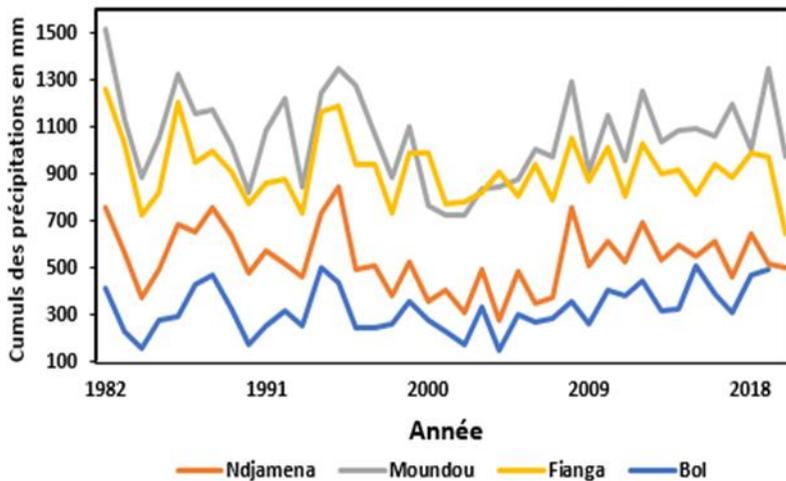
3.3.2 Cumul annuel des hauteurs de pluies

De 1982 à 1990, les valeurs annuelles cumulées des précipitations ont oscillé entre 1514,4 mm à Moundou en 1982 et 725 mm à Fianga en 1984, (Figure 11) deux localités de la zone soudanaise du Tchad. En revanche, Bol et N'Djaména dans la zone sahélienne ont enregistré des précipitations cumulées allant de 756,3 mm en 1982 à N'Djaména à 157,4 mm en 1984 à Bol pendant la même période. Durant les périodes 1990-1999 et 2000-2011, tous les sites des zones soudanaise et sahélienne ont enregistré de faibles

précipitations cumulées, avec 833 mm à Moundou, soit une baisse de 500 mm par rapport aux précipitations cumulées les plus élevées en 1982. La plus faible précipitation cumulée a été enregistrée à Bol, avec 147 mm en 2004.

Cette condition de faible précipitation s'est progressivement améliorée pendant la période 2011-2020, atteignant des valeurs élevées de 1347,5 mm à Moundou. La tendance générale est à la baisse, mais pas statistiquement significative au seuil de 5%, sauf à Bol où la tendance à la hausse est significative (Tableau 4).

Figure 12 : Évolution des cumuls annuels des hauteurs de pluies (PRCTOT) de 1981 à 2020 des stations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména



3.3.3 Évolution annuelle des hauteurs et de la fréquence des pluies extrêmes

L'évolution annuelle des hauteurs (R95p) et de la fréquence des précipitations extrêmes (R95pTOT) a été caractérisée par une forte variabilité de diminution et d'augmentation des accumulations de précipitations extrêmes dans la plupart des stations, à l'exception de Moundou, qui a connu une tendance claire à la hausse de 21 à 573 mm avec une évolution de la fréquence de 15 à 27%. La période de 1981 à 1990 a été marquée par des alternances des années humides et sèches perturbations (alternances des années humides et sèches) significatives dans la distribution dans le temps et l'espace.

En général, les décennies 2000-2010 et 2010-2020 ont été marquées par une forte variabilité des précipitations, aussi bien en quantité qu'en fréquence, avec des valeurs atteignant jusqu'à 573 mm à Moundou, tandis que Bol a connu la fréquence la plus élevée (42%) pour la période 2011-2020.

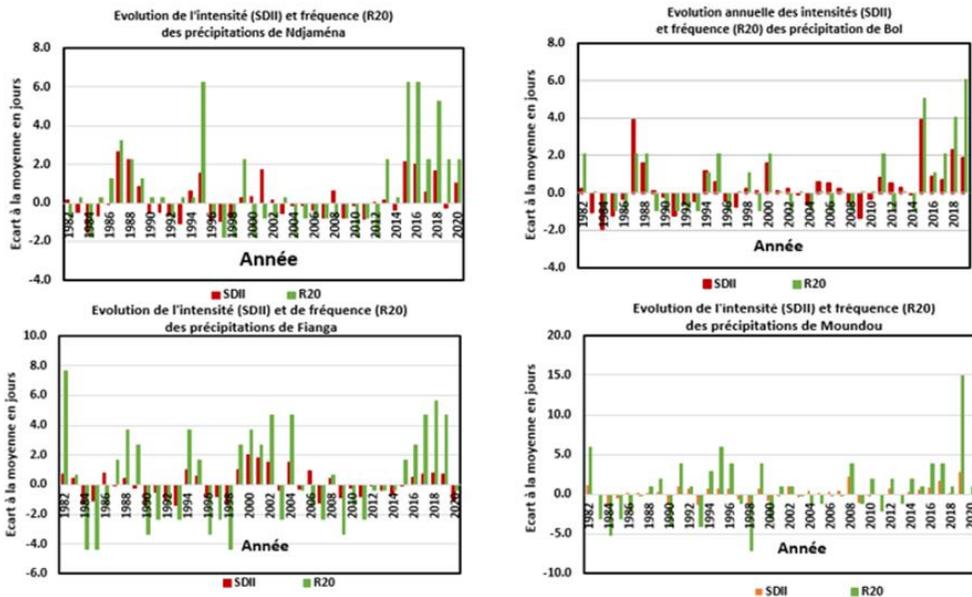
Tableau 3: Évolution décennale des précipitations extrêmes (R95p) et le pourcentage des hauteurs totales annuelles de pluies des jours très humides (R95pTOT)

Décennie	BOL		FIANGA		MOUNDOU		N'DJAMENA	
	R95p (mm)	R95pTOT (%)	R95p (mm)	R95pTOT (%)	R95p (mm)	R95pTOT (en %)	R95p (mm)	R95pTOT (%)
1981-1990	0 - 232	20,2	0- 329	21,1%	21- 329	15,3%	0 - 383	28,3%
1991-2000	0 - 118	13,5	19 - 371	18,2%	0 - 320	18%	19 - 295	17%
2001-2010	15 - 68	13	67 - 323	20,1%	141 - 287	18,7%	23 - 105	13,1%
2011-2020	32 - 218	42,3	41 - 308	24%	134 - 573	27%	63 - 331	31,4%

3.3.4 Analyse de l'évolution de la fréquence et de l'intensité des nombres de jours de fortes pluies

La fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes sont deux indicateurs pertinents caractéristiques du changement climatique. La Figure 10 montre une forte variabilité de la fréquence et de l'intensité pendant la période de 1981 à 2013, avec une tendance à la baisse du nombre de jours avec des précipitations supérieures à 20 mm (R20). À partir de 2014, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements pluvieux a été observée dans toutes les stations, à l'exception de Moundou qui a connu une diminution de l'intensité (SDII). La localité de Fianga a enregistré une augmentation persistante de la fréquence et de l'intensité pendant les deux périodes, 1999-2004 et 2014-2020. Il convient de noter que les stations de N'Djaména et Bol dans la zone sahélienne ont connu des épisodes de précipitations de haute fréquence et intensité au cours des cinq dernières années.

Figure 13 : Évolution interannuelle de 1981 à 2020 : histogramme en rouge et fréquence (R20): histogramme en vert des précipitations des stations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména



3.3.5 Analyse des nuits climatologiquement chaudes

Le pourcentage de nuits climatologiquement chaudes (TN90p) est un indicateur pertinent pour identifier les signes de changement. Le test de Pettit aux niveaux de 10 %, 5 % et 1 % ont permis de détecter des années de rupture et des sous-séries en segmentant les données à l'aide de la méthode Hubert. Les tendances des indices sont présentées dans le Tableau 4. Entre 1997 et 2006, les nuits chaudes ont augmenté dans tous les sites sauf pour la station de Bol où elles sont restées stables à 8 % sur toute la série. Cependant, une diminution des nuits chaudes a été observée entre 2007 et 2020 dans les quatre localités, malgré une tendance générale à la hausse sur la période de 40 ans. Néanmoins, les valeurs les plus élevées ont été observées aux stations de Moundou et Fianga dans la zone climatique humide soudanaise.

Tableau 4 : Analyse des pourcentages des nuits climatologiquement chaudes par rapport à la date de rupture détectée par le test de Pettitt et les périodes dégagées par la segmentation de Hubert

Station	Test de Pettitt	Segmentation de Hubert	Moyenne avant rupture (%)	Moyenne après rupture (%)	Taux de variation (%)
Bol	1988	1982- 1988	9,9.		9,9
Fianga	1996***	1982-2004	6,6		
		2005- 2006		23,5	16,9
		2007- 2020		11,5	4,9
Moundou	1997***	1982-2000	5,1		
		2001- 2006		21	15,9
		2007- 2020		8,8	3,7
N'Djaména	1996**	1982-1996	6,2		
		1997- 2006		15,8	9,9
		2007-2020		9	2,8

NB : * ; ** et *** significatif respectivement au seuil de 10% ; 5% et 1% selon le résultat du test de Pettitt (1979).

3.3.6 Analyse des jours climatologiquement chauds

La fréquence des jours chauds (TX90p) a augmenté après les années de rupture (1995, 1996 et 2007) détectées par le test de Pettitt aux niveaux de 10 %, 5 % et 1 % dans les quatre stations pendant la période de 1997 à 2006. Les taux de changement variaient de 3 % à 26,4 % à N'Djaména, de 1 % à 14,8 % à Bol, de 6,3 % à 30,1 % à Moundou et de 3,7 % à 19,7 % à Fianga. Comme le montre le Tableau 7, il y a eu une diminution des jours chauds pendant la période de 2007 à 2020 dans les quatre stations.

Tableau 5: Analyse des pourcentages de nombre des jours climatologiquement chauds par rapport à la date de rupture détectée par le test de Pettitt et les périodes dégagées par la segmentation de Hubert

Station	Test de Pettitt	Segmentation de Hubert	Moyenne avant rupture (%)	Moyenne après rupture (%)	Taux de variation (%)
Bol	1995***	1982-2000	7,1.		9,9
		2001-2005		21,9	14,8
		2006-2018		8,8	1,1
Fianga	1997***	1982-2000	4,9		
		2001- 2006		24,6	19,7
		2007- 2020		8,6	3,7
Moundou	1996***	1981-1996	3,5		
		2001- 2006		33,6	30,1
		2007- 2020		9,8	6,3

N'Djaména	1996***	1982-1996	6,4		
		1997- 2003		15,3	8,9
		2004-2006		29,9	26,4
		2007-2020		9,4	3

Les signes * et ** ***signifient que la rupture est respectivement significative à 90 et 95 % et 99%selon le résultat du test de Pettitt (1979)

IV Discussion

Les résultats obtenus montrent qu'au cours des dernières décennies, il y a eu une modification du régime des précipitations en termes de fréquence et d'intensité dans tous les sites. Cependant, une légère diminution de l'accumulation annuelle des précipitations a été observée de 1981 à 2020. Cette tendance générale à la baisse sur la série 1981-2020 est liée à des épisodes de sécheresse extrêmement sévères qui ont duré environ 5 années consécutives pendant les décennies 1980-1990 et 1990-2000, marquées par le fort phénomène El Niño de 1982/1983 et 1997 (IPCC, 1998) et la sécheresse historique de 1983-1984 qui a touché l'Afrique centrale et le Sahel (Paeth et al., 2011). Ces résultats ont également été observés dans les travaux de New et al. (2006) et Aguilar et al. (2009). Les études de New et al. (2006) sur l'évolution des conditions climatiques quotidiennes extrêmes couvrant l'Afrique australe et occidentale, ont montré que les régions connaissent une diminution globale des précipitations annuelles totales et du nombre de jours de pluie. Aguilar et al. (2009), dans leur analyse des précipitations en Afrique centrale entre 1955 et 2006, sont parvenus aux mêmes conclusions. La tendance générale des précipitations est à la baisse de 1981 à 2020 et une variabilité croissante a été observée de 2011 à 2020 dans tous les sites, avec des excédents de précipitations à N'Djaména, Moundou et Fianga d'environ 31,5 %, 8 % et 23,8 % respectivement, pendant la période 2010-2020. N'Djaména a été connu pour des épisodes de fortes précipitations au cours des 5 dernières années (2015-2020) avec des écarts cumulés annuels de plus de 100 mm par rapport à la norme (1981-2010). Ces variabilités ont été considérées par certains auteurs comme un retour à des conditions de précipitations normales, en particulier Salack et al. (2011) notamment dans les régions soudanienne et sahéliennes du Sahel où on note une tendance à la hausse des précipitations annuelles totales. Cette tendance est accompagnée d'une augmentation de la fréquence de courts épisodes de sécheresse extrême et d'événements de fortes précipitations (inondations), rendant la saison des pluies plus incertaine et imprévisible.

Les résultats de la présente étude montrent également une augmentation générale des événements de précipitations extrêmes en termes de fréquence des fortes pluies (R20), d'intensité (SDII), de hauteurs de précipitations (R95) et de fréquences de jours très humides (R95pTOT) dans

tous les sites d'étude à savoir Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena au cours des cinq dernières années (2015-2020). Cependant, une augmentation plus notable des fréquences de jours très humides (R95pTOT) a été observée dans la zone sahélienne par rapport à la zone soudanaise, avec 42 % à Bol et 31 % à Ndjamen. Ces analyses confirment les résultats des études récentes (IPCC, 2014 ; Ozer et al., 2017 ; Biasutti, 2019). Cette tendance a déjà été observée par les études de l'IPCC (2017), qui prévoient une intensification des phénomènes climatiques extrêmes au cours des prochaines décennies au Sahel. Cela a été confirmé par les études de Hangnon et al. (2015), Bamba et al. (2015) et IPCC (2014). L'augmentation de l'accumulation des précipitations, de la fréquence et de l'intensité a conduit à de graves inondations en 2020, qui ont affecté 87 % du territoire national du Tchad (OCHA, 2022). Si cette tendance se poursuit, nous assisterons à une augmentation des catastrophes avec des dommages et des coûts associés (Sultan 2012; Sultan et al 2013; Le Cozannet et al., 2015; Avila et al., 2016; Taylor et al., 2017) et une résurgence d'épidémies de maladies sensibles au climat telles que le paludisme et le choléra (Marano et Toussaint, 2015).

Les températures extrêmes (minimales et maximales) ont augmenté sur toute la série de 1981 à 2020, confirmant ainsi les résultats de l'IPCC (2014) qui prévoit des changements de température et de précipitations extrêmes sur l'Afrique de l'Ouest et du Centre, avec une augmentation de la température moyenne mondiale de 1,5 °C et 2 °C par rapport à la période préindustrielle (Seneviratne et al., 2016 ; Wartenburger et al. ; 2017).

Nous remarquons généralement que les températures minimales ont augmenté plus que les températures maximales dans toutes les localités étudiées, et de manière linéaire, tandis que les températures maximales ont connu une variabilité d'une décennie à l'autre (voir les cartes de température de N'Djaména et Moundou). Les localités de Bol et N'Djamena dans la zone sahélienne ont enregistré une augmentation des températures minimales de 0,7 °C et 1,2 °C respectivement ; et des températures maximales de 0,7 °C et 0,8 °C, tandis que les localités de Moundou et Fianga dans la zone soudanaise ont enregistré une hausse des températures minimales de 0,8 °C pour les deux localités et des températures maximales de 0,6 °C et 0,7 °C montrant ainsi une augmentation des températures minimales et maximales, légèrement supérieure par rapport aux valeurs des localités de la zone soudanaise. Nous notons une augmentation particulière des températures minimales et maximales pendant la période 1997-2007.

La fréquence des jours chauds (TX90p) et des nuits chaudes (TN90p) a montré une tendance à la hausse pendant la période entre 1996/1997 et 2007, ce qui corrobore les résultats de Mbaiguedem (2012) qui révèlent qu'à partir de 2006, il y a une persistance de nuits chaudes de plus de 20 jours, et aussi les résultats de Bedoum (2013) dont les indices indiquent une augmentation

des nuits chaudes au Tchad et en Afrique centrale. D'autre part, nous notons une baisse significative des TN90p et TX90p entre 2007 et 2020. Cela pourrait s'expliquer par l'amélioration des conditions de précipitations.

Les précipitations annuelles au Tchad ont connu des périodes alternées d'humidité et de sécheresse, avec une tendance générale à la baisse entre 1981 et 2020. Un changement de régime des précipitations depuis la fin des années 1990, détecté par des tests statistiques comme une année de rupture dans la série chronologique a été observé. L'étude nous a permis de montrer et de mettre en évidence une succession de périodes sèches et humides. Il semble que les décennies 1980-1990 et 1990-2000, et une partie des années 2000, aient été caractérisées par des épisodes de déficits pluviométriques sévères. À l'exception de la localité de Bol, où la tendance des précipitations a diminué d'environ 17 %, toutes les autres localités ont connu une forte variabilité et une tendance à des conditions de précipitations excessives pendant la décennie 2010-2020.

Ce redressement semble plus prononcé dans la zone sahélienne que dans la zone soudanaise. Le retour des pluies dans les localités étudiées a été marqué par une forte augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes, ce qui pourrait expliquer les graves inondations des dernières années qui ont affecté 87 % du territoire national entre 2019 et 2022. D'autre part, les températures maximales et minimales ont augmenté respectivement de 0,6 à 1,2 °C, avec une augmentation plus accélérée des températures minimales et une tendance croissante des nuits climatologiquement chaudes (TN90p), qui est l'une des principales caractéristiques du changement climatique.

On peut conclure que les localités de la zone d'étude sont caractérisées par des schémas de précipitations instables associés à des températures croissantes. Un tel contexte climatique n'est pas sans conséquences pour le développement des secteurs clés. Ces conditions sont propices et favorables au développement des moustiques, vecteurs du parasite Plasmodium (Grover-Kopec et al., 2006), comme l'ont révélé les résultats de l'étude de Huston et al., (2019), qui indiquent que les changements à long terme des températures et des précipitations, l'augmentation de la variabilité climatique et une fréquence plus élevée d'événements météorologiques extrêmes, auront un impact sur divers risques de maladies infectieuses d'une manière particulière.

Conclusion

De véritables signaux de variabilité et de changement climatique caractérisés par une tendance générale à la diminution des précipitations ont été identifiés dans toutes les localités à savoir Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména. Cependant, une variabilité accrue avec des précipitations intensifiées a été notée au cours des dernières décennies, expliquant les graves

inondations des dernières années (entre 2010 et 2020). Il est essentiel d'étendre une telle étude à d'autres stations à travers le territoire national pour mieux comprendre l'évolution du changement climatique et ajuster les politiques publiques dans les secteurs clés du développement. Faire une ouverture (ou perspective) aussi sur le secteur de la santé.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. AGUILAR, E., A. Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., M. assoukina, M., ... Zhang, (2009). Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D02115).
2. AURELIEN RIBES et SERGE PLANTON, 2011, Détection et attribution des changements climatiques p. 211-213 CNRM, Toulouse, France.
3. BAMBA A., DIEPPOIS B., KONARE A., PELLARIN T., BALOGUN A., DESSAY N., KAMAGATE B., SAVANE I. et DIEDHIOU A., 2015: Changes in vegetation and rainfall over West Africa during the last three decades (1981-2010). *Atmospheric and Climate Sciences*, 5, 367-379.
4. BEDOUM, LOBITE BOUKA BIONA, BELL JEAN PIERRE1, ISSAK ADOUM, ROBERT MBIAKE AND LAOHOTE BAOHOUTOU, 2017, Évolution des indices des extrêmes climatiques en République du Tchad de 1960 à 2008, *Atmosphere-Ocean*, 55:1, 42-56, DOI: 10.1080/07055900.2016.1268995, publié en ligne en janvier 2017, 45p, <https://doi.org/10.1080/07055900.2016.1268995>.
5. BIASUTTIN. 2019 - Rainfall trends in the African Sahel: Characteristics, processes, and causes. *Wiley interdisciplinary reviews. Climate Change*, vol. 10, n° 4, article e591, 22 p. DOI: 10.1002/wcc.591.
6. BOYER J.F., 1998. Khronostat statistical time series analyses software. Montpellier : UMR 5569 Hydrosociences, IRD-Maison des sciences de l'eau.

7. BRUNETTI M., BUFFONI L., MAUGERI M., NANNI T., 2000: Precipitation intensity trends in Northern Italy. *International Journal of Climatology*, 20, 1017-1031.
8. BUIHAND T.A., 1982. Quelques méthodes des tests d'homogénéisation des précipitations. *Journal de l'Hydrologie*, 58, 11-27.
9. DAZE, A., AMBROSE, K. ET EHRHART, C. 2010, « Analyse de la vulnérabilité et de la capacité d 'adaptation au changement climatique », Manuel, CARE.
10. GACHON P., DIBIKE Y. B. (2007). Temperature change signais in Northern Canada: Convergence of statistical downscaling results using two Driving GCMs, *International Journal of Climatology*, 27(12): pp. 1623-1641.
11. GIEC., 2014, Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 34 pages.
12. GROVER-KOPEC, E. K., et. al. (2006). Web-based climate information resources for malaria control in Africa. *Malaria Journal*, 5:38.
13. HANGNON H., DE LONGUEVILLE F. et OZER P., 2015 : Précipitations 'Extrêmes' et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé. XXVIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 497-502.
14. HUBERT P, CARBONNEL J.P., CHAUCHE A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques : Application a des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'ouest. *Journal of Hydrology*, 110, 349-67.
15. HUSTON PATRICIA, M.D., M.S.P., ERIKA BONTOVICS, LYAL SAIKALY, LAURA ROJAS HIGUERA, JOANNA ODROWAZ-PIENIAZEK,PASCALE SALVATORE, LAURA STEWART-DAVIS, 2019, Changement climatique et maladies infestieuses, ISSN 1719-3109 / Cat. HP3-1F-PDF / Pub. 180682, RMTC Volume 45-4.
16. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtmperatures minimaleser, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., 1322-1325.

17. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. Global warming of 1.5 °C, *Special report*.
18. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis report, contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: IPCC.
19. IPCC., 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.), Cambridge University Press: Cambridge, UK.
20. LEE A.F.S., HEGHINIAN S.M., 1977. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables A Bayesian approach. *Technometrics*, 19, 503-6.
21. LE COZANNET G, RAUCOULES D, WOPPELMANN G, GARCIN M, DA SYLVA S, MEYSSIGNAC B AND LAVIGNE F 2015 Vertical ground motion and historical sea-level records in Dakar (Senegal) *Environ. Res. Lett.* 10 084016.
22. MARANO FRANCELYNE ET TOUSSAINTJEAN-FRANÇOIS, 2015, Climat et Santé, Appréhender les impacts du changement climatique sur la santé, adsp n° 93 10p.
23. MEEP, 2017 Stratégie nationale de lutte contre les changements climatiques, Document du Projet PARSAT avec les partenaires : AMCC+, Union Européenne et le FIDA, 16-17p.
24. MEARNS LO, ROSENZWEIG C, GOLDBERG R., (1997). Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. *Climate Change*, 35,367-396.
25. MEYBECK, A., Azzu, N., Doyle, M. et Gitz V., 2012. Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz. Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
26. MBAIGUEDEM M., 2012. Etude de vulnérabilité et adaptation des femmes rurales face au changement climatique : Cas du Département du Chari au Tchad. Mémoire Mastère Changement Climatique et Développement Durable, Centre Régional AGRHYMET, Niger, 85 p.
27. NICHOLAS NOVELLA et, WASSILA THIAW., 2012, Africa Rainfall Climatology Version, NOAA / NWS / NCEP/ Climate Prediction Center, Wyle Information Systems 9B.6 1-6pp.

28. OCHA, 2022 situation report on the floods in Chad, December 2022, Fragkiska Megaloudi Public Information Officer, Head of Public Information Unit fragkiska.megaloudi@un.org Catherine.
29. OMS. (2015). Protéger la santé face au changement climatique: évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, p. 80.
30. OSBORN, T.J. AND HULME, M. (1997). Development of a relationship between station and gridbox rainday frequencies for climate model validation. *Journal of Climate*, 10,1885-1908.
31. OZER P., LAMINOUS MANZO O., TIDJANI A.D., DJABY B. et DE LONGUEVILLE F., 2017 - Évolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, vol. 41, n° 3, p. 375-383.
32. PANTHOU G., VISCHEL T. et LEBEL T.,2014: Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.3984.
33. PATUREL J. E., SERVAT E., DELATTRE M. O., 1998. Analyse de séries pluviométriques.
34. PETTITT A.N., 1979. A Nonparametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28, 126-135.
35. RIGAUD, K., A. DE SHERBININ, B. JONES, J. BERGMANN, V. CLEMENT, K. OBER, J. SCHEWE, S. ADAMO, B. MCCUSKER, S. HEUSER, A. MIDGLEY., 2019. *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. World Bank, Washington, DC.
36. SABOURY NDIAYE, 2018, Impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages pastoraux dans la zone du Ferlo au Sénégal, Thèse de Doctorat, École Doctorale Développement Durable et Société (ED2DS), Sénégal Dakar.
37. SALACK, S., MULLER, B. & GAYE, A. T., 2011. Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I: Integration of local to sub-regional trends and variability. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(1-2), pp.1–22.
38. SENEVIRA TEMPÉRATURES MINIMALESE S I, DONATMG, PITMAN A J, KNUTTI R AND WILBY R L 2016 Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets *Nature* 529 477–83.
39. SNEYERS R., 1990: On the statistical analysis of series of observations. World Meteorological Organization, Technical Note 143, Geneva, 192 p.
40. STERN N. (2006). *Stern review: The economics of climate change*, Cambridge: Cambridge University Press.

41. SULTAN B., 2011. L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales, Habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 137 p.
42. SULTAN B, ROUDIER P, QUIRION P, ALHASSANE A, MULLER B, DINGKUHN M AND BARON C 2013 Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Saheli.
43. TAYLOR C M, BELUŠIĆ D, GUICHARD F, PARKER D J, VISCHEL T, BOCK O and Panthou G 2017 Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations Nature 544 475.
44. UNFCCC, 2015 Conférence des Parties Vingt et unième session Paris, 30 novembre-11 décembre 2015, Projet de décision -/CP.21, p. 29.
45. Valette J-J., 2015. Santé et réchauffement climatique : quelles maladies faut-il redouter in WE DEMAIN.
46. WARTENBURGER R, HIRSCHI M, DONATM G, GREVE P, PITMAN A J AND SENEVIRATEMPÉRATURES MINIMALESES., 2017Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework Geosci. Model Dev. 10 3609.
47. YANDAÏ FISSOU HENRY, MOUNDINE KEBFENE, DJOUMBE EPHRAÏM, BOULOTIGAM KODBESSE, MOUKENET AZOUKALNE, KODINDO ISRAEL DEMBA ET HINZOUNBE CLEMENT KERAH, 2017, « Perception de risques du paludisme et utilisation des moustiquaires au Tchad », Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(1), p. 228-236.